5.　ローカル５Ｇの性能評価の技術実証

5.1.　前提条件

総務省情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告書(令和２年６月)にも記載がある通り、ローカル 5G は、少子高齢化による労働力人口の減少が急速に進む我が国において、地方創生を始めとする地域での生活環境の維持・発展を支えるインフラ（地域利用）および製造業等の産業界において生産性向上や事業の効率化等を実現するためのインフラ（産業利用）として活用が期待されている。本実証では製造業における地域課題を解決すべく、前項「4.課題解決システムの実証」で取り上げた各課題解決システムからのローカル５Ｇに対する性能要求を踏まえ、工場屋内の実環境における電波伝搬特性およびスループットの性能評価を行う。また、実証地域以外の地域でのローカル５Ｇの利用においても有益な実証成果を得るために、4.7GHz 帯屋内の電波伝搬損失係数を求めるとともに、効率的なエリア設計に利するエリアシミュレーション精度向上の試みを報告する。

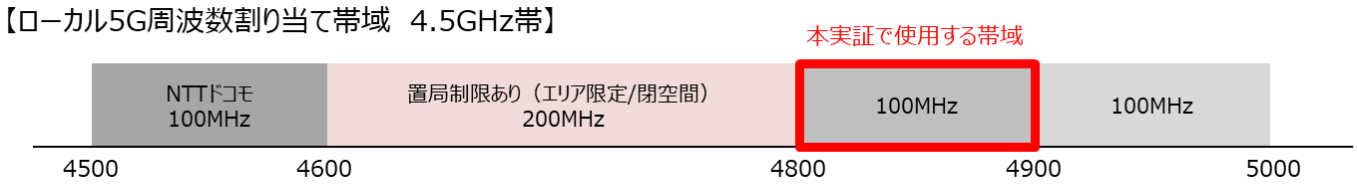
電波伝搬損失の特性については過去の報告事例との比較により、工場以外の屋内空間とどのような違いがあるのかを考察する。エリアシミュレーションのチューニングにあたっては考え方を整理した上で、具体的にどのようなパラメータを操作することで精度向上の成果が得られたかをまとめる。

【参照する５Ｇ標準化に関する検討状況】
①情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告書（令和２年６月）
②ITU-R P.1238-10（08/2019）

5.1.1.　使用する周波数帯域

本実証環境において、屋内カバーエリアの電波品質および屋外への電波漏洩の観点で 4.8GHz 帯の電波伝搬特性を解明し、同周波数帯を用いた課題解決システムの運用を想定したローカル５Ｇの性能評価等を行う。
使用する周波数帯帯域を（図 5.1.1-1）に示す。

図 5.1.1-1）使用する周波数帯域



また、本実証環境および実証地域以外の場所での利用においても有益な成果が得られるように、測定ポイントの選定において基地局までの見通しの有無、窓・壁・シャッターなど材質の違いによる透過損失の差を見る。更に定点測定だけでなく歩行測定を行うことで、より広い範囲の伝搬特性を綿密にデータ収集し、工場環境におけるできるだけ汎用的な事例となることを目指す。

5.1.2. 基地局の設置場所とアンテナ角度の決定

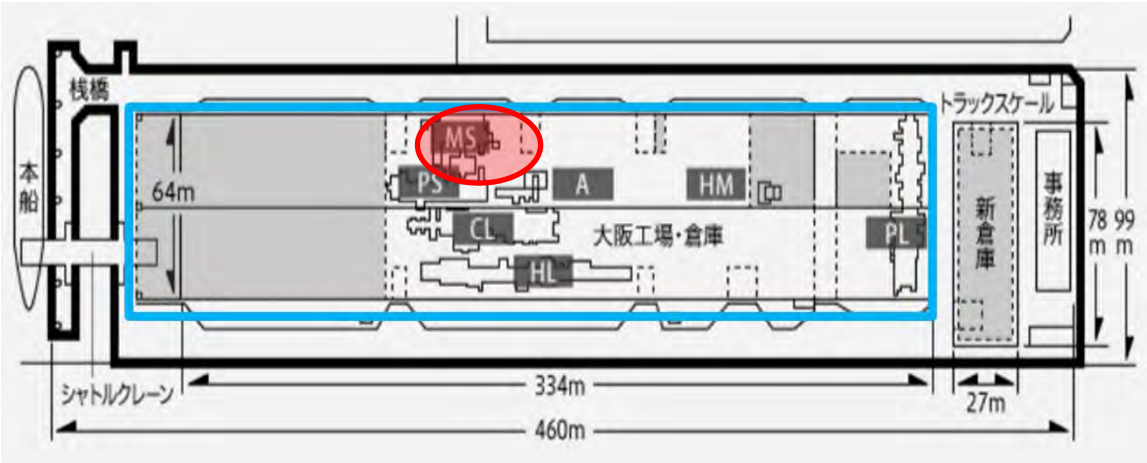
基地局設置場所の選定およびアンテナ方位角（アジマス）・俯角（チルト）の決定にあたっては、次の（1）～（4）に留意した。

（1）課題解決システムからのカバーエリア要求に応じられること

本実証の課題解決システムである「目視検査の自動化」は、S2の操作盤付近で固定端末にて利用され、「遠隔作業者支援」はS2ライン周辺で可搬端末を用いる。

それぞれの課題解決システム向けにカバーすべきエリアとカバーエリア確保の観点で基地局アンテナの設置場所候補を（図5.1.2-1）に示す。

図5.1.2-1）課題解決システムを使用するエリア



（２）オーバーヘッドクレーンの稼働に干渉しないこと

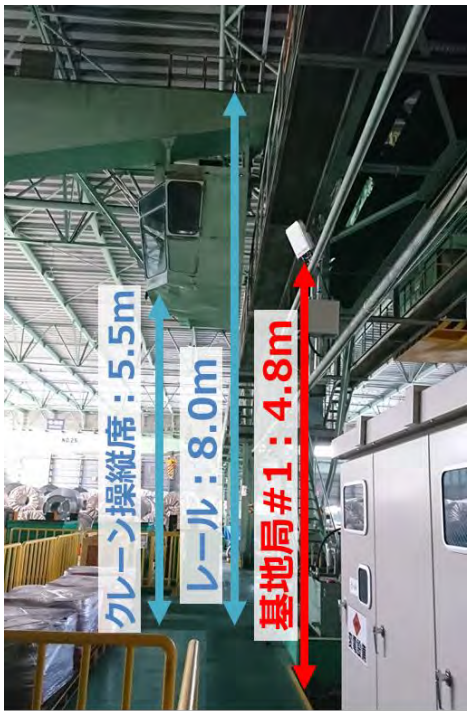
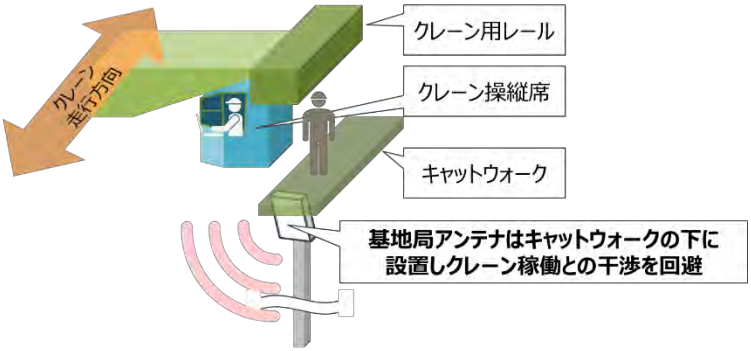


図 5.1.2-2）基地局とクレーンの位置

工場棟全域において地上高 8m にオーバーヘッドクレーン（以下、クレーン）のレールがあり、工場稼働中は常時クレーンが南北方向に走行している。広範囲に向けた電波伝搬の観点からは、できるだけ基地局アンテナの設置を高い位置にすることが望ましいため、クレーンとの安全距離を確保した柱上の 4.2～4.8m 高とした。位置関係のイメージ図および現場写真を（図 5.1.2-2）に示す。



（３）効率的な光ケーブルの配線ルート（工事コストの低減）

５Ｇコアネットワークや集約基地局、「目視検査の自動化」の AI サーバー、および「遠隔作業者支援」で使用するインターネット接続 ONU などを設置する事務所棟電算室から基地局までの光ケーブルを敷設するにあたり、最も効率的な配線ルートを（図 5.1.2-3）に示す。

図 5.1.2-3）事務所棟から工場棟への光ケーブル配線と基地局設置（1/3）

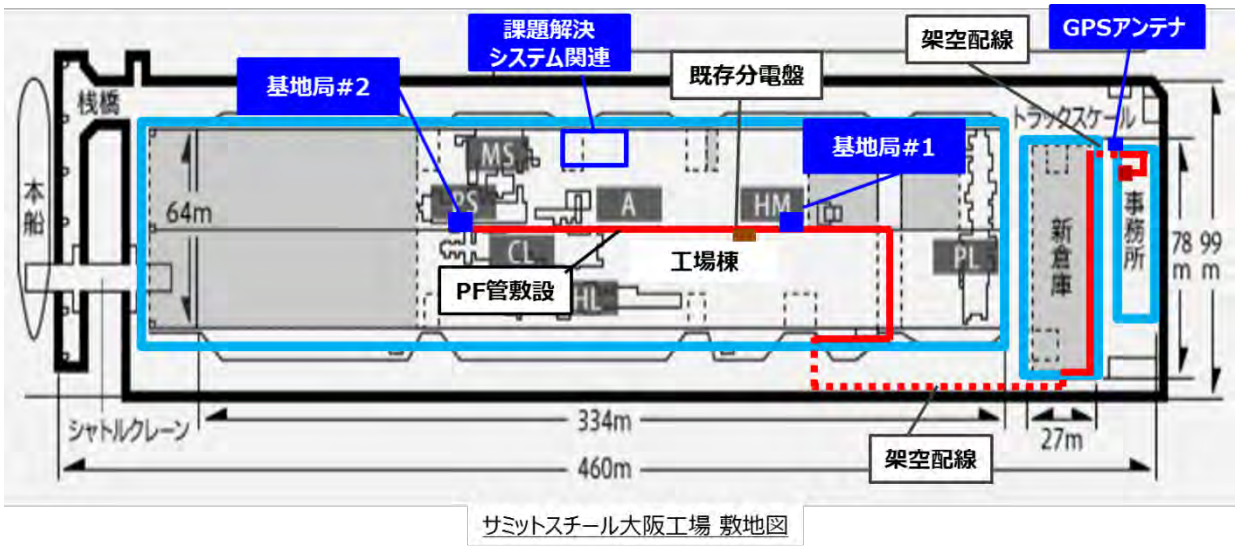
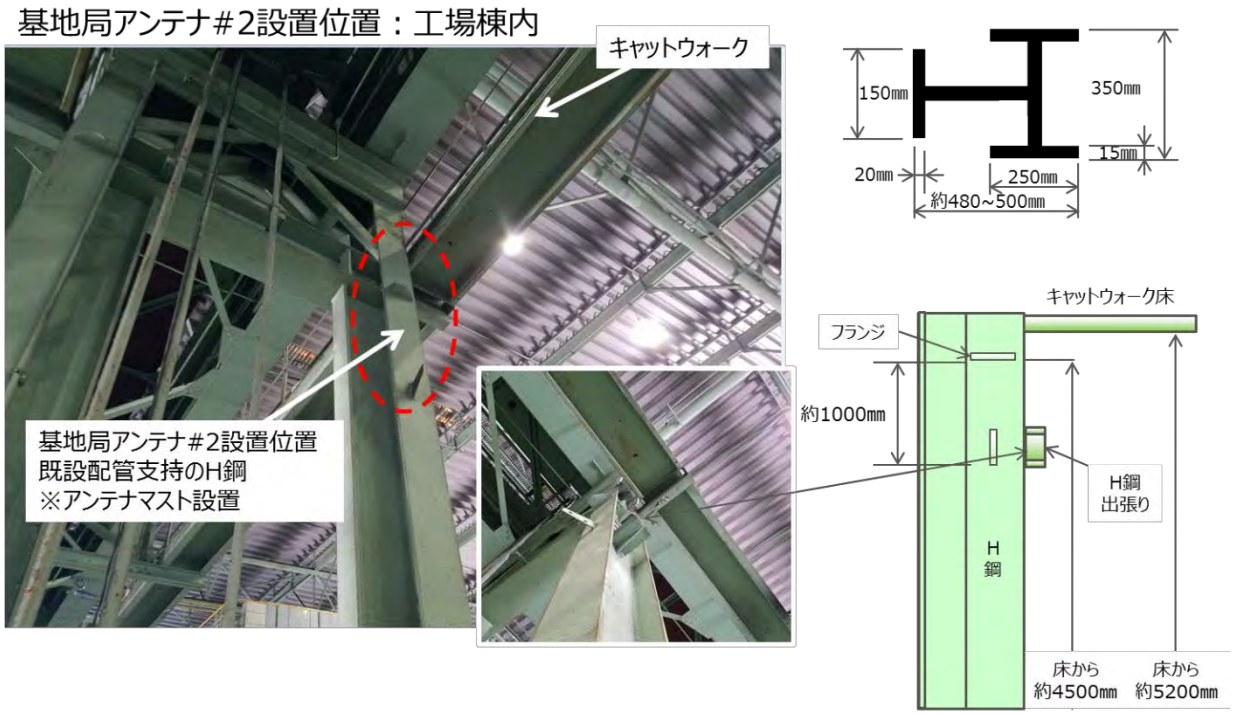
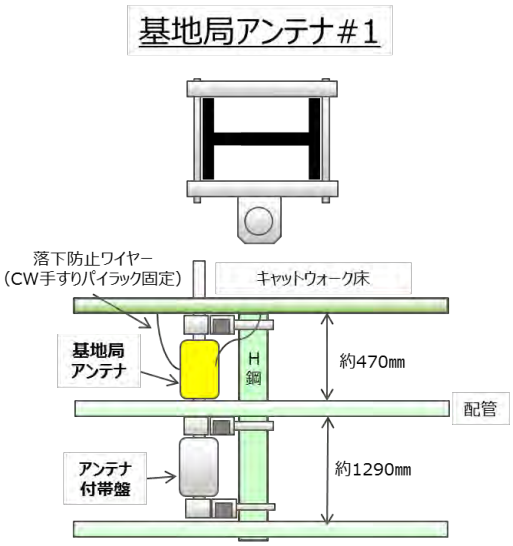


図 5.1.2-3）事務所棟から工場棟への光ケーブル配線と基地局設置（2/3）





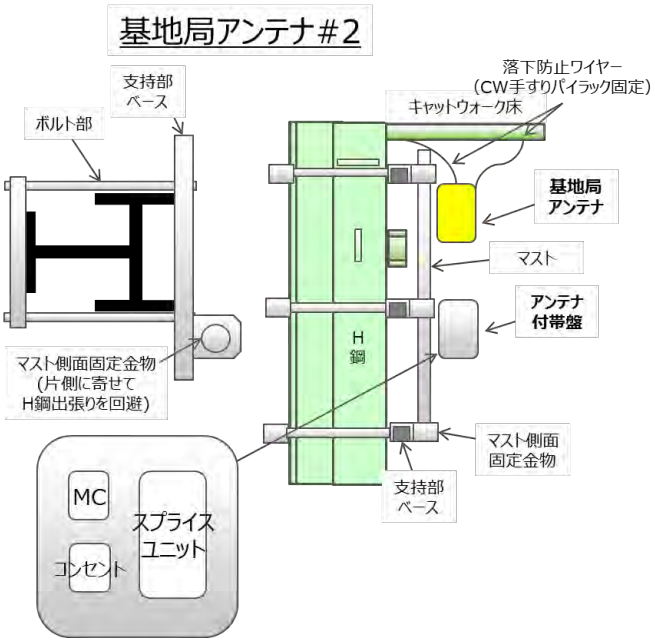
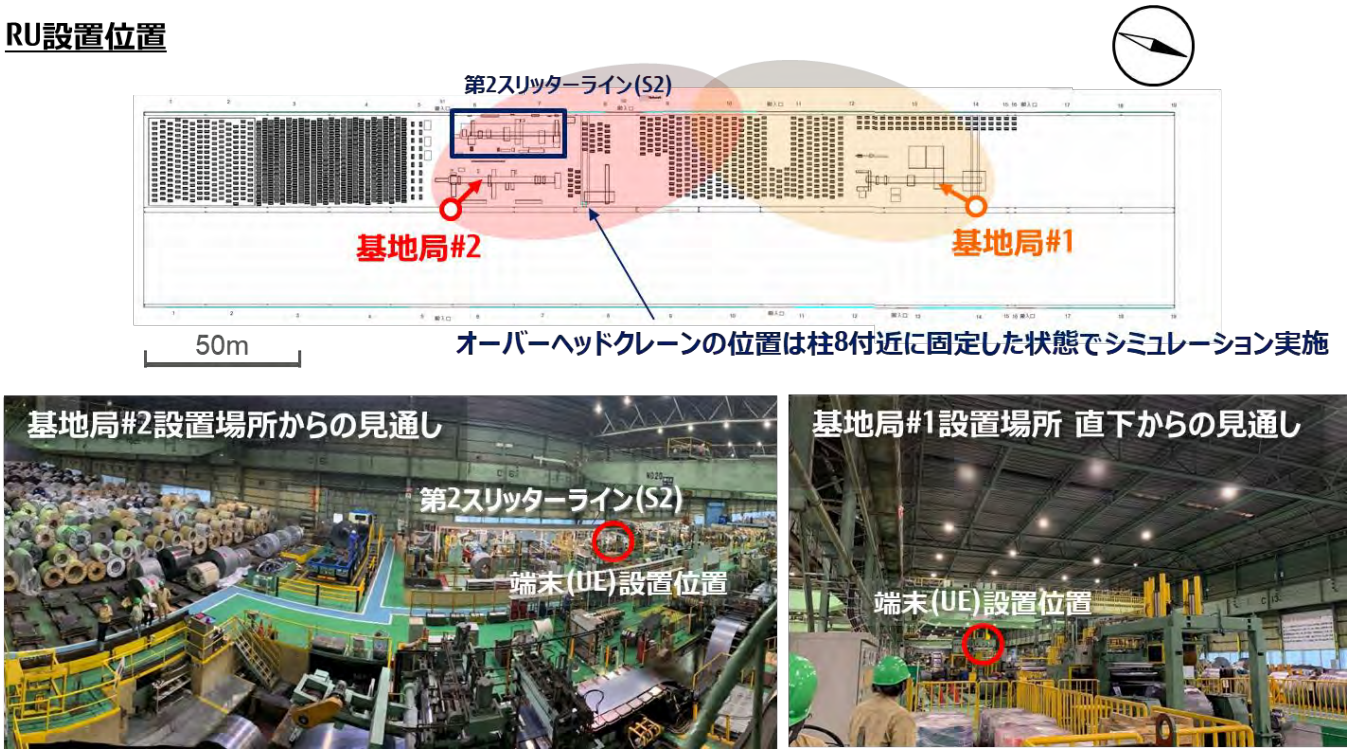


図 5.1.2-3）事務所棟から工場棟への光ケーブル配線と基地局設置（3/3）

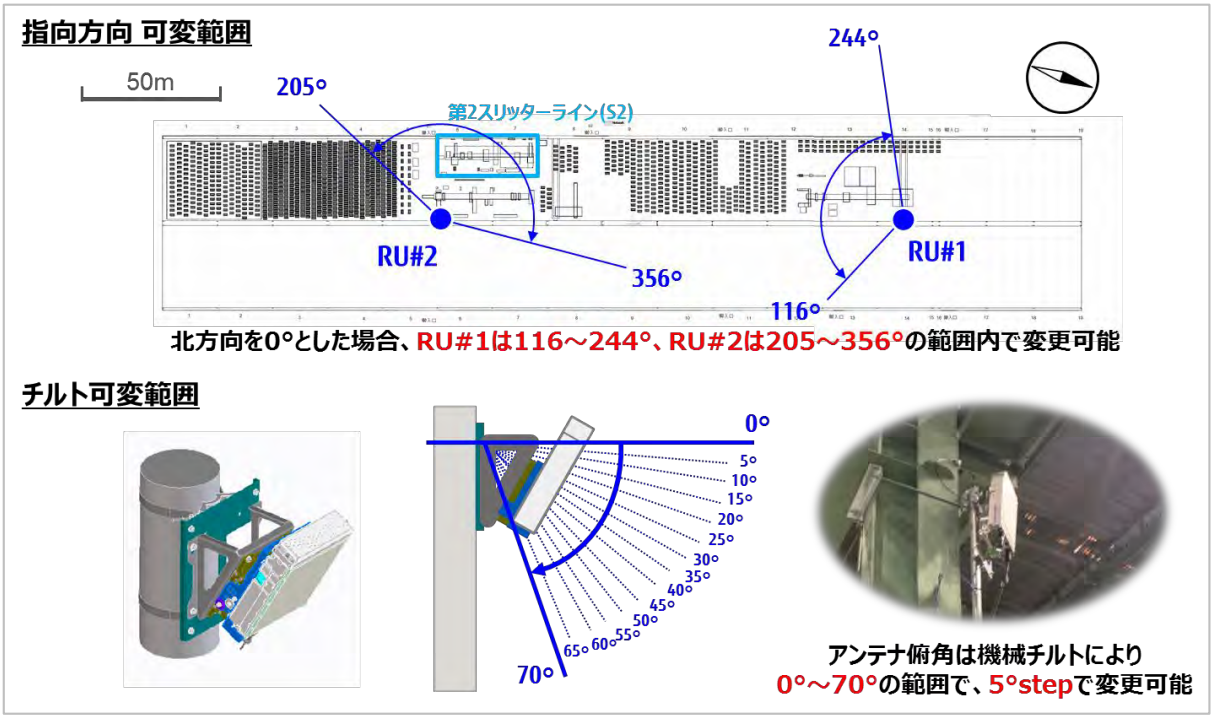


（４）できる限り広く工場棟内をエリアカバーできること

今回の課題解決システムからの要求エリアは S2 周辺に限定されるが、将来に渡るローカル５Ｇ活用を視野に入れれば、工場棟内のより広いエリアがカバーされることが望ましい。

以上を踏まえ、事前のエリアシミュレーションにより各検証項目における最適な基地局アンテナパラメータ（方位角・チルト角）を設計した。基地局アンテナの水平指向方向およびチルト角の可変範囲は取付金具の物理的な制約を受けるため、可変範囲を（図 5.1.2-4）に示す。

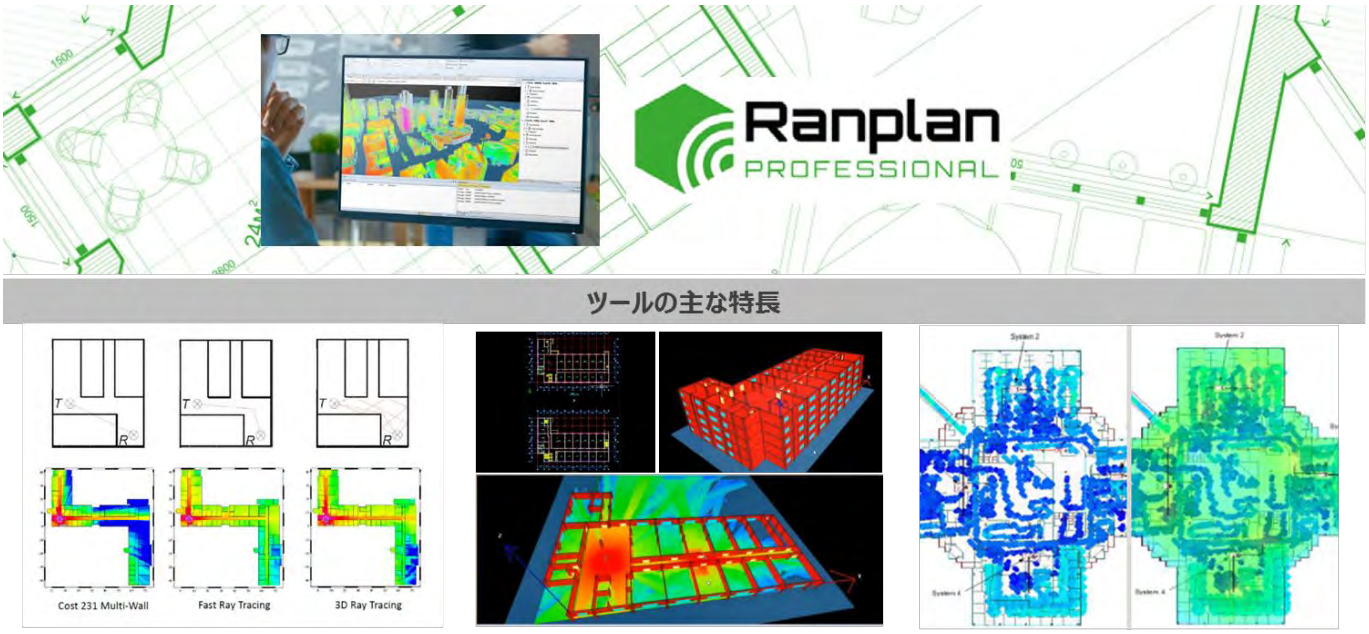
図 5.1.2-4）基地局アンテナ角の可変範囲



（５）事前エリアシミュレーション

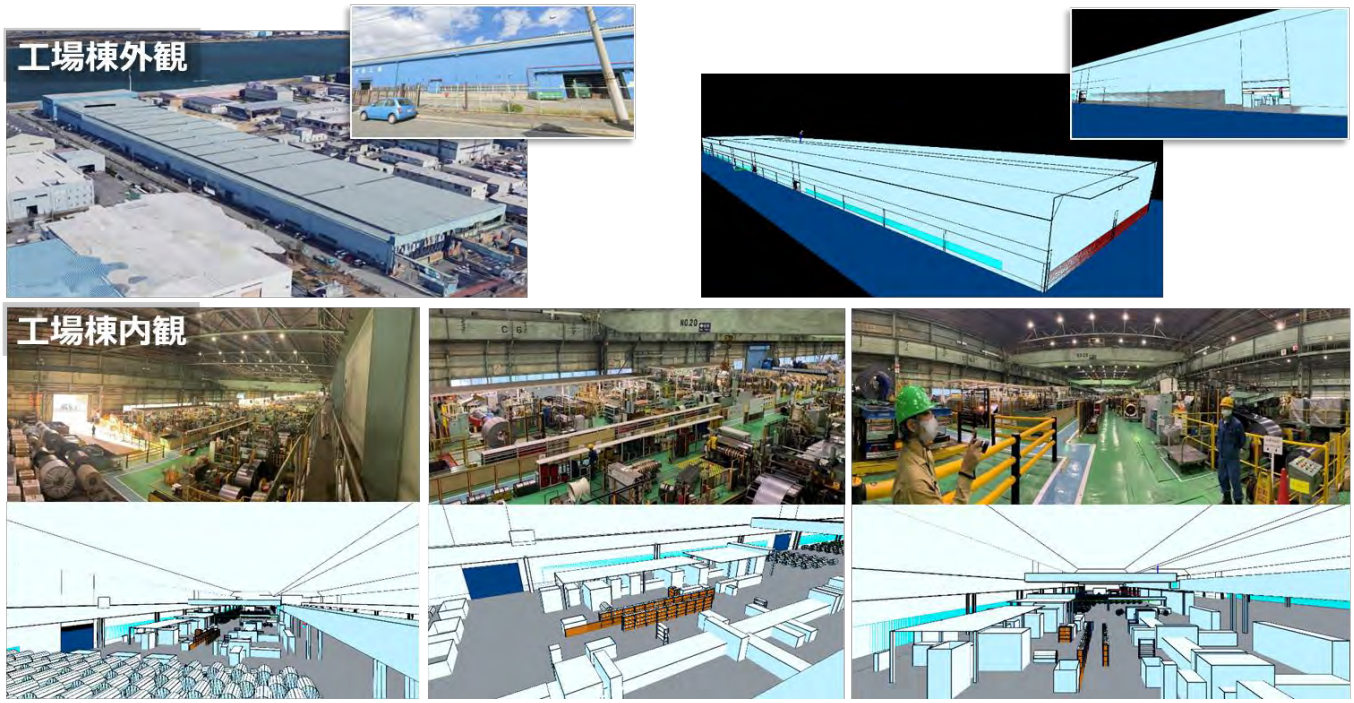
本実証の成果を最大化するため、無線伝搬シミュレーター「Ranplan Professional」を用いて事前のエリアシミュレーションを実施した。Ranplan の主な特長を（図 5.1.2-5）に示す。

図 5.1.2-5）Ranplan Professional の主な特長



工場棟の屋根や外壁、建物内で地上高 1 m 以上の地物（工作機械、オーバヘッドクレーン等）を電波遮蔽オブジェクトとして 3D ベクターデータで再現。今回、建物や工作機械の CAD 図面が入手できなかったため、各地物の寸法や材質は建築図面（青図）および現場確認と写真を参考とした。工場棟の 3D モデリングイメージを（図 5.1.2-6）に示す。

図 5.1.2-6）工場棟の 3D モデリングイメージ



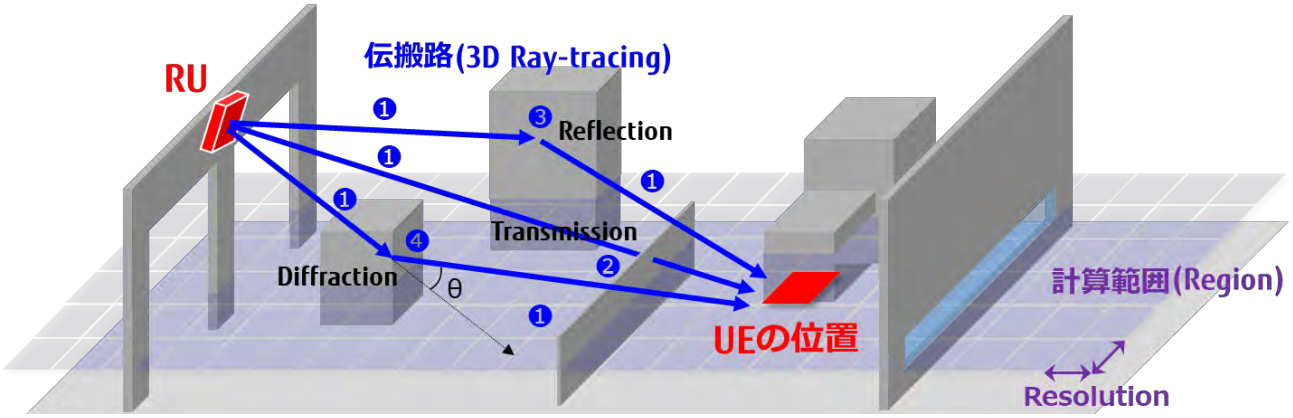
なお、Ranplan の電波損失計算では（図 5.1.2-7）に示す経路損失式が適用される。伝送距離のほか、透過、回折、反射で生じる減衰値が係数として組み込まれており、これらを測定試験後、実測値に基づいて調整することで伝搬モデルの較正が可能となる。電波伝搬モデルのチューニングパラメータを（図 5.1.2-8）に示す。

図 5.1.2-7）エリアシミュレーションの計算式

Ranplanの経路損失式

＝ 自由空間損失(❶) ＋ 材料損失(❷❸❹) ＋ 酸素吸収量(❺) ＋ 気象水蒸気減衰量(❻) ＋ マージン(❼)

❶ 自由空間損失	K1(伝搬損失定数[dB]) + 20 × log10(周波数[GHz]) + K2(経路損失指数) × 10 × log10(伝送距離[m])
❷ 透過損失	伝搬路における透過の発生回数 × 材質別の透過損失値[dB]
❸ 反射損失	伝搬路における反射の発生回数 × 材質別の反射損失値[dB]
❹ 回折損失	伝搬路における回折の発生回数 × 材質別の回折損失値[dB]/45度 × 直接経路と回折経路とのなす角度θ
❺ 酸素吸収量	伝送距離[km] × K3(周波数で決まる固定値[dB])
❻ 気象水蒸気減衰量	伝送距離[km] × K4(周波数・降水量で決まる固定値[dB])
❼ マージン	ボディロス(3～5dB)、ファストフェージング(4～9dB)など



※今回、受信ANT高0.3mのシミュレーションではResolutionを0.3m、
受信ANT高2mではResolutionを0.5mとして計算

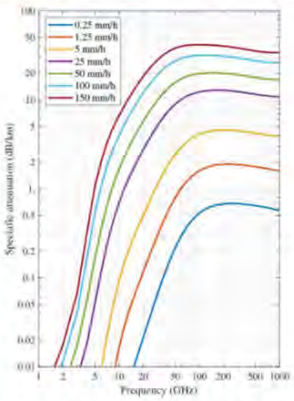
図 5.1.2-8）電波伝搬モデルのチューニングパラメータ

現状では伝搬モデルを較正するための基礎データが無いため、経路損失式のパラメータは全て初期値を使用。

経路損失係数 / 気象条件

係数			損失値 [dB]
❶ 自由空間損失	経路損失定数 K1	可変値	32.45
	経路損失指数 K2	可変値	2 (指数)
❺ 酸素吸収量 K3		固定値	0.008
❻ 気象水蒸気減衰量 K4		固定値	0
❼ マージン(ボディロス、ファストフェージングなど)		可変値	0

係数		損失値 [dB]				
		Dense	Violent	Heavy	Medium	Light
❽ Fog ※	可変値	0		0	0	0
❾ Rain ※	可変値		0	0	0	0
❿ Snow ※	可変値			0	0	0



気象水蒸気減衰量は降水量(❾)に依存

※Ranplanの現在の仕様では気象条件(❽❾❿)はシミュレーションに考慮されない ⇒今後ツールのアップデートで実装される予定

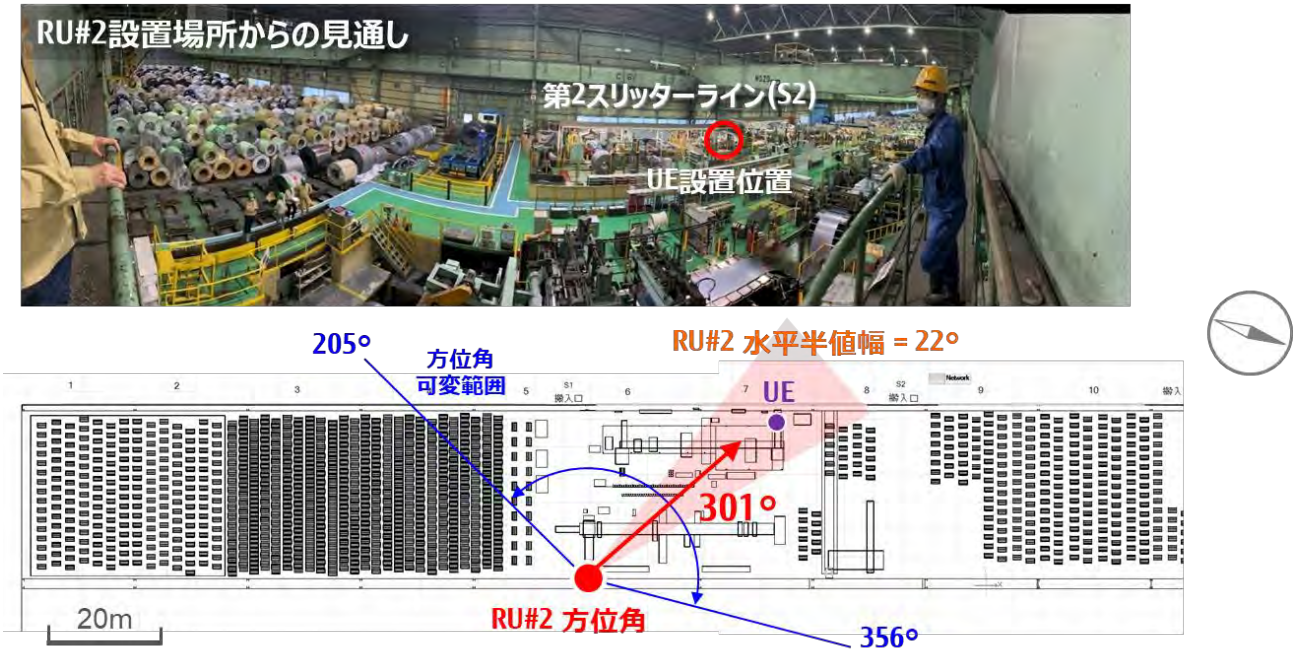
材質係数

係数		発生回数	損失値 [dB]				
			Concrete(Medium)	Concrete(Heavy)	Wood(Heavy)	Glass	Steel
❷ 透過	可変値	5	27.4	44.35	12.21	1.73 → 5 ※	87.9
❸ 反射	可変値	7	7.5	6	13.65	7.53	0.05
❹ 回折	可変値	2	44	38	47	44	45

※現地調査結果を踏まえ、ガラスの透過損失のみ初期値の1.73dBから5dBに変更

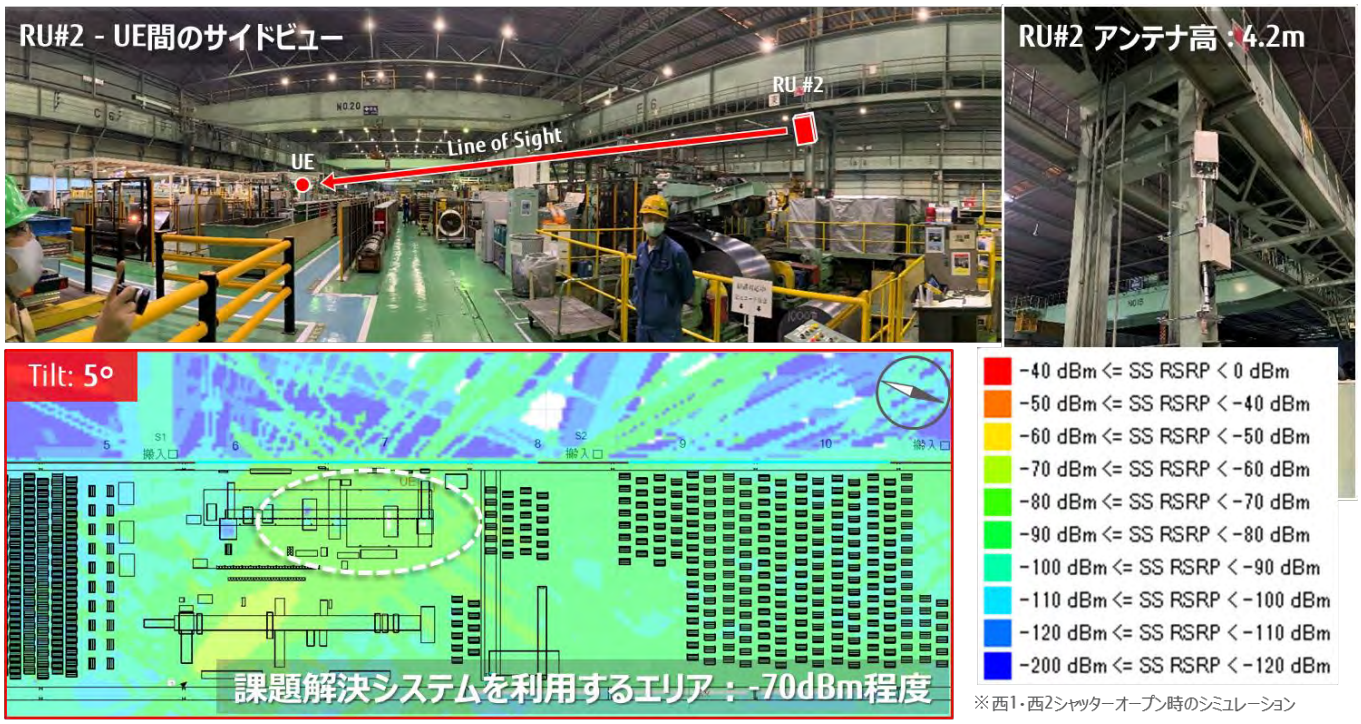
課題解決システム「目視検査の自動化」は端末を第 2 スリッターラインに固定設置するため、南側基地局アンテナ（RU#2）の方位角は端末設置位置に向けた 301°に設定した。基地局アンテナ設置位置からの見通しおよび方位角を（図 5.1.2-9）に示す。

図 5.1.2-9）南側基地局アンテナ（RU#2）の方位角



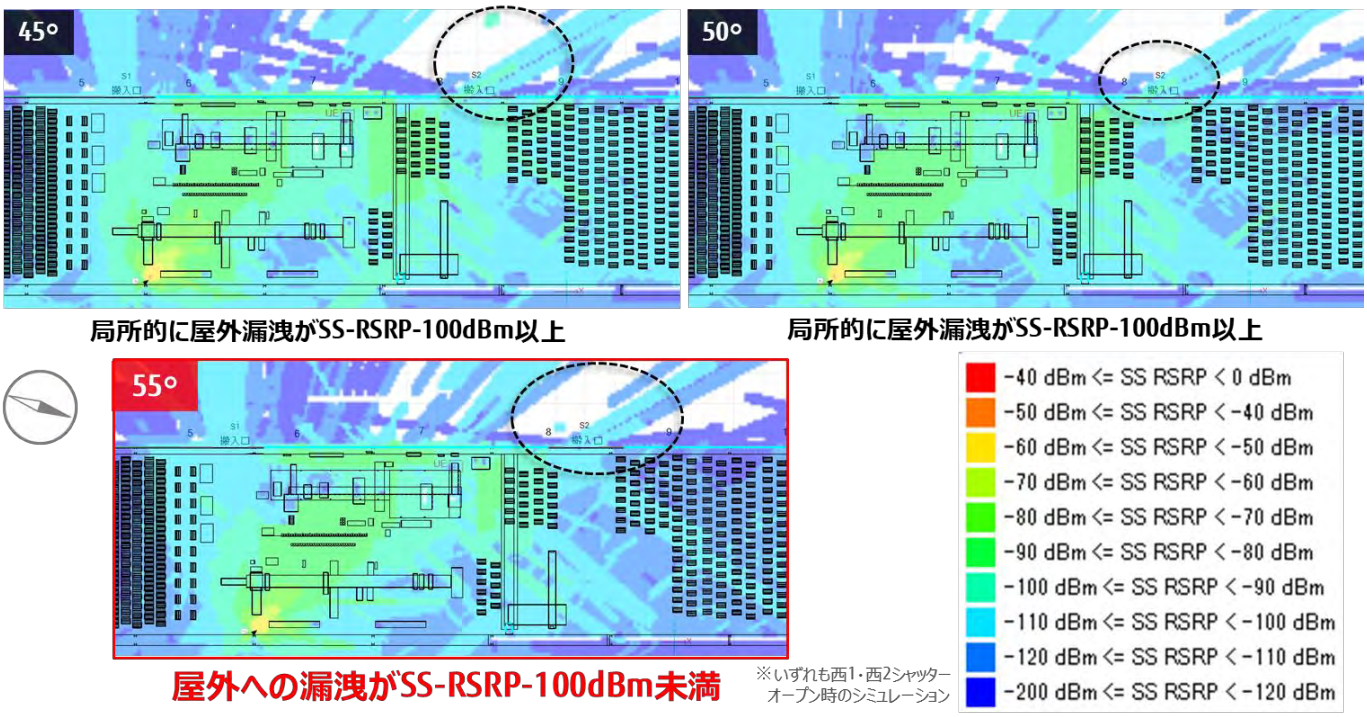
また、チルト角においても第 2 スリッターライン固定設置端末にメインビームが最も接近する 5°に設定することで「目視検査の自動化」だけでなく「遠隔作業者支援」を利用するエリアも SS-RSRP -70dBm 程度の受信電力を確保できる見込みとなった。基地局アンテナと端末の位置関係とシミュレーションによる SS-RSRP ヒートマップを（図 5.1.2-10）に示す。

図 5.1.2-10）南側基地局アンテナ（RU#2）のチルト角設定(5°)



続いて「屋外漏洩評価」におけるチルト角を深く設定した場合に漏洩レベルをどの程度抑えられるかについて 45° 50° 55° でシミュレーションした結果を（図 5.1.2-11）に示す。

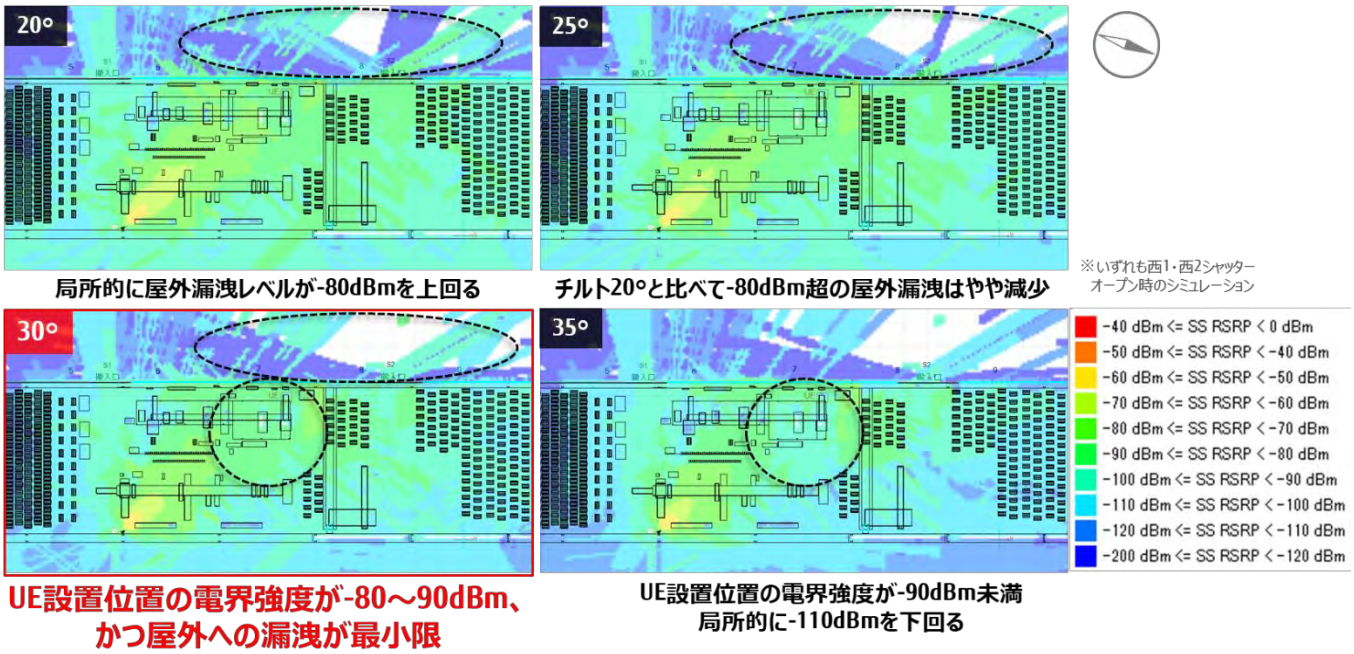
図 5.1.2-11）屋外漏洩評価時のチルト角：深いパターン



チルト角を 55°まで深くした場合、シミュレーション上、屋外への漏洩レベルが SS-RSRP -100dBm 未満となることが確認できたため、深いパターンには 55°を採用した。

更に、屋内カバーエリアと屋外漏洩のバランスを取るために、チルト角中間パターンとして 20°25°30°35°でシミュレーションした結果を（図 5.1.2-12）に示す。

図 5.1.2-12）屋外漏洩評価時のチルト角：中間パターン



課題解決システムのカバーエリアにて SS-RSRP -90~-80dBm を確保しつつ、屋外漏洩を効果的に抑えられているチルト角 30°を中間パターンに採用した。

エリアシミュレーションの結果を踏まえ、本技術実証で行う各評価項目における基地局アンテナの方位角およびチルト角の一覧を（図 5. 1. 2-13）に示す。

図 5.1.2-13）全評価項目の基地局アンテン角パターン一覧

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">L5G技術実証
検証項目</th><th colspan="8">基地局諸元</th><th colspan="2">シャッター開閉</th></tr>
<tr><th colspan="2">受信アンテナ高(m)</th><th colspan="2">送信出力(dBm)</th><th colspan="2">アンテナ方位角(°)</th><th colspan="2">アンテナチルト角(°)</th><th rowspan="2">西#1</th><th rowspan="2">西#2</th></tr>
<tr><th>端末UE</th><th>RU#1</th><th>RU#2</th><th>RU#1</th><th>RU#2</th><th>RU#1</th><th>RU#2</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="2">エリア品質評価</td><td>0.3</td><td rowspan="2">停波</td><td rowspan="2">24.9</td><td rowspan="2">停波</td><td rowspan="2">❶ 301</td><td rowspan="2">停波</td><td rowspan="2">❻ 5</td><td rowspan="2">Open</td><td rowspan="2">Open</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="14">屋外漏洩評価</td><td rowspan="14">2.0</td><td rowspan="14">停波</td><td rowspan="14">24.9</td><td rowspan="14">停波</td><td rowspan="14">❶ 301</td><td>停波</td><td>❻ 5</td><td rowspan="3">Open</td><td rowspan="9">Open</td></tr>
<tr><td>4</td><td>停波</td><td>❽ 30</td></tr>
<tr><td>5</td><td>停波</td><td>❼ 55</td></tr>
<tr><td>6</td><td>停波</td><td>❻ 5</td><td rowspan="3">Close</td></tr>
<tr><td>7</td><td>停波</td><td>❽ 30</td></tr>
<tr><td>8</td><td>停波</td><td>❼ 55</td></tr>
<tr><td>9</td><td>停波</td><td>❻ 5</td><td rowspan="3">Open</td><td rowspan="9">Close</td></tr>
<tr><td>10</td><td>停波</td><td>❽ 30</td></tr>
<tr><td>11</td><td>停波</td><td>❼ 55</td></tr>
<tr><td>12</td><td>停波</td><td>❻ 5</td><td rowspan="3">Close</td></tr>
<tr><td>13</td><td>停波</td><td>❽ 30</td></tr>
<tr><td>14</td><td>停波</td><td>❼ 55</td></tr>
<tr><td>15</td><td rowspan="2">ハンドオーバー
機能評価</td><td rowspan="2">2.0</td><td rowspan="2">24.9</td><td rowspan="2">24.9</td><td>❷ 244</td><td>❸ 258</td><td rowspan="2">❾ 30</td><td rowspan="2">❽ 30</td><td rowspan="2">Close</td><td rowspan="2">Close</td></tr>
<tr><td>16</td><td>❹ 171</td><td>❺ 332</td></tr>
<tr><td>17</td><td>準同期
スループット</td><td>2.0</td><td>停波</td><td>24.9</td><td>停波</td><td>❶ 301</td><td>停波</td><td>❻ 5</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>

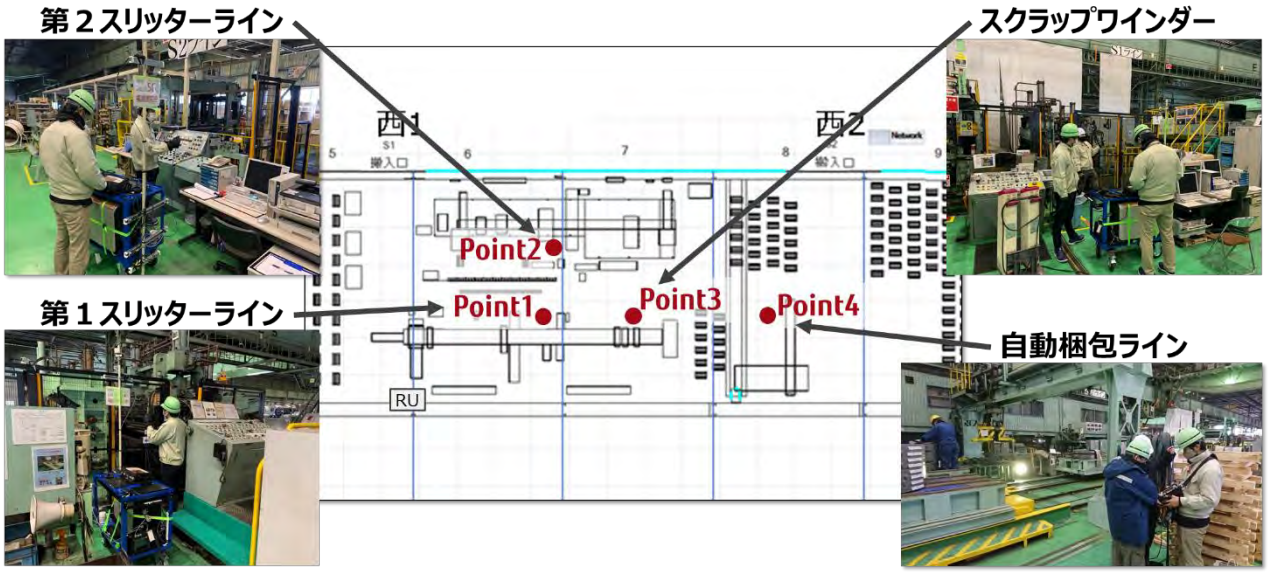
5.1.3.　環境ノイズ測定

本実証のコンソーシアムメンバーである京都大学原田教授からの助言を受け、ローカル５Ｇの電波発射がない状態における工場棟内の環境ノイズ測定を実施した。工場棟内にある鋼板加工設備が稼働中にスパイクノイズ等を発生させていないかを確認するため、各設備近傍の安全に接近できる位置に測定ポイントを設定する。

（図 5.1.3-1）および（図 5.1.3-2）に環境ノイズ測定地点を示す。

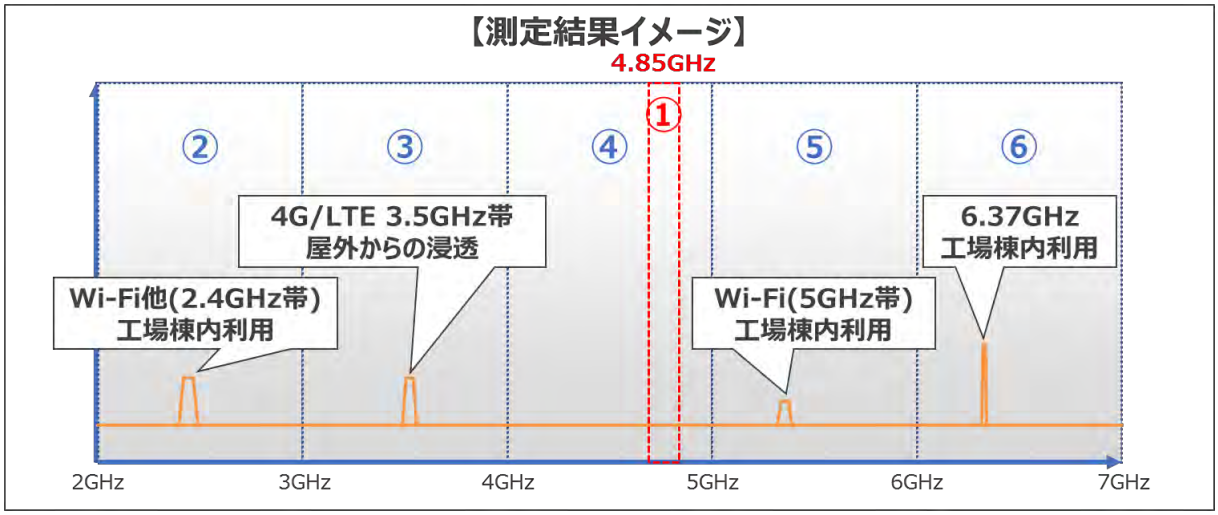
図 5.1.3-1）基地局からの全景

図 5.1.3-2）環境ノイズ測定ポイント



環境ノイズ測定パターンは(図 5.1.3-3)の通りとし、各設備の停止時の測定は工場の稼働が止まる土曜日、日曜日に実施した。使用するスペクトラムアナライザの設定は極力ノイズフロアレベルを低減するため、入力アッテネータ：0dB、RBW：10kHz とした結果、ノイズフロアは-95dBm 付近となった。測定閾値は-95dBm/10kHz を超えるノイズの有無とする。

図 5.1.3-3）環境ノイズ測定パターン



■ **測定Point1　第１スリッターライン　：停止時/稼働時**
・4.8GHz ～ 4.9GHz（100MHz幅）
・2.0GHz ～ 7.0GHz（1GHz幅刻み）

■ **測定Point2　第２スリッターライン　：停止時/稼働時**
・4.8GHz ～ 4.9GHz（100MHz幅）
・2.0GHz ～ 7.0GHz（1GHz幅刻み）

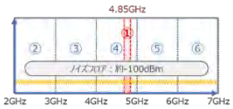
■ **測定Point3　スクラップワインダー　：停止時/稼働時**
・4.8GHz ～ 4.9GHz（100MHz幅）
・2.0GHz ～ 7.0GHz（1GHz幅刻み）

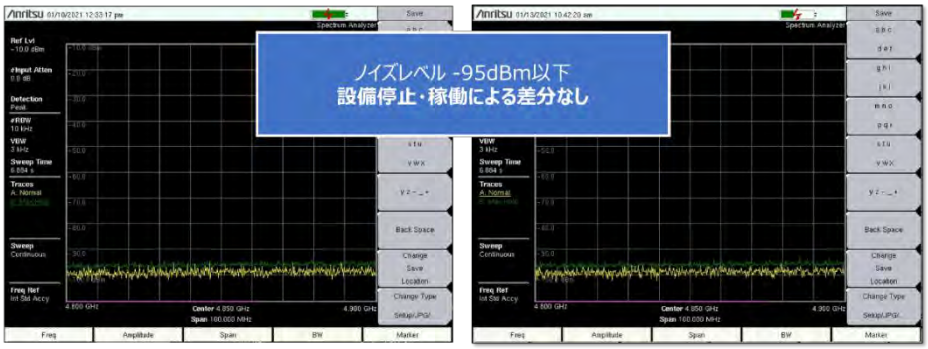
■ **測定Point4　自動梱包ライン　：停止時/稼働時**
・4.8GHz ～ 4.9GHz（100MHz幅）
・2.0GHz ～ 7.0GHz（1GHz幅刻み）

環境ノイズ測定結果を（図 5.1.3-4）に示す。

図 5.1.3-4）環境ノイズ測定結果（1/2）

■ 第１スリッターライン停止時　■ 第１スリッターライン稼働時

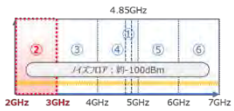


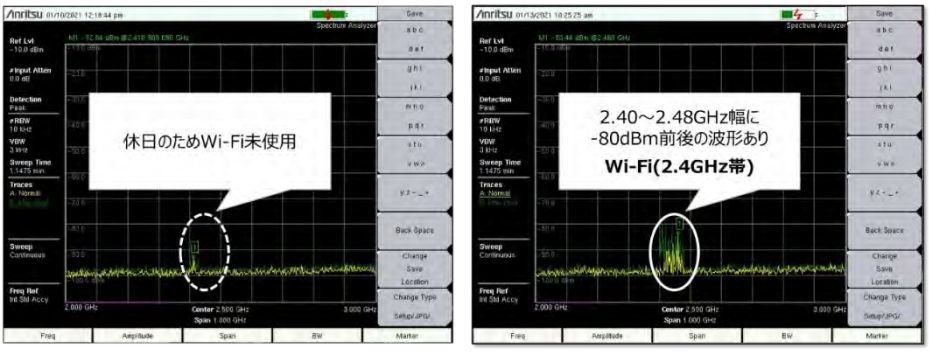


【測定器設定】
Input Attn ：0.0dB
RBW ：10kHz
VBW ：3kHz
SPAN ：100MHz
Max Hold

L5Gで使用する帯域に-95dBmを超える環境ノイズなし。

■ 第１スリッターライン停止時　■ 第１スリッターライン稼働時

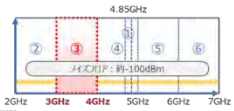


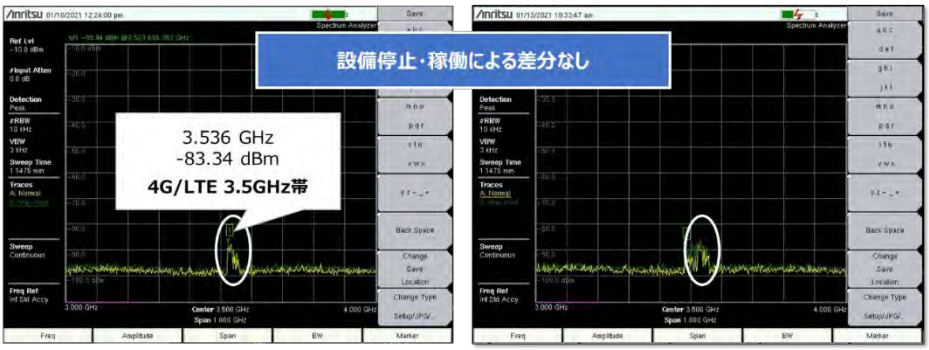


【測定器設定】
Input Attn ：0.0dB
RBW ：10kHz
VBW ：3kHz
SPAN ：1GHz
Max Hold

工場稼働時、2.4GHz帯Wi-Fi他と思われる波形を観測。

■ 第１スリッターライン停止時　■ 第１スリッターライン稼働時



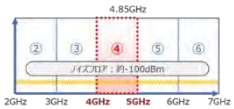


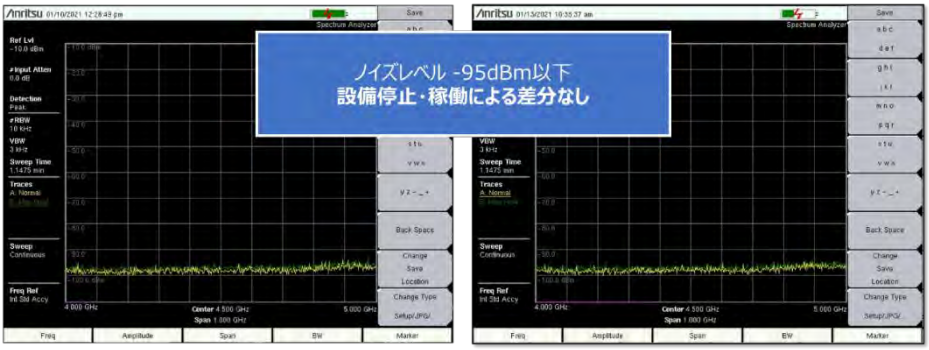
【測定器設定】
Input Attn ：0.0dB
RBW ：10kHz
VBW ：3kHz
SPAN ：1GHz
Max Hold

工場の稼働状況に関わらず、全国キャリアの4G/LTE 3.5GHz帯と思われる波形を観測。

図 5.1.3-4）環境ノイズ測定結果（2/2）

■ 第１スリッターライン停止時　■ 第１スリッターライン稼働時

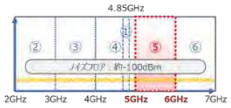


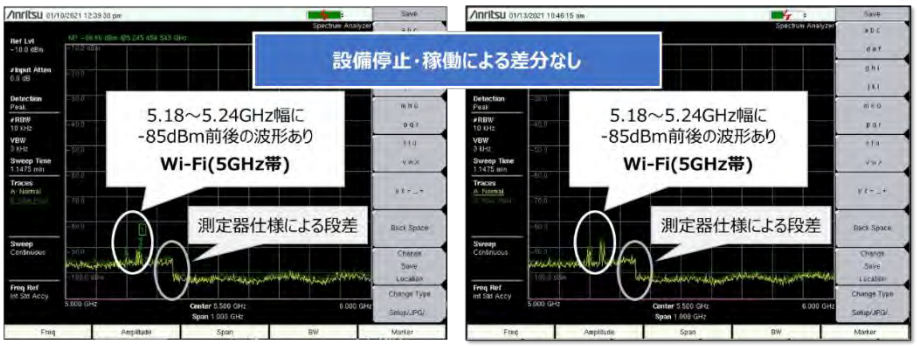


【測定器設定】
Input Attn ：0.0dB
RBW ：10kHz
VBW ：3kHz
SPAN ：1GHz
Max Hold

L5Gで使用する帯域を含む4GHz台に-95dBmを超える環境ノイズなし。

■ 第１スリッターライン停止時　■ 第１スリッターライン稼働時

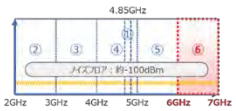


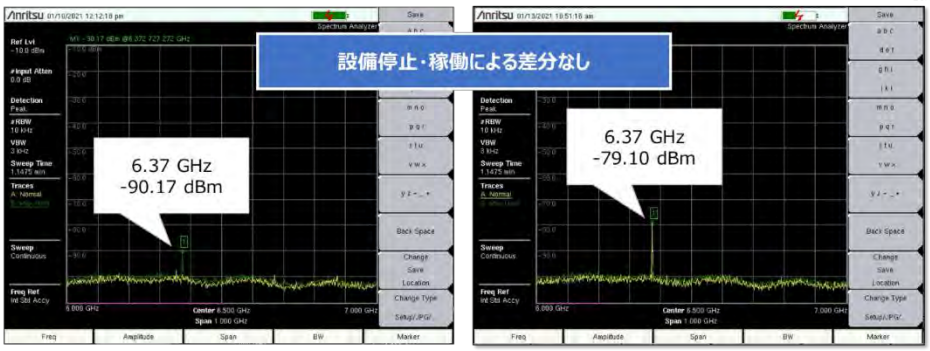


【測定器設定】
Input Attn ：0.0dB
RBW ：10kHz
VBW ：3kHz
SPAN ：1GHz
Max Hold

5GHz帯Wi-Fiと思われる波形を観測。
5.35GHzのノイズフロア段差は測定器(MS-2724B)の仕様(内部雑音差)であり、環境ノイズとは無関係。

■ 第１スリッターライン停止時　■ 第１スリッターライン稼働時





【測定器設定】
Input Attn ：0.0dB
RBW ：10kHz
VBW ：3kHz
SPAN ：1GHz
Max Hold

工場棟内に6.37GHzの発信源がある模様。

【環境ノイズ測定結果】

第１第２スリッターライン、スクラップワインダー、自動梱包ラインの停止中/稼働中の環境ノイズに有意な差は見られなかったため、各ライン設備は測定帯域(2～7GHz)においてノイズ発生源ではないと判断。

また、工場棟内で使用されている Wi-Fi や、外来波としてのモバイルキャリアの電波は妥当な電波強度で観測されることを確認できました。こちらもローカル 5G(4.7GHz 帯)への影響はないと判断した。

5.1.4. 使用測定器類

（１）RF スキャナ（エリアテスタ）

Sub6 モジュールを搭載した RF スキャナ（エリアテスタ）

機材の外観、仕様およびアンテナパターンを（図 5.1.4-1）、（図 5.1.4-2）および（図 5.1.4-3）に示す。

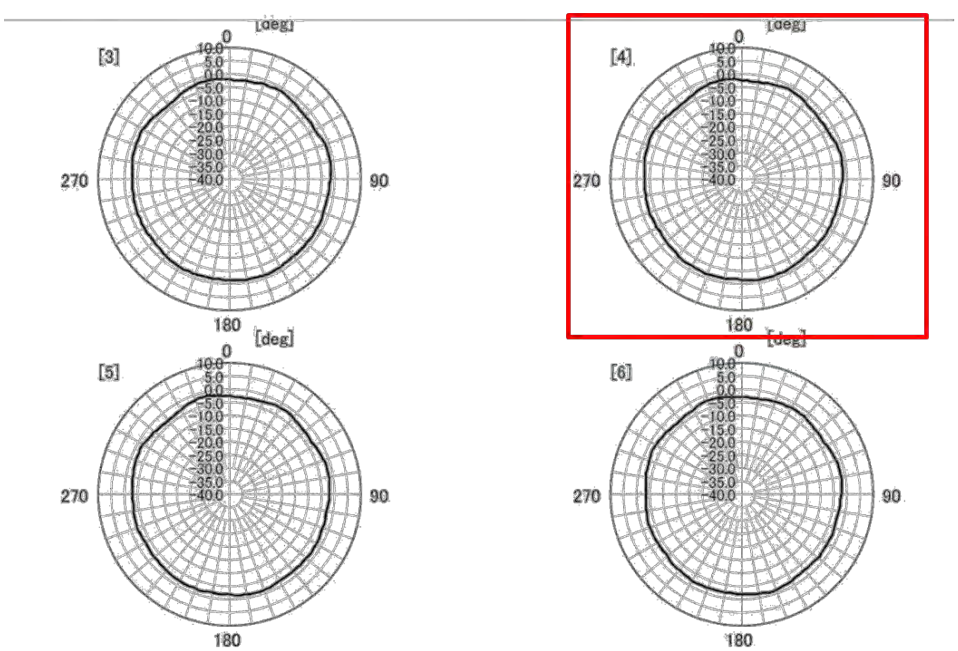
図 5.1.4-1）エリアテスター ML8780A（アンリツ）外観

図 5.1.4-2) 5G NR 測定ユニット仕様

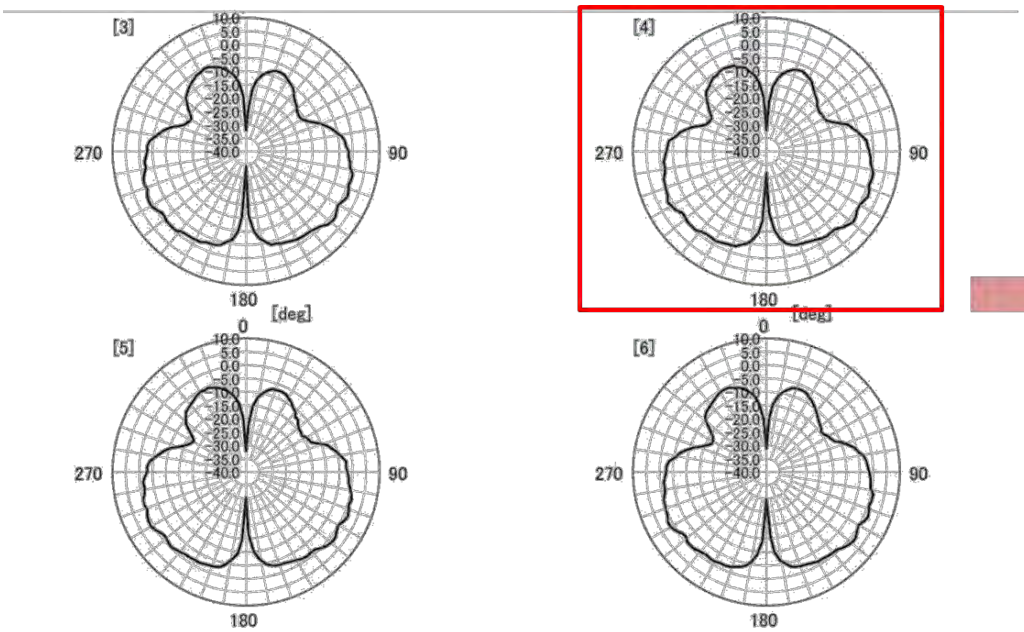
5GNR TDD sub-6GHz測定ユニット MU878070A

項　目		規　格
電気的性能	入力コネクタ	RF信号入力：SMA-J、50Ω（公称値） 上位ユニットインタフェース 特殊規格コネクタ：2B200-6430-8N2AB（挿抜回数：500回以上） 下位ユニットインタフェース 特殊規格コネクタ：2A200-6130-8N2AB（挿抜回数：500回以上）
	周波数範囲	MX878071A選択時：3600 MHz～4200 MHz MX878072A選択時：4400 MHz～4900 MHz 5G NR TDD測定時の確度保証範囲はSSBの中心周波数設定が以下の範囲 最小周波数 +3.6 MHz～最大周波数 −3.6 MHz CW測定時の確度保証範囲 最小周波数 +10 MHz～最大周波数 −10 MHz
	チャネル帯域幅	10/15/20/30/40/50/60/70/80/90/100 MHz
	設定分解能	0.01 MHz
	基準発振器	エージングレート：±1.0 ppm/年（水晶メーカ保証による）
	測定種別および測定対象信号	5G NR測定 Duplex Mode：TDD Cyclic Prefix：Normal SSB Block Subcarrier Spacing：30 kHz 被測定受信信号：SSS（Secondary Synchronization Signal） DMRS for PBCH（Demodulation Reference Signal） SS周期：5/10/20/40/80/160 ms 測定項目：SS-RSRP、SS-RSRQ、SS-SIR、Transmission Power、RSSI、DMRS-RSRP、DMRS-SIR、Timing CW測定 被測定受信信号：無変調波 測定項目：電力 スペクトラムモニタ 被測定受信信号：指定なし 測定項目：電力
電力測定	最大入力レベル	−25 dBm/20 MHz ＊：5G NR TDD測定 SS-RSRP、DMRS-RSRP測定では−53.2 dBmに相当する
	絶対最大入力	0 dBm、0 Vdc
	分解能	0.1 dB
	表示単位	5G NR TDD測定 SS-RSRP、DMRS-RSRP、Transmission Power、RSSI：dBm SS-RSRQ、SS-SIR、DMRS-SIR、遅延プロファイル：dB CW測定 dBm スペクトラムモニタ dBm、dBμV、dBμV/m
	5G NR TDD 測定確度	Es/Iot［dB］ / 最大入力 40 / −56.2 dBm 3 / −58.0 dBm 0 / −59.3 dBm −3 / −61.0 dBm −6 / −63.2 dBm SSS RSRP：±2.5dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−3 dB ≦ Es/Iot） ±3.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−6 dB ≦ Es/Iot <−3 dB） ±4.7 dB（−129 dBm ≦ RSRP < −110 dBm、−6 dB ≦ Es/Iot） RSRQ：±2.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−6 dB ≦ Es/Iot ≦ +3 dB） SIR：±2.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−3 dB ≦ Es/Iot ≦ +3 dB） ±3.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−6 dB ≦ Es/Iot <−3 dB） DMRS RSRP：±2.5dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−3 dB ≦ Es/Iot） ±3.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−6 dB ≦ Es/Iot <−3 dB） ±4.7 dB（−129 dBm ≦ RSRP <−110 dBm、−6 dB ≦ Es/Iot） SIR：±2.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP ≦ 最大入力、−3 dB ≦ Es/Iot ≦ +3 dB） ±3.5 dB（−110 dBm ≦ RSRP <最大入力、−6 dB ≦ Es/Iot <−3 dB）
	CW測定確度	±2.5 dB（−110 dBm ≦ CW入力 ≦ −25 dBm）

図 5. 1. 4-3) Z1911B アンテナパターン



	Amplitude Line	Frequency [MHz]	Location	Angle at Max.[deg]	Max. Gain [dBi]	Avg. Gain [dBi]	Polarization
1		4820.000	[1]	84.0	−1.299	−2.087	V
2		4830.000	[2]	159.0	−1.206	−1.992	V
3		4840.000	[3]	162.0	−0.995	−1.967	V
4		4850.000	[4]	165.0	−1.046	−2.081	V

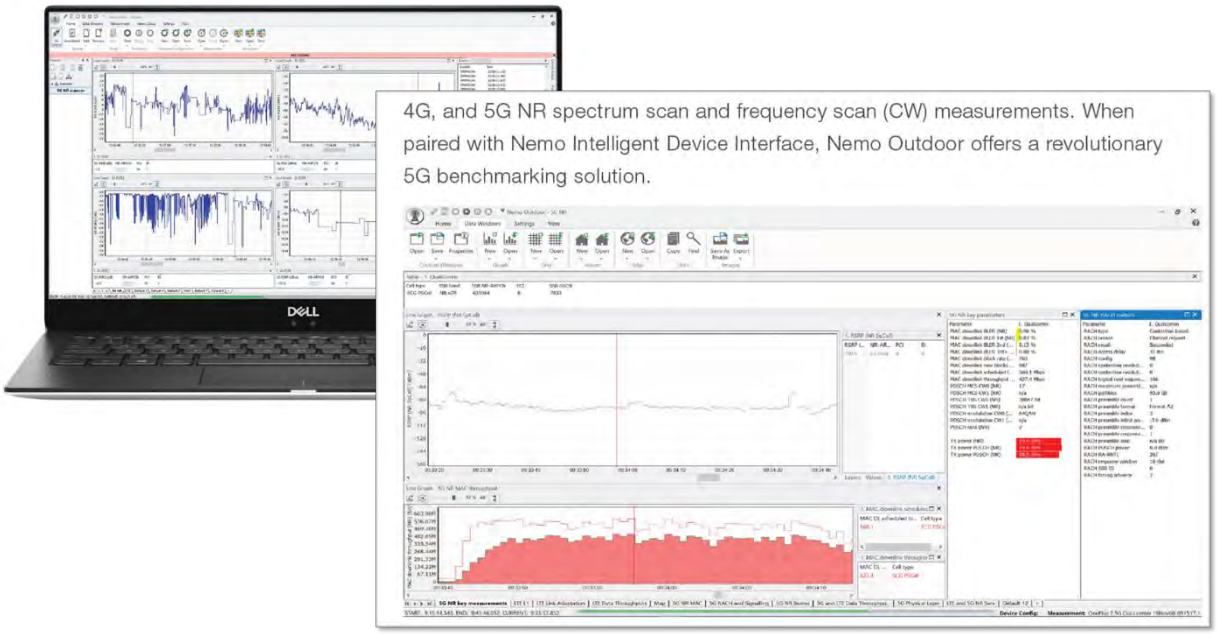


	Amplitude Line	Frequency [MHz]	Location	Angle at Max.[deg]	Max. Gain [dBi]	Avg. Gain [dBi]	Polarization
1		4820.000	[1]	129.0	1.679	−3.334	H
2		4830.000	[2]	129.0	1.503	−3.534	H
3		4840.000	[3]	129.0	1.562	−3.488	H
4		4850.000	[4]	129.0	1.745	−3.269	H

（２）Nemo outdoor（端末ステータスモニター）

端末のステータモニターとして、ソフトウェア測定器を使用する。当該ソフトウェアをインストールしたPCと5G端末を接続し、5G NRにおける評価項目を測定する。Nemo outdoorの画面イメージと5G NR評価項目を（図5.1.4-4）に示す。

図5.1.4-4）Nemo outdoor画面イメージと5G NR評価項目



5G NR評価項目

大項目	中項目	詳細（評価項目）
Coverage	RSRP	**SS RSRP** (SS reference signal received power)
		CSI RSRP (CSI reference signal received power)
		SRS RSRP (SRS reference signal received power)
		PDSCH Signal Level (PDSCH signal received power)
		PUSCH Signal Level (PUSCH signal received power)
	RSRQ	**SS RSRQ** (SS reference signal received quality)
		CSI RSRQ (CSI reference signal received quality)
Capacity	SINR	**SS SINR** (SS signal-to-noise and interference ratio)
		CSI SINR (CSI signal-to-noise and interference ratio)
		SRS SINR (SRS signal-to-noise and interference ratio)
		PDSCH SINR (PDSCH signal-to-noise and interference ratio)
		PUSCH SINR (PUSCH signal-to-noise and interference ratio)
	Throughput	**PDSCH Throughput**
		PUSCH Throughput
Other	Other	**CQI Index**
		RSSI
		Path loss
		Best Server

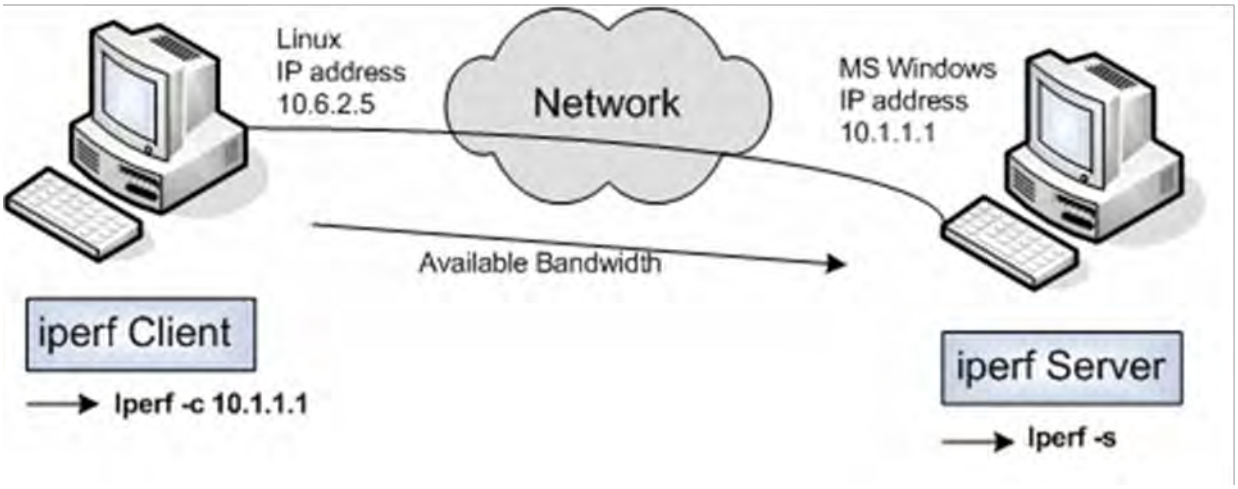
（３）通信実行速度測定ソフトウェア（iPerf）

回線の負荷試験（性能試験）を行うツールとして、iPerf を使用する。

2 台の PC を用いて、それぞれサーバー（送信）/クライアント（受信）とし、通信プロトコルを設定、試験パケットを送信してスループット実行速度を確認する。

ソフトウェアの構成イメージを（図 5.1.4-5）に示す。

図 5.1.4-5)iPerf 試験構成及び画面イメージ



Command Prompt - iperf3 -s

```
E:\PC-USR-DIR\Desktop\iperf-3.1.3-win64>iperf3 -s
-----------------------------------------------------------
Server listening on 5201
-----------------------------------------------------------
Accepted connection from 172.16.0.20, port 40828
[  5] local 172.16.0.5 port 5201 connected to 172.16.0.20 port 40830
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  5]   0.00-1.00   sec  62.7 MBytes   526 Mbits/sec
[  5]   1.00-2.00   sec  35.6 MBytes   299 Mbits/sec
[  5]   2.00-3.00   sec  39.7 MBytes   333 Mbits/sec
[  5]   3.00-4.00   sec  60.2 MBytes   505 Mbits/sec
[  5]   4.00-5.00   sec  22.6 MBytes   190 Mbits/sec
[  5]   5.00-6.00   sec  41.8 MBytes   351 Mbits/sec
[  5]   6.00-7.00   sec  45.2 MBytes   380 Mbits/sec
[  5]   7.00-8.00   sec  36.8 MBytes   309 Mbits/sec
[  5]   8.00-9.00   sec  53.6 MBytes   450 Mbits/sec
[  5]   9.00-10.00  sec  16.9 MBytes   142 Mbits/sec
[  5]  10.00-10.36  sec  2.25 MBytes  52.4 Mbits/sec
- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  5]   0.00-10.36  sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec                  sender
[  5]   0.00-10.36  sec   418 MBytes   338 Mbits/sec                  receiver
-----------------------------------------------------------
Server listening on 5201
-----------------------------------------------------------
```

（４）測定用台車

工場棟内の定点測定および歩行測定に使用する測定用台車を（図 5.1.4-6）に示す。

図 5.1.4-6）測定用台車（1/2）

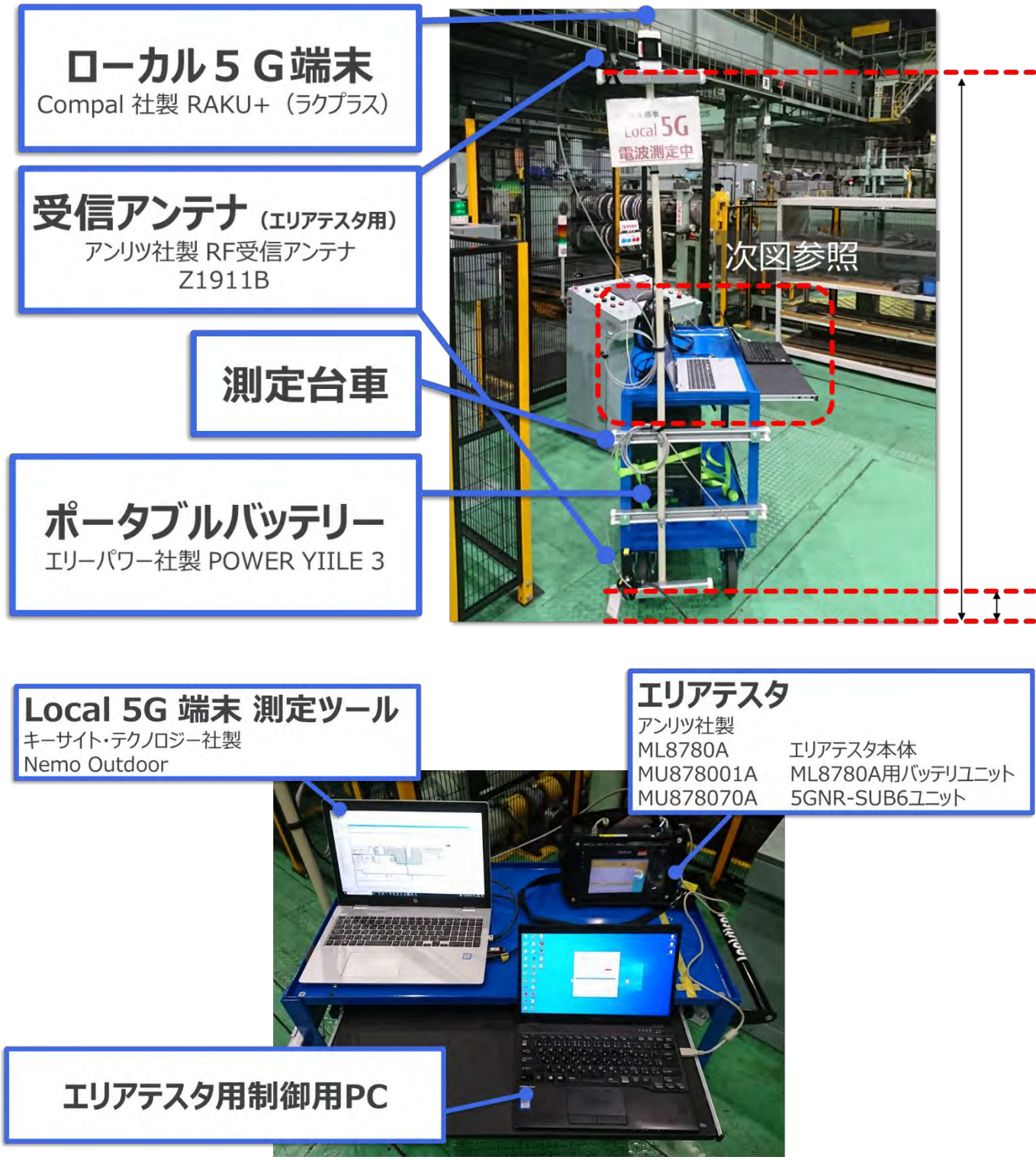
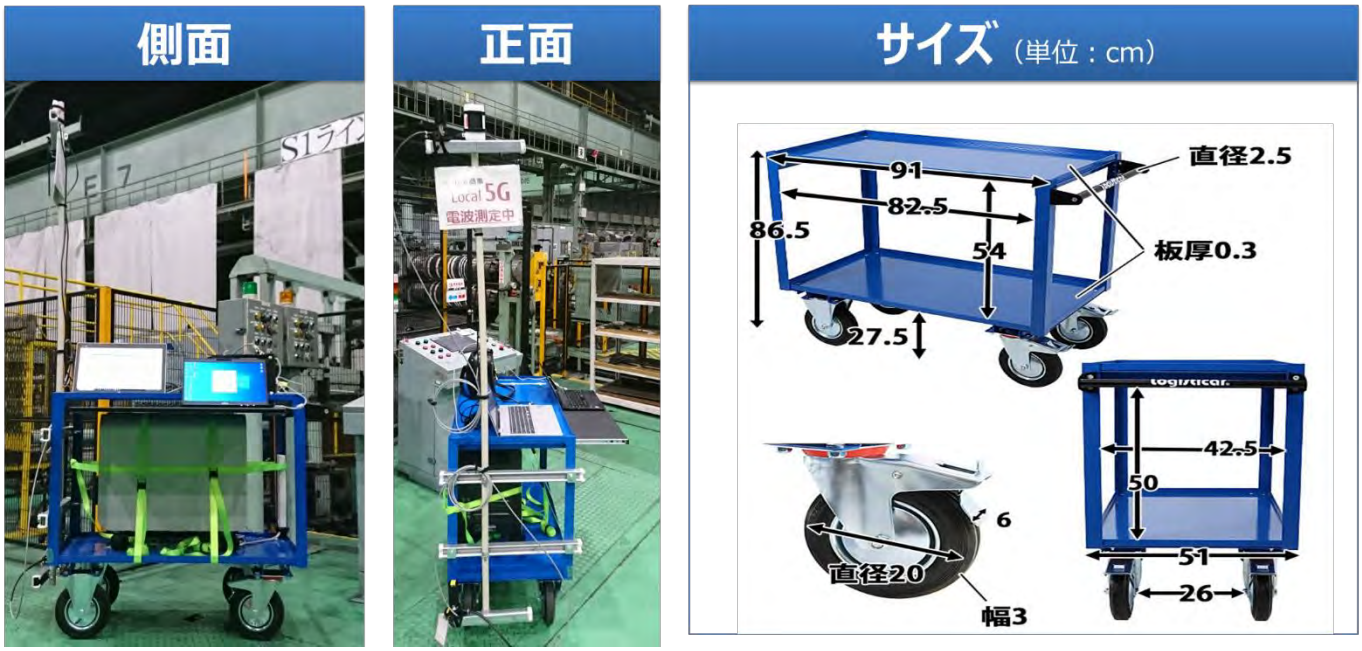


図 5.1.4-6）測定用台車（2/2）



5.2. 実証目標

本技術実証の目標を次の２点とする。

5.2.1. 国際標準化に資する検証

国際標準化(ITU-R)に資する工場屋内の一事例として 4.7GHz 帯の電波伝搬損失係数を求める。

【技術的課題】

4.7GHz 帯は工場屋内で新たに利用される周波数帯であるため、ITU-R P.1238 において工場屋内の伝搬損失係数 N がまだ定まっていない。令和 3 年 3 月現在、公表されている伝搬損失係数を（図 5.2.1-1）に示す。

図 5.2.1-1）ITU-R P.1238-10(08/2019)より屋内電波伝搬損失係数抜粋

ITU-R P.1238-10 5

TABLE 2 (*cont.*)

Frequency (GHz)	Residential	Office	Commercial	Factory	Corridor	Data Centre
2.4	28	30	–	–	–	–
2.625	–	44(5)	–	33(6)	–	–
3.5	–	27	–	–	–	–
4	–	28	22	–	–	–
4.7	–	19.8(14)	–	–	–	–
5.2	30(2) 28(3)	31	–	–	–	–
5.8	–	24	–	–	–	–
26	–	19.5(14)	–	–	–	–
12.65-14.15	–	–	–	19.5(12,18) 39.3(12,18)	18.3(4,12,18) 44.5(4,12,18)	–
25.3-28.3	–	–	–	19.0(12,18) 37.8(12,18)	19.2(4,12,18) 37.7(4,12,18)	–
28	–	18.4(12) 29.9(12)	27.6(8) 17.9(12, 13) 24.8(12, 13)	–	–	–
37	–	15.6(14)	–	–	–	–
38	–	20.3(12) 29.6(12)	18.6(12, 13) 25.9(12, 13)	–	–	–
51-57	–	15(10)	–	–	13(10) 16.3(4, 10)	–
60	–	22(1)	17(1)	–	16(1) (7)(9)	–
67-73	–	19(11)	–	18.3(12,18) 38.8(12,18)	18.8(4, 12,18) 35.1(4, 12,18)	–
70	–	22(1)	–	–	–	–
250		20.1(16)			19.0(9, 16)	
275		20(16)			19.2(9, 16)	
300	–	20(15)	–	–	19.5(9, 15)	20.2(15)
325		19.8(17)			19.6(9, 17)	

稼働中の工場屋内環境において、電波測定作業の安全を確保しつつ歩行測定による実測値を可能な限り広く収集することで屋内電波伝搬の特性を把握し伝搬損失係数 N を求める。

但し一言に工場屋内といっても、その空間的な広さや形状、電波の遮蔽、反射、回折に影響する外壁や地物の配置、基地局アンテナとの位置関係については他のカテゴリ（e.g. Office, Corridor, Residential）と比較してより多様性が高いと考えられるため、工場屋内における一事例と位置付けるとともに、算出した N 値の再現性を担保するための条件設定についても考察する。「項 5.3.5. 工場屋内における伝搬損失係数」に検証結果をまとめる。

5.2.2. 屋内エリアシミュレーション精度の向上

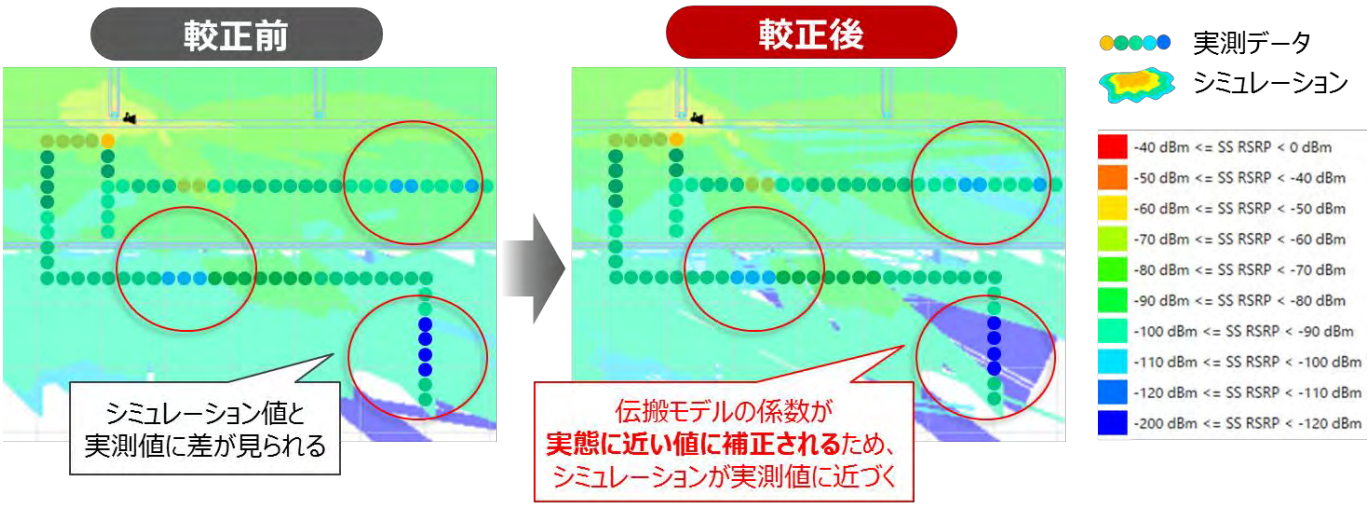
工場屋内外の歩行測定実測値をエリアシミュレータへフィードバックし伝搬モデルを較正することにより、シミュレーション精度の向上を目指す。

【技術的課題】

工場内にはライン設備など大型の遮蔽物が多数存在し、基地局アンテナから見て遮蔽の奥側で課題解決システムを利用するニーズも想定される。基地局数を最小に抑えた効率的なエリア設計のためには、事前に工場屋内のカバーエリアを正確に知ることが重要であるが、チューニング前のエリアシミュレーション精度がどの程度なのか、および実測値フィードバックによりシミュレーション精度がどの程度向上するのかが不明である。

工場内の様々な遮蔽オブジェクトを再現したレイトレースによる事前シミュレーション結果と歩行測定を含む工場棟屋内外の電波到達レベル実測値を比較する。差が生じた箇所については、実測値のフィードバックを反映してシミュレータ内の伝搬モデルに較正をかけ、チューニング前後でシミュレーション精度がどの程度向上するかを評価する。その際、シミュレーション精度の評価指標としてターゲット KPI を設定し達成度を定量的に表す。エリアシミュレーション精度向上のイメージを（図 5.2-2-1）に示す。

図 5.2.2-1）シミュレーション精度向上のイメージ



「項 5.4.6. 実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上」に検証結果をまとめる。

5.2.3. その他ローカル５Ｇの技術的課題の解決

（１）広い工場内の移動中も途切れないローカル５Ｇ活用

課題解決システム【遠隔作業者支援】に限らず、ローカル５Ｇを移動しながら利用するシーンは今後更に増えると考える。特に自動搬送台車（AGV）は工場内の広い範囲を動き回り、かつ端末アンテナ位置が低いことが想定されるため、端末アンテナ高 2.0m だけでなく、0.3m における２基地局間のハンドオーバー性能を検証する。

「項 5.5.1. ハンドオーバー機能検証」に検証結果をまとめる。

（２）上りリンクスループット不足の解消

課題解決システム【目視検査の自動化】および【遠隔作業者支援】はいずれも上りリンクの大容量通信を要求するものであった。工場におけるローカル５Ｇ活用では「現場の情報を遠隔地に送る」ことに大きなニーズがあるため、今後更に上りリンクスループットへの要求が高まると考える。マルチアンテナ技術の向上（MassiveMIMO）等による通信容量全体のパイを大きくする施策への期待値も高いが、確実に上りリンクへの容量割り当てが増加する「準同期 TDD」は、下りリンクに対する大容量通信要求が高くない工場環境において親和性の高いソリューションになり得る。本実証の機器調達タイミングにおいて「準同期 TDD」への対応は基地局、端末ベンダーとも「設定投入はできるが、まだ動作保証の段階にない」との回答だったため、実証環境にて設定投入してみて動作を確認する。

「項 5.5.2. 準同期 TDD のスループット測定」に検証結果をまとめる。

（３）工場内を移動する大型の電波遮蔽物による通信影響の把握と問題の解消

本実証環境では 20 トンを超える母材コイル等、大型の金属製電波遮蔽物がオーバーヘッドクレーンによって常時、地上高 4m 程度の中空を移動している。LOS 環境に固定設置した端末であってもタイミングによってはクレーン吊り荷の遮蔽により NLOS になることが頻繁に発生する。安全に長時間の定点測定が可能な地点を確保し、90 分間の連続測定を行いクレーン吊り荷遮蔽の通信への影響を把握し、必要であれば対策を検討する。

「項 5.5.3. 工場特有の環境要因による無線通信への影響評価」に検証結果をまとめる。

5.3. ユースケースに基づくローカル５Ｇの性能評価等

5.3.1. 評価・検証項目

基地局アンテナの方位角は「目視検査の自動化」現場ラック方向である 301°、同様にチルト角は 5° とし、電波測定および UDP・TCP のスループット測定を行う。

試験パターンを（図 5.3.1-1）に示す。

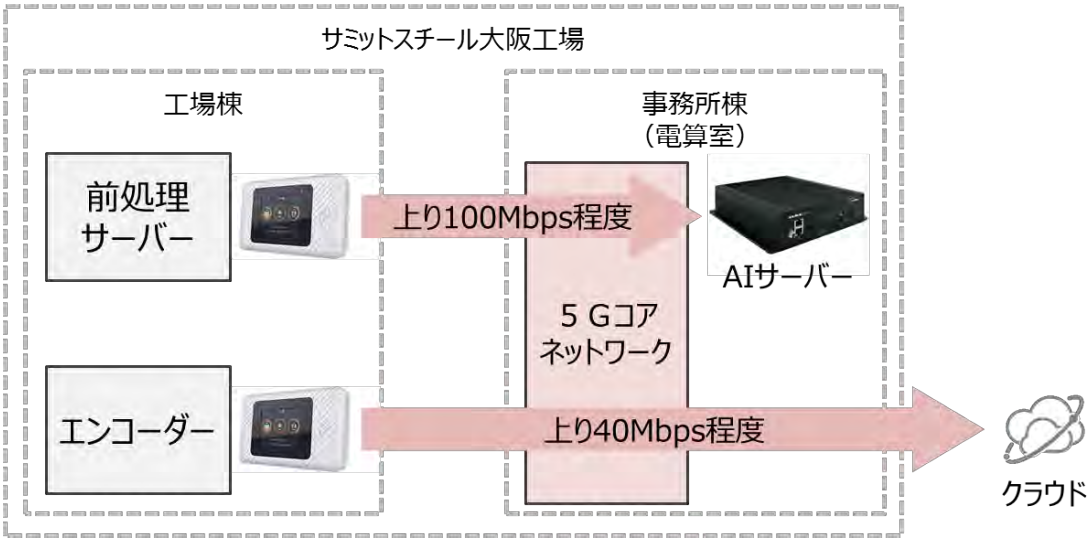
図 5.3.1-1）屋内エリア品質評価の試験パターン

L5G技術実証検証項目		基地局諸元							シャッター開閉	
		受信アンテナ高(m)	送信出力(dBm)		アンテナ方位角(°)		アンテナチルト角(°)		西#1	西#2
		端末UE	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2		
1	エリア品質評価	0.3	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
2		2.0								
3	屋外漏洩評価	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
4							停波	❽ 30		
5							停波	❼ 55		
6							停波	❻ 5	Close	
7							停波	❽ 30		
8							停波	❼ 55		
9							停波	❻ 5	Open	Close
10							停波	❽ 30		
11							停波	❼ 55		
12							停波	❻ 5	Close	
13							停波	❽ 30		
14							停波	❼ 55		
15	ハンドオーバー機能評価	2.0	24.9	24.9	❷ 244	❸ 258	❾ 30	❽ 30	Close	Close
16					❹ 171	❺ 332				
17	準同期スループット	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	—	—

5.3.2. 課題解決システムからの要求性能

本実証における２つの課題解決システムがローカル５Ｇに要求する性能を（図 5.3.2-1）に示す。

図 5.3.2-1）課題解決システムからの要求性能



なお、伝送遅延の低減に関しては、各課題解決システム全体における遅延時間の支配項がローカル５Ｇの外にある(*1)ため、伝送遅延に対する要求値は「１秒以内」と設定した。

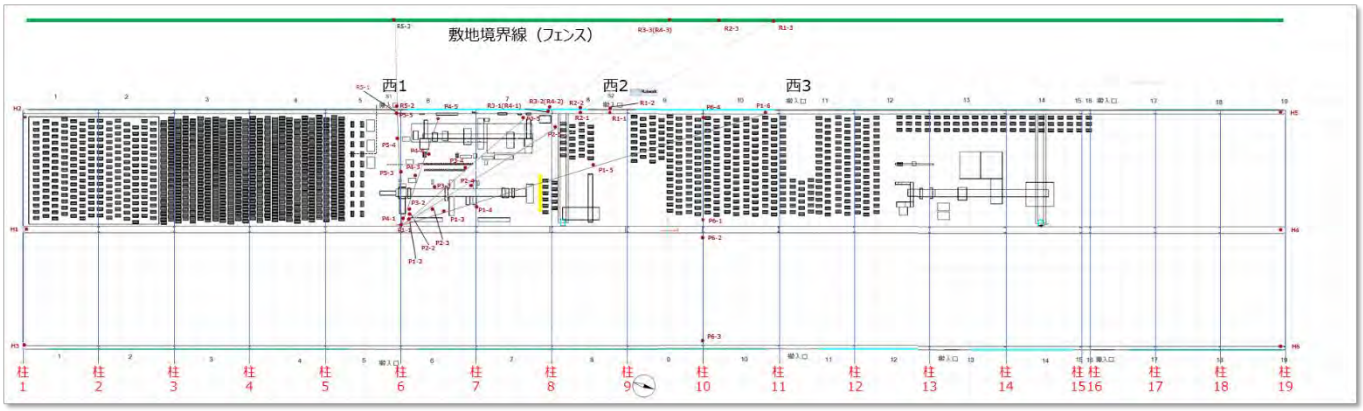
(*1)「目視検査の自動化」では前処理サーバーでの画像圧縮処理（数秒オーダー)、「遠隔作業支援」ではクラウドから映像視聴端末への配信処理（十数秒オーダー）が支配項となる。

5.3.3. 屋内測定ポイントの選定

基地局設置場所を中心に要求カバーエリアであるS2ライン周辺にて、基地局アンテナ～端末間の見通しあり/なし(LOS/NLOS)を網羅し、放射状に設定した直線上を5m, 10m, 20m, 50m, 100mの距離別にプロットした上で、工場稼働中であっても安全に測定が行えるポイントを抽出した。

結果、工場棟屋内に31地点を設定、（図 5.3.3-1）に測定ポイントを示す。

図 5.3.3-1）屋内エリア品質評価測定ポイント（1/3）
【工場棟 全体図】



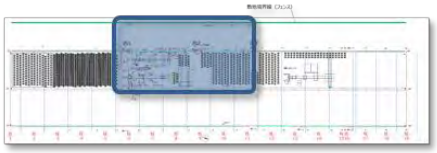
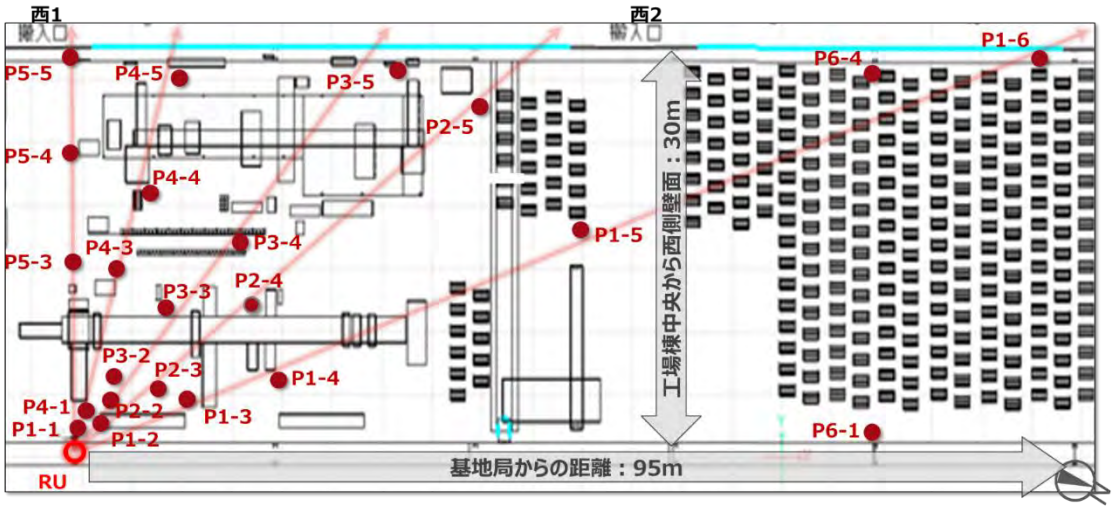
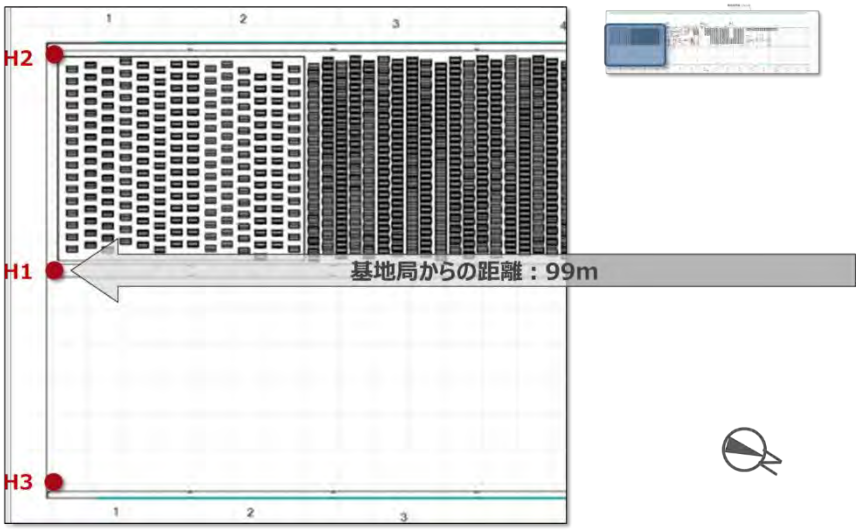


図 5.3.3-1）屋内エリア品質評価測定ポイント（2/3）

【工場棟 中央西側】



【工場棟 南側】



【工場棟 中央東側】

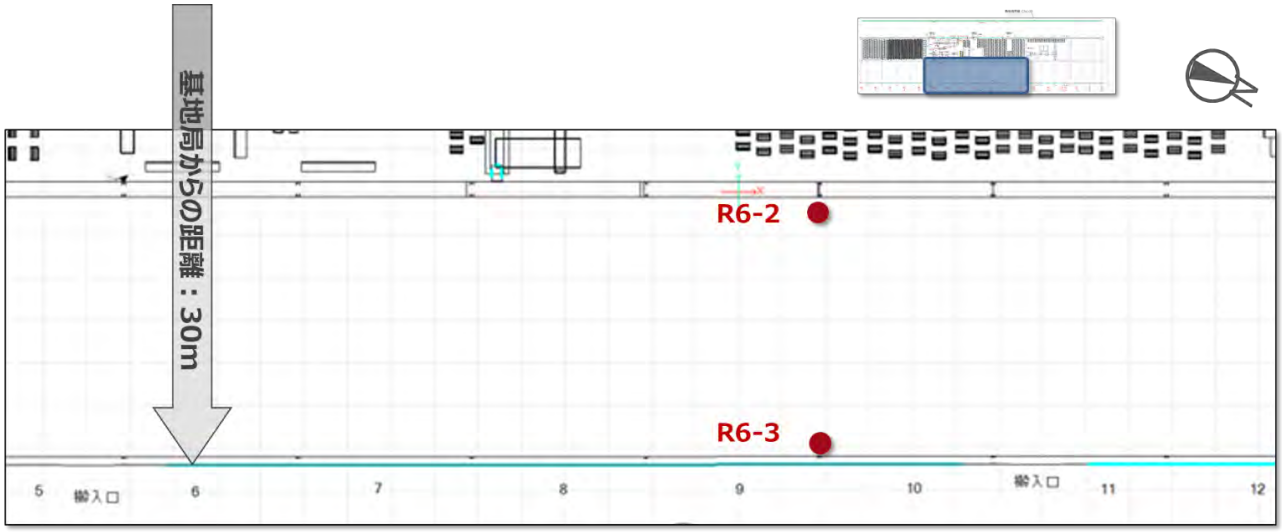
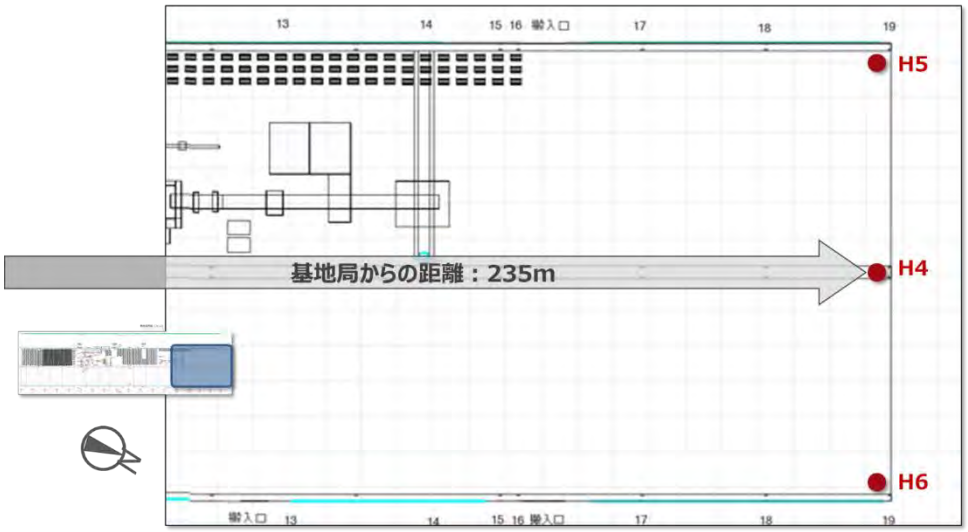
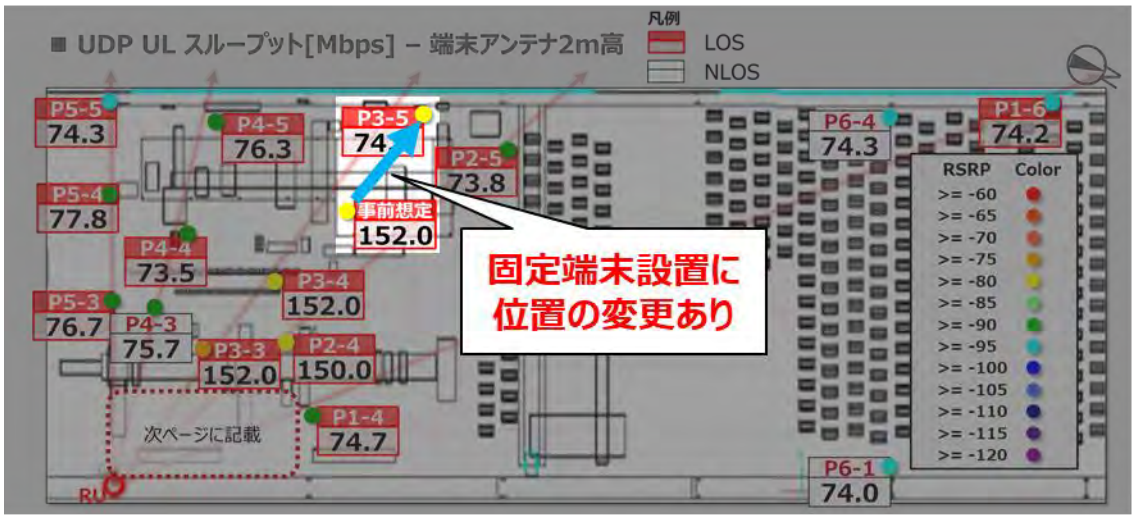


図 5.3.3-1) 屋内エリア品質評価測定ポイント (3/3)
【工場棟 北側】



なお、課題解決システム【目視検査の自動化】の固定端末について、エリア設計時点から実際の設置位置が変更になった。エリア設計時の端末想定位置と実際の位置を (図 5.3.3-2) に示す。

図 5.3.3-2) 【目視検査の自動化】固定端末設置位置の変更

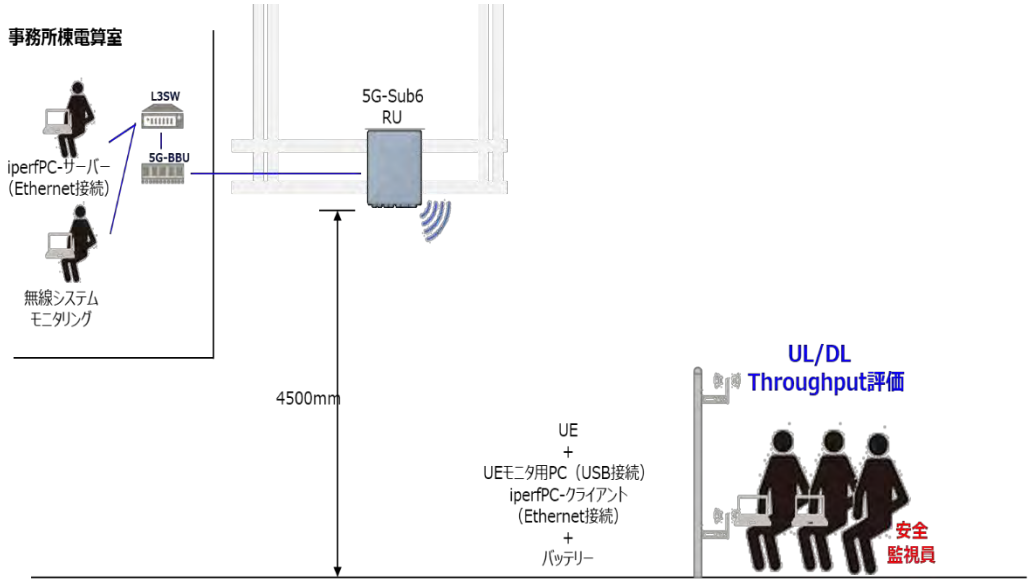


5.3.4. 測定方法（スループット評価）

実行通信速度測定ソフトウェア（iPerf）及び、端末ステータスモニター（Nemo outdoor）を用いた測定方法を（図 5.3.4-1）に示す。

事務所棟に設置したレイヤー３スイッチに接続した PC と端末配下 PC との間で、iPerf を用いて試験パケットを送受することで実行速度を確認する。試験パケット送信中に端末の受信品質情報を端末ステータスモニター（Nemo outdoor）にて定点測定する。測定時間としては 1 測定ポイントあたり 1 分間とし、2 回テストを実施し測定値に異常がないことを確認する。

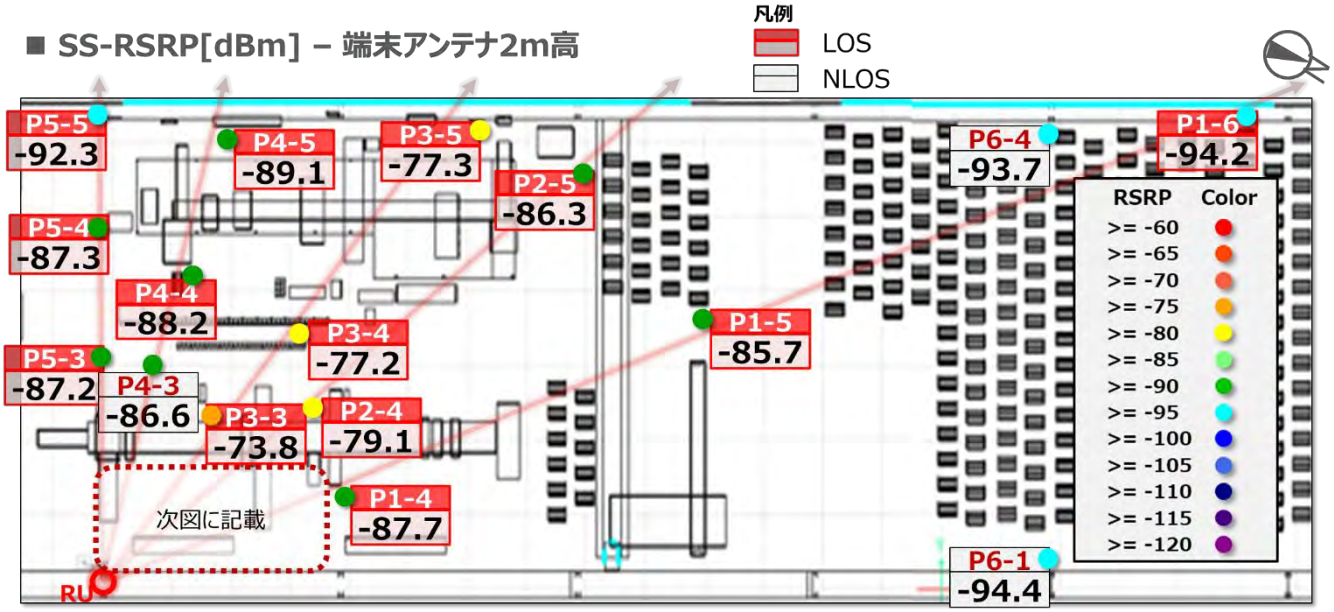
図 5.3.4-1）測定方法（スループット評価）



5.3.5. 性能評価結果

工場棟屋内エリア品質評価の測定結果について（図 5.3.5-1）に端末アンテナ 2.0m 高における SS-RSRP および UDP 上りリンク(UL)スループットをマッピングし、その他の測定値を合わせて（表 5.3.5-1）に示す。基地局アンテナのチルト角はすべて 5° で測定している。

図 5.3.5-1）エリア品質測定結果マッピング（1/4）



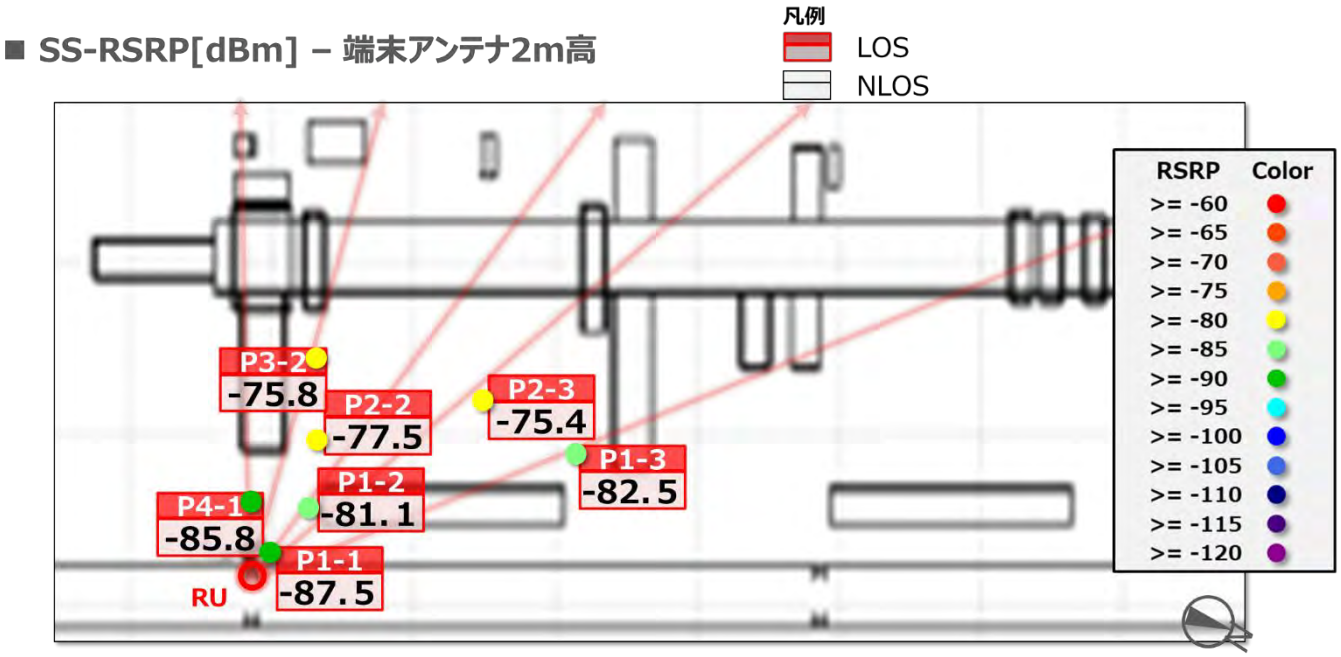
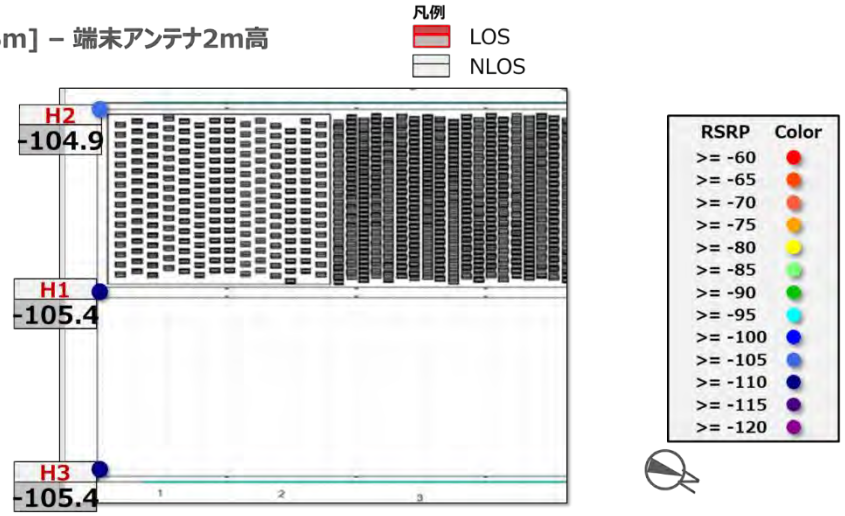
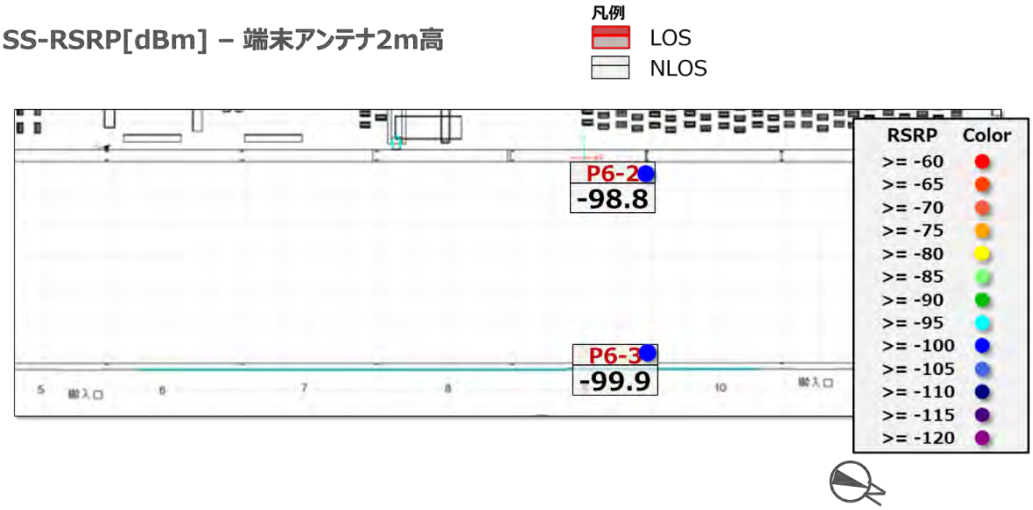


図 5.3.5-1）エリア品質測定結果マッピング（2/4）

■ SS-RSRP[dBm] – 端末アンテナ2m高



■ SS-RSRP[dBm] – 端末アンテナ2m高



■ SS-RSRP[dBm] – 端末アンテナ2m高

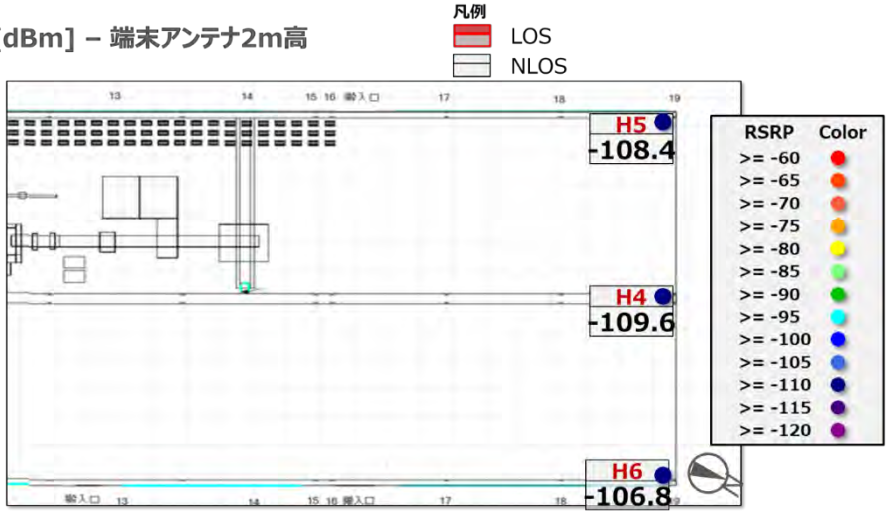
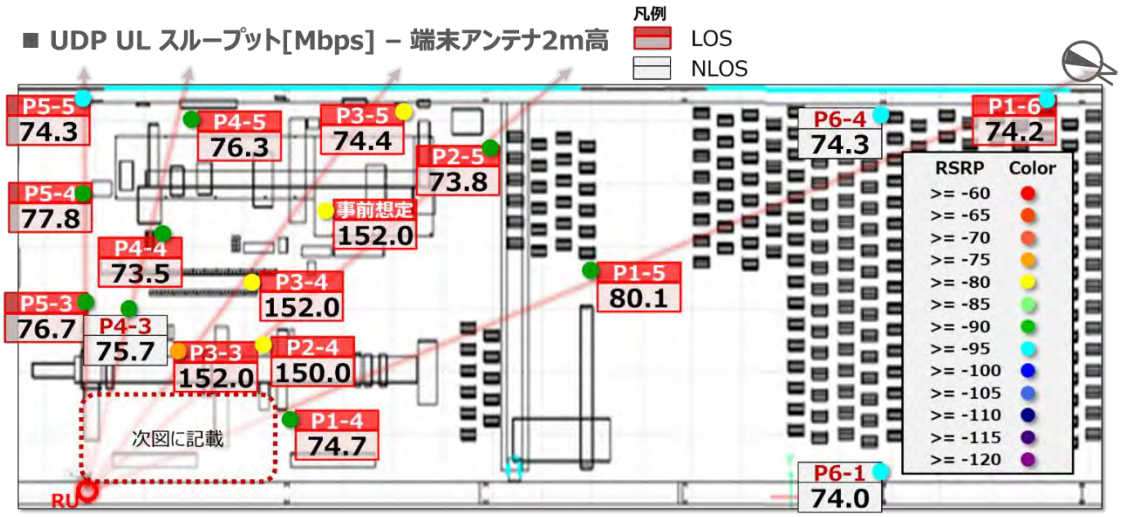
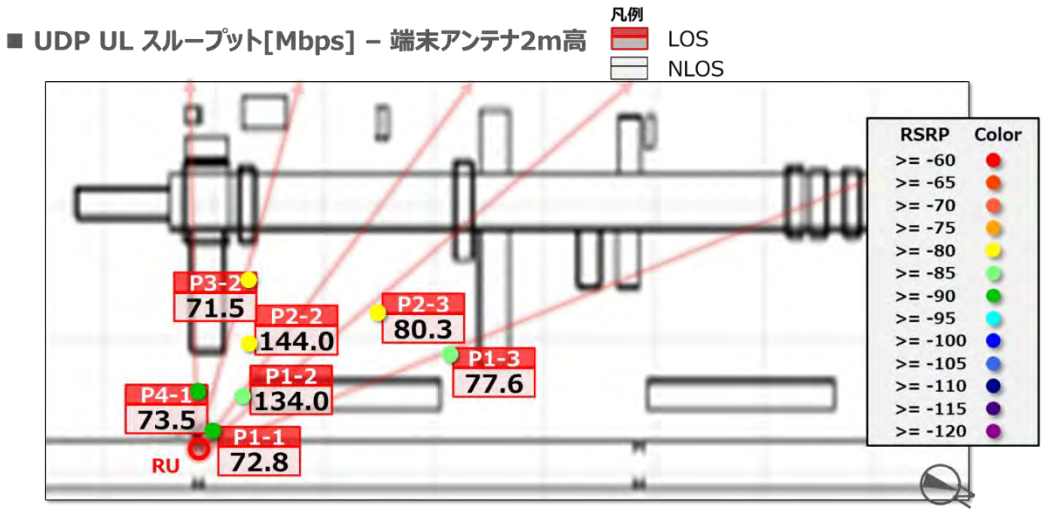


図 5.3.5-1）エリア品質測定結果マッピング（3/4）





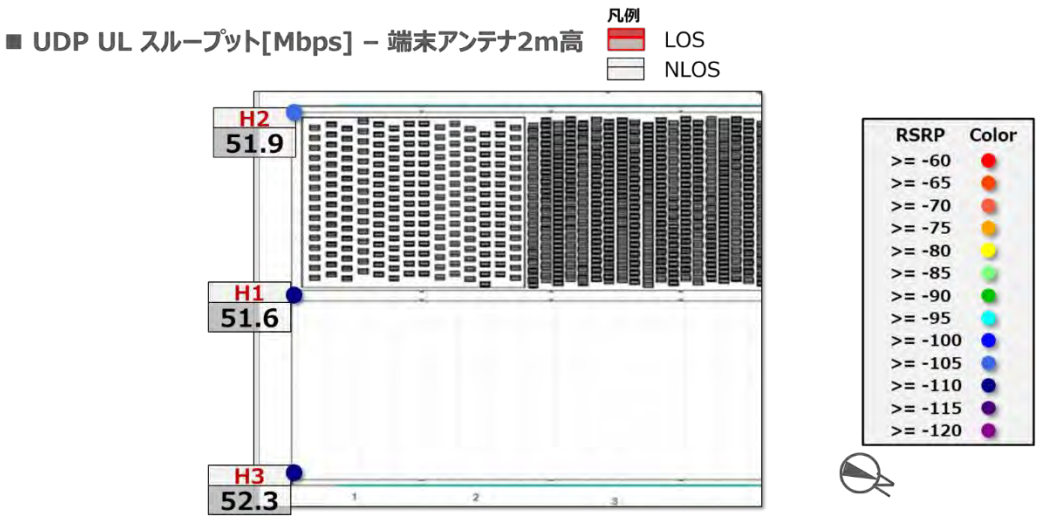


図 5.3.5-1）エリア品質測定結果マッピング（4/4）

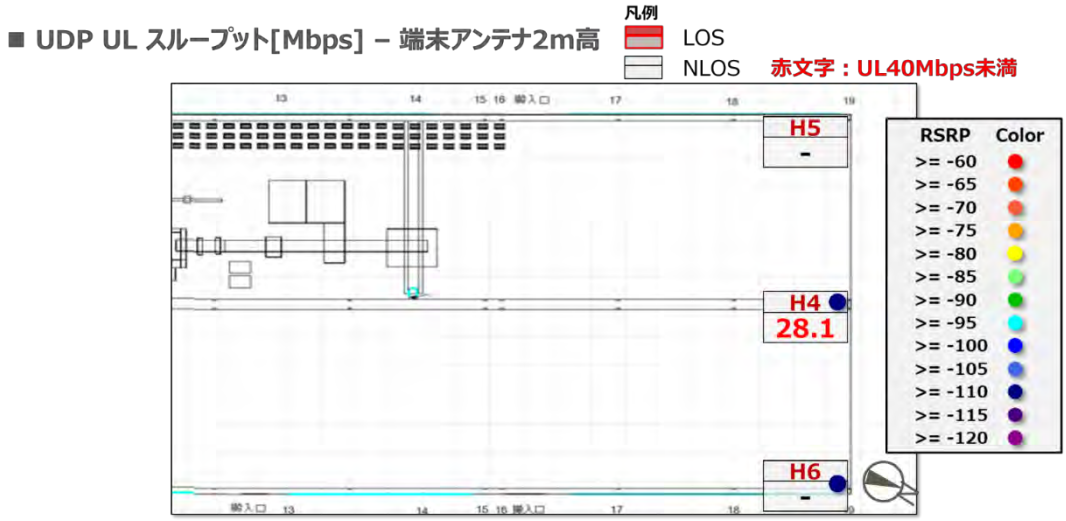


表 5.3.5-1）エリア品質測定結果（1/6）

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P1-1	2m	LOS	UDP	1st	-86.7	-87.5	413.8	190.0	256QAM	10.5	81.3	68.6	64QAM	20.3
				2nd	-89.0		397.9	184.0	256QAM	9.7	86.2	72.8	64QAM	15.0
			TCP	1st	-87.7		106.1	61.2	256QAM	9.9	80.6	35.9	64QAM	18.3
				2nd	-88.4		87.5	44.1	256QAM	10.3	78.7	35.9	64QAM	23.3
	0.3m	LOS	UDP	1st	-92.5	-90.1	355.2	316.0	64QAM	11.9	86.8	72.7	64QAM	12.6
				2nd	-92.8		359.5	309.0	64QAM	13.3	85.4	75.1	64QAM	12.6
			TCP	1st	-94.0		87.5	48.1	64QAM	12.1	80.3	33.5	64QAM	17.8
				2nd	-94.5		83.2	49.3	64QAM	11.1	79.4	31.1	64QAM	16.7
P1-2	2m	LOS	UDP	1st	-79.1	-81.2	426.2	218.0	256QAM	10.9	115.3	91.0	64QAM	18.6
				2nd	-79.5		447.1	215.0	256QAM	10.8	161.7	134.0	64QAM	16.5
			TCP	1st	-79.6		120.9	69.9	256QAM	10.0	151.5	47.8	64QAM	20.0
				2nd	-81.0		122.5	87.6	256QAM	7.0	172.2	55.0	64QAM	13.5
	0.3m	LOS	UDP	1st	-86.8	-90.4	401.8	225.0	256QAM	10.9	84.6	73.7	64QAM	13.3
				2nd	-86.7		407.7	219.0	256QAM	8.9	83.8	73.9	64QAM	15.6
			TCP	1st	-88.5		104.9	62.2	256QAM	11.3	85.7	37.7	64QAM	17.4
				2nd	-85.4		95.2	58.4	256QAM	11.3	82.2	37.3	64QAM	16.8

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P1-3	2m	LOS	UDP	1st	-86.1	-82.5	370.1	211.0	256QAM	12.2	83.0	77.6	64QAM	12.3
				2nd	-83.7		369.8	218.0	256QAM	13.0	83.2	74.4	64QAM	12.3
			TCP	1st	-87.0		101.9	63.5	256QAM	10.5	85.0	40.3	64QAM	16.6
				2nd	-86.6		108.8	63.2	256QAM	11.8	84.2	42.9	64QAM	16.8
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-87.8	-86.2	349.0	236.0	64QAM	13.7	82.8	75.8	64QAM	12.9
				2nd	-89.6		330.4	235.0	64QAM	13.7	84.4	77.0	64QAM	12.6
			TCP	1st	-88.3		93.7	61.4	64QAM	11.1	83.6	41.1	64QAM	16.9
				2nd	-89.6		92.1	60.5	64QAM	12.1	80.8	35.9	64QAM	18.1
P1-4	2m	LOS	UDP	1st	-93.9	-87.8	343.3	207.0	64QAM	13.3	115.1	73.3	64QAM	12.8
				2nd	-93.3		318.7	204.0	64QAM	13.6	84.0	74.7	64QAM	12.0
			TCP	1st	-94.0		90.2	60.0	64QAM	11.3	81.7	36.0	64QAM	16.7
				2nd	-93.1		94.6	57.8	64QAM	11.2	83.1	43.0	64QAM	17.1
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-96.9	-91.8	287.6	207.0	64QAM	13.5	84.9	72.6	64QAM	12.6
				2nd	-97.2		288.9	212.0	64QAM	14.2	82.2	72.9	64QAM	12.9
			TCP	1st	-96.7		89.2	57.4	64QAM	11.1	82.8	38.9	64QAM	17.1
				2nd	-95.4		87.8	58.5	64QAM	10.8	83.6	37.7	64QAM	16.8

表 5.3.5-1) エリア品質測定結果 (2/6)

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P1-5	2m	LOS	UDP	1st	-92.1	-85.1	337.2	206.0	64QAM	11.0	83.9	72.7	64QAM	12.7
				2nd	-91.6		332.3	203.0	64QAM	12.7	83.3	80.1	64QAM	12.5
			TCP	1st	-92.8		100.5	62.8	64QAM	10.8	85.2	36.9	64QAM	16.3
				2nd	-92.0		94.7	62.8	64QAM	10.8	84.1	38.9	64QAM	16.0
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-95.9	-90.3	283.6	209.0	64QAM	14.8	85.9	72.9	64QAM	12.7
				2nd	-96.0		286.8	195.0	64QAM	14.7	84.4	77.6	64QAM	12.8
			TCP	1st	-96.0		81.1	58.2	64QAM	11.2	84.6	39.9	64QAM	16.9
				2nd	-95.8		85.7	59.8	64QAM	10.7	85.3	36.9	64QAM	17.0
P1-6	2m	LOS	UDP	1st	-99.6	-94.2	261.5	211.0	64QAM	16.1	90.8	74.2	64QAM	12.1
				2nd	-98.4		257.8	243.0	64QAM	16.7	91.5	73.4	64QAM	12.8
			TCP	1st	-99.1		88.6	57.5	64QAM	12.2	90.3	40.5	64QAM	17.2
				2nd	-98.8		82.9	55.6	64QAM	10.8	91.7	36.4	64QAM	17.5
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-103.3	-100.1	161.2	175.0	16QAM	13.2	84.4	70.3	64QAM	14.1
				2nd	-101.4		170.4	173.0	16QAM	15.3	85.4	70.3	64QAM	13.7
			TCP	1st	-102.4		79.8	58.0	16QAM	13.6	83.4	34.1	64QAM	17.1
				2nd	-103.2		94.5	58.8	16QAM	14.2	85.2	33.4	64QAM	17.3

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P2-2	2m	LOS	UDP	1st	-80.3	-77.6	444.5	192.0	256QAM	9.1	88.1	73.1	64QAM	12.3
				2nd	-81.9		444.1	175.0	256QAM	10.0	173.0	144.0	64QAM	5.4
			TCP	1st	-78.7		125.3	60.2	256QAM	6.3	170.2	61.6	64QAM	16.0
				2nd	-77.3		122.1	67.3	256QAM	9.1	159.2	60.1	64QAM	17.5
	0.3m	LOS	UDP	1st	-87.2	-84.2	376.0	202.0	256QAM	10.6	87.5	73.6	64QAM	12.0
				2nd	-87.4		375.5	209.0	256QAM	10.9	143.5	107.0	64QAM	12.1
			TCP	1st	-90.2		115.1	59.7	256QAM	12.0	82.6	40.2	64QAM	16.7
				2nd	-88.6		104.6	60.9	256QAM	11.8	83.5	38.8	64QAM	17.5
P2-3	2m	LOS	UDP	1st	-82.3	-76.4	427.3	235.0	256QAM	12.3	82.3	73.4	64QAM	15.0
				2nd	-75.6		434.8	226.0	256QAM	11.7	170.5	80.3	64QAM	10.8
			TCP	1st	-77.4		122.6	68.9	256QAM	9.7	79.8	34.6	64QAM	19.5
				2nd	-79.2		132.3	71.3	256QAM	11.1	178.1	57.0	64QAM	11.1
	0.3m	LOS	UDP	1st	-82.6	-81.7	370.1	134.0	256QAM	11.9	83.7	73.8	64QAM	15.7
				2nd	-85.0		383.3	153.0	256QAM	11.6	130.9	115.0	64QAM	14.4
			TCP	1st	-84.5		107.5	62.8	256QAM	12.0	162.8	33.2	64QAM	17.3
				2nd	-84.0		114.8	68.2	256QAM	12.3	82.9	38.0	64QAM	19.0

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P2-4	2m	LOS	UDP	1st	-88.9	-79.1	376.8	303.0	256QAM	12.7	169.0	148.0	64QAM	5.8
				2nd	-88.0		371.5	328.0	256QAM	12.2	169.0	150.0	64QAM	5.1
			TCP	1st	-87.7		126.8	57.1	256QAM	12.1	171.2	55.6	64QAM	9.1
				2nd	-87.8		136.9	60.7	256QAM	12.0	173.7	59.7	64QAM	2.9
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-88.1	-80.4	370.2	314.0	256QAM	13.0	87.3	72.7	64QAM	12.3
				2nd	-88.8		389.9	331.0	256QAM	12.8	83.5	72.6	64QAM	12.4
			TCP	1st	-88.7		93.3	50.0	256QAM	12.3	82.5	34.6	64QAM	18.0
				2nd	-88.2		94.7	49.7	256QAM	12.4	82.6	35.3	64QAM	18.0
P2-5	2m	LOS	UDP	1st	-90.6	-86.3	340.6	287.0	64QAM	12.9	90.5	72.4	64QAM	12.1
				2nd	-89.1		344.2	288.0	64QAM	12.8	89.3	73.8	64QAM	12.1
			TCP	1st	-88.0		93.5	60.5	64QAM	12.3	90.5	38.8	64QAM	17.4
				2nd	-87.2		93.6	60.0	64QAM	12.3	90.9	38.6	64QAM	16.9
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-94.6	-95.1	285.0	243.0	64QAM	16.9	90.7	73.7	64QAM	12.3
				2nd	-95.2		294.5	251.0	64QAM	15.4	92.5	72.3	64QAM	12.6
			TCP	1st	-93.7		83.7	50.3	64QAM	13.3	91.1	37.0	64QAM	16.8
				2nd	-93.4		84.3	56.4	64QAM	11.8	93.4	38.5	64QAM	17.7

表 5.3.5-1) エリア品質測定結果 (3/6)

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P3-2	2m	LOS	UDP	1st	-75.2	-75.5	449.9	210.0	256QAM	8.5	87.7	71.5	64QAM	16.7
				2nd	-76.4		450.4	193.0	256QAM	7.3	87.4	69.1	64QAM	15.9
			TCP	1st	-76.6		132.0	77.7	256QAM	7.3	83.5	39.5	64QAM	18.0
				2nd	-77.4		121.6	59.4	256QAM	9.4	82.0	32.7	64QAM	21.3
	0.3m	LOS	UDP	1st	-88.5	-80.7	392.7	220.0	256QAM	12.4	86.3	78.8	64QAM	11.6
				2nd	-85.0		387.5	214.0	256QAM	10.7	162.3	110.0	64QAM	10.9
			TCP	1st	-84.9		108.4	56.1	256QAM	11.4	81.7	34.5	64QAM	17.2
				2nd	-83.1		105.2	59.8	256QAM	11.5	97.2	38.5	64QAM	17.3
P3-3	2m	LOS	UDP	1st	-80.2	-73.8	404.0	120.0	256QAM	3.7	175.3	137.0	64QAM	0.3
				2nd	-79.7		407.3	112.0	256QAM	4.0	173.6	152.0	64QAM	0.9
			TCP	1st	-79.4		142.7	79.3	256QAM	3.3	175.2	78.9	64QAM	2.7
				2nd	-79.6		144.6	78.3	256QAM	4.0	174.5	78.2	64QAM	2.3
	0.3m	LOS	UDP	1st	-79.6	-85.2	372.9	140.0	256QAM	11.8	89.1	71.4	64QAM	23.2
				2nd	-78.7		364.9	167.0	256QAM	7.0	80.3	70.9	64QAM	23.7
			TCP	1st	-80.0		109.0	66.1	256QAM	12.4	77.7	29.1	64QAM	28.3
				2nd	-80.5		99.9	66.4	256QAM	12.1	77.7	29.1	64QAM	26.7

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P3-4	2m	LOS	UDP	1st	-76.3	-77.3	382.3	176.0	256QAM	9.1	170.7	152.0	64QAM	8.0
				2nd	-76.8		408.6	163.0	256QAM	10.2	126.9	87.2	64QAM	9.1
			TCP	1st	-76.2		116.6	68.6	256QAM	9.0	154.8	51.8	64QAM	13.5
				2nd	-76.0		119.6	68.2	256QAM	10.7	128.3	51.3	64QAM	12.9
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-85.7	-84.5	376.6	216.0	256QAM	10.4	91.6	75.7	64QAM	14.5
				2nd	-86.0		380.4	218.0	256QAM	10.8	82.0	71.1	64QAM	23.2
			TCP	1st	-87.6		92.3	58.7	256QAM	10.3	87.0	50.1	64QAM	17.2
				2nd	-87.5		99.6	56.6	256QAM	10.2	85.4	35.5	64QAM	21.7
P3-5	2m	LOS	UDP	1st	-85.8	-77.3	379.8	303.0	256QAM	8.4	84.2	74.4	64QAM	10.4
				2nd	-87.9		385.1	304.0	256QAM	10.1	84.4	74.0	64QAM	11.3
			TCP	1st	-87.6		103.4	60.9	256QAM	10.2	82.3	41.6	64QAM	16.3
				2nd	-87.1		114.8	63.9	256QAM	10.7	82.8	41.5	64QAM	16.6
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-97.9	-86.3	310.0	272.0	64QAM	13.0	87.4	76.4	64QAM	12.6
				2nd	-97.7		307.0	266.0	64QAM	14.7	88.8	77.8	64QAM	12.7
			TCP	1st	-97.5		92.8	57.7	64QAM	11.1	82.7	39.1	64QAM	17.3
				2nd	-97.4		83.9	57.9	64QAM	10.8	88.0	39.9	64QAM	17.4

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P4-1	2m	LOS	UDP	1st	-89.5	-85.8	376.9	218.0	256QAM	10.8	83.9	72.8	64QAM	16.1
				2nd	-89.9		383.9	229.0	256QAM	9.8	83.2	73.5	64QAM	14.1
			TCP	1st	-87.7		95.2	58.1	256QAM	10.9	84.7	30.3	64QAM	20.6
				2nd	-88.9		100.0	57.0	256QAM	11.6	83.2	37.0	64QAM	16.8
	0.3m	LOS	UDP	1st	-92.8	-89.5	346.9	241.0	64QAM	12.0	83.1	74.4	64QAM	14.2
				2nd	-90.1		372.3	245.0	64QAM	12.6	83.8	71.0	64QAM	12.5
			TCP	1st	-93.2		98.8	60.8	64QAM	12.2	84.6	44.2	64QAM	15.4
				2nd	-93.8		100.1	58.4	64QAM	12.0	87.8	43.3	64QAM	15.6
P4-3	2m	LOS	UDP	1st	-88.3	-86.6	331.0	200.0	64QAM	11.4	83.5	75.7	64QAM	12.6
				2nd	-88.3		323.8	212.0	64QAM	12.8	84.0	75.7	64QAM	12.8
			TCP	1st	-88.5		90.3	55.5	64QAM	10.8	84.9	35.7	64QAM	16.5
				2nd	-88.0		88.0	59.9	64QAM	10.0	84.6	40.6	64QAM	16.9
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-93.7	-86.0	333.8	288.0	64QAM	12.1	84.8	73.6	64QAM	12.4
				2nd	-92.0		331.1	299.0	64QAM	11.7	84.8	75.3	64QAM	12.8
			TCP	1st	-92.1		86.3	49.8	64QAM	10.4	84.3	31.8	64QAM	16.2
				2nd	-92.2		84.7	53.3	64QAM	10.7	84.5	37.1	64QAM	15.9

表 5.3.5-1）エリア品質測定結果（4/6）

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P4-4	2m	LOS	UDP	1st	-90.7	-88.3	338.9	253.0	64QAM	13.8	89.6	73.5	64QAM	12.7
				2nd	-94.0		340.9	250.0	64QAM	14.4	90.3	73.0	64QAM	12.7
			TCP	1st	-90.4		90.7	61.6	64QAM	12.1	92.3	44.4	64QAM	16.9
				2nd	-91.0		199.6	59.7	64QAM	13.0	90.9	36.2	64QAM	16.5
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-93.1	-90.1	289.5	242.0	64QAM	16.2	90.6	79.2	64QAM	13.0
				2nd	-93.5		291.2	246.0	64QAM	15.6	90.0	73.3	64QAM	13.1
			TCP	1st	-91.6		86.5	57.0	64QAM	13.9	89.9	34.6	64QAM	17.5
				2nd	-95.0		84.2	55.9	64QAM	13.2	90.6	37.8	64QAM	16.9
P4-5	2m	LOS	UDP	1st	-92.0	-89.1	327.2	241.0	64QAM	15.2	90.6	76.3	64QAM	12.6
				2nd	-92.7		322.3	234.0	64QAM	16.1	89.2	72.5	64QAM	12.8
			TCP	1st	-92.5		86.4	53.4	64QAM	12.1	88.2	33.3	64QAM	17.0
				2nd	-92.1		80.7	49.9	64QAM	12.5	90.0	33.6	64QAM	17.6
	0.3m	LOS	UDP	1st	-92.6	-89.2	299.3	233.0	64QAM	16.2	90.5	74.0	64QAM	12.4
				2nd	-92.4		332.2	243.0	64QAM	14.9	90.4	76.3	64QAM	12.7
			TCP	1st	-92.3		82.2	51.0	64QAM	12.1	88.9	34.5	64QAM	17.2
				2nd	-92.9		79.4	50.0	64QAM	12.3	92.3	36.3	64QAM	16.6

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P5-3	2m	LOS	UDP	1st	-91.2	-86.7	328.9	248.0	64QAM	11.7	92.9	76.7	64QAM	11.9
				2nd	-90.5		329.4	235.0	64QAM	12.5	82.9	76.6	64QAM	12.3
			TCP	1st	-91.2		94.9	60.7	64QAM	10.1	83.7	38.9	64QAM	16.8
				2nd	-90.8		90.7	59.3	64QAM	10.8	82.8	38.1	64QAM	16.4
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-92.5	-93.2	268.7	201.0	64QAM	16.5	87.7	72.1	64QAM	12.6
				2nd	-93.4		257.9	195.0	64QAM	15.6	82.2	74.2	64QAM	12.2
			TCP	1st	-92.7		80.9	55.6	64QAM	12.5	82.7	37.9	64QAM	17.3
				2nd	-92.2		85.8	56.0	64QAM	12.6	82.5	36.3	64QAM	17.3
P5-4	2m	LOS	UDP	1st	-93.7	-87.3	318.3	231.0	64QAM	12.6	83.3	73.3	64QAM	13.0
				2nd	-92.8		320.3	224.0	64QAM	13.3	83.9	77.8	64QAM	12.7
			TCP	1st	-94.0		88.8	58.5	64QAM	11.8	83.4	37.9	64QAM	17.3
				2nd	-93.9		93.0	59.4	64QAM	10.7	83.8	41.1	64QAM	16.9
	0.3m	x	UDP	1st	-98.5	-94.9	291.7	213.0	64QAM	15.8	87.0	72.7	64QAM	13.2
				2nd	-96.9		295.9	211.0	64QAM	15.8	83.0	75.0	64QAM	12.9
			TCP	1st	-95.1		82.5	59.3	64QAM	12.2	84.8	37.6	64QAM	17.1
				2nd	-95.7		82.4	55.2	64QAM	12.6	83.0	38.0	64QAM	17.4

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P5-5	2m	LOS	UDP	1st	-97.0	-92.4	260.7	269.0	64QAM	13.8	84.9	73.5	64QAM	12.6
				2nd	-96.4		281.8	246.0	64QAM	16.0	85.4	74.3	64QAM	12.9
			TCP	1st	-97.1		84.4	54.6	64QAM	11.3	86.1	38.0	64QAM	17.4
				2nd	-97.2		81.9	58.1	64QAM	12.5	81.3	41.2	64QAM	17.6
	0.3m	LOS	UDP	1st	-94.6	-92.4	269.9	209.0	64QAM	13.1	97.7	72.9	64QAM	12.3
				2nd	-95.2		266.1	207.0	64QAM	12.9	81.3	71.3	64QAM	12.6
			TCP	1st	-95.3		81.3	49.3	64QAM	11.6	81.1	37.3	64QAM	17.8
				2nd	-95.5		85.5	53.3	64QAM	11.1	81.0	31.8	64QAM	17.2
P6-1	2m	NLOS	UDP	1st	-95.1	-94.5	253.2	195.0	64QAM	14.8	85.1	73.2	64QAM	12.1
				2nd	-94.3		237.0	258.0	64QAM	14.9	86.3	74.0	64QAM	11.5
			TCP	1st	-95.9		80.0	53.9	64QAM	8.9	83.8	38.6	64QAM	16.7
				2nd	-97.3		80.5	53.1	64QAM	12.1	79.2	37.3	64QAM	16.8
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-101.0	-97.1	205.7	222.0	64QAM	14.4	85.2	72.6	64QAM	13.2
				2nd	-98.2		217.7	211.0	64QAM	15.0	86.8	73.7	64QAM	12.8
			TCP	1st	-97.7		74.9	55.2	64QAM	10.6	79.7	37.4	64QAM	17.9
				2nd	-98.8		72.4	50.4	64QAM	12.4	85.0	37.7	64QAM	17.4

表 5.3.5-1) エリア品質測定結果 (5/6)

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P6-2	2m	NLOS	UDP	1st	-101.2	-98.9	149.4	127.0	16QAM	23.7	139.5	70.5	64QAM	13.8
				2nd	-101.9		145.4	124.0	16QAM	23.4	86.8	68.9	64QAM	13.6
			TCP	1st	-101.5		59.7	39.4	16QAM	17.8	88.1	30.4	64QAM	17.4
				2nd	-103.1		58.7	40.6	16QAM	18.1	87.6	32.9	64QAM	17.6
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-105.5	-103.6	112.1	95.2	16QAM	14.9	82.9	61.6	64QAM	15.4
				2nd	-104.7		127.3	110.0	16QAM	19.1	77.4	60.5	64QAM	18.7
			TCP	1st	-103.9		65.0	48.8	16QAM	13.7	85.8	29.9	64QAM	17.3
				2nd	-104.6		66.6	49.2	16QAM	15.4	84.8	32.9	64QAM	18.0
P6-3	2m	NLOS	UDP	1st	-104.8	-99.9	141.0	136.0	16QAM	20.9	85.5	67.9	64QAM	14.7
				2nd	-103.2		143.2	148.0	16QAM	20.7	83.6	68.2	64QAM	14.7
			TCP	1st	-103.0		66.6	49.2	16QAM	17.1	84.1	28.8	64QAM	17.9
				2nd	-102.3		66.0	48.8	16QAM	17.1	83.7	29.9	64QAM	17.7
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-105.2	-102.9	118.5	95.0	16QAM	20.5	69.7	44.5	64QAM	20.8
				2nd	-104.9		123.9	114.0	16QAM	20.9	69.7	41.2	64QAM	21.6
			TCP	1st	-104.5		63.9	47.1	16QAM	13.8	78.2	30.2	64QAM	17.3
				2nd	-104.1		63.5	47.7	16QAM	15.9	78.1	30.1	64QAM	17.3

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
P6-4	2m	NLOS	UDP	1st	-96.5	-93.7	231.0	180.0	64QAM	15.7	86.5	74.3	64QAM	13.0
				2nd	-96.1		241.5	188.0	64QAM	16.9	84.4	73.0	64QAM	12.8
			TCP	1st	-94.7		83.4	55.5	64QAM	13.3	79.0	37.7	64QAM	17.7
				2nd	-96.8		81.6	55.7	64QAM	12.9	77.6	38.3	64QAM	18.0
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-100.5	-95.9	198.5	165.0	16QAM	16.6	84.9	76.0	64QAM	13.3
				2nd	-101.2		187.0	149.0	16QAM	16.2	84.8	73.2	64QAM	13.3
			TCP	1st	-99.3		78.3	52.7	16QAM	14.2	78.6	36.3	64QAM	18.3
				2nd	-99.4		76.6	53.0	16QAM	15.7	77.8	41.9	64QAM	18.6
H1	2m	NLOS	UDP	1st	-109.0	-105.5	91.1	81.6	QPSK	14.3	60.9	51.6	64QAM	14.7
				2nd	-109.2		92.2	82.5	QPSK	17.8	61.7	50.0	64QAM	16.4
			TCP	1st	-108.0		65.1	50.2	QPSK	15.6	58.5	24.5	64QAM	19.7
				2nd	-108.6		66.5	49.2	QPSK	14.3	60.0	24.1	64QAM	19.6
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-110.4	-111.5	46.8	42.3	QPSK	15.8	38.3	34.2	64QAM	18.3
				2nd	-110.3		47.1	44.6	QPSK	20.6	35.0	32.3	64QAM	17.6
			TCP	1st	-111.8		39.1	32.0	QPSK	16.3	34.6	18.7	64QAM	21.4
				2nd	-110.9		44.5	38.0	QPSK	18.0	38.9	18.5	64QAM	20.9

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
H2	2m	NLOS	UDP	1st	-107.4	-105.0	97.9	81.9	QPSK	15.6	59.6	51.9	64QAM	15.6
				2nd	-107.7		95.7	83.1	QPSK	18.4	57.9	51.2	64QAM	15.3
			TCP	1st	-108.2		63.4	48.2	QPSK	16.2	59.6	27.1	64QAM	19.4
				2nd	-108.1		65.4	51.1	QPSK	15.4	58.6	30.2	64QAM	19.0
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-110.4	-112.5	56.4	44.5	QPSK	18.5	43.3	27.6	64QAM	23.7
				2nd	-112.6		68.3	54.6	QPSK	20.9	49.0	31.5	64QAM	21.8
			TCP	1st	-108.6		57.4	47.9	QPSK	16.4	47.0	22.7	64QAM	21.8
				2nd	-109.4		63.0	48.5	QPSK	12.8	46.7	22.4	64QAM	22.1
H3	2m	NLOS	UDP	1st	-107.0	-105.5	94.2	83.2	QPSK	18.7	63.0	52.3	64QAM	17.8
				2nd	-107.6		86.8	76.5	QPSK	15.4	61.0	50.8	64QAM	17.0
			TCP	1st	-107.4		63.9	49.0	QPSK	14.7	64.0	28.2	64QAM	19.1
				2nd	-107.7		65.3	50.3	QPSK	15.5	64.6	31.7	64QAM	17.8
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-109.7	-109.5	68.5	62.6	QPSK	21.8	52.2	36.4	64QAM	23.2
				2nd	-109.8		69.3	60.7	QPSK	21.6	52.0	43.9	64QAM	20.9
			TCP	1st	-109.5		55.1	44.9	QPSK	11.4	51.9	23.9	64QAM	20.7
				2nd	-109.3		55.0	46.0	QPSK	16.2	51.9	24.5	64QAM	21.4

表 5.3.5-1）エリア品質測定結果（6/6）

Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
H4	2m	NLOS	UDP	1st	-112.9	-109.6	43.8	-	QPSK	17.5	35.6	24.6	64QAM	17.3
				2nd	-		-	-	-	-	37.4	28.1	64QAM	16.8
			TCP	1st	-		-	-	-	-	38.2	17.0	64QAM	18.0
				2nd	-		-	-	-	-	37.0	14.4	64QAM	17.7
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-	-113.8	-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
			TCP	1st	-		-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
H5	2m	NLOS	UDP	1st	-	-108.4	-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
			TCP	1st	-		-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-	-114.8	-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
			TCP	1st	-		-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-

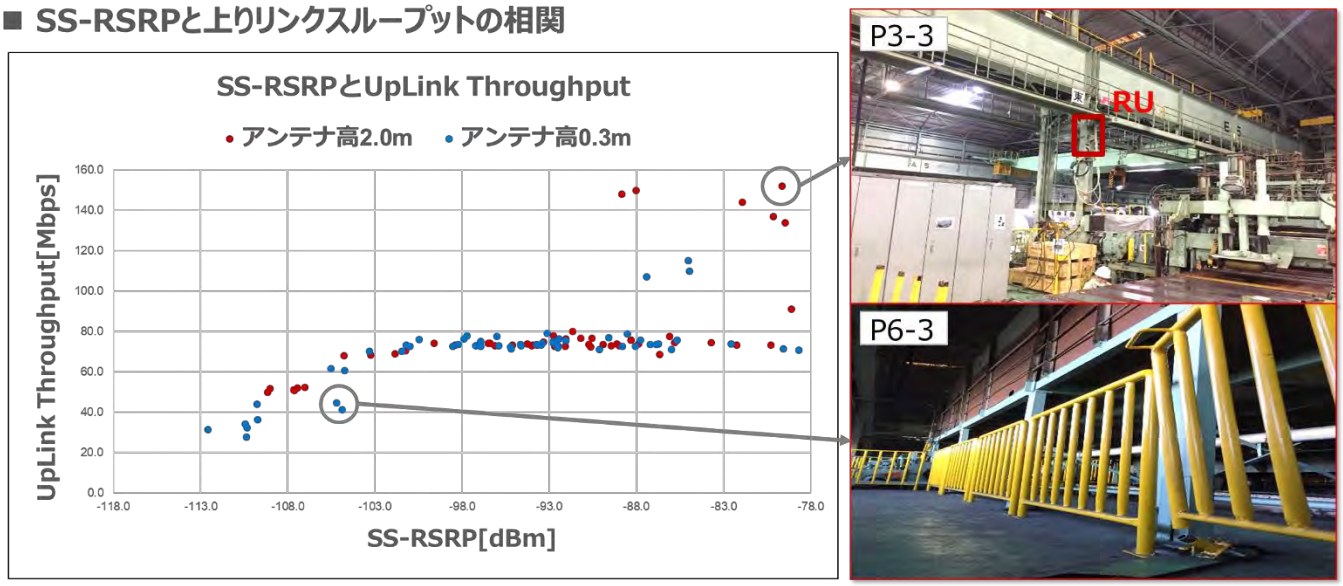
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	UDP/TCP	1st/2nd	SS-RSRP (dBm)		Downlink				Uplink			
					Compal	Area Tester	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)	MAC Throughput (Mbps)	IP Throughput (Mbps)	MCS	BLER (%)
H6	2m	NLOS	UDP	1st	-	-106.8	-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
			TCP	1st	-		-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
	0.3m	NLOS	UDP	1st	-	-112.0	-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-
			TCP	1st	-		-	-	-	-	-	-	-	-
				2nd	-		-	-	-	-	-	-	-	-

【目視検査の自動化】については事前エリア設計時の想定位置から設置場所が変更になったことを受け、性能要求を下回る結果になった。(要求 100Mbps 程度に対し実測 74.4Mbps)変更前後とも見通しありだったがマルチパス環境の変化により MIMO2→1 となった。(事前想定位置では実測 152.0Mbps)

【遠隔作業者支援】については要求性能を満たし、当初想定していた S2 ライン周辺に留まらず、広い範囲で 4K 映像のクラウド向け配信が可能なスループットが確保できた。主に反射の影響が良い方向に働いたと考えられる。
課題解決システムの個別利用には支障ないが同時稼働では 4K 映像のフレームレートが低下する事象が見られた。今後の利用拡大において上り容量不足が課題と見込まれる。

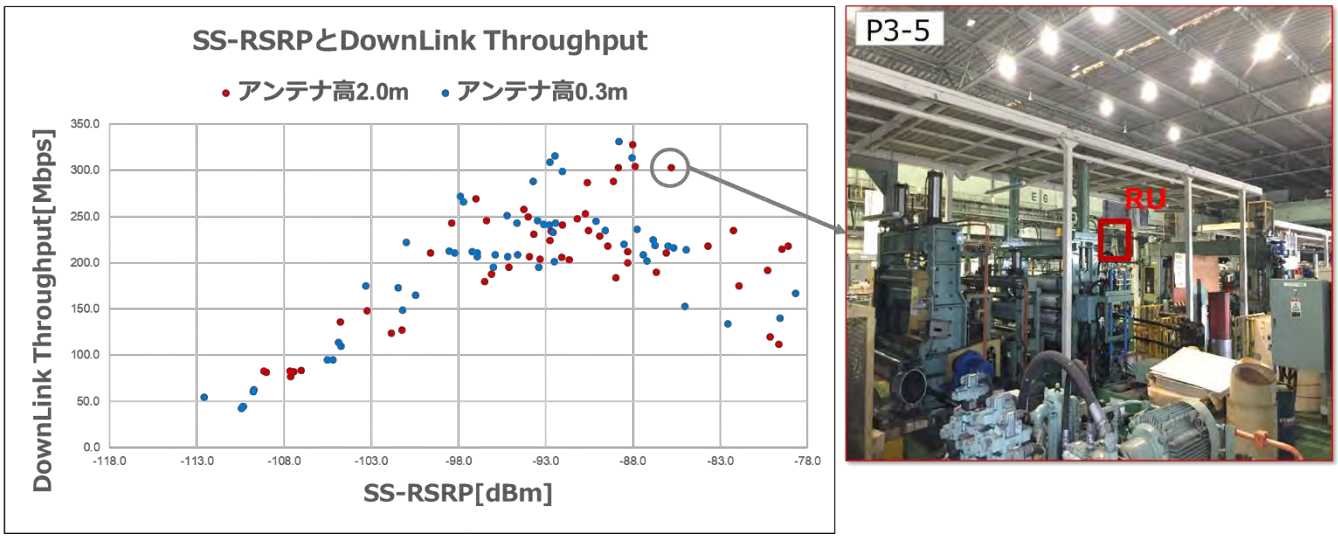
測定結果について、横軸に SS-RSRP[dBm]、縦軸にスループット[Mbps]をとったグラフを（図 5.3.5-2）および（図 5.3.5-3）に示す。

図 5.3.5-2）端末側受信電力と上りリンクスループットの相関



上りリンクスループットが多くの地点で 70Mbps 台頭打ちとなっているのは、64QAM・1MIMO における実行スループット理論値にあたるためである。150Mbps 台が観測された地点はいずれも 64QAM・2MIMO で動作しており、高い上りリンクスループットを確保するためには MIMO のレイヤー数がカギとなること、見通しがあっても必ずしも 2MIMO 安定にはならないことが分かった。なお、本実証環境の上りリンクで安定的に 256QAM が動作する測定地点はなかった。

図 5.3.5-3）端末側受信電力と下りリンクスループットの相関

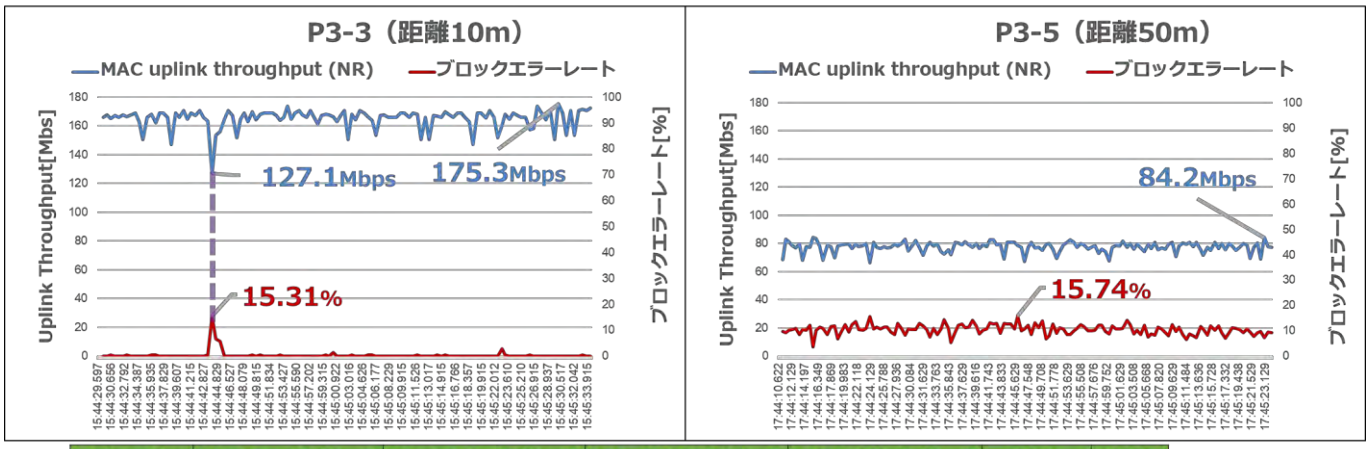


下りリンクは NLOS の測定地点であっても 256QAM が動作しており、端末側受信電力に応じてスループットがリニアに変化する傾向が見られた。但し、アンテナに極端に近い地点では端末側受信電力が高くても MIMO のレイヤー数が下がり、必ずしも高いスループットが観測されなかった。

次に、特徴的な測定地点を抜粋して比較を行う。最も高い上りリンクスループットを観測した P3-3 と【目視検査の自動化】向けに固定端末を設置した P3-5 の比較を（図 5.3.5-4）に示す。基地局アンテナからの距離は P3-3：13m、P3-5：45m でどちらも LOS 環境であるが、P3-5 は S2 ラインの隙間から基地局アンテナがかろうじて見える程度である。この違いにより P3-3 は 2MIMO が安定していたが、P3-5 は 1MIMO となり上りリンク平均スループットで約 2 倍、P3-3 が大きい値を示している。また、ブロックエラーレートでも P3-3 の 0～5%程度に対して P3-5 は平均 15%と回線品質の差にも表れた。（補足：無線レイヤーのブロックエラーは再送処理により補完されるため、例えば AI 外観検査の精度に影響を与えるようなことはない）なお、エリア設計当初に想定していた【目視検査の自動化】固定端末位置（P3-4 付近、基地局アンテナからの距離 25m）では、P3-3 と同等の上りリンクスループットが出ていることを実測により確認した。

図 5.3.5-4）P3-3 と P3-5 の上りリンクスループット比較

■ 上りリンクスループットの最も高い地点　　■ 固定端末設置地点（目視検査の自動化）



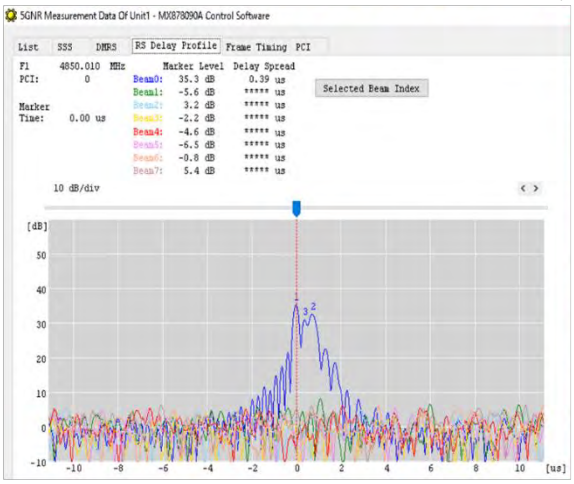
Point No.	SS-RSSI[dBm]	SS-RSRP[dBm]	SS-RSRQ[dBm]	SS-SINR[dBm]	MCS	MIMO
P3-3	-68.5	-80.2	-10.4	32.9	64QAM	2
P3-5	-74.2	-85.8	-10.3	31.9	64QAM	1

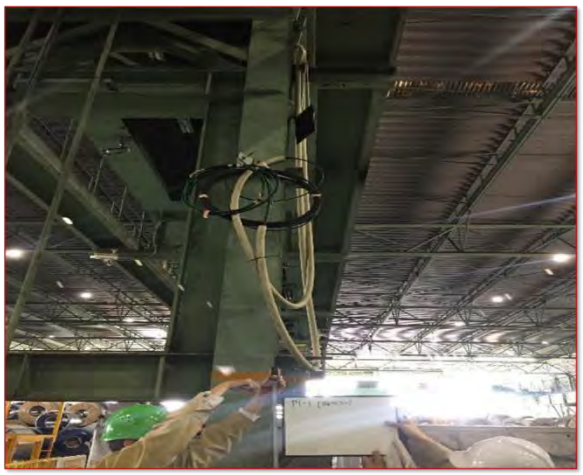
※平均値を記載

以下、参考に各地点から撮影した基地局アンテナ方向の写真と測定時に波形を保存した遅延プロファイル画像を（図 5.3.5-5）に示す。

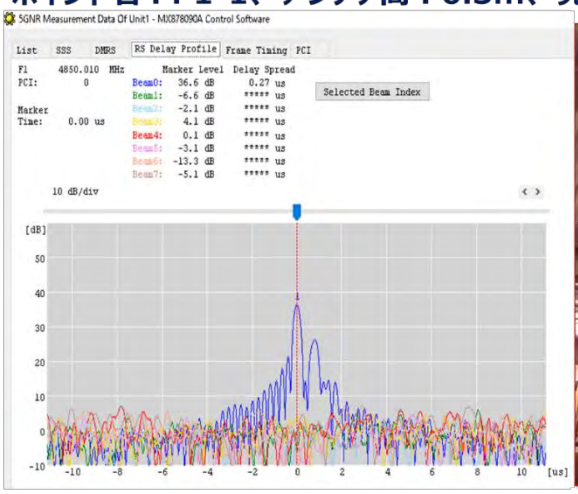
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（1/21）

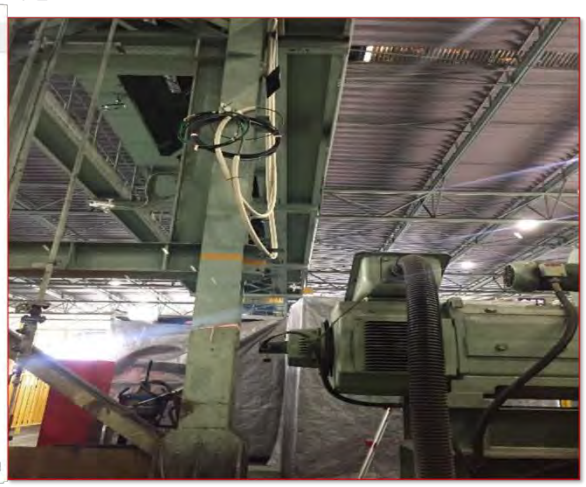
ポイント名：P1-1、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：2m



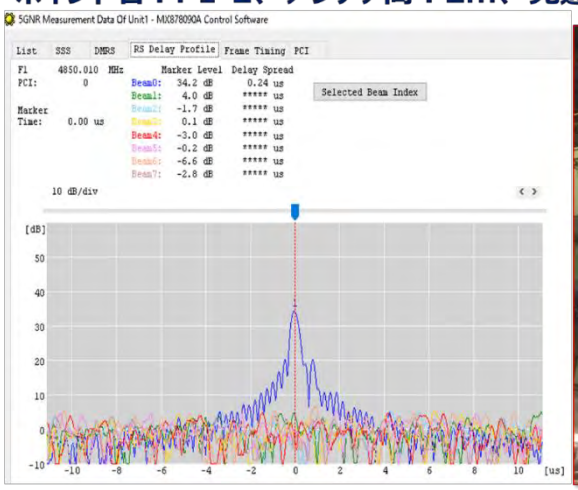


ポイント名：P1-1、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：2m





ポイント名：P1-2、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：5m



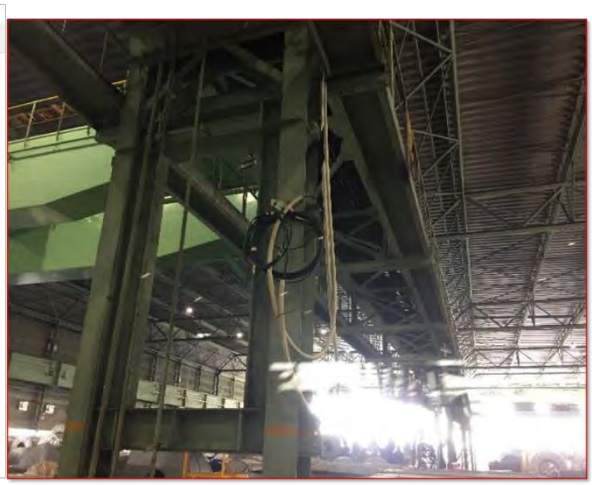
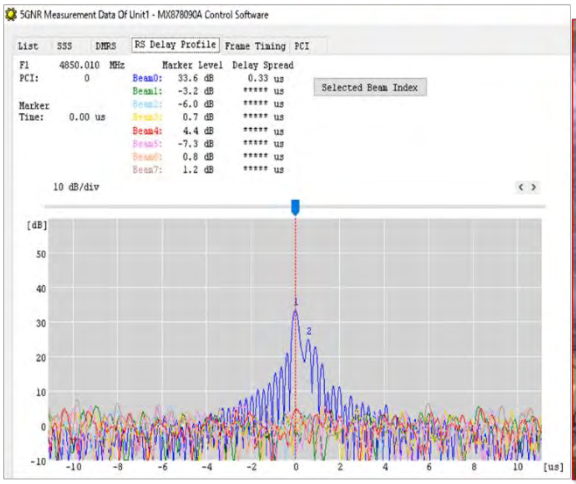
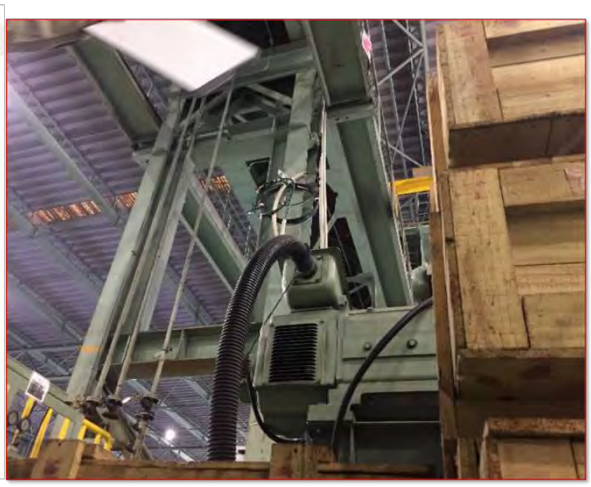


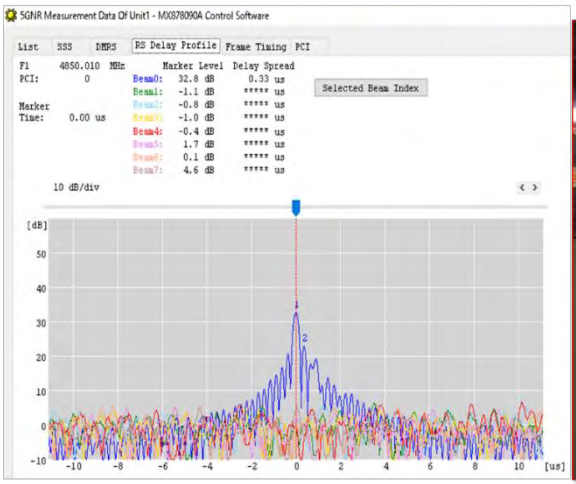
図 5.3.5-5) 遅延プロファイル（2/21）

ポイント名：P1-2、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：5m

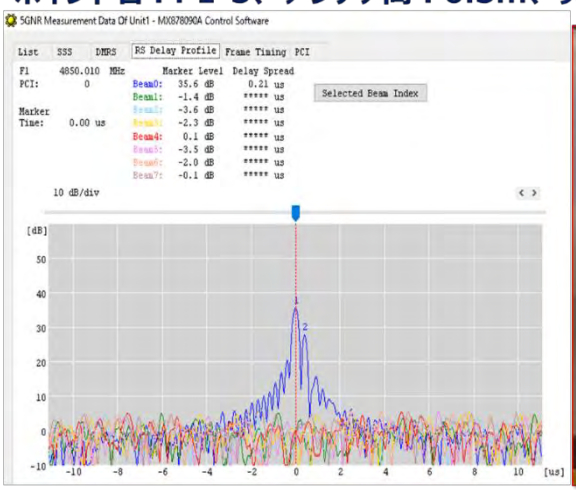




ポイント名：P1-3、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：10m



ポイント名：P1-3、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：10m



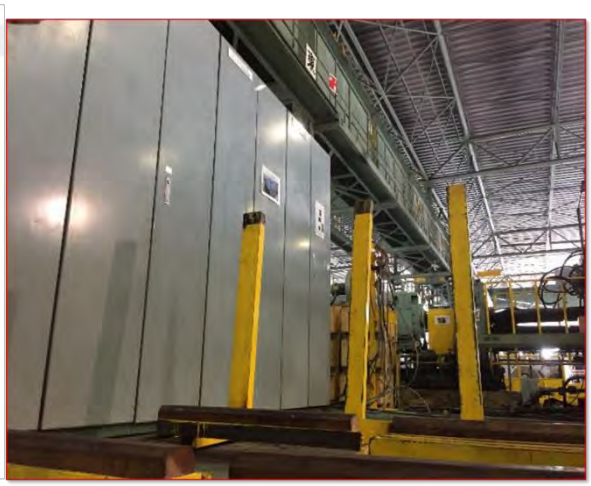
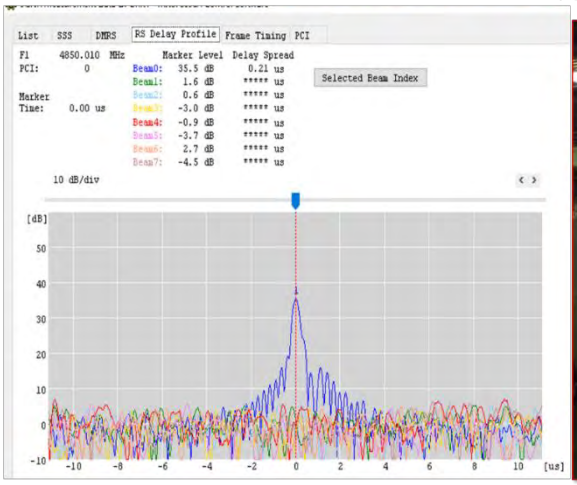
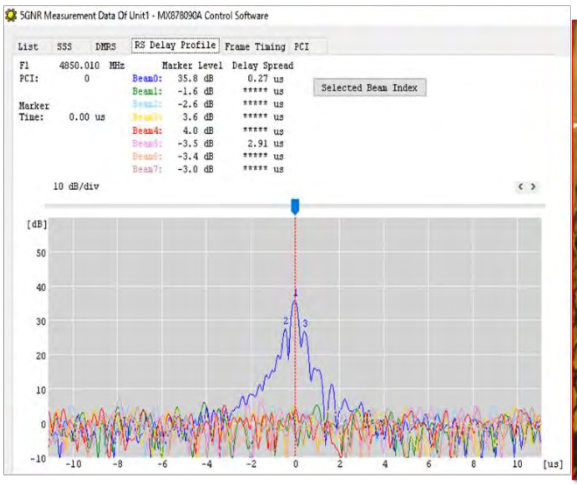


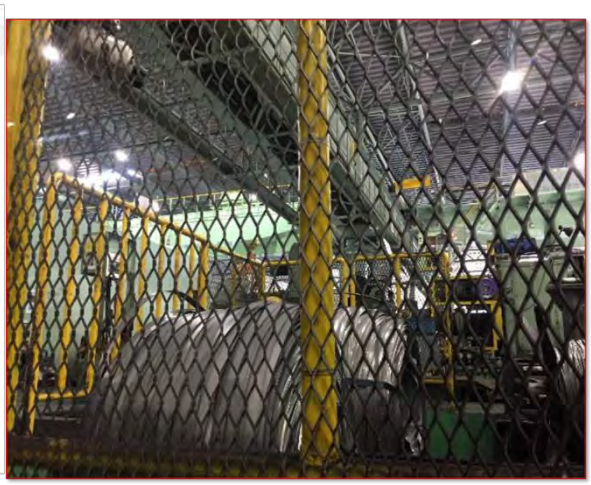
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（3/21）

ポイント名：P1-4、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：20m



ポイント名：P1-4、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：20m





ポイント名：P1-5、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：50m

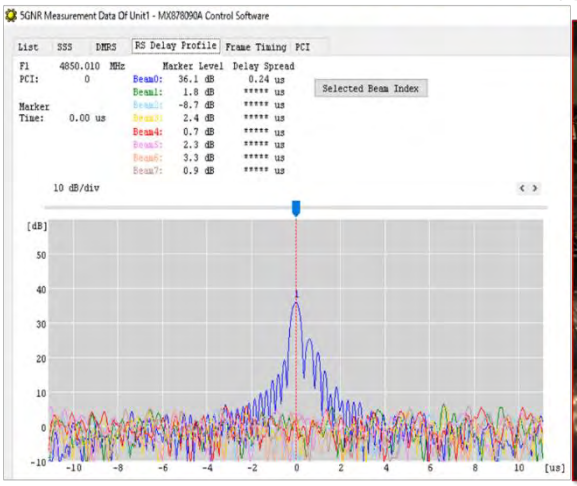
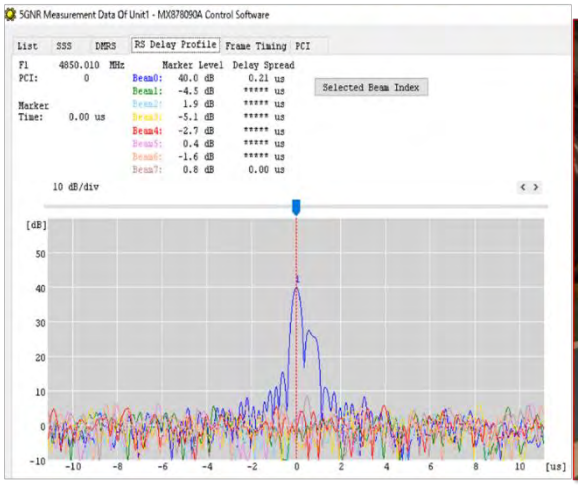
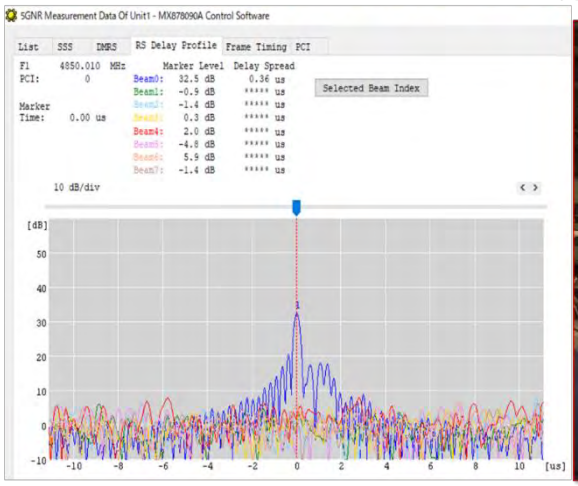


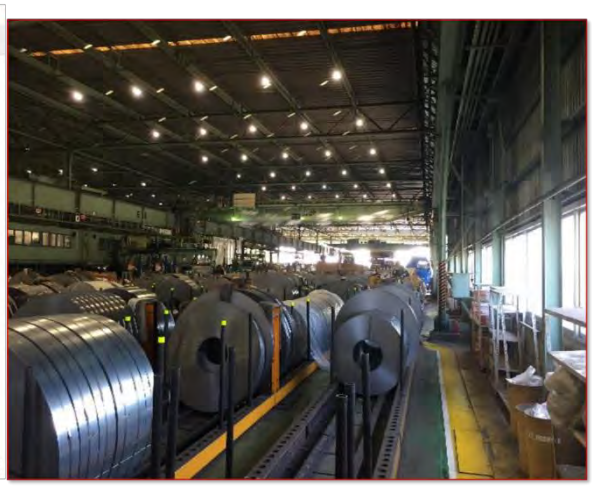
図 5.3.5-5) 遅延プロファイル（4/21）

ポイント名：P1-5、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：50m

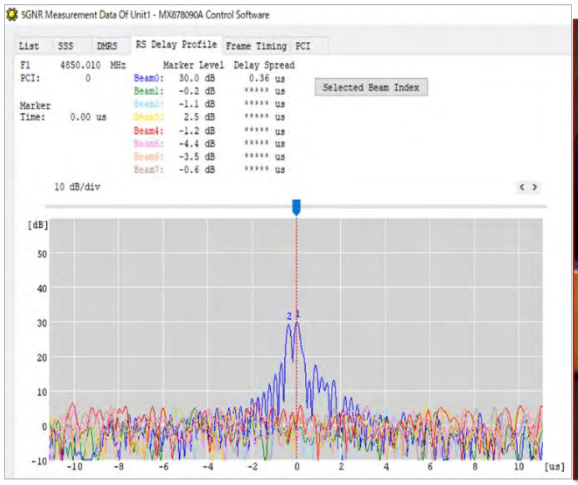


ポイント名：P1-6、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：100m





ポイント名：P1-6、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：100m



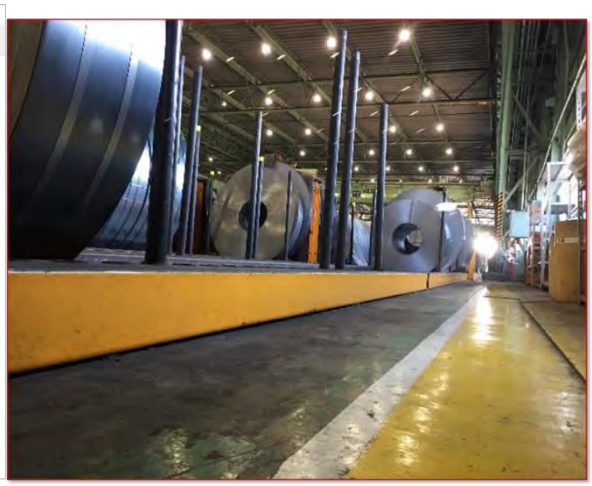
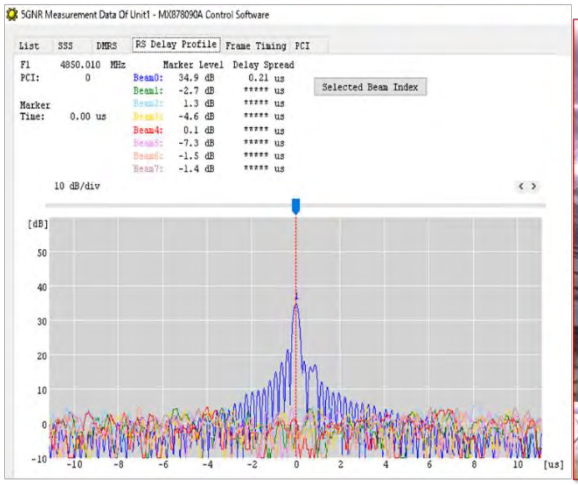
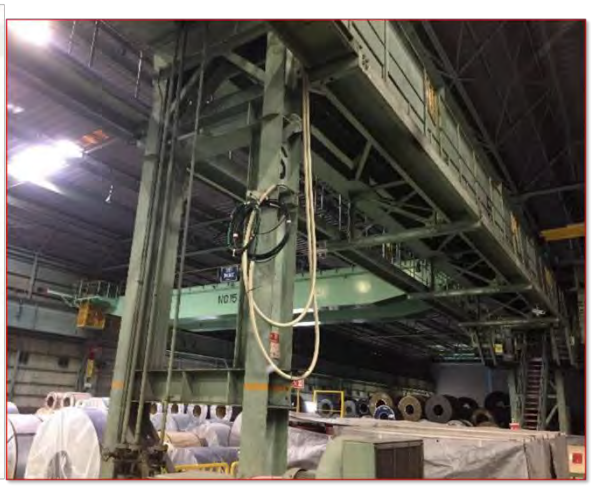


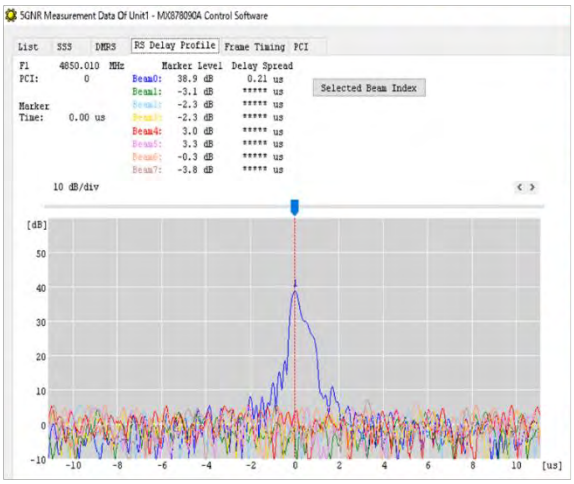
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（5/21）

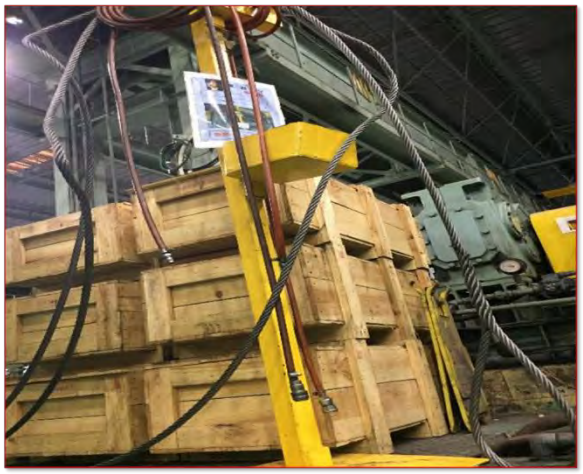
ポイント名：P2-2、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：5m





ポイント名：P2-2、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：5m





ポイント名：P2-3、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：9.5m

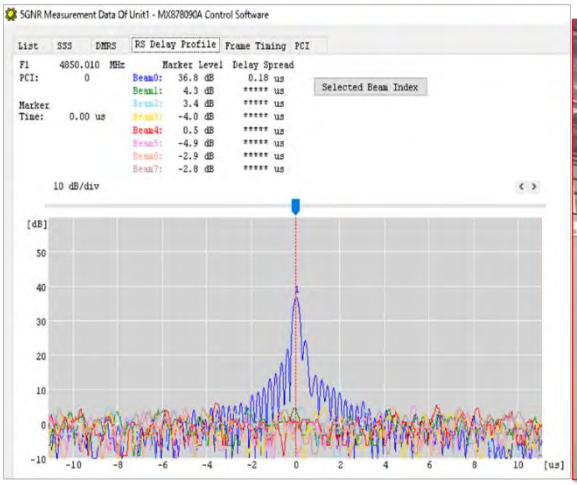
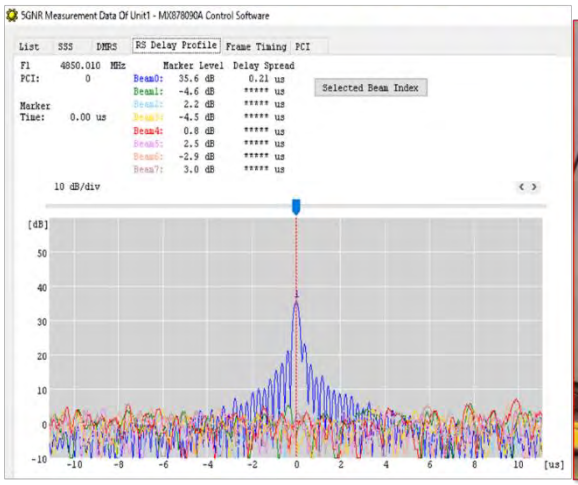
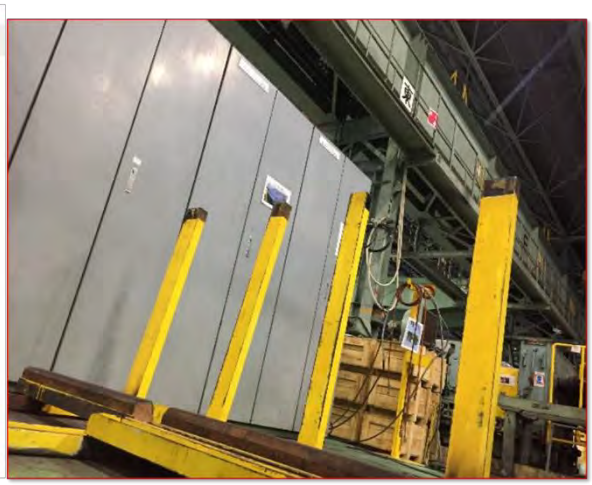


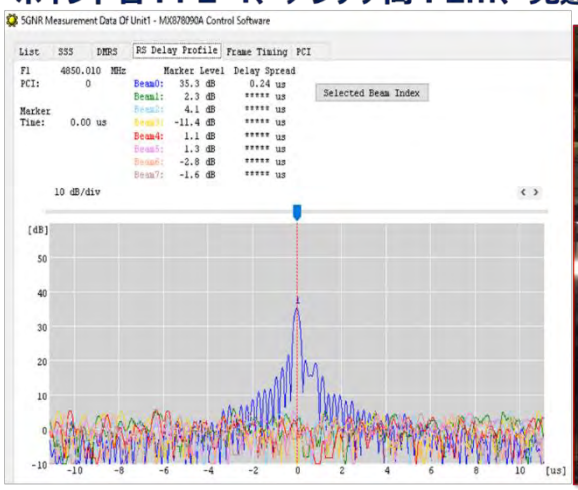
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（6/21）

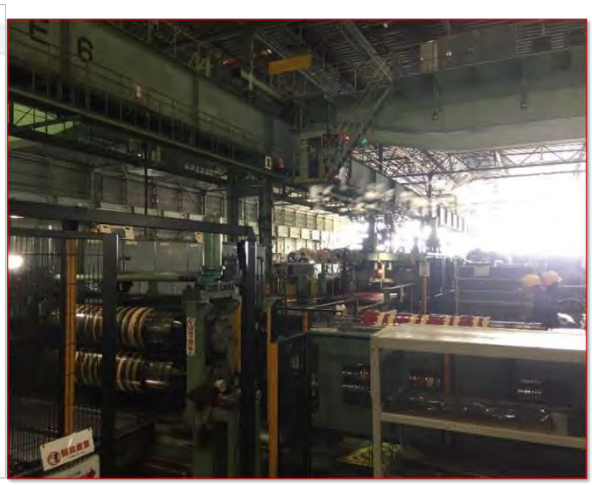
ポイント名：P2-3、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：9.5m





ポイント名：P2-4、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：20m





ポイント名：P2-4、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：20m

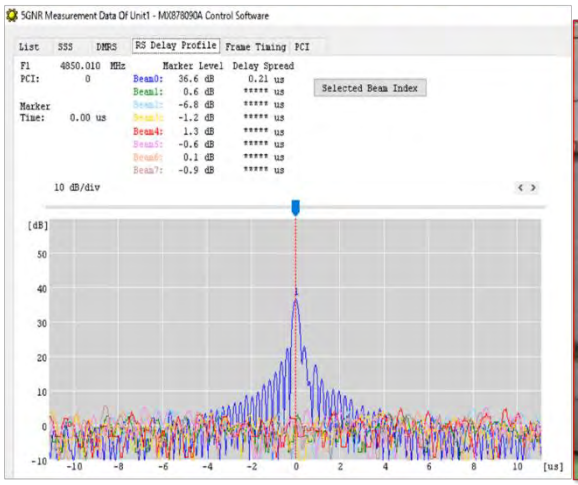
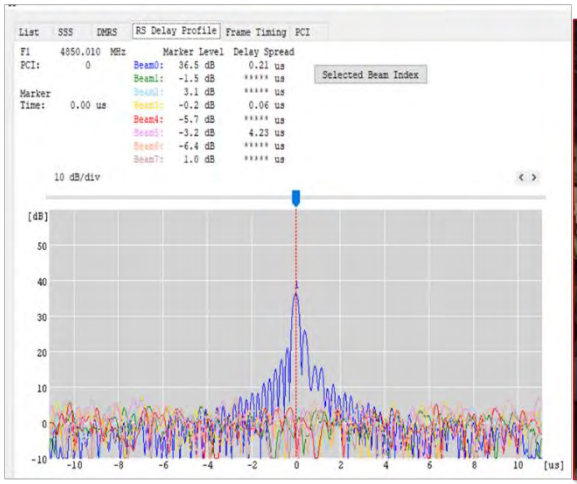
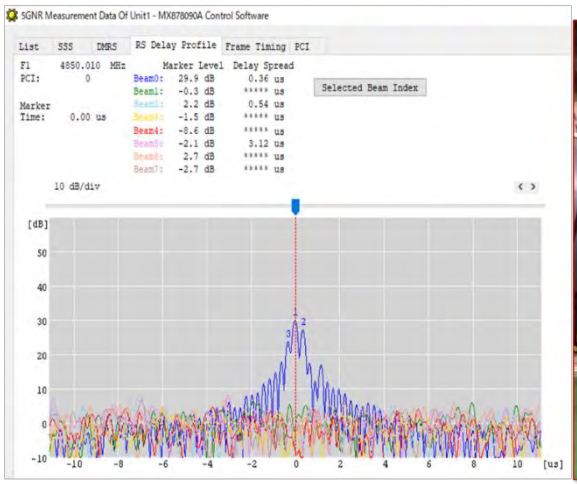


図 5.3.5-5）遅延プロファイル（7/21）

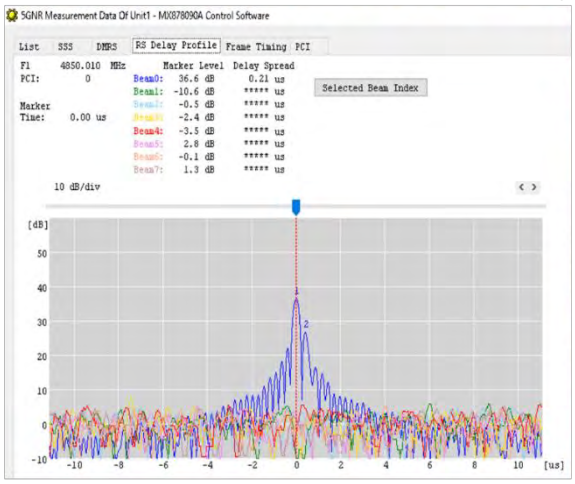
ポイント名：P2-5、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：50m



ポイント名：P2-5、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：50m



ポイント名：P3-2、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：6m



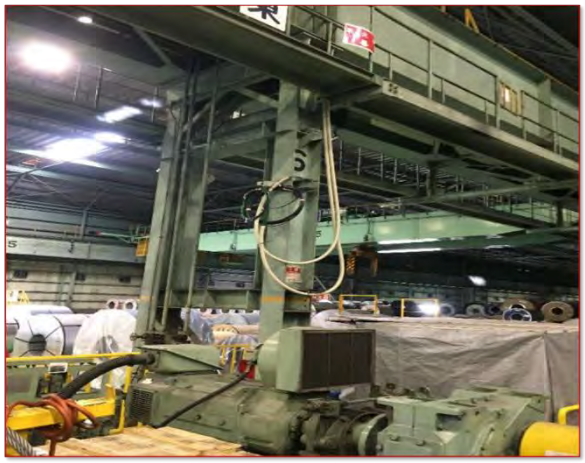
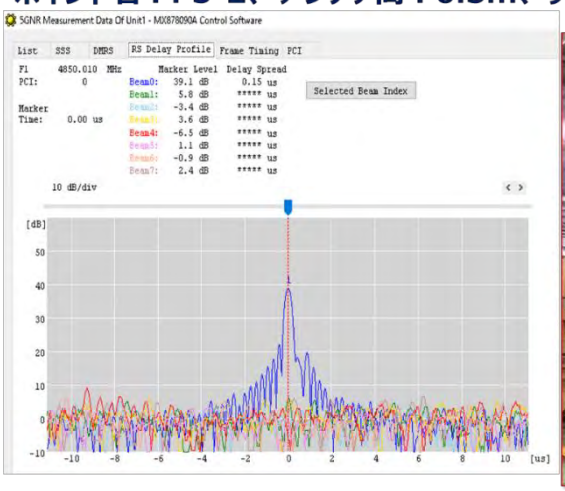
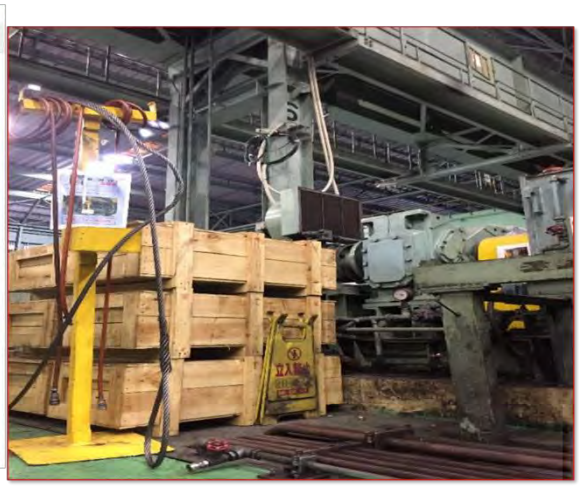


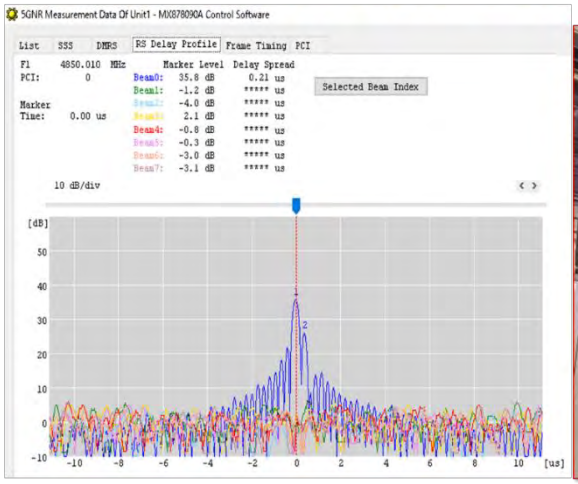
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（8/21）

ポイント名：P3-2、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：6m

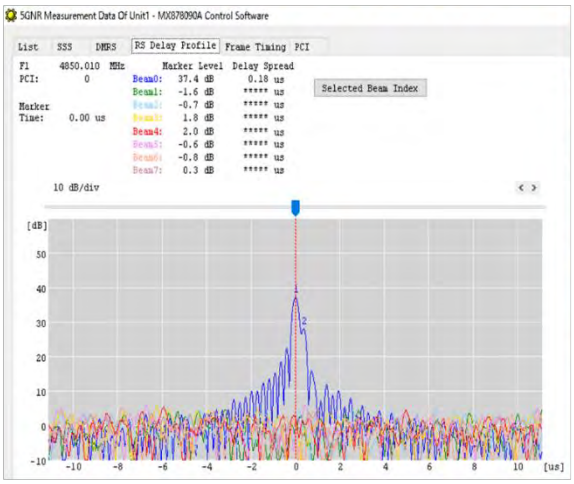




ポイント名：P3-3、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：11m



ポイント名：P3-3、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：11m



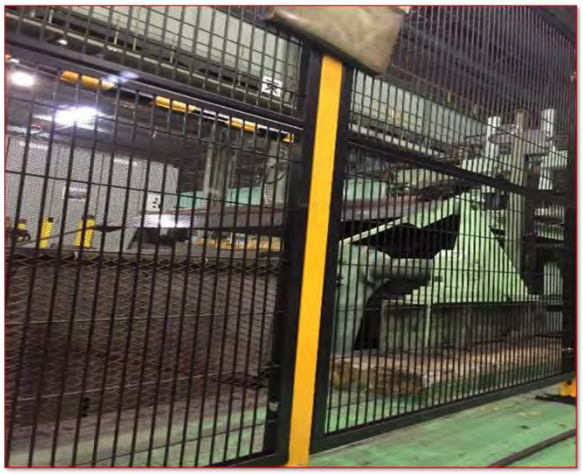
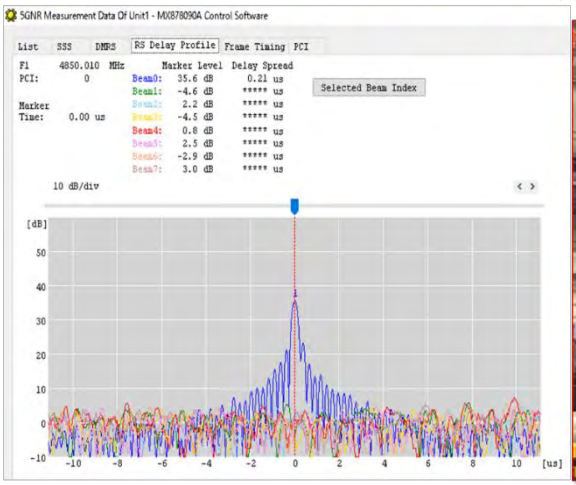
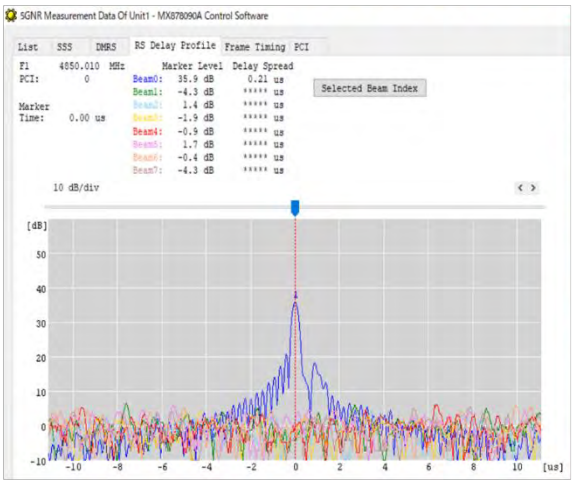


図 5.3.5-5) 遅延プロファイル（9/21）

ポイント名：P3-4、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：20m



ポイント名：P3-4、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：20m



ポイント名：P3-5、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：45m

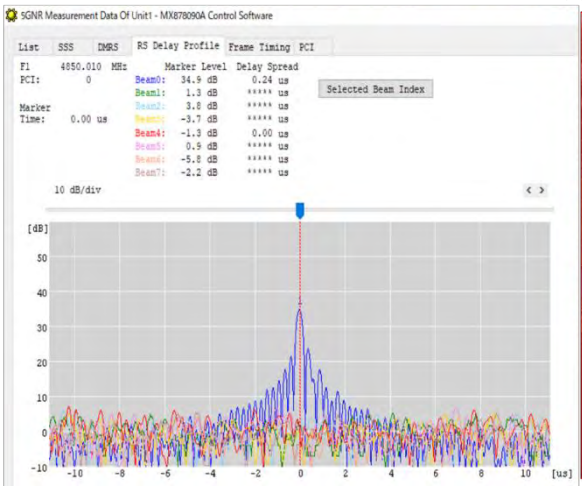
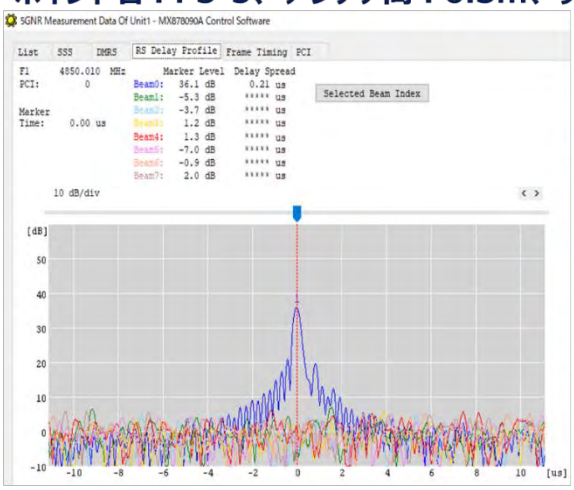
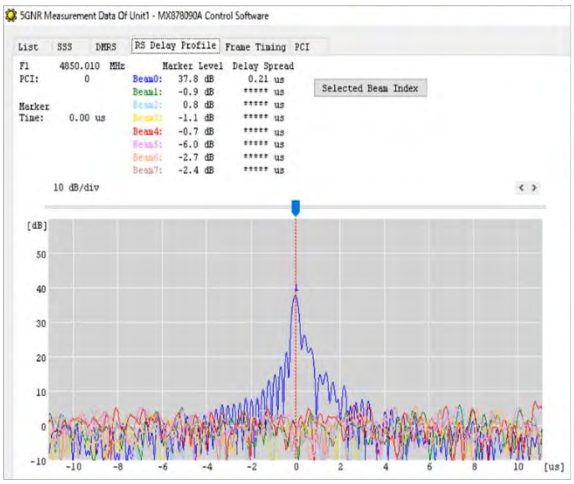


図 5.3.5-5）遅延プロファイル（10/21）

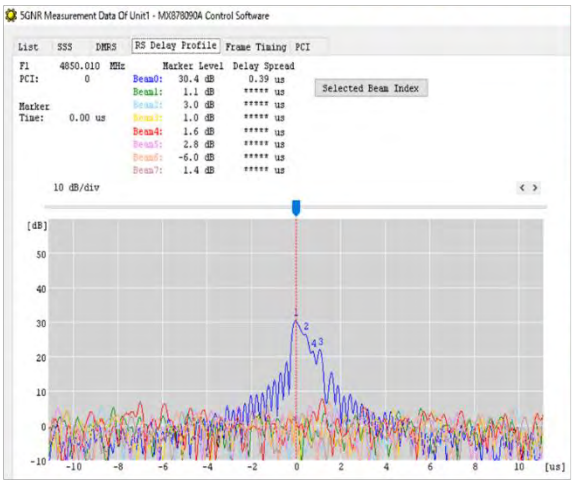
ポイント名：P3-5、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：45m



ポイント名：P4-1、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：3m



ポイント名：P4-1、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：3m



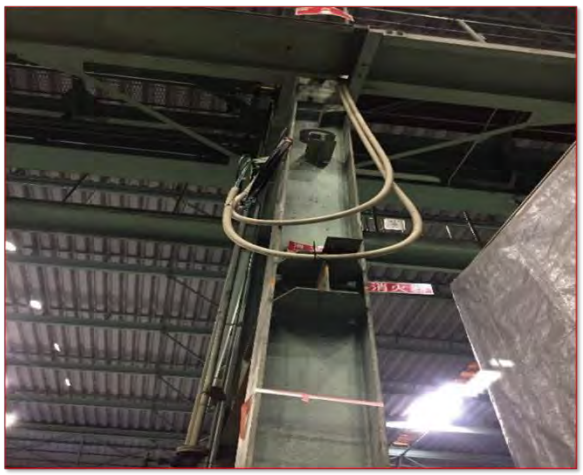
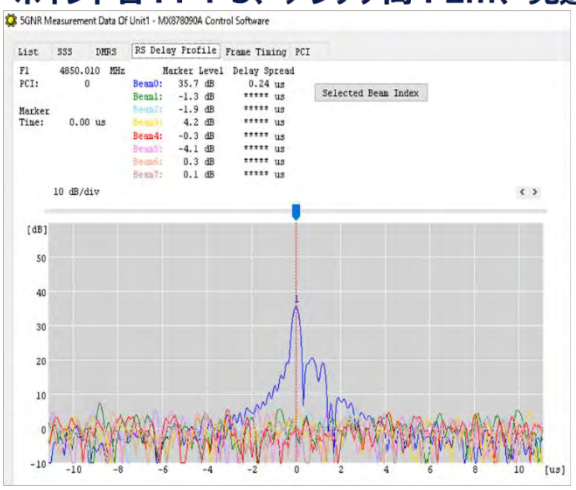
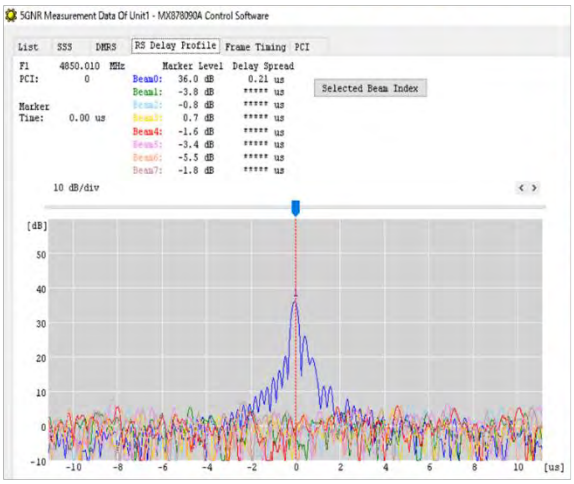


図 5.3.5-5）遅延プロファイル（11/21）

ポイント名：P4-3、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：10m



ポイント名：P4-3、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：10m



ポイント名：P4-4、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：18m

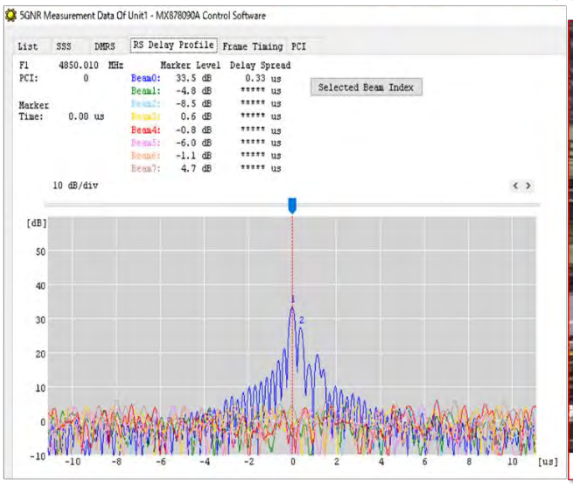
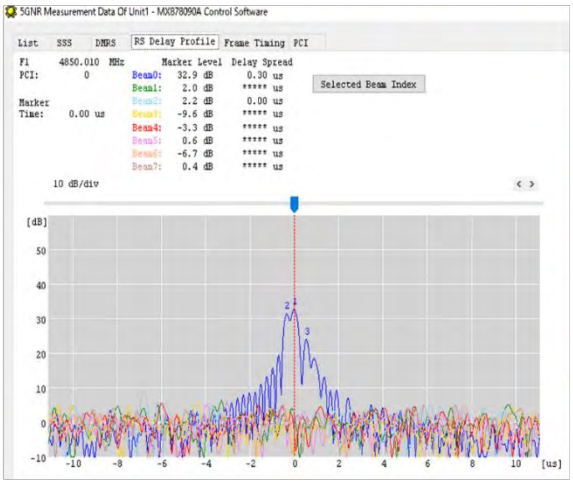
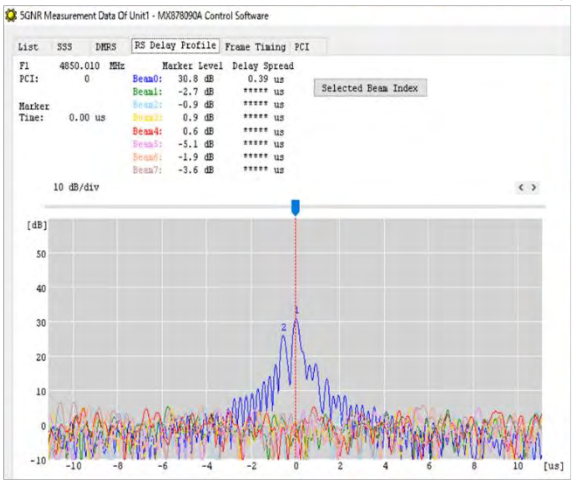


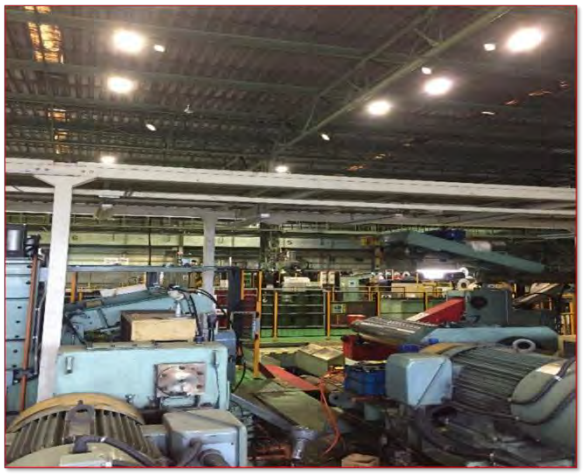
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（12/21）

ポイント名：P4-4、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：18m



ポイント名：P4-5、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：45m





ポイント名：P4-5、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：45m

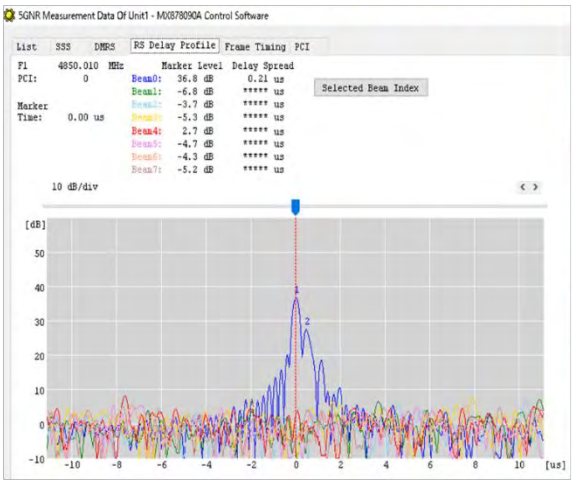
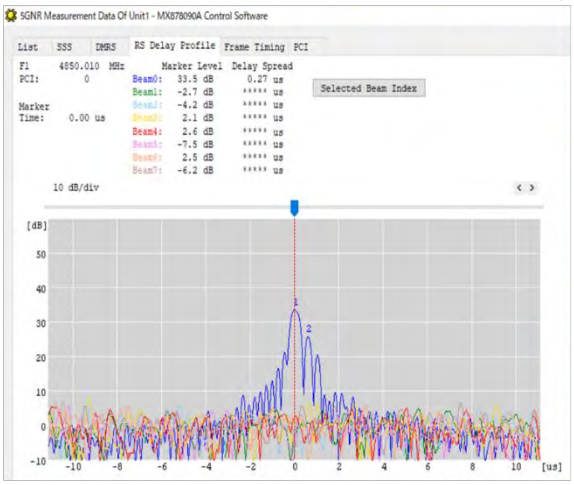
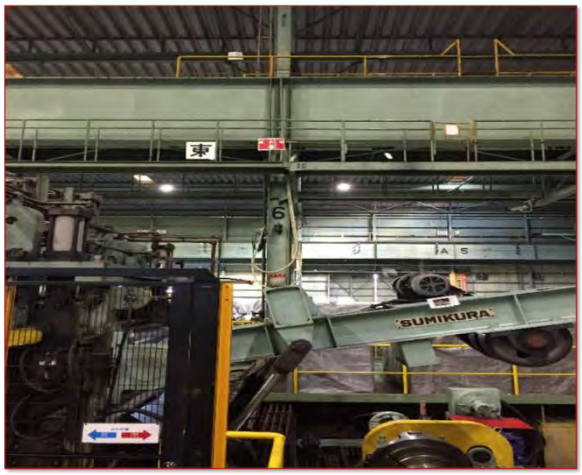


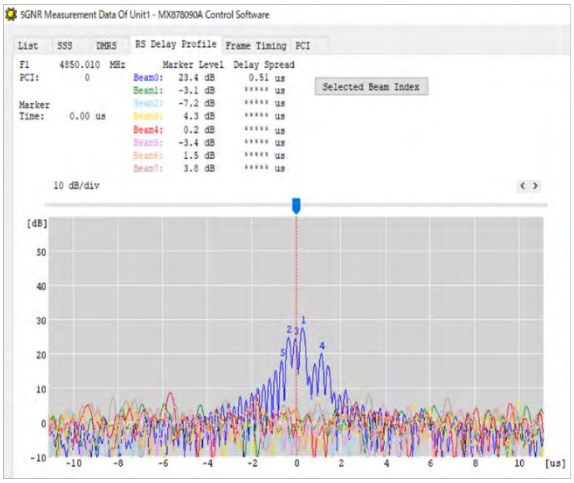
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（13/21）

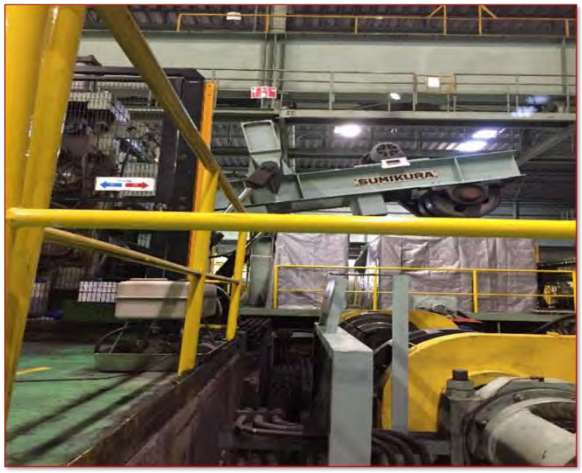
ポイント名：P5-3、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：10m



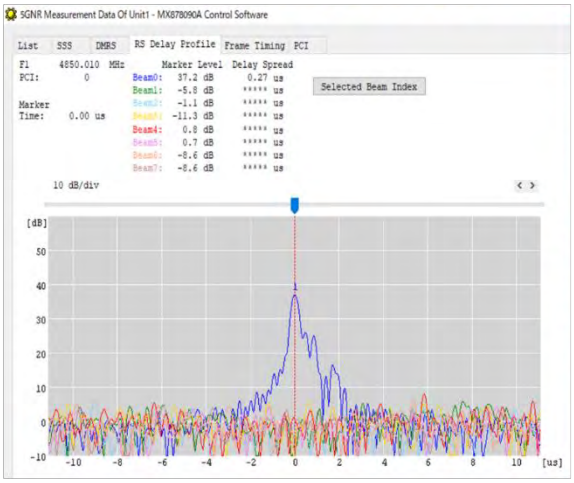


ポイント名：P5-3、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：10m





ポイント名：P5-4、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：20m



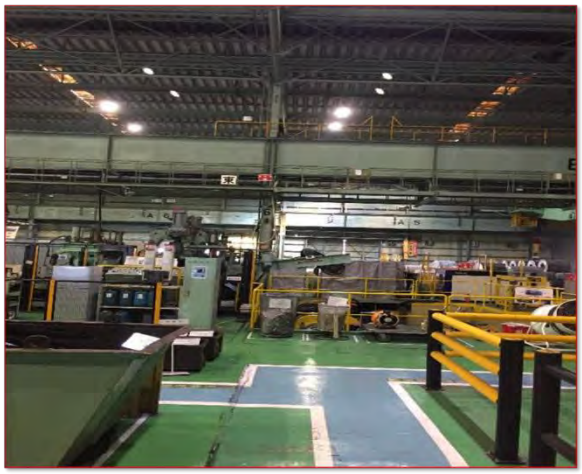
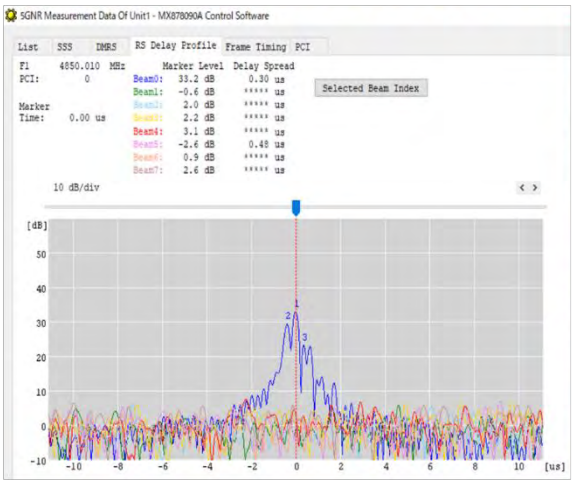
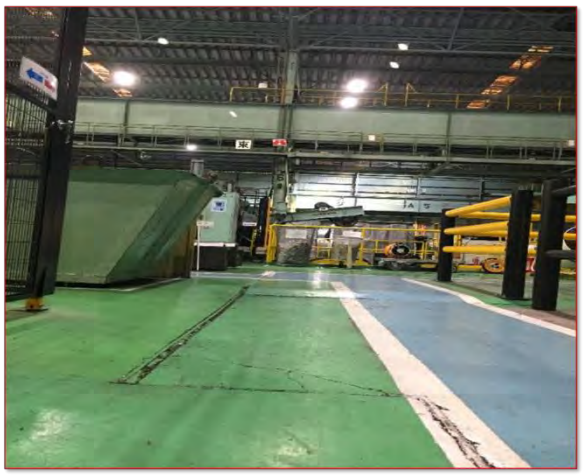


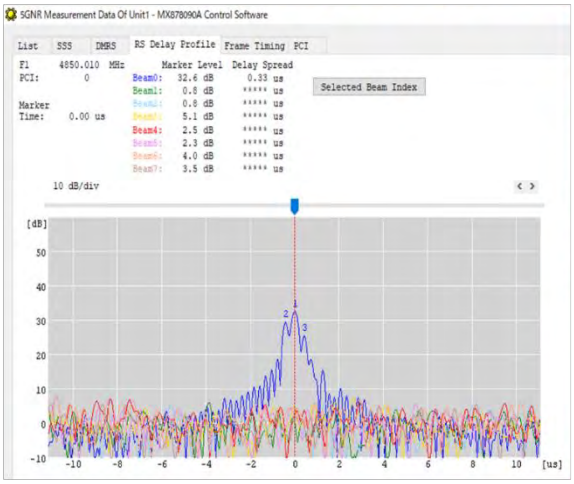
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（14/21）

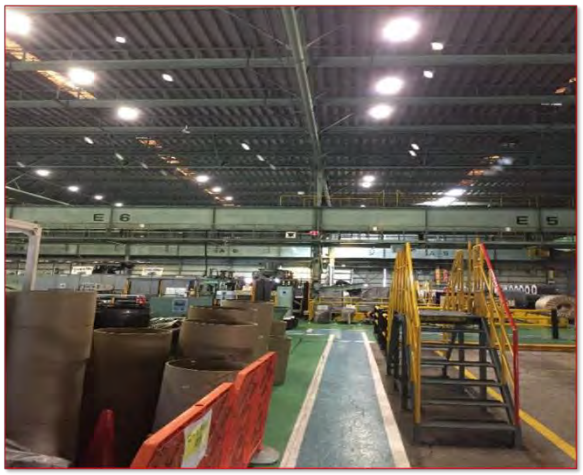
ポイント名：P5-4、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：20m



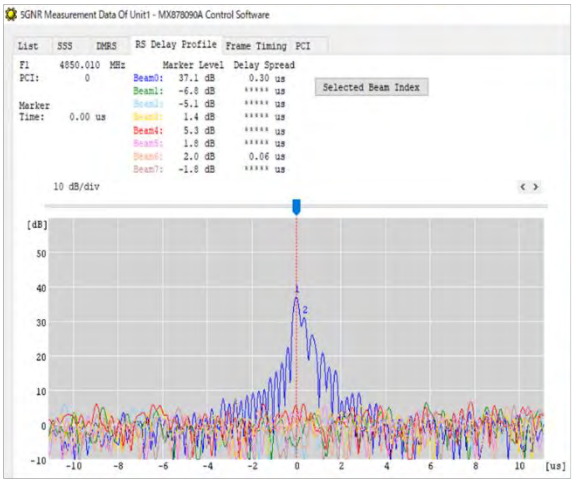


ポイント名：P5-5、アンテナ高：2m、見通し：LOS、RUからの距離：30m





ポイント名：P5-5、アンテナ高：0.3m、見通し：LOS、RUからの距離：30m



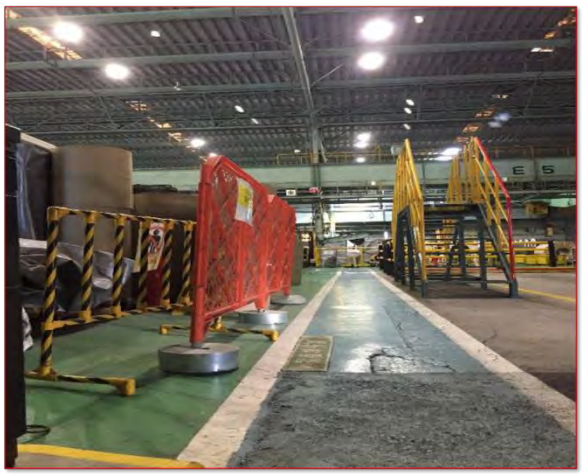
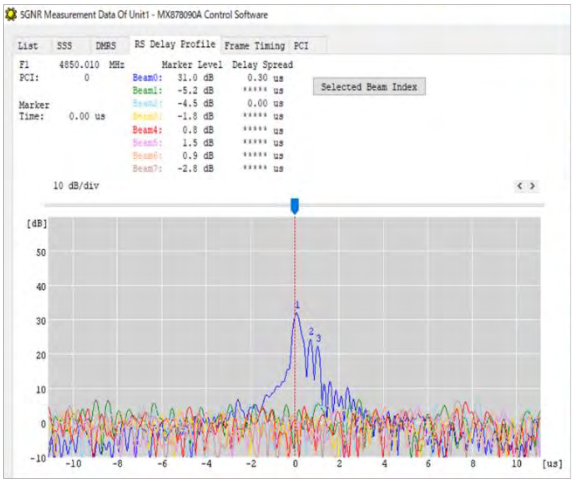
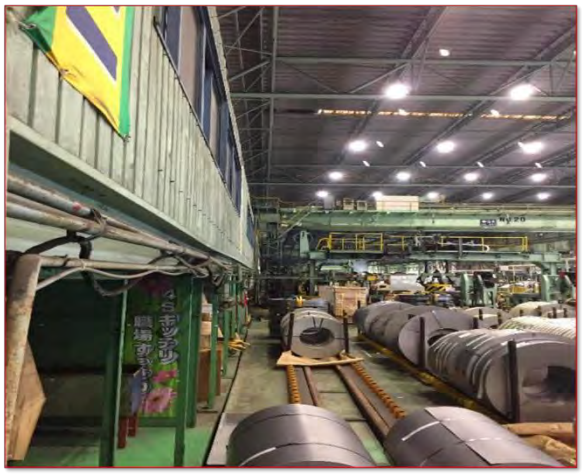


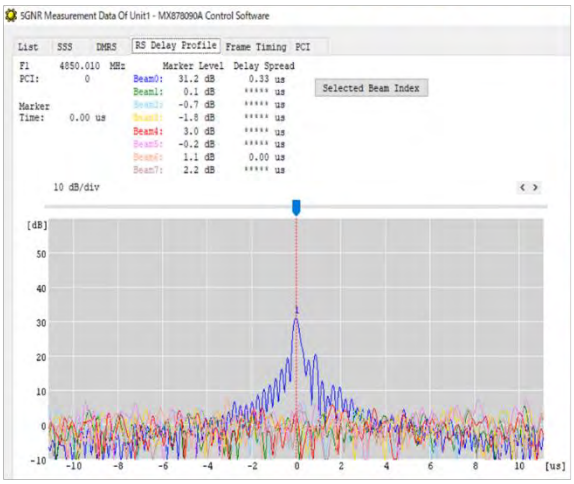
図 5.3.5-5) 遅延プロファイル（15/21）

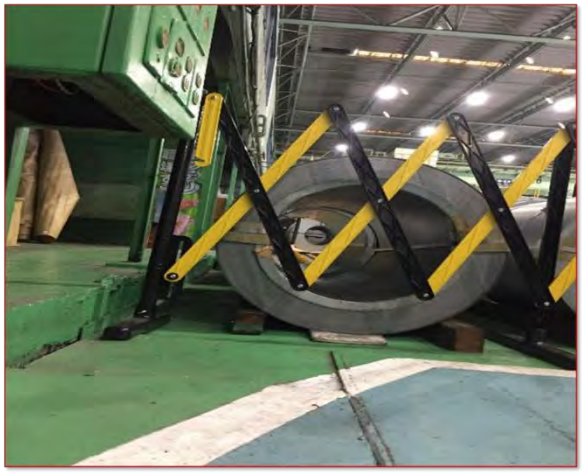
ポイント名：P6-1、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：68.8m



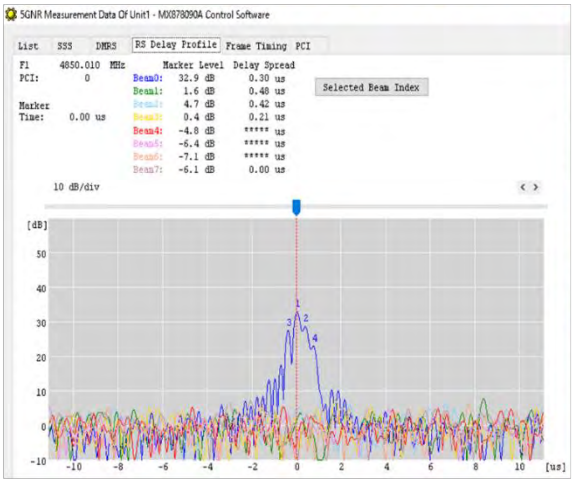


ポイント名：P6-1、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：68.8m





ポイント名：P6-2、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：68.8m



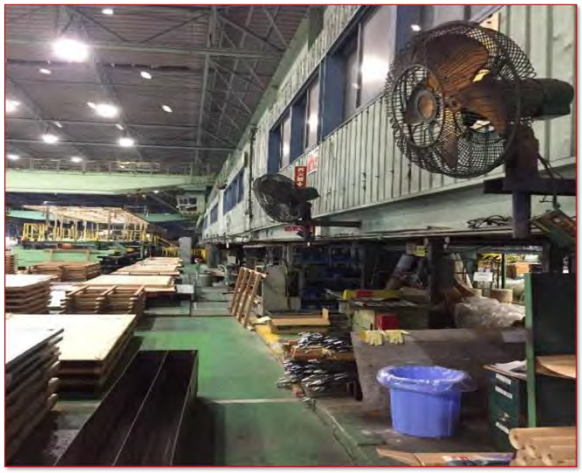
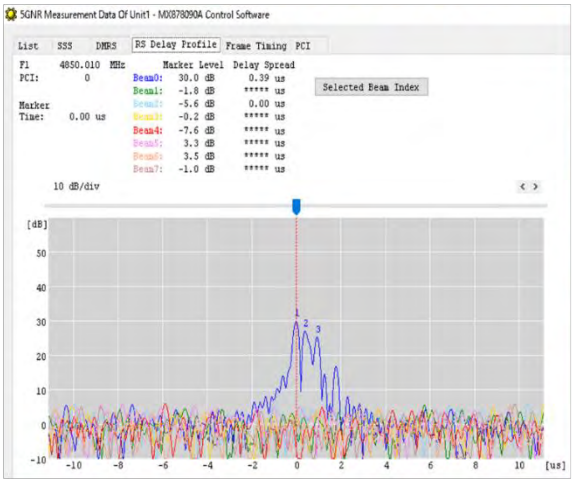
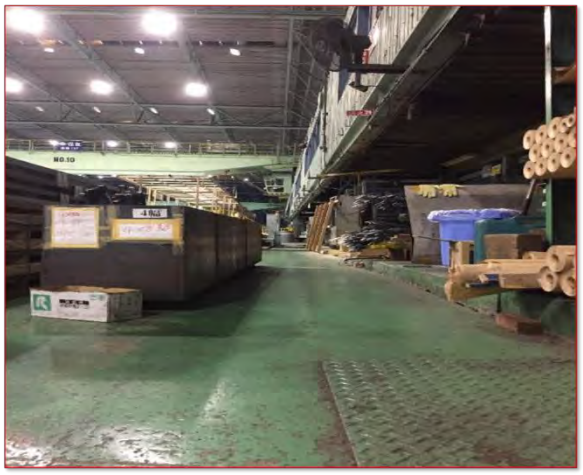


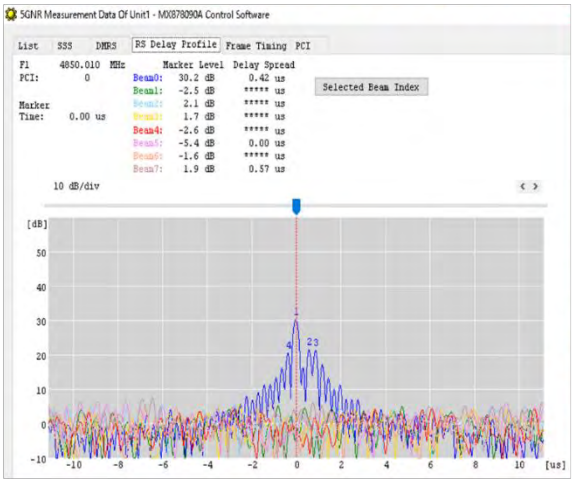
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（16/21）

ポイント名：P6-2、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：68.8m

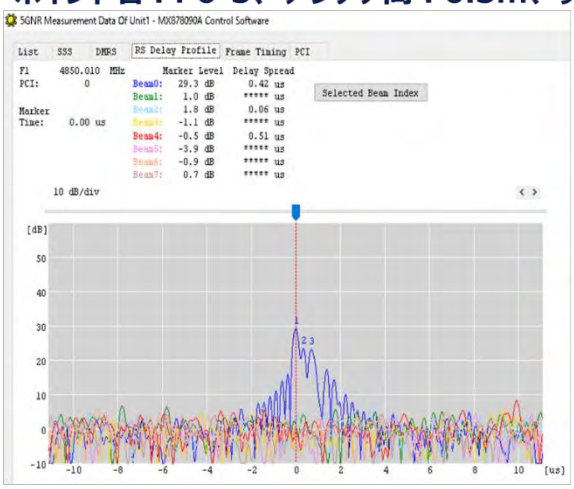




ポイント名：P6-3、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：85m



ポイント名：P6-3、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：85m



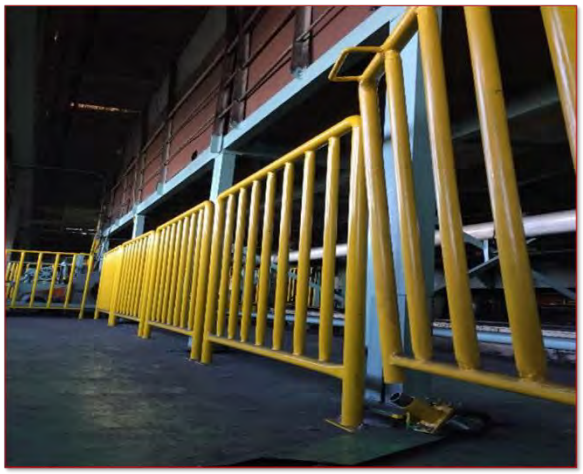
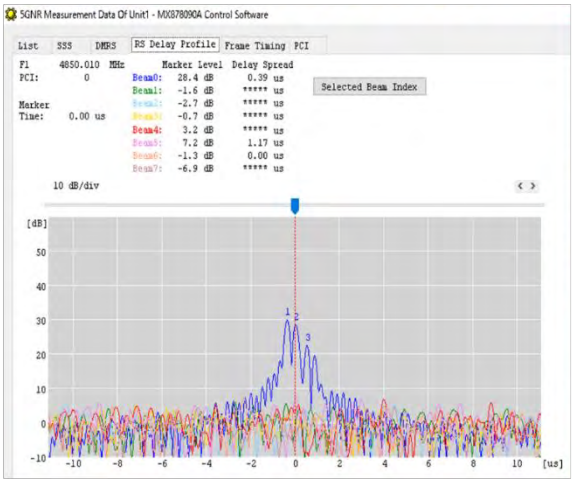
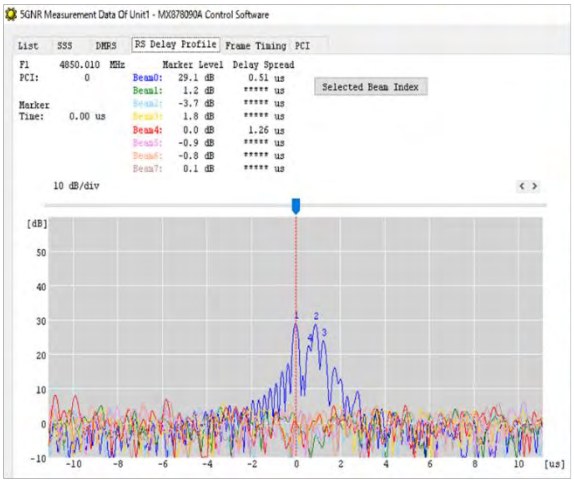


図 5.3.5-5）遅延プロファイル（17/21）

ポイント名：P6-4、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：85m



ポイント名：P6-4、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：85m



ポイント名：H1、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：99m

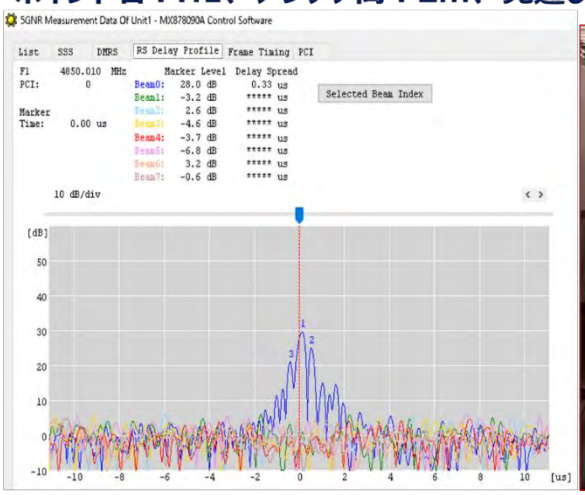
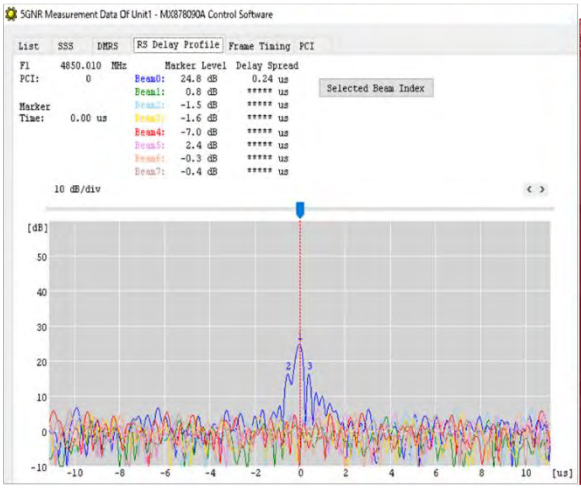
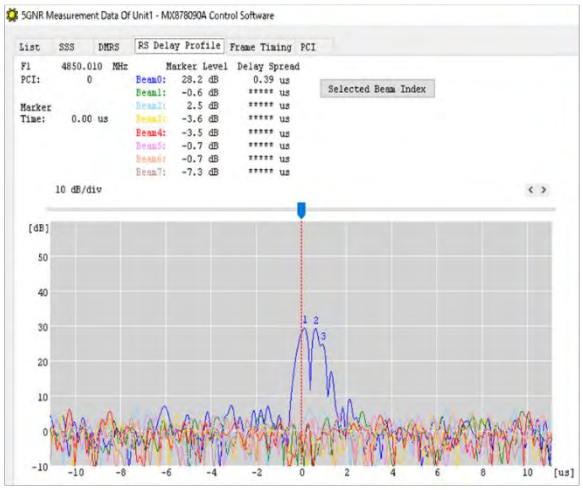


図 5.3.5-5）遅延プロファイル（18/21）

ポイント名：H1、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：99m



ポイント名：H2、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：104.1m



ポイント名：H2、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：104.1m

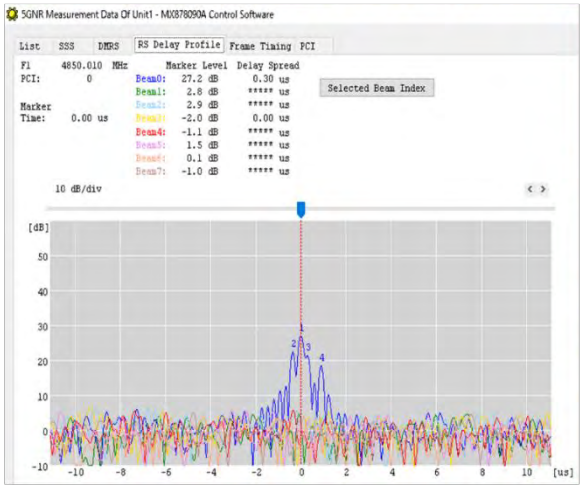
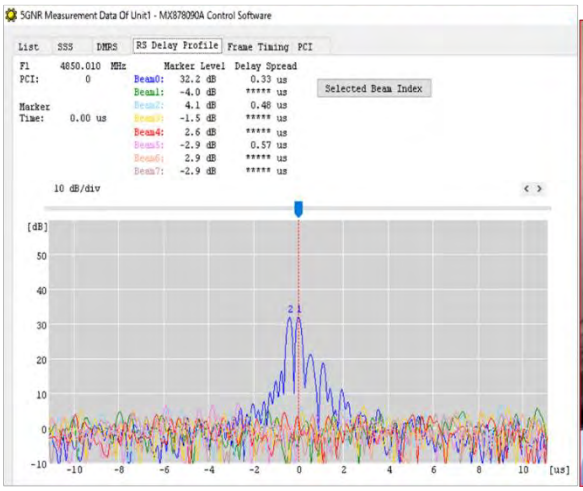
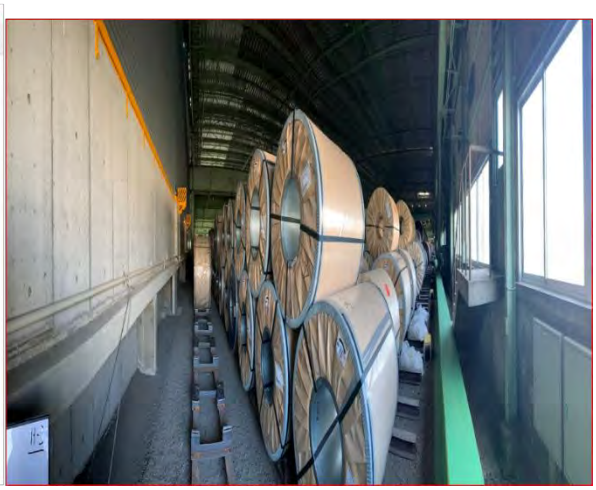


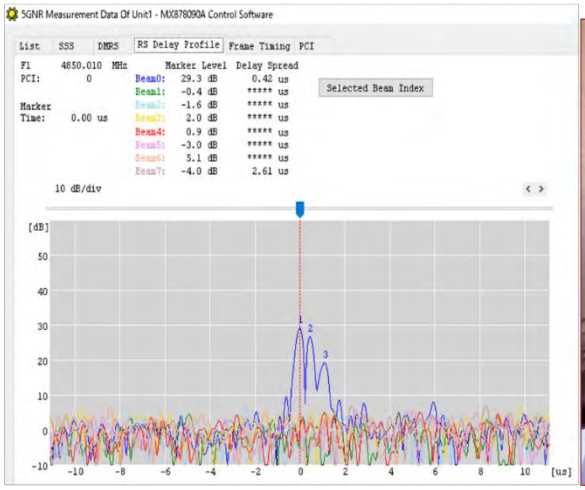
図 5.3.5-5) 遅延プロファイル（19/21）

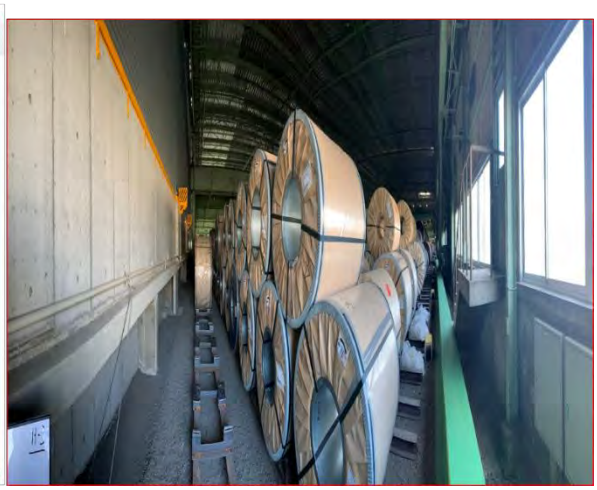
ポイント名：H3、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：104.1m



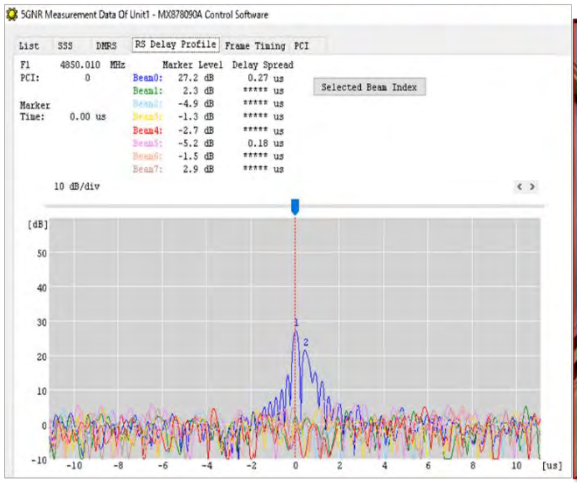


ポイント名：H3、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：104.1m





ポイント名：H4、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：245m



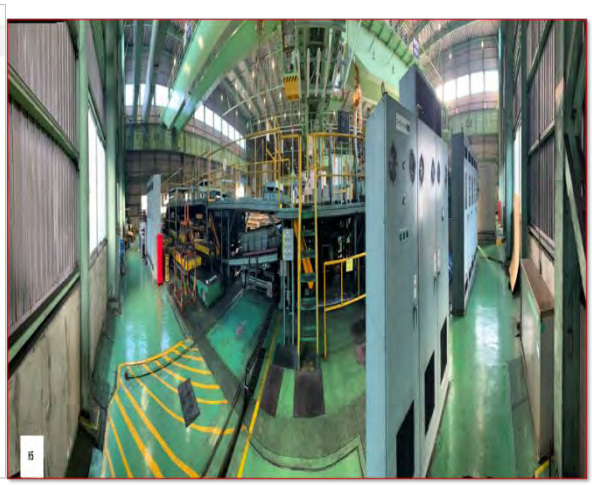
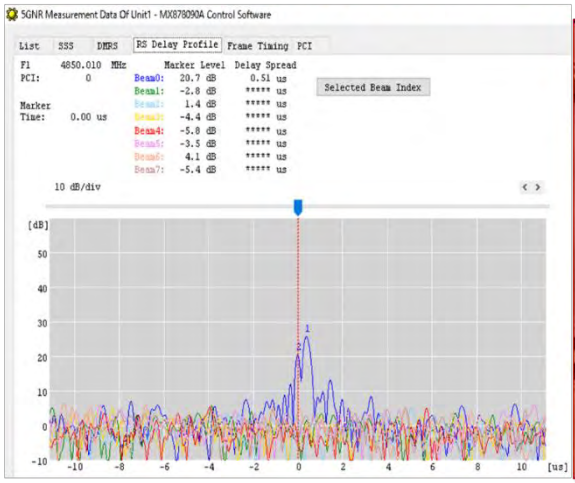
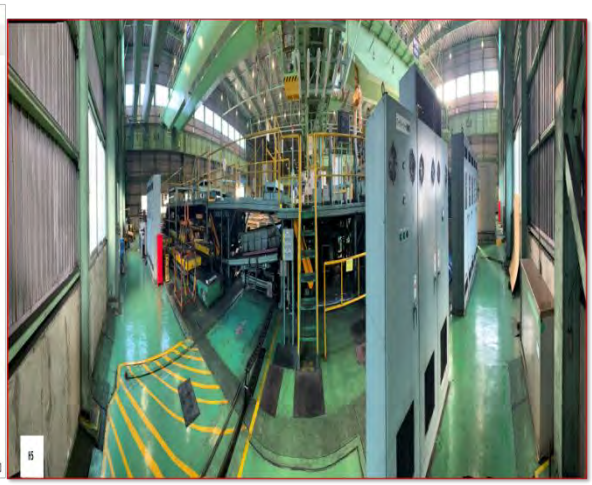


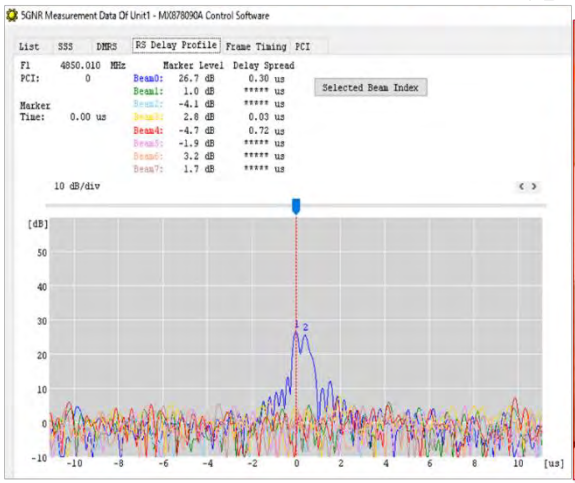
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（20/21）

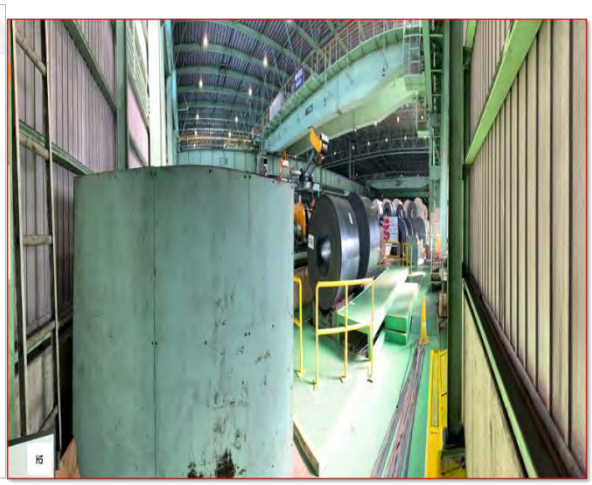
ポイント名：H4、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：245m



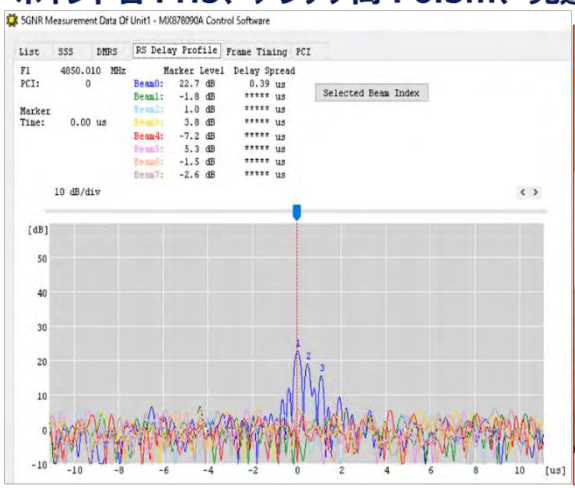


ポイント名：H5、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：247.1m





ポイント名：H5、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：247.1m



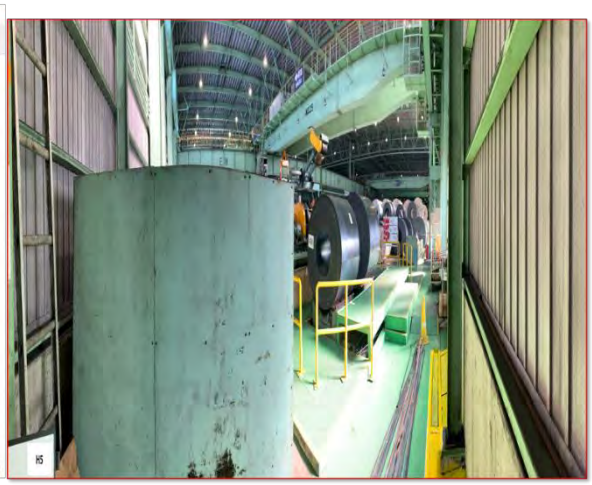
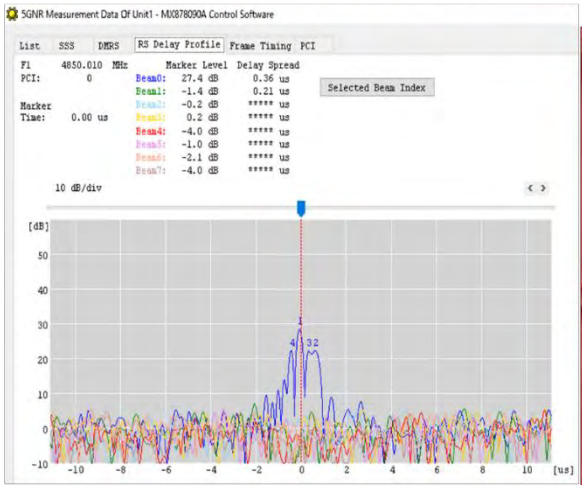
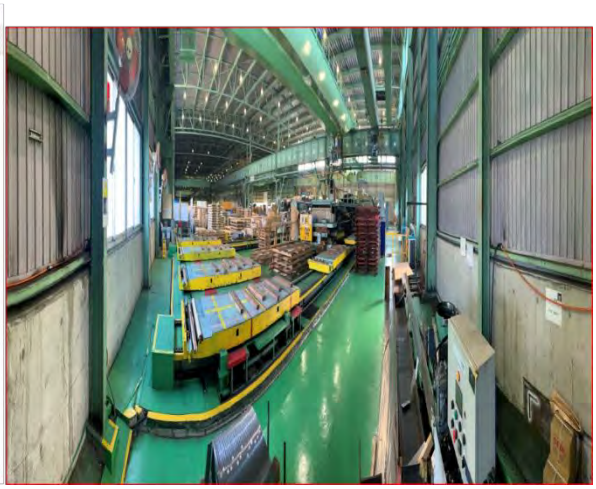


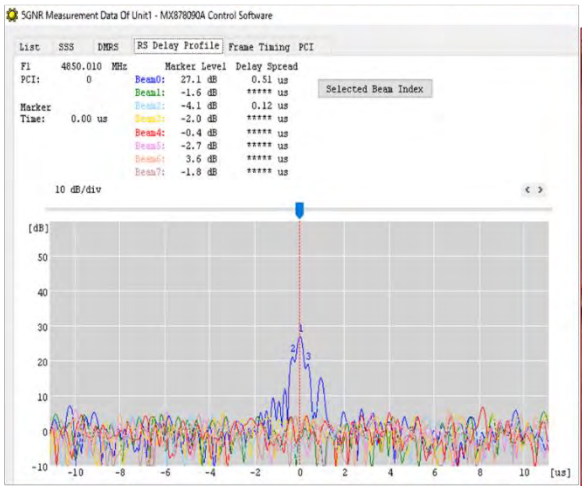
図 5.3.5-5）遅延プロファイル（21/21）

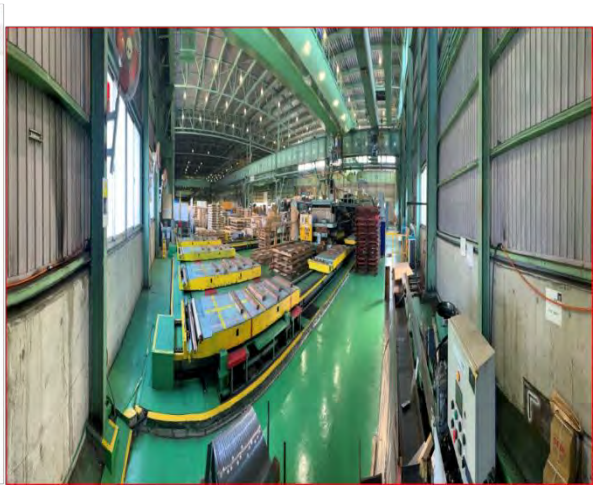
ポイント名：H6、アンテナ高：2m、見通し：NLOS、RUからの距離：247.1m





ポイント名：H6、アンテナ高：0.3m、見通し：NLOS、RUからの距離：247.1m





5.3.6. 工場屋内における電波伝搬損失係数

工場屋内の様々なユースケースにローカル５Ｇを利用するためには、工場屋内環境における電波伝搬の特性を知る必要がある。本実証環境の工場棟屋内で収集した実測値を用いて、実証目標のひとつである ITU-R P.1238 の伝搬損失係数 N を求める。

はじめに、伝搬損失係数 N を含んだ伝搬損失の計算式について ITU-R P.1238-10 から引用して（図 5.3.6-1）に示す。実測による伝搬損失値（Ltotal[dB]）と測定地点までの伝搬距離（d[m]）を記録することで伝搬損失係数 N を求められることが分かる。

5.3.6-1）伝搬損失計算式 ITU-R P.1238-10(08/2019)より

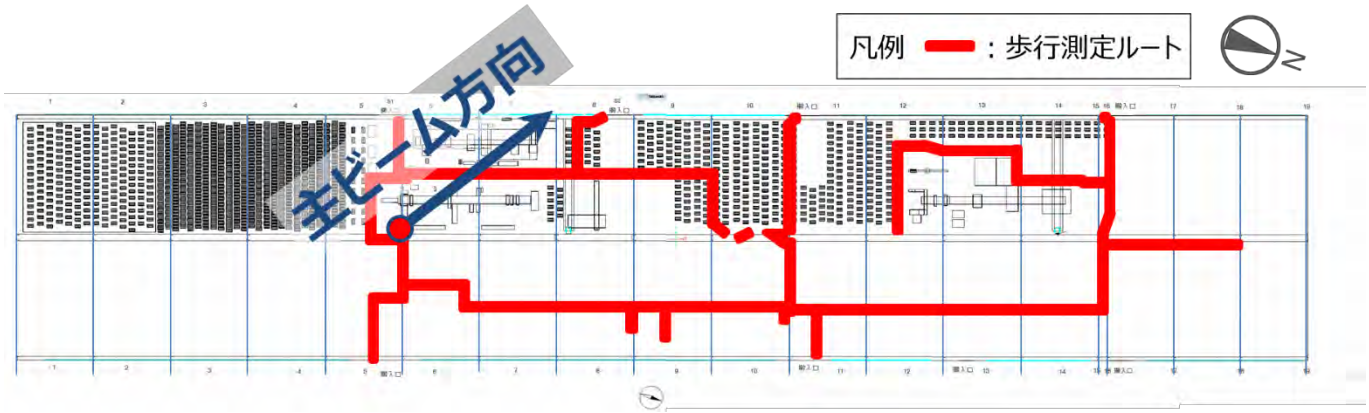
$$L_{total} = L(d_o) + N \log_{10} \frac{d}{d_o} + L_f(n) \qquad \text{dB} \qquad (1)$$

where:

- N: distance power loss coefficient
- f: frequency (MHz)
- d: separation distance (m) between the base station and portable terminal (where $d > 1$ m)
- d_o: reference distance (m)
- $L(d_o)$: basic transmission loss at d_o (dB), for a reference distance d_o at 1 m, and assuming free-space propagation $L(d_o) = 20 \log_{10} f - 28$ where f is in MHz
- L_f: floor penetration loss factor (dB)
- n: number of floors between base station and portable terminal ($n \geq 0$), $L_f = 0$ dB for $n = 0$.

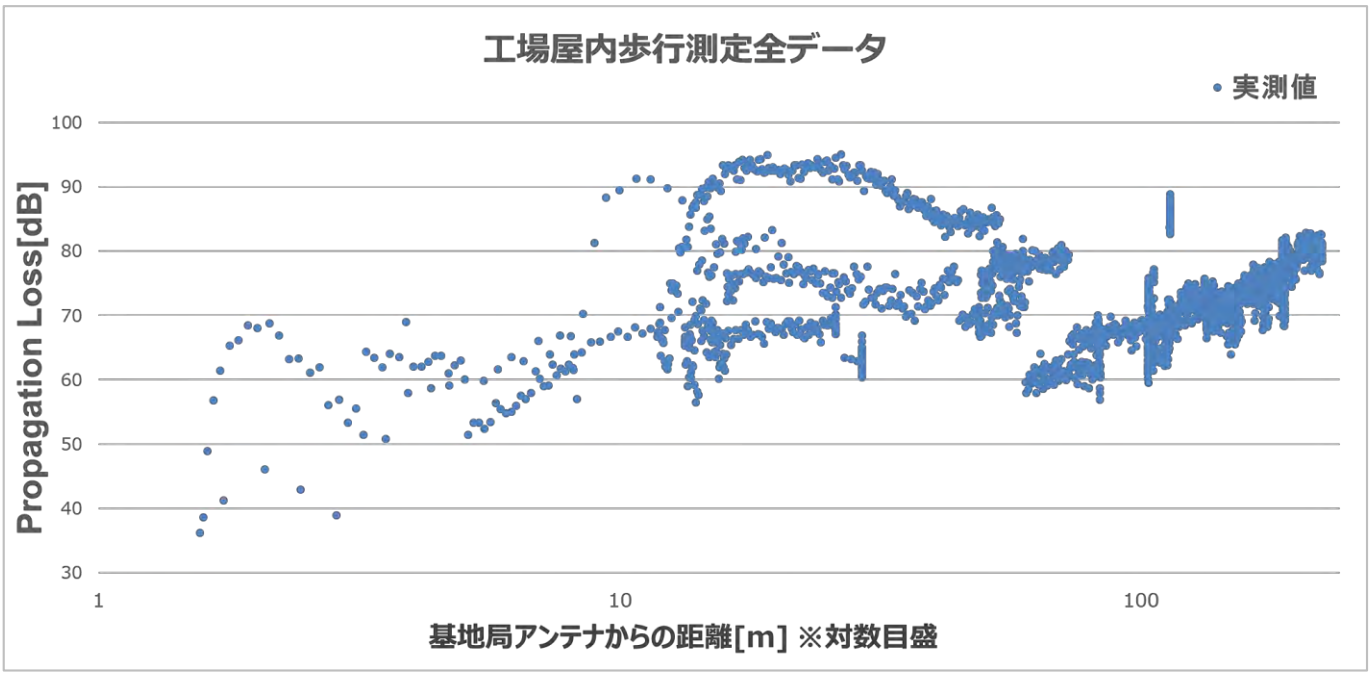
次に、本実証の工場屋内環境で歩行測定を行ったルートを（図 5.3.6-2）に示す。伝搬損失係数を求める上では屋内空間をくまなく測定することが望ましいが、稼働中の工場内では作業安全確保の観点から、安全通路上のみに制限された。

図 5.3.6-2）工場屋内歩行測定ルート



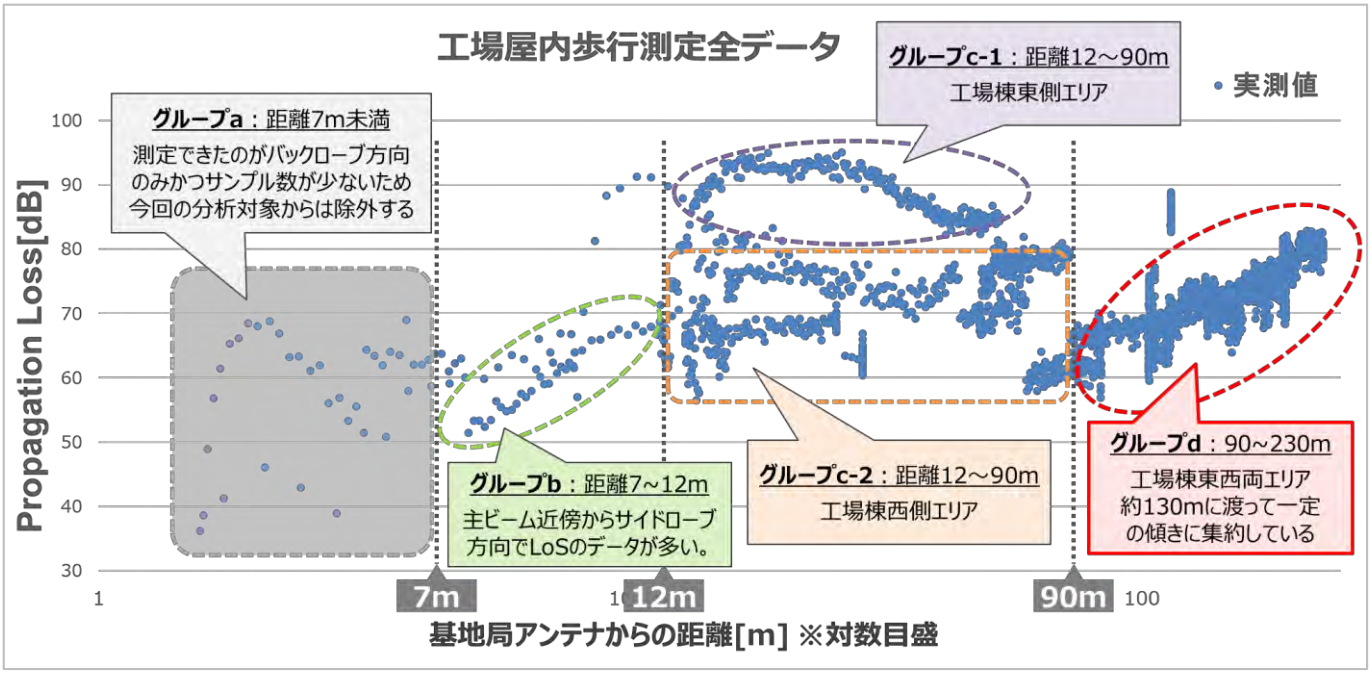
上記ルートにて歩行測定を行った全データを縦軸に伝搬損失[dB]、横軸に基地局アンテナからの距離[m]（対数目盛）をとった分布図グラフにして（図 5.3.6-3）に示す。

図 5.3.6-3）工場屋内歩行測定全データの分布図



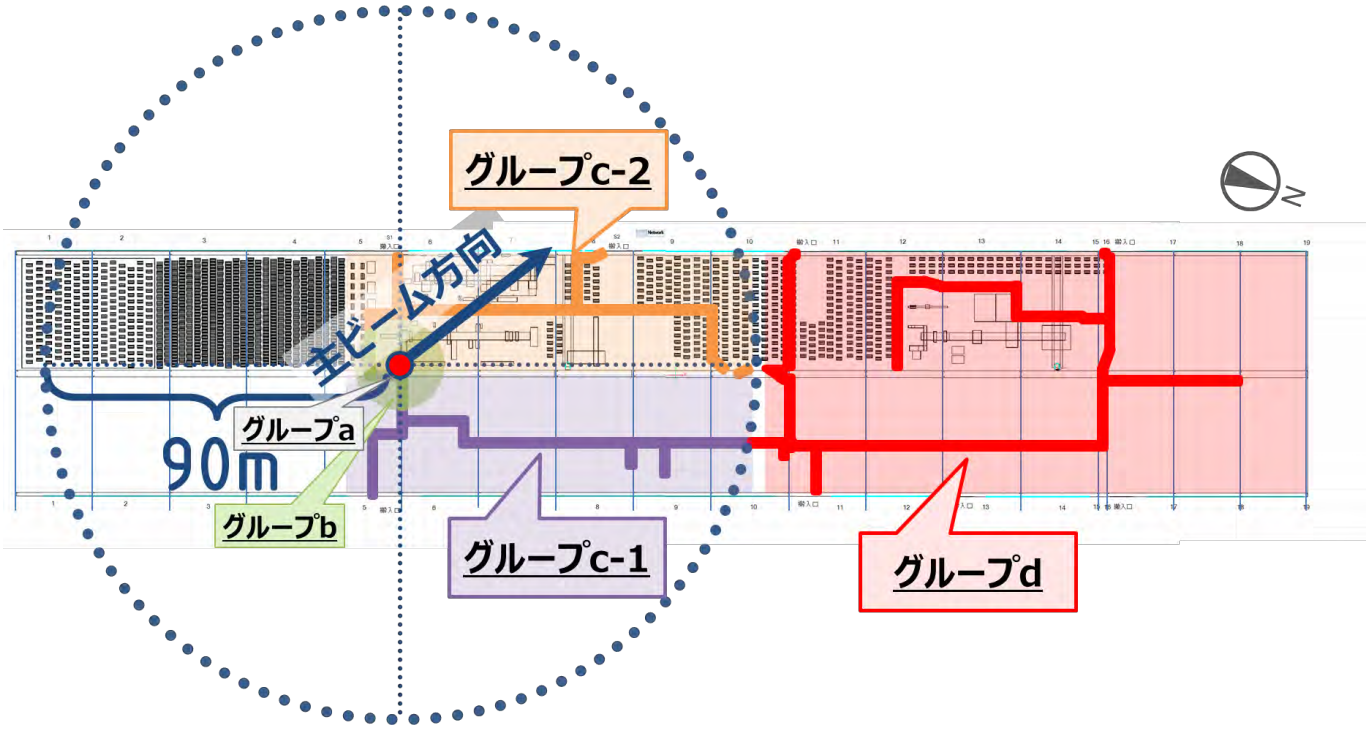
この全データを用いて伝搬損失係数 N を求めることは計算上可能であるが、距離レンジごとのバラツキが大きく、ひとつの傾きに集約させるのは適切でないと考え、いくつかのグループに分けて分析した。歩行測定実測値の傾向によるグループ分けを（図 5.3.6-4）に示す。

図 5.3.6-4）歩行測定実測値の傾向によるグループ分け



このグループ分けを測定ルート上で色分けしたものを（図 5.3.6-5）に示す。

図 5.3.6-5）歩行測定ルートをグループ別に色分け



【グループ a】基地局アンテナからの距離 7m 未満

安全通路上で測定できたのが基地局アンテナのバックローブ方向のみ、かつサンプル数が少ないため今回の分析対象からは除外する。

【グループ b】基地局アンテナからの距離 7～12m

一定の傾きに集約しているが 10m に満たない短い区間のため個別の N 値は求めない。

【グループ c-1】基地局アンテナからの距離 12～90m

基地局アンテナ主ビーム方向とは逆の工場棟東側に位置するエリア。工場棟中央にある現場事務所が西側エリアと東側エリアを隔てており、距離 15~30m 程度までは現場事務所の影に入るため伝搬損失が高い。また、30m～90m 区間は西側からの反射が届くエリアに入るために受信レベルが高まることから、距離が離れるほど伝搬損失が小さくなる右下がりのグラフとなっている。

【グループ c-2】基地局アンテナからの距離 12～90m

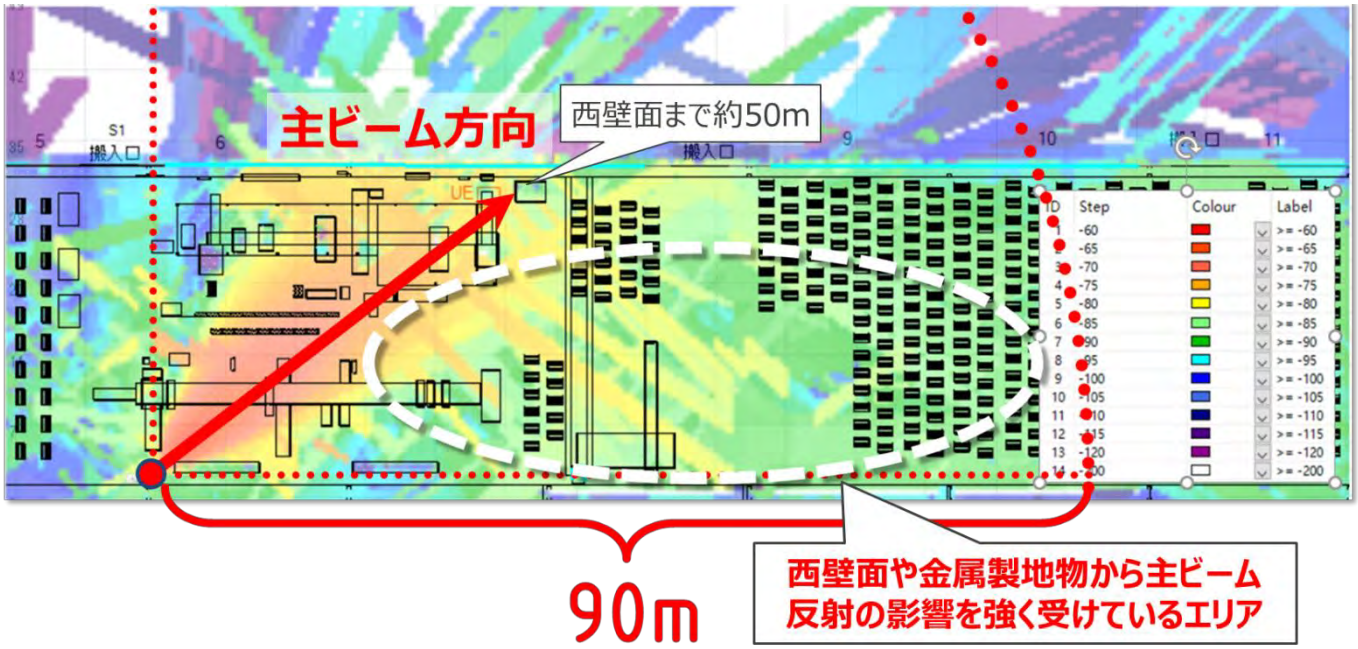
基地局アンテナの主ビーム方向となる工場棟西側エリア。特にバラツキが大きいため、エリアシミュレーション結果を用いてバラツキ発生の要因を分析する。

【グループ d】基地局アンテナからの距離 90m 以上

工場棟東西両エリアの混在データであるが、90～220m に渡り一定の傾きに集約している。

グループ c-2 についてエリアシミュレーションのヒートマップを（図 5.3.6-6）に示す。

図 5.3.6-6）エリアシミュレーションで見たグループ c-2 の電波状況

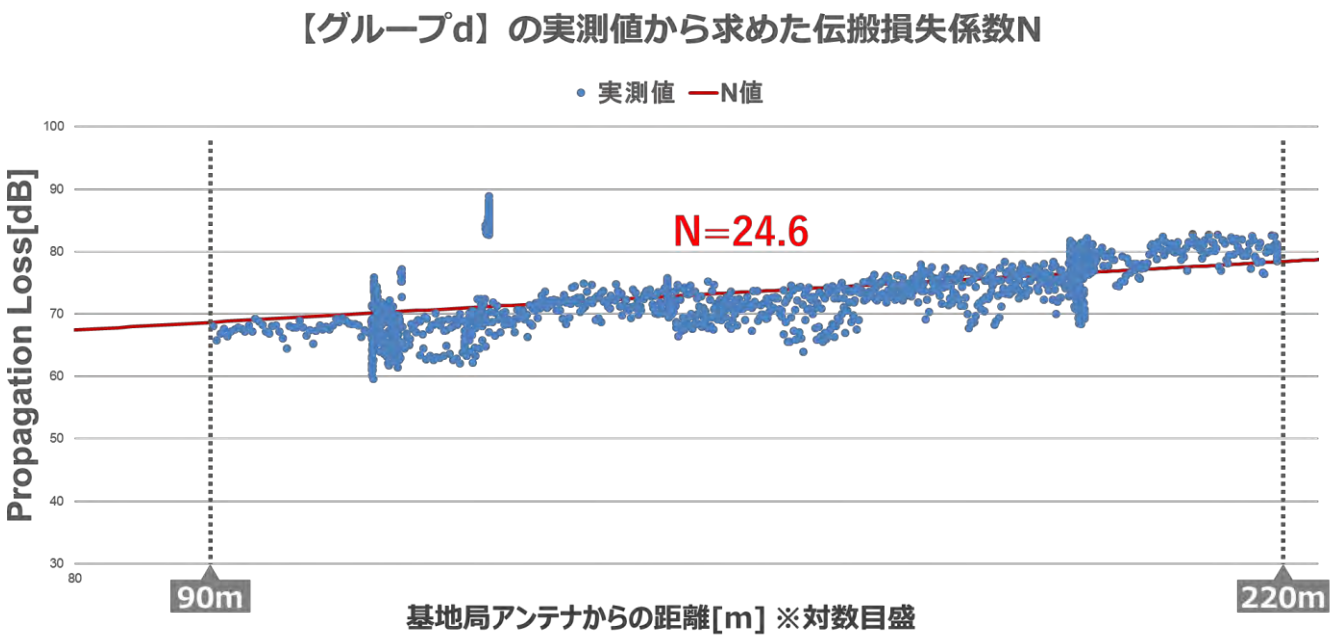


グループ c-2 の測定結果は、S1,S2 ライン設備からの主ビーム反射を強く受けているエリアと考えられ、反射元となるライン設備の形状は一様でないことから、伝搬損失のバラツキにつながったと想定される。（ヒートマップでは縞模様に表れている）

参考にグループ c-2 の測定結果のみを取り出して伝搬損失係数を求めると N=約 2.2 となり、ほとんど距離に応じた伝搬損失の増加がない結果となった。このように実験環境個別の状況が強く現れた実測値を伝搬損失係数に反映することは適切でないと考える。

グループ d は工場棟東西エリアの両方を含んでいるが、主ビームからの強い反射など極端な影響は受けておらず一定の傾きで表現することが妥当と考えられる。（図 5.3.6-7）にグループ d のみを切り出して伝搬損失係数 N を求めたグラフを示す。

図 5.3.6-7）グループ d の伝搬損失係数 N



ITU-R P.1238「4.7GHz 帯・Factory」に対する伝搬損失係数 N の一事例とする観点では、算出した N 値だけを述べるのではなく、適用条件を付記して提言することが妥当と考える。（実際、既定の N 値に関しても注釈で実測時の条件が付記されている）

アンテナ設置高やビーム幅など実測構成のパラメータに加えて「地物からの反射の影響が大きい、伝搬距離 90m 以内を除いた N 値=24.6」とすることを提案する。

5.3.7. 類似の調査

4.7GHz 帯の屋内電波伝搬特性に関する過去の報告事例を調査し、本実証環境の測定結果との比較を行う。

【報告事例】

５Ｇ総合実証 GVI「屋内において 2 万台程度の多数同時接続通信を可能とする第５世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」報告書（平成 30 年 3 月 NICT）

本報告事例ではいくつかの異なる屋内環境での電波伝搬特性の調査が行われており、その中に本実証環境と同様に天井高が高い空間における伝搬損失の測定結果があった。本実証環境との相違点としては伝搬路における遮蔽物の有無があげられる。類似点および相違点を（図 5.3.7-1）にまとめる。

図 5.3.7-1）過去事例との類似点・相違点

比較項目		本実証	報告事例
類似点	中心周波数	4.85GHz	4.64GHz
	建物の天井高	14.7m	12.3m
相違点	屋内の遮蔽環境	遮蔽となる金属製の地物が多い	ほぼ遮蔽なし

本報告事例のⅡ-19 ページには「自由空間モデルと M.2135 モデルのほぼ中間的な伝搬損失距離特性が得られた」との報告がある。測定環境と結果のグラフについて本報告事例の抜粋を（図 5.3.7-2）および（図 5.3.7-3）に示す。

図 5.3.7-2）報告事例における測定環境

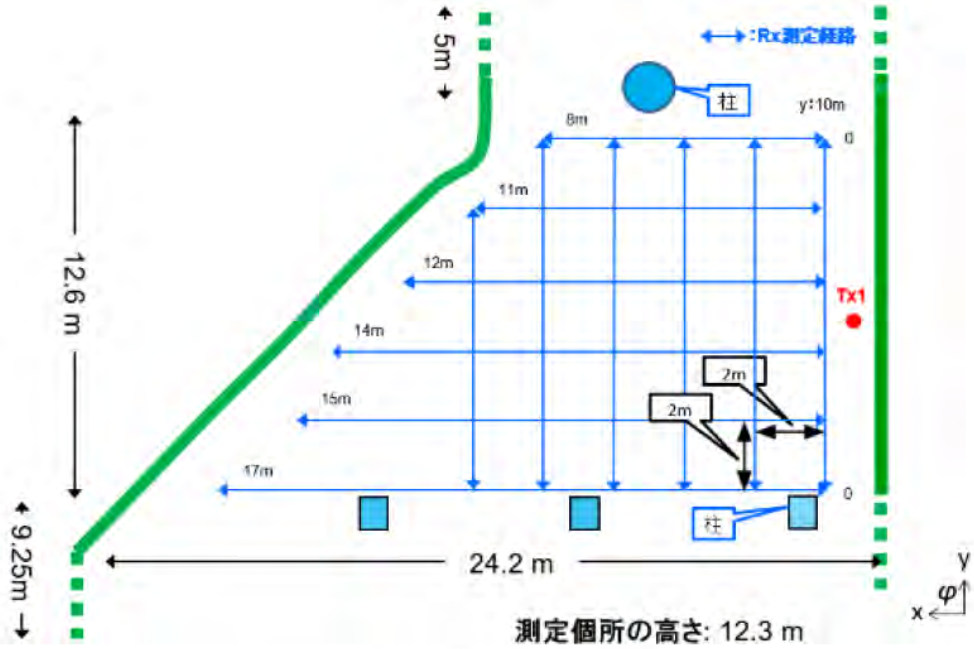
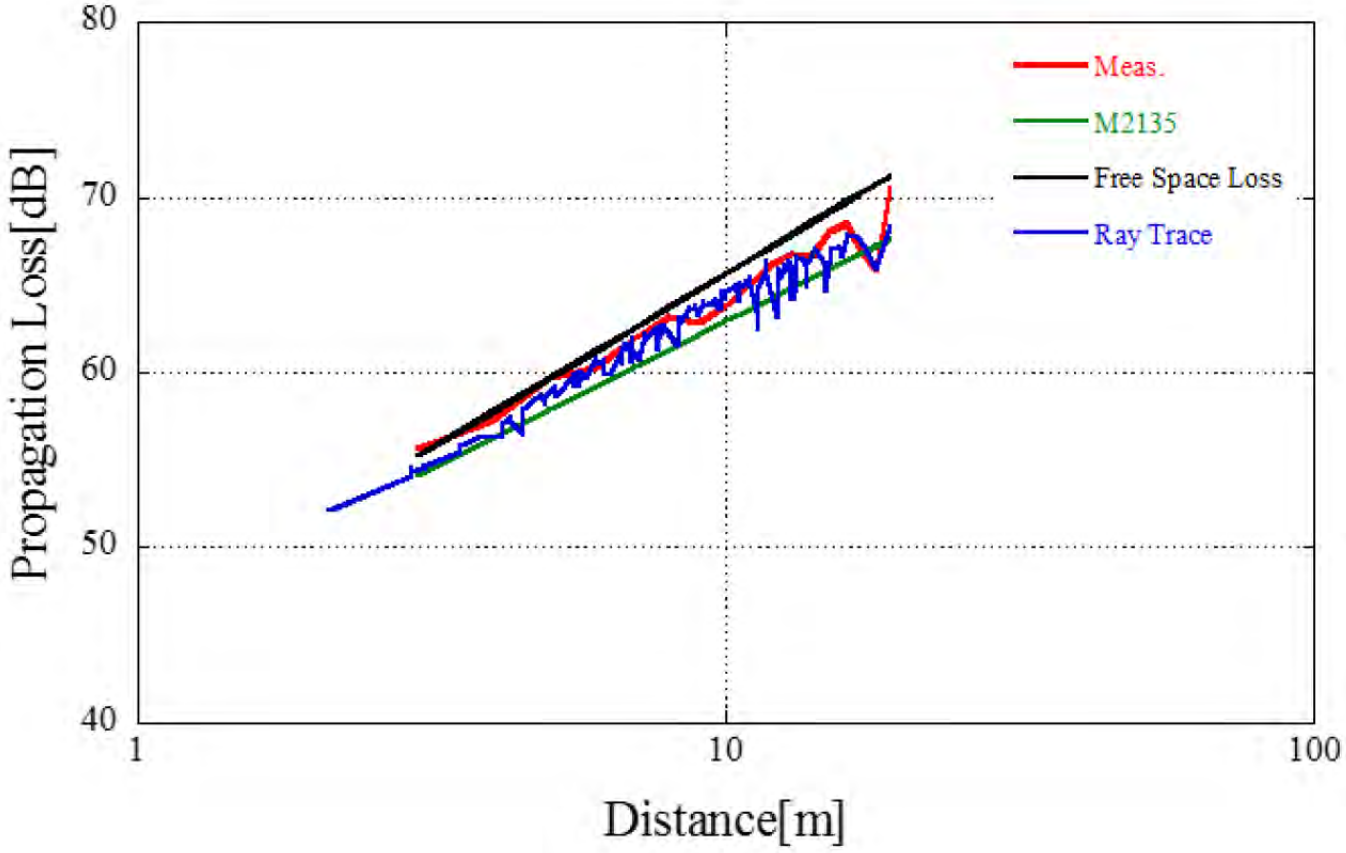


図 2-7 測定コース(YRP1 番館エントランス)

図 2-8 測定風景(YRP1 番館エントランス)

図 5.3.7-3) 報告事例の測定結果グラフ



本実証環境における伝搬損失係数(項 5.3.5. 工場屋内における電波伝搬損失係数を参照)は 24.6 であり、傾きは 2.46 となる。本報告事例の屋内伝搬損失の傾き（数値として報告書に記載はないがグラフから読み取ればおおよそ 2.0）と比較すると、単位距離あたりの伝搬損失増加量は本報告事例よりも大きい値となった。これは遮蔽物がほとんどない環境条件よりも工場屋内の方が遠くまで電波が到達しにくいことを示しているが「項 5.3.5. 工場屋内における電波伝搬損失係数」および「項 5.4.5. 実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上」で触れている通り、本実証環境の基地局アンテナから約 90m の範囲内は、電波の反射と回折の効果により、自由空間よりも受信電力が高くなる傾向にある。工場のような複雑な電波伝搬環境をひとつの指標のみで表現することは困難なため、前提となる条件の設定が不可欠になると考える。

5.3.8. 技術的課題の解決方策

本実証における課題解決システム【目視検査の自動化】および【遠隔作業者支援】は、どちらも上りリンクの大容量通信を要求する（逆に下りリンクはほとんど使用しない）アプリケーションであった。これは特殊なケースではなく「現場（工場内）の情報を離れた場所（事務所等）へ送る」ことに価値が生まれるという点で、工場市場全般にいえることだと考える。工場内のある区画に対してローカル５Ｇを設計し、上りリンク要求スループットを満たすことは達成できたが、今後、端末数の増加や課題解決システムの機能拡充（例：【目視検査の自動化】における高速度ライン稼働への対応）により、更に上りリンクスループットの要求値が高まることが予想される。

実測の結果として、上りリンクスループットの大容量化にMIMOが効果を発揮していたが、下りリンクに比べて送信出力が小さい上りリンクでは、その適用エリアは基地局からの距離約25m以内に限定されていた。また、ある地点においてMIMOの効果が十分に得られるかはシミュレーションをしても事前に知ることが難しいため、スループット要求に対するエリア設計の観点ではMIMOが動作しないケースを考慮して進める必要がある。

今後のローカル５Ｇ機器においてマルチアンテナ技術の高度化（Massive MIMOの実装）は通信容量全体のパイを増やす施策として期待される一方、使われずに無駄になってしまう下りリンクの通信リソースを上りに割り当てる「準同期 TDD」の運用は工場の現場ニーズに即したものと考える。準同期に関しては「項5.5.2. 準同期TDDのスループット測定」に記載する。

5.4. ローカル５Ｇのエリア構築やシステム構成の検証等

5.4.1. 評価・検証項目

基地局設置場所の制約をはじめ、工場稼働に影響を与えず安全面にも配慮した測定ポイント選定。多様な環境条件については、測定ポイント選定において、距離の遠近、見通しの有無、遮蔽状況として金属機械・外壁・シャッター・窓などの違いによる差分が見られるように考慮した。

屋外への電波漏洩評価は、事前シミュレーションおよび伝搬損失推定式の計算値と実測値の差分を確認する。試験パターンを（図 5.4.1-1）に示す。

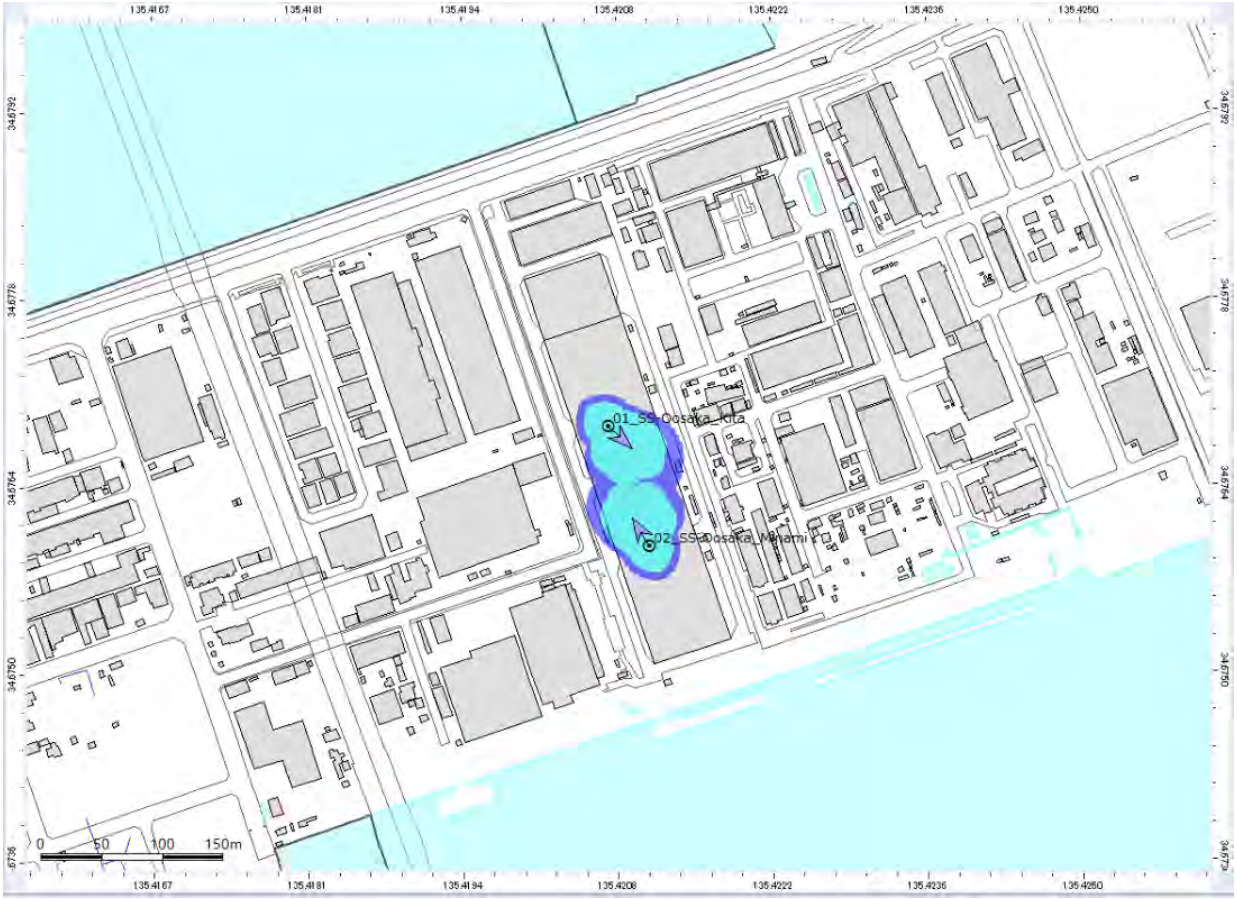
図 5.4.1-1）屋内エリア品質評価の試験パターン

L5G技術実証検証項目		基地局諸元							シャッター開閉	
		受信アンテナ高(m)	送信出力(dBm)		アンテナ方位角(°)		アンテナチルト角(°)		西#1	西#2
		端末UE	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2		
1	エリア品質評価	0.3	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
2		2.0								
3	屋外漏洩評価	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
4							停波	❽ 30		
5							停波	❼ 55		
6							停波	❻ 5	Close	
7							停波	❽ 30		
8							停波	❼ 55		
9							停波	❻ 5	Open	Close
10							停波	❽ 30		
11							停波	❼ 55		
12							停波	❻ 5	Close	
13							停波	❽ 30		
14							停波	❼ 55		
15	ハンドオーバー機能評価	2.0	24.9	24.9	❷ 244	❸ 258	❾ 30	❽ 30	Close	Close
16					❹ 171	❺ 332				
17	準同期スループット	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	－	－

5.4.2. カバーエリアおよび調整対象区域

総務省訓令第 47 号が令和 2 年 12 月に告示され、新しいカバーエリア及び調整対象区域の算出法が示されたため、改めて調整対象区域図を作成した。（図 5.4.2-1）に示す。

図 5.4.2-1）新しいエリア算出法による調整対象区域図



回線設計（基地局相当）

番号	項目	単位	値
a	周波数	GHz	4.85
b	所要セル半径	m	100
c	電波伝搬損失（※）	dB	106.95
d	所要受信電力	dBm	-67.3
e	空中線利得（送信側）	dBi	14.3
f	給電線損失（送信側）	dB	0.0
g	空中線利得（受信側）	dBi	2.4
h	給電線損失（受信側）	dB	2.0
i	所要送信電力（※1）	dBm	24.95

（※1）空中線 4 ストリーム合成所要電力

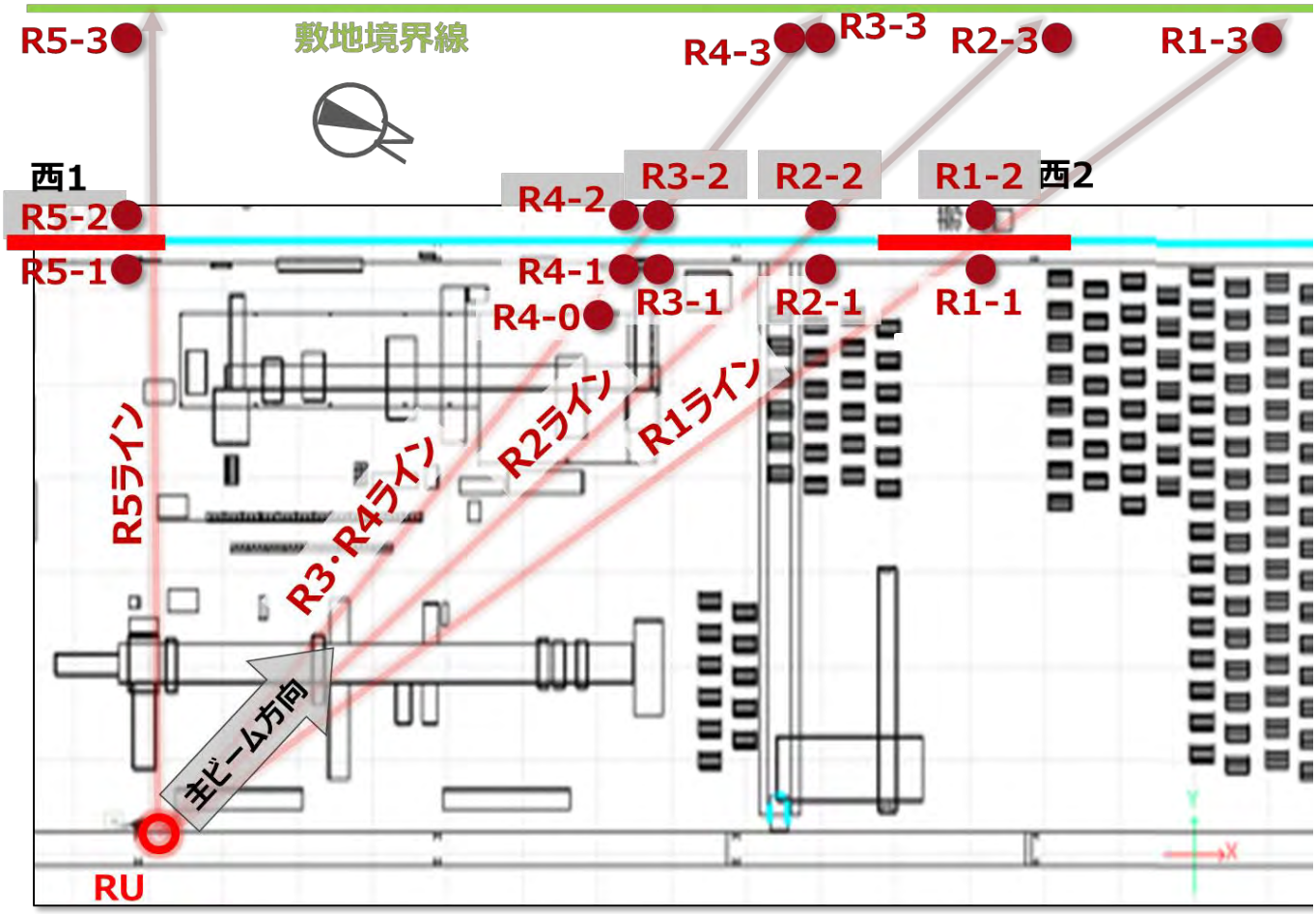
（ i ）＝ (c)＋(d)－(e)＋(f)－(g)＋(h)

本実証環境に合わせてエリア区分は「郊外地」を選択し、「基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損」には「16.2dB（ITU-R P.2109 に基づき 4.9GHz 帯にて算出 帯にて算出)」を採用した。カバーエリアおよび調整対象区域それぞれのエリア端についての実測値を得るため、測定ポイント選定における考慮に加えた。

5.4.3. 屋外測定地点の選定

外壁・窓・シャッターなどの透過損を把握できるように測定地点の選定を工夫した。選定した結果を（図 5.4.2-1）に示す。

図 5.4.3-1）屋外測定地点



屋外漏洩に関して、外壁、窓ガラス、構内分電盤設備および車両搬入口のシャッター(2種類)、を透過する直線上に測定地点を設定し材質の異なる遮蔽物の透過前と透過後の実測値が得られるように配慮した。また、シミュレーション精度向上を目指し工場棟内の安全通路全域および敷地境界線付近を含む歩行測定を合わせて実施した。測定地点の選定において考慮した点を以下にまとめる。

（１）外壁の透過（測定 R3 ライン）

本実証環境は金属製の外壁に囲まれているが、約 2.5m の高さには窓があるため、端末アンテナ高 2.0m では外壁の透過損を測定することができない。測定 R3 ラインは端末アンテナ高を 4.0m とした。参考写真を（図 5.4.2-2）に示す。

図 5.4.3-2) 外壁の透過測定

（２）窓の透過（測定 R2 ライン）

本実証環境の窓ガラスは、網入り・菱ワイヤー・6.8mm 厚で、工場棟壁面の約 1.5m～2.5m 高に設置されている。測定 R2 ラインは基地局アンテナから窓を透過する直線上に測定地点を設定した。参考写真を（図 5.4.3-3）に示す。

図 5.4.3-3）窓の透過測定

（３）構内分電盤設備の透過

本実証環境には鋼板加工設備に加えて大型の分電盤設備が電波遮蔽になっている。測定 R4 ラインは基地局アンテナの主ビーム方向に近い分電盤設備を透過する直線上に R4-0：分電盤透過前、R4-1：分電盤透過後かつ窓ガラス透過前、R4-2：分電盤および窓ガラス透過後に測定地点を設定した。参考写真を（図 5.4.3-4）に示す。

図 5.4.3-4）分電盤の透過測定

（４） 車両搬入口 シャッターの透過

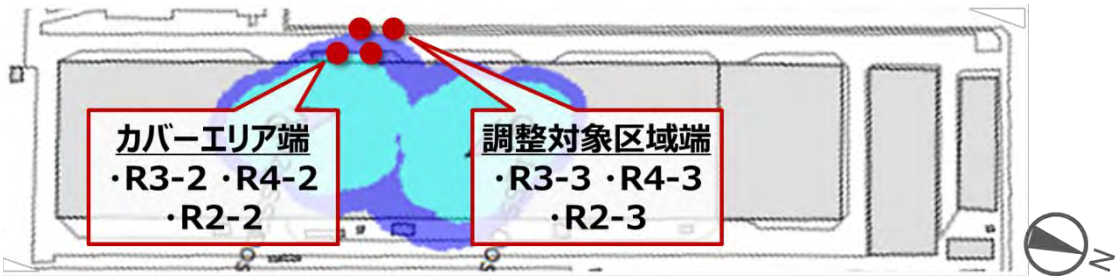
本実証環境には母材コイルや製品コイルを入出庫するためのシャッター付き車両搬入口が設けられており、課題解決システムを利用する S2 ライン近傍には西１シャッターおよび西２シャッターがある。測定ライン R1 は西２シャッターを、R5 は西１シャッターを透過する直線上に測定地点を設定した。参考写真を（図 5.4.3-5）に示す。

図 5.4.3-5）車両搬入口 シャッターの透過

（５） カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端

前項「5.4.2. カバーエリアおよび調整対象区域」に記載した調整対象区域図におけるエリア端の実測値を得るため、屋外に設定した測定地点の内、R3-2、R4-2、R2-2 をカバーエリア端向けに、R3-3、R4-3、R2-3 を調整対象区域端向けに選定する。調整対象区域図におけるそれぞれの測定地点を（図 5.4.3-6）に示す。

図 5.4.3-6）エリア端の測定地点

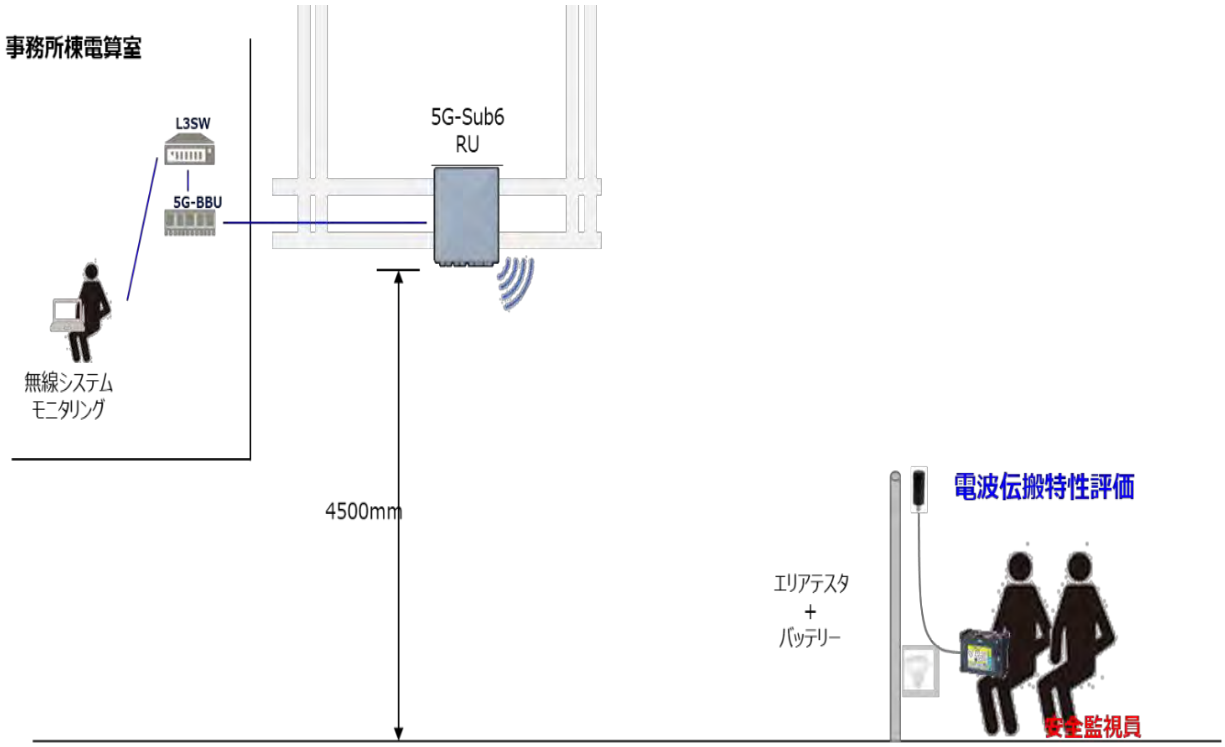


5.4.4. 測定方法（電波測定）

エリアテスターおよび端末ステータスモニタ（Nemo outdoor）を用いて、各措定地点での受信電力等を測定する。定点測定の他、受信レベルの連続的な変化を見るために歩行測定も合わせて実施した。

エリアテスターを用いた測定方法を（図 5.4.4-1）に示す。5G システムのアンテナ一体型基地局より輻射される電波状況を、エリアテスターにて定点測定等を行う。測定時間としては 1 測定ポイントあたり 2 分間、計 2 回テストを実施し、差分がないこと（異常がない測定結果であること）を確認した。

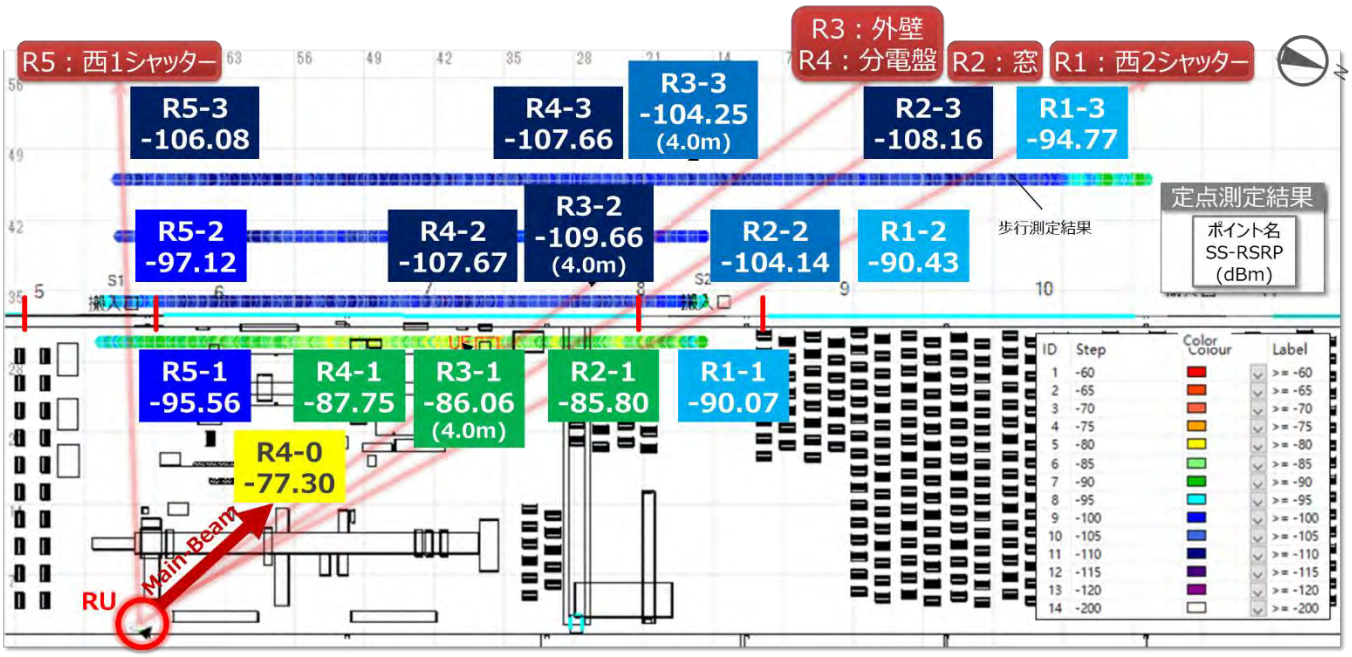
図 5.4.4-1）測定方法：電波伝搬特性評価



5.4.5. 検証結果

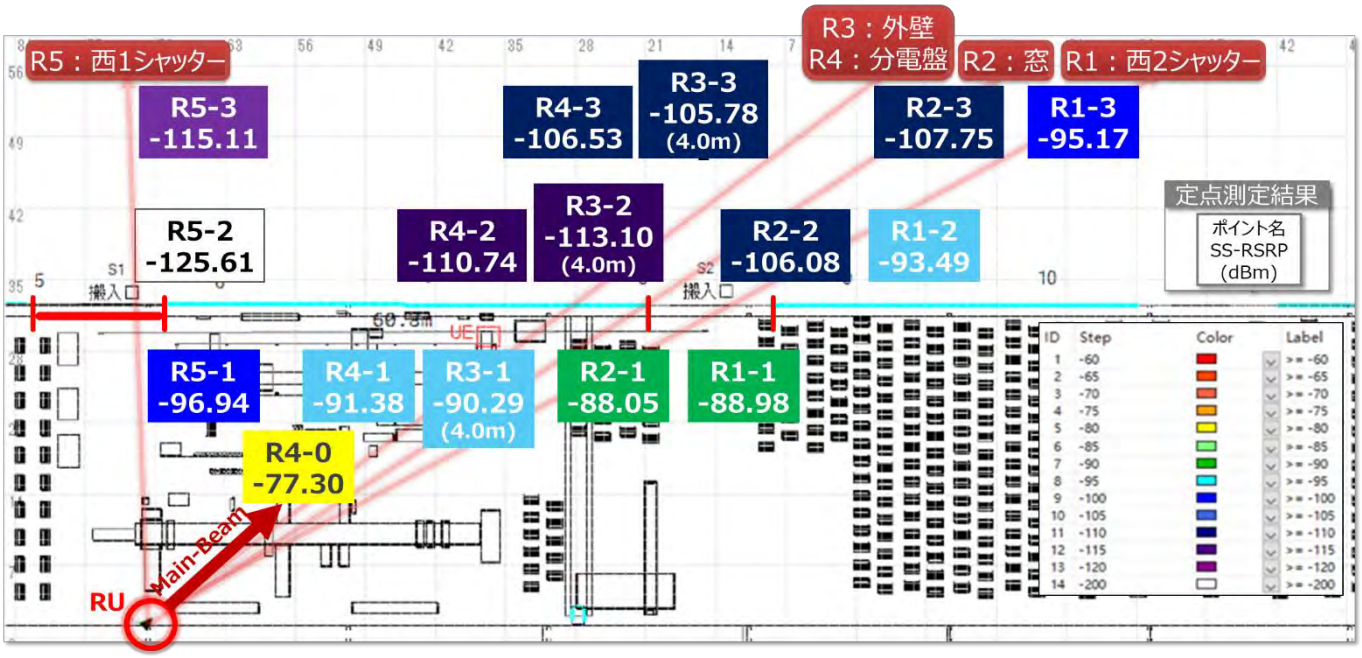
各測定地点における実測値および歩行測定の結果を（図 5.4.5-1～図 5.4.5-12）に示す。なお、歩行測定結果の詳細な分析は「項 5.4.6. 実測値フィードバックによるシミュレーション精度の向上」にて行うため、ここではヒートマップイメージの表示のみとする。

図 5.4.5-1）基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１開く/西２開く



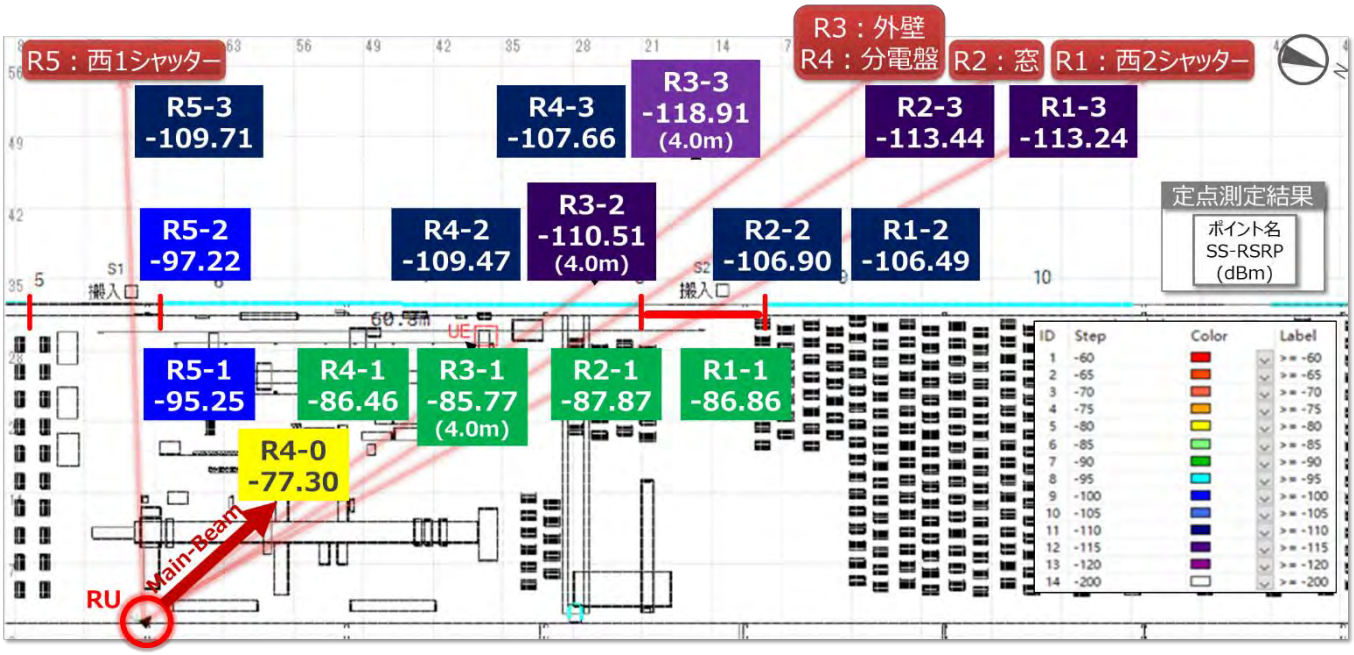
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-90.07**	**-66.51**
R1-2	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-90.43**	**-66.82**
R1-3	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-94.77**	**-71.11**
R2-1	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-85.80**	**-62.00**
R2-2	2.0m	NLOS	Open	Open	5°	**-104.14**	**-80.30**
R2-3	2.0m	NLOS	Open	Open	5°	**-108.16**	**-83.05**
R3-1	4.0m	LOS	Open	Open	5°	**-86.06**	**-62.27**
R3-2	4.0m	NLOS	Open	Open	5°	**-109.66**	**-84.38**
R3-3	4.0m	NLOS	Open	Open	5°	**-104.25**	**-80.06**
R4-0	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Open	Open	5°	**-107.67**	**-82.92**
R4-3	2.0m	NLOS	Open	Open	5°	**-107.66**	**-81.80**
R5-1	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-95.56**	**-71.52**
R5-2	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-97.12**	**-74.01**
R5-3	2.0m	LOS	Open	Open	5°	**-106.08**	**-81.71**

図 5.4.5-2）基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１閉じる/西２開く



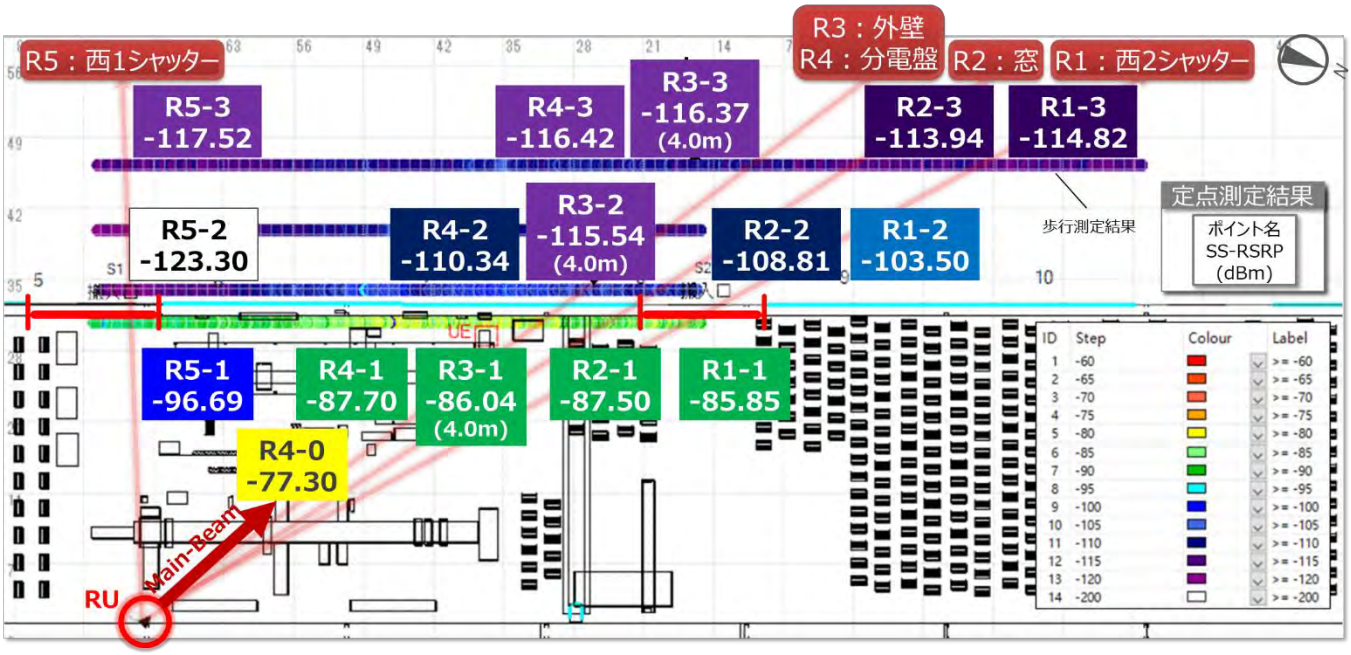
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Close	Open	5°	**-88.98**	**-65.50**
R1-2	2.0m	LOS	Close	Open	5°	**-93.49**	**-69.72**
R1-3	2.0m	LOS	Close	Open	5°	**-95.17**	**-71.52**
R2-1	2.0m	LOS	Close	Open	5°	**-88.05**	**-63.91**
R2-2	2.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-106.08**	**-81.70**
R2-3	2.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-107.75**	**-83.30**
R3-1	4.0m	LOS	Close	Open	5°	**-90.29**	**-66.61**
R3-2	4.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-113.30**	**-87.69**
R3-3	4.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-105.78**	**-81.32**
R4-0	2.0m	LOS	Close	Open	5°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-110.74**	**-85.73**
R4-3	2.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-106.53**	**-80.92**
R5-1	2.0m	LOS	Close	Open	5°	**-96.94**	**-73.04**
R5-2	2.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-125.61**	**-92.44**
R5-3	2.0m	NLOS	Close	Open	5°	**-115.11**	**-87.43**

図 5.4.5-3) 基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１開く/西２閉じる



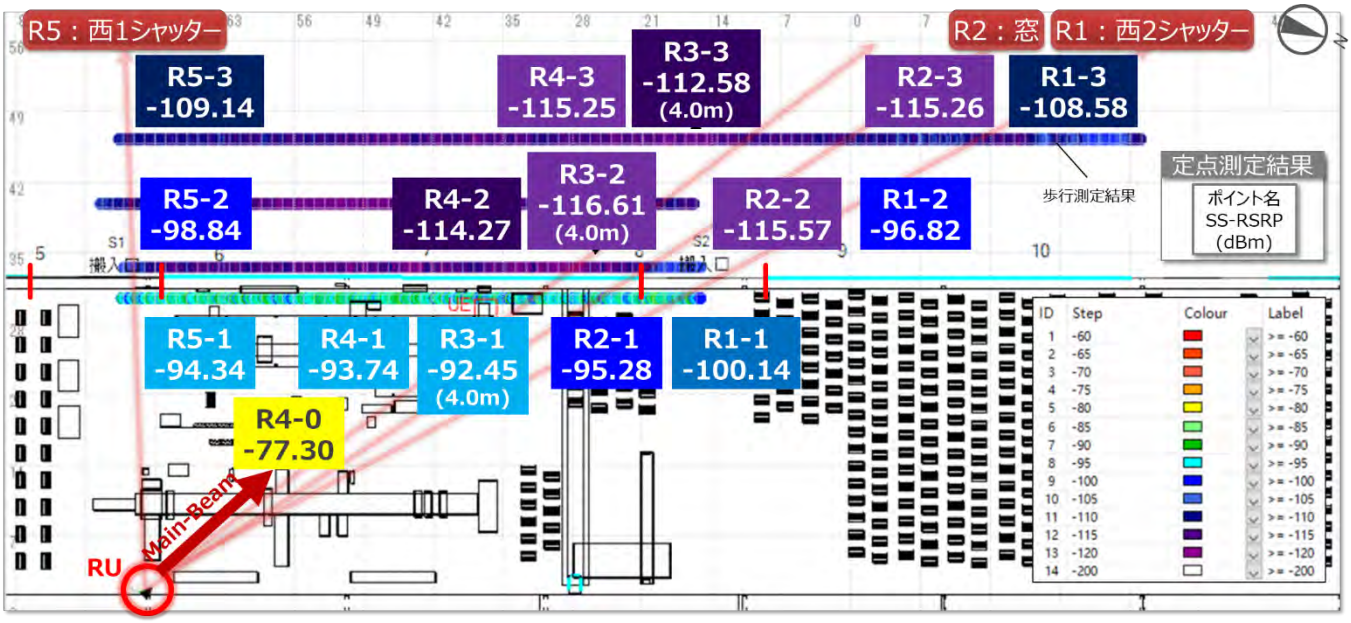
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Open	Close	5°	**-86.86**	**-63.41**
R1-2	2.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-106.49**	**-82.04**
R1-3	2.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-113.24**	**-86.55**
R2-1	2.0m	LOS	Open	Close	5°	**-87.87**	**-64.02**
R2-2	2.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-106.90**	**-82.38**
R2-3	2.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-113.44**	**-86.71**
R3-1	4.0m	LOS	Open	Close	5°	**-85.77**	**-62.25**
R3-2	4.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-110.51**	**-85.83**
R3-3	4.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-118.91**	**-88.34**
R4-0	2.0m	LOS	Open	Close	5°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-109.67**	**-84.12**
R4-3	2.0m	NLOS	Open	Close	5°	**-115.61**	**-87.32**
R5-1	2.0m	LOS	Open	Close	5°	**-95.25**	**-71.50**
R5-2	2.0m	LOS	Open	Close	5°	**-97.22**	**-73.50**
R5-3	2.0m	LOS	Open	Close	5°	**-109.71**	**-84.76**

図 5.4.5-4) 基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１閉じる/西２閉じる



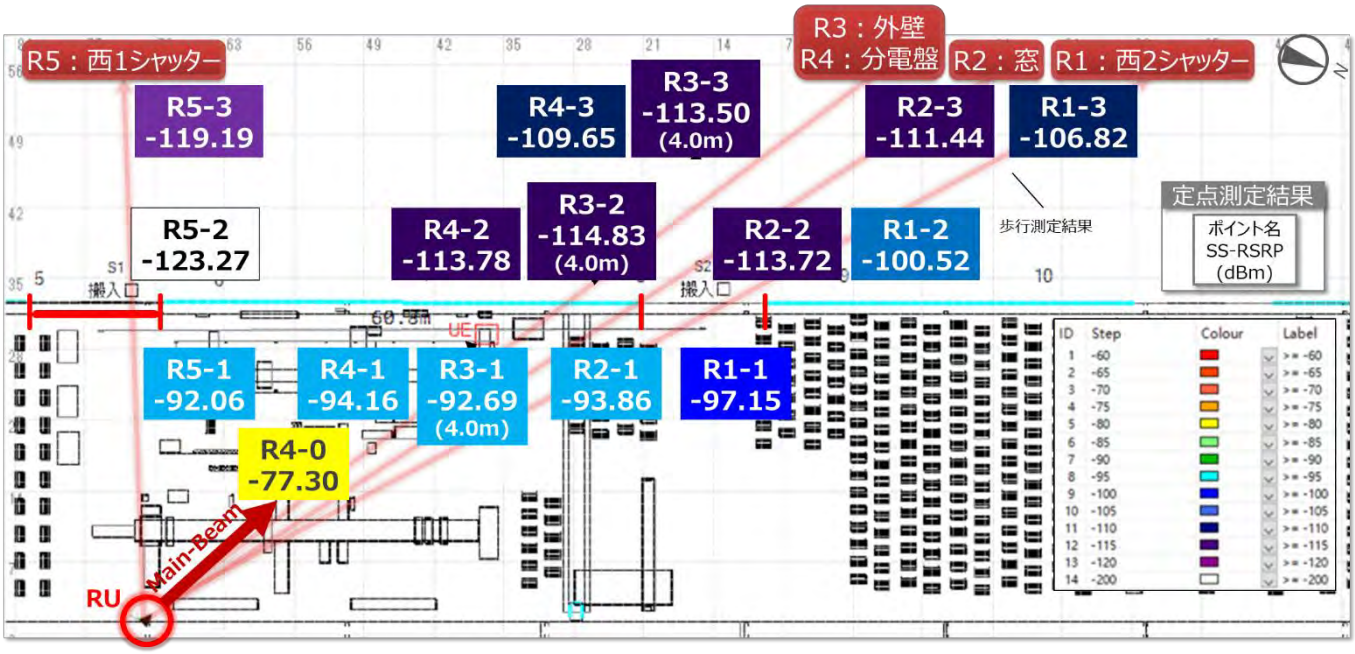
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Close	Close	5°	**-85.85**	**-61.96**
R1-2	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-103.50**	**-80.04**
R1-3	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-114.82**	**-87.66**
R2-1	2.0m	LOS	Close	Close	5°	**-87.50**	**-63.56**
R2-2	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-108.81**	**-83.40**
R2-3	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-113.94**	**-86.77**
R3-1	4.0m	LOS	Close	Close	5°	**-86.04**	**-62.48**
R3-2	4.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-115.54**	**-87.30**
R3-3	4.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-116.37**	**-87.71**
R4-0	2.0m	LOS	Close	Close	5°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-110.34**	**-84.92**
R4-3	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-116.42**	**-87.68**
R5-1	2.0m	LOS	Close	Close	5°	**-96.69**	**-69.84**
R5-2	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-123.30**	**-88.58**
R5-3	2.0m	NLOS	Close	Close	5°	**-117.52**	**-88.07**

図 5.4.5-5) 基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１開く/西２開く



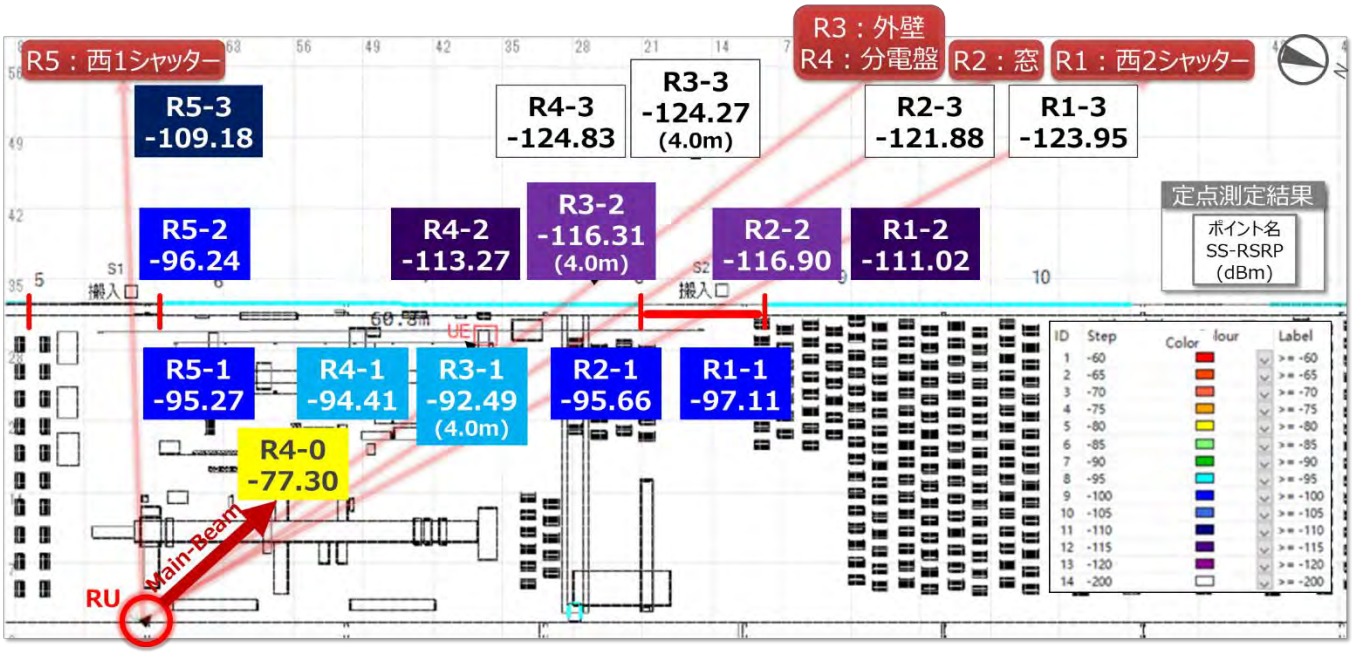
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-100.14**	**-76.40**
R1-2	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-96.82**	**-73.47**
R1-3	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-108.58**	**-84.51**
R2-1	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-95.28**	**-71.35**
R2-2	2.0m	NLOS	Open	Open	30°	**-115.57**	**-89.31**
R2-3	2.0m	NLOS	Open	Open	30°	**-115.26**	**-89.15**
R3-1	4.0m	LOS	Open	Open	30°	**-92.45**	**-68.79**
R3-2	4.0m	NLOS	Open	Open	30°	**-116.61**	**-89.82**
R3-3	4.0m	NLOS	Open	Open	30°	**-112.58**	**-86.91**
R4-0	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Open	Open	30°	**-114.27**	**-88.63**
R4-3	2.0m	NLOS	Open	Open	30°	**-115.23**	**-88.80**
R5-1	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-94.34**	**-70.11**
R5-2	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-98.84**	**-74.99**
R5-3	2.0m	LOS	Open	Open	30°	**-109.14**	**-84.81**

図 5.4.5-6）基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１閉じる/西２開く



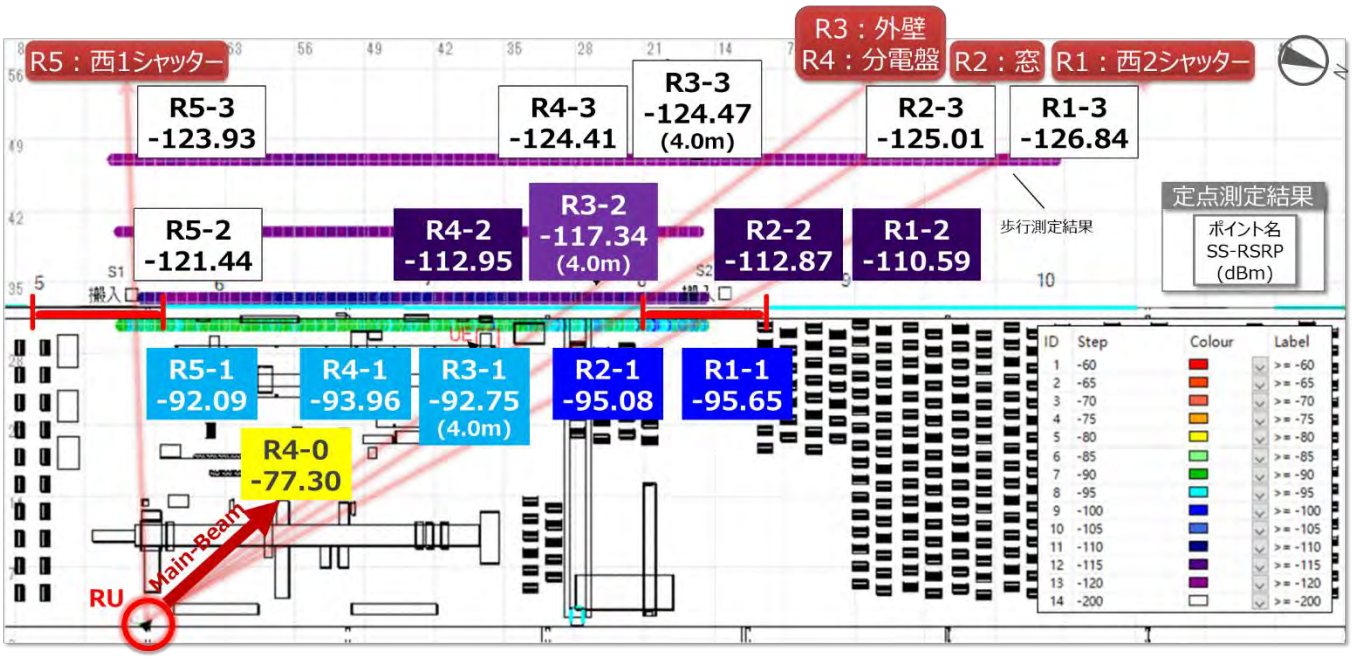
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Close	Open	30°	**-97.15**	**-73.49**
R1-2	2.0m	LOS	Close	Open	30°	**-100.52**	**-76.88**
R1-3	2.0m	LOS	Close	Open	30°	**-106.82**	**-83.39**
R2-1	2.0m	LOS	Close	Open	30°	**-93.86**	**-70.47**
R2-2	2.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-113.72**	**-88.27**
R2-3	2.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-111.44**	**-86.56**
R3-1	4.0m	LOS	Close	Open	30°	**-92.69**	**-68.87**
R3-2	4.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-114.83**	**-89.02**
R3-3	4.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-113.50**	**-88.22**
R4-0	2.0m	LOS	Close	Open	30°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-113.78**	**-88.27**
R4-3	2.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-109.65**	**-85.70**
R5-1	2.0m	LOS	Close	Open	30°	**-92.06**	**-68.45**
R5-2	2.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-123.27**	**-91.92**
R5-3	2.0m	NLOS	Close	Open	30°	**-119.19**	**-91.31**

図 5.4.5-7）基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１開く/西２閉じる



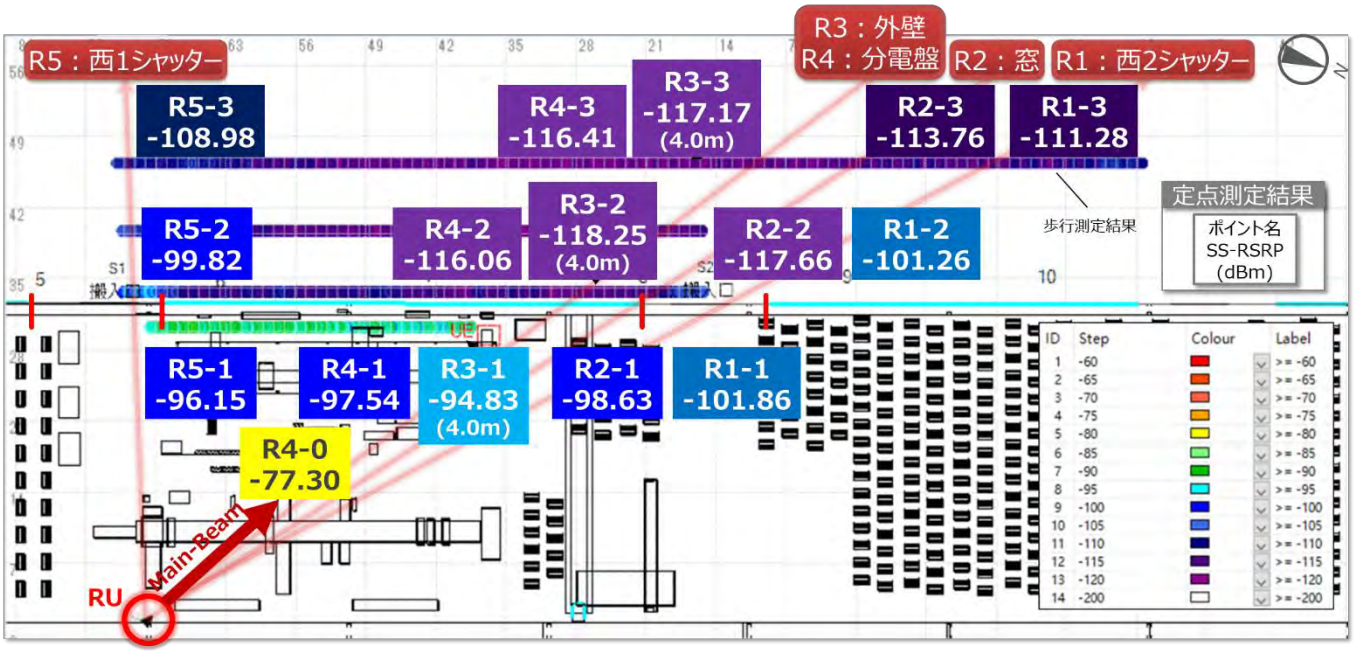
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Open	Close	30°	**-97.11**	**-73.21**
R1-2	2.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-111.02**	**-86.20**
R1-3	2.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-123.95**	**-92.34**
R2-1	2.0m	LOS	Open	Close	30°	**-95.66**	**-71.81**
R2-2	2.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-116.90**	**-89.73**
R2-3	2.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-121.88**	**-92.07**
R3-1	4.0m	LOS	Open	Close	30°	**-92.49**	**-68.62**
R3-2	4.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-116.31**	**-89.67**
R3-3	4.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-124.27**	**-92.38**
R4-0	2.0m	LOS	Open	Close	30°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-113.27**	**-87.82**
R4-3	2.0m	NLOS	Open	Close	30°	**-124.83**	**-92.45**
R5-1	2.0m	LOS	Open	Close	30°	**-95.27**	**-71.67**
R5-2	2.0m	LOS	Open	Close	30°	**-96.24**	**-72.51**
R5-3	2.0m	LOS	Open	Close	30°	**-109.18**	**-84.84**

図 5.4.5-8）基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１閉じる/西２閉じる



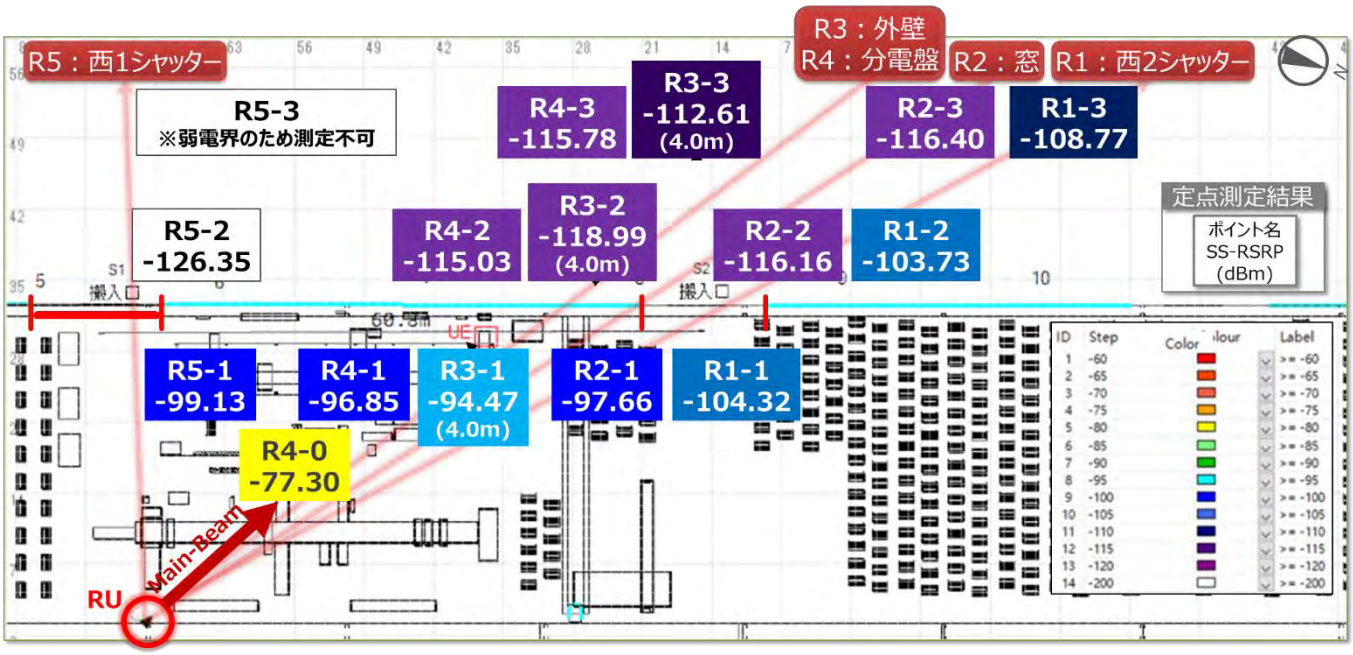
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Close	Close	30°	**-95.65**	**-72.33**
R1-2	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-110.59**	**-85.83**
R1-3	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-126.84**	**-92.77**
R2-1	2.0m	LOS	Close	Close	30°	**-95.08**	**-71.37**
R2-2	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-112.87**	**-87.88**
R2-3	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-125.01**	**-92.36**
R3-1	4.0m	LOS	Close	Close	30°	**-92.75**	**-68.74**
R3-2	4.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-117.34**	**-90.23**
R3-3	4.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-124.47**	**-92.35**
R4-0	2.0m	LOS	Close	Close	30°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-112.95**	**-87.52**
R4-3	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-124.41**	**-92.41**
R5-1	2.0m	LOS	Close	Close	30°	**-92.09**	**-68.25**
R5-2	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-121.44**	**-91.81**
R5-3	2.0m	NLOS	Close	Close	30°	**-123.93**	**-92.20**

図 5.4.5-9）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１開く/西２開く



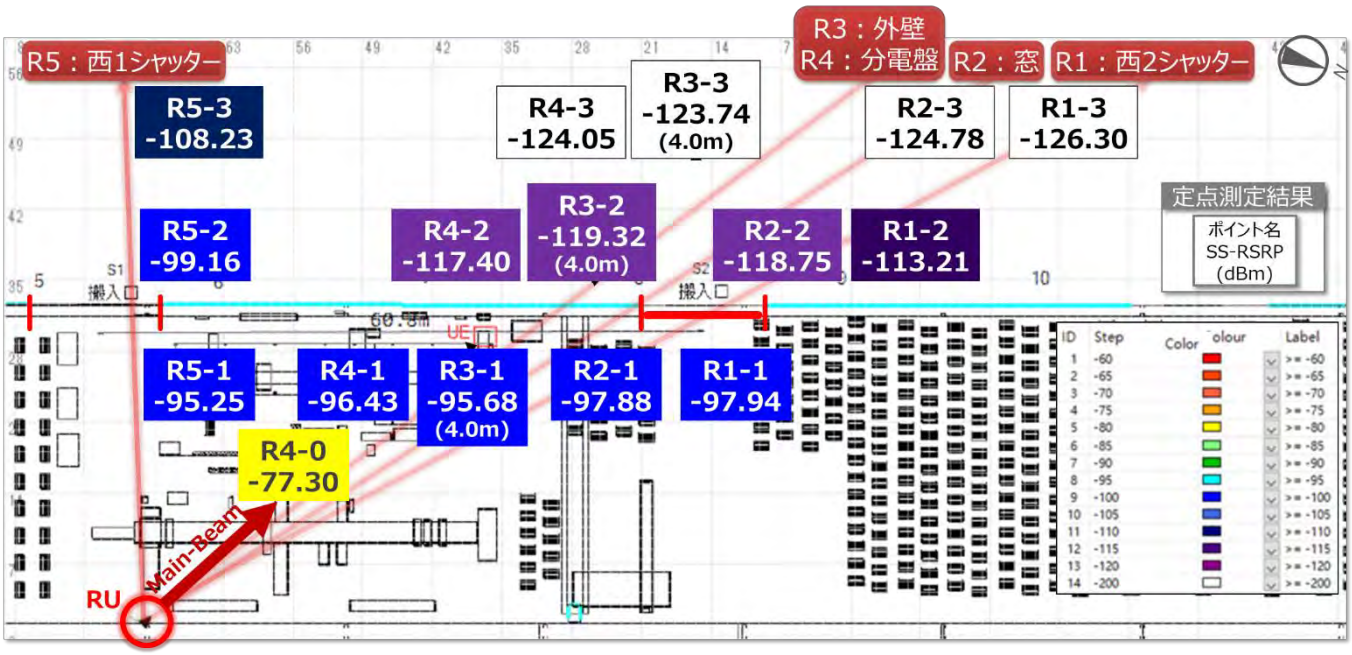
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-101.86**	**-78.02**
R1-2	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-101.26**	**-77.68**
R1-3	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-111.28**	**-85.41**
R2-1	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-98.63**	**-74.60**
R2-2	2.0m	NLOS	Open	Open	55°	**-117.66**	**-87.92**
R2-3	2.0m	NLOS	Open	Open	55°	**-113.76**	**-86.71**
R3-1	4.0m	LOS	Open	Open	55°	**-94.83**	**-70.87**
R3-2	4.0m	NLOS	Open	Open	55°	**-118.25**	**-90.80**
R3-3	4.0m	NLOS	Open	Open	55°	**-117.17**	**-90.15**
R4-0	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Open	Open	55°	**-116.06**	**-87.37**
R4-3	2.0m	NLOS	Open	Open	55°	**-116.41**	**-87.36**
R5-1	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-96.15**	**-71.88**
R5-2	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-99.82**	**-75.56**
R5-3	2.0m	LOS	Open	Open	55°	**-108.98**	**-83.60**

図 5.4.5-10）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１閉じる/西２開く



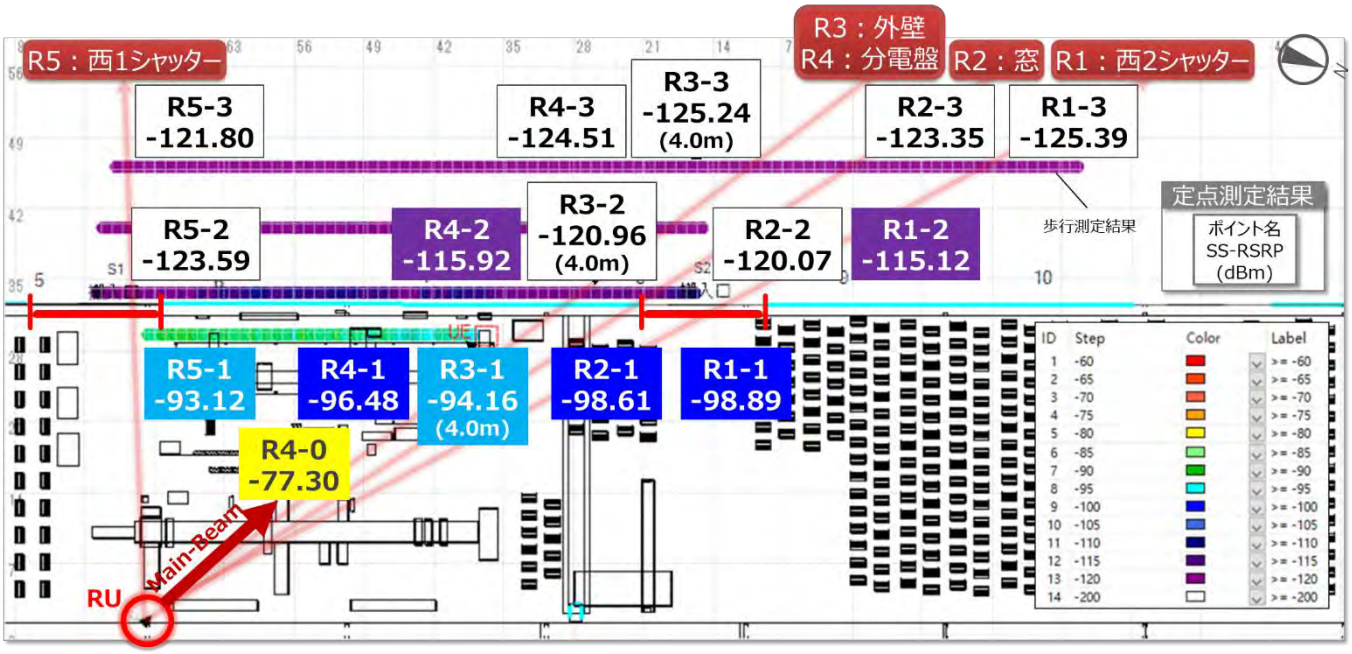
Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Close	Open	55°	**-104.32**	**-79.62**
R1-2	2.0m	LOS	Close	Open	55°	**-103.73**	**-79.52**
R1-3	2.0m	LOS	Close	Open	55°	**-108.77**	**-83.67**
R2-1	2.0m	LOS	Close	Open	55°	**-97.66**	**-73.56**
R2-2	2.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-116.16**	**-89.90**
R2-3	2.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-116.40**	**-87.39**
R3-1	4.0m	LOS	Close	Open	55°	**-94.47**	**-70.89**
R3-2	4.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-118.99**	**-91.16**
R3-3	4.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-112.61**	**-87.46**
R4-0	2.0m	LOS	Close	Open	55°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-115.03**	**-89.26**
R4-3	2.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-115.78**	**-87.12**
R5-1	2.0m	LOS	Close	Open	55°	**-99.13**	**-75.22**
R5-2	2.0m	NLOS	Close	Open	55°	**-126.35**	**-92.45**
R5-3	2.0m	NLOS	Close	Open	55°	**－**	**－**

図 5.4.5-11）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１開く/西２閉じる



Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Open	Close	55°	**-97.94**	**-74.17**
R1-2	2.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-113.21**	**-87.59**
R1-3	2.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-126.30**	**-92.58**
R2-1	2.0m	LOS	Open	Close	55°	**-97.88**	**-74.31**
R2-2	2.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-118.75**	**-91.15**
R2-3	2.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-124.78**	**-92.37**
R3-1	4.0m	LOS	Open	Close	55°	**-95.68**	**-71.83**
R3-2	4.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-119.32**	**-91.39**
R3-3	4.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-123.74**	**-92.32**
R4-0	2.0m	LOS	Open	Close	55°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-117.40**	**-90.46**
R4-3	2.0m	NLOS	Open	Close	55°	**-124.05**	**-92.37**
R5-1	2.0m	LOS	Open	Close	55°	**-95.25**	**-71.62**
R5-2	2.0m	LOS	Open	Close	55°	**-99.16**	**-75.35**
R5-3	2.0m	LOS	Open	Close	55°	**-108.23**	**-83.76**

図 5.4.5-12）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１閉じる/西２閉じる



Point No.	Antenna Elevation	LOS/NLOS	シャッター開閉		チルト角	SS-RSRP (dBm)	RSSI (dBm)
			西1	西2			
R1-1	2.0m	LOS	Close	Close	55°	**-98.89**	**-75.22**
R1-2	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-115.12**	**-86.77**
R1-3	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-125.39**	**-92.58**
R2-1	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-98.61**	**-74.87**
R2-2	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-120.07**	**-88.05**
R2-3	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-123.35**	**-92.33**
R3-1	4.0m	LOS	Close	Close	55°	**-94.16**	**-70.60**
R3-2	4.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-120.96**	**-91.62**
R3-3	4.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-125.24**	**-92.48**
R4-0	2.0m	LOS	Close	Close	55°	**-77.30**	**-54.00**
R4-2	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-115.92**	**-87.00**
R4-3	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-124.51**	**-92.47**
R5-1	2.0m	LOS	Close	Close	55°	**-93.12**	**-69.52**
R5-2	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-123.59**	**-92.31**
R5-3	2.0m	NLOS	Close	Close	55°	**-121.80**	**-92.08**

事前のエリアシミュレーション結果を（図 5.4.5-13）～（図 5.4.5-24）に示す。

図 5.4.5-13）基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１開く/西２開く

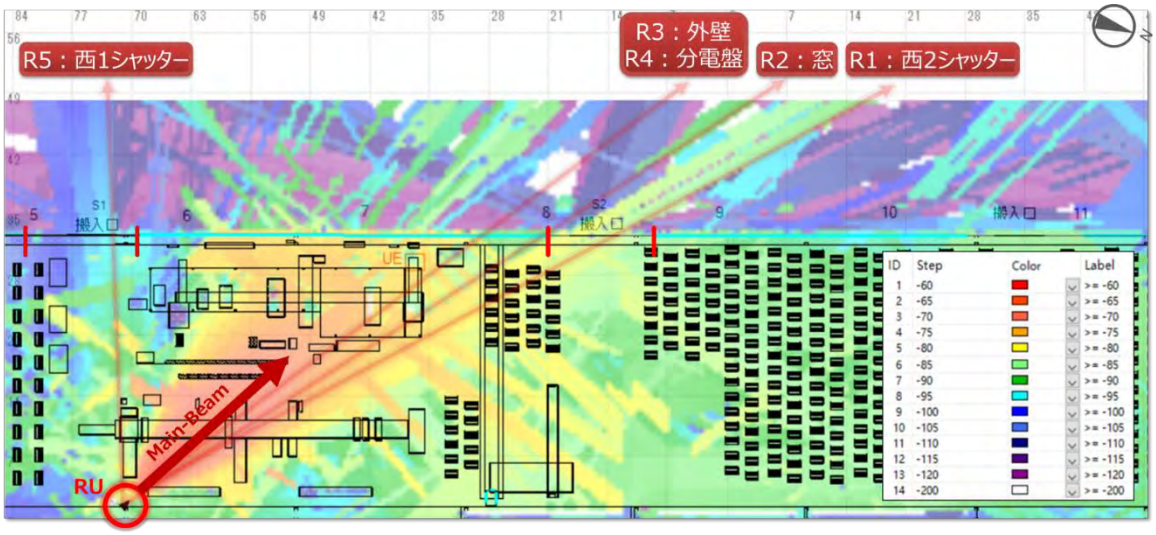


図 5.4.5-14）基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１閉じる/西２開く

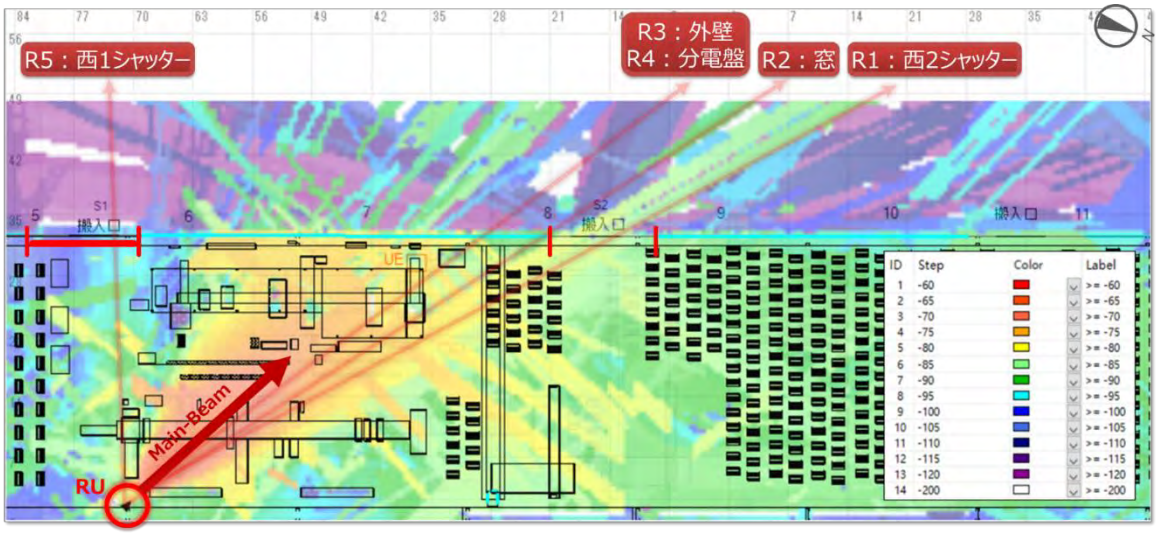


図 5.4.5-15）基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１開く/西２閉じる

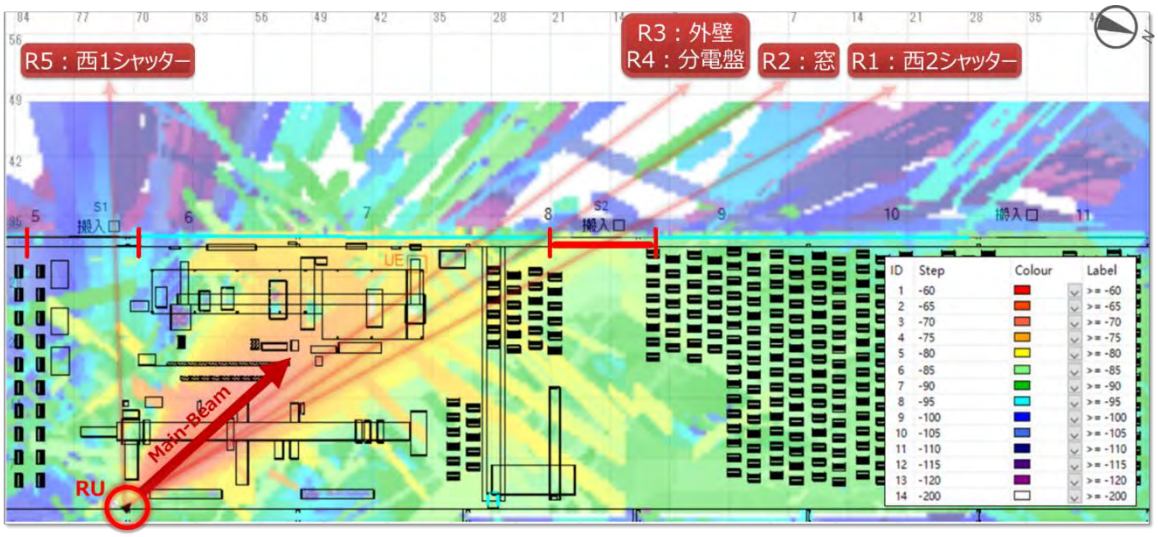


図 5.4.5-16）基地局アンテナチルト角：5°　・シャッター：西１閉じる/西２閉じる

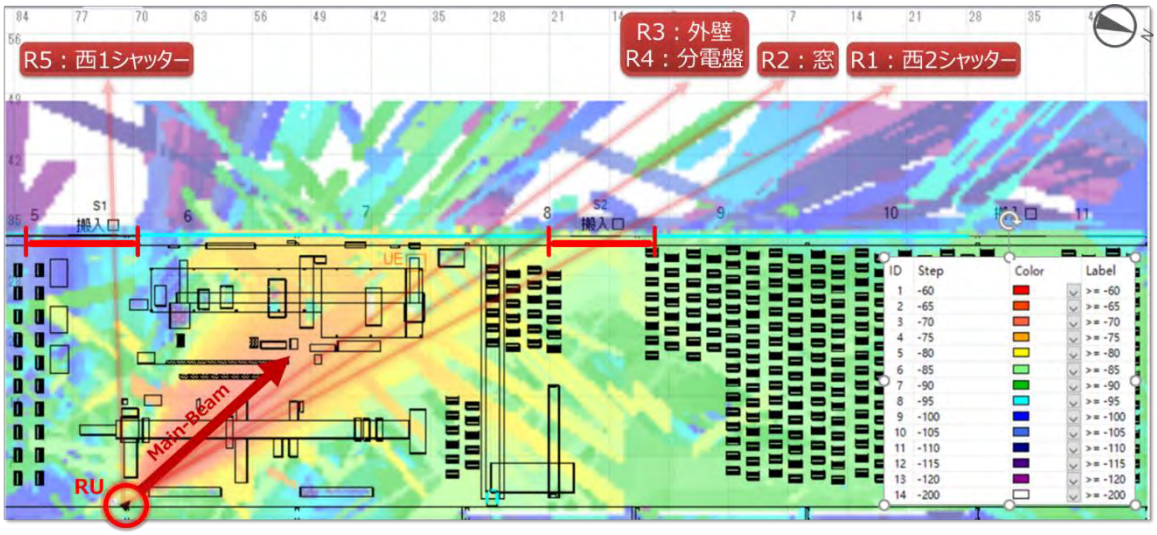


図 5.4.5-17）基地局アンテナチルト角：33°　・シャッター：西１開く/西２開く

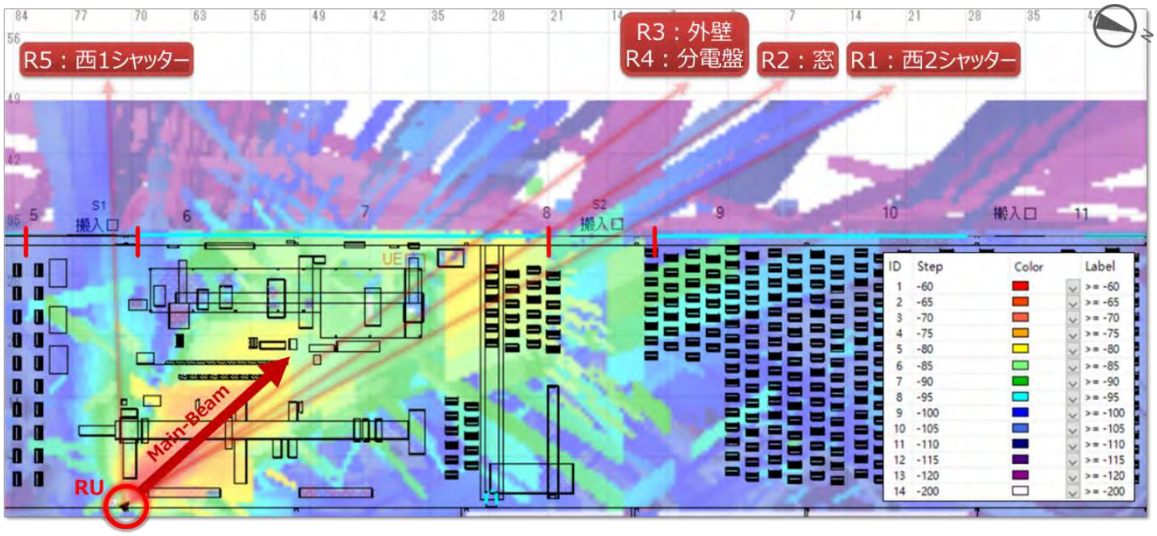


図 5.4.5-18）基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１閉じる/西２開く

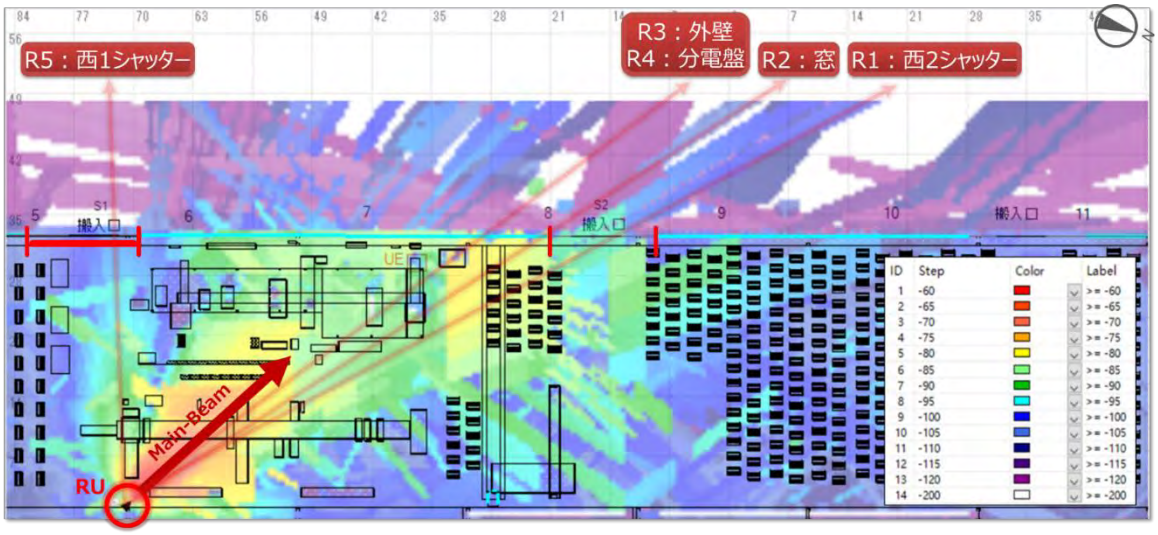


図 5.4.5-19）基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１開く/西２閉じる

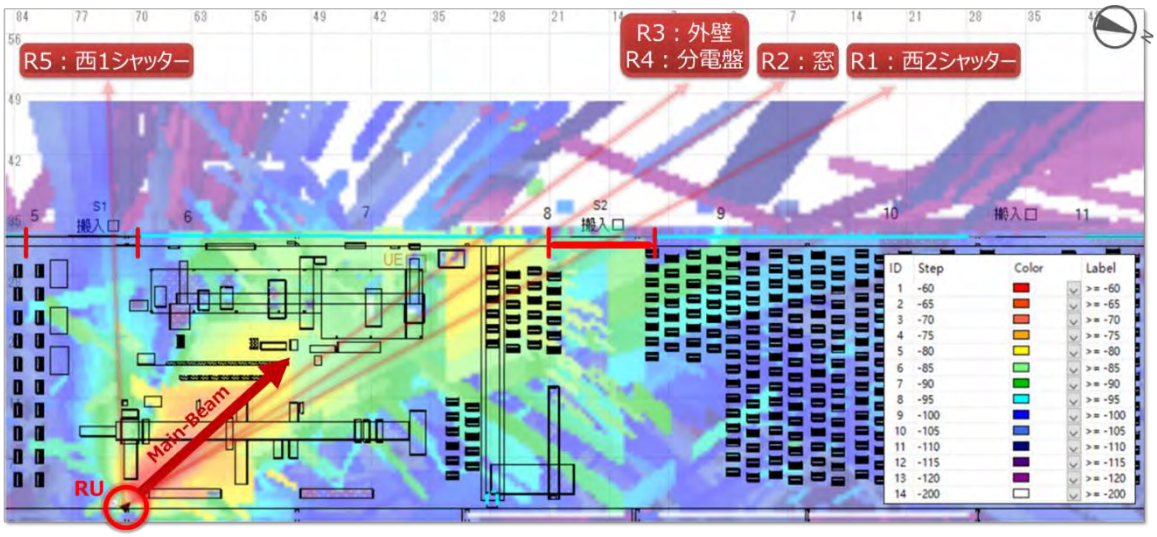


図 5.4.5-20）基地局アンテナチルト角：30°　・シャッター：西１閉じる/西２閉じる

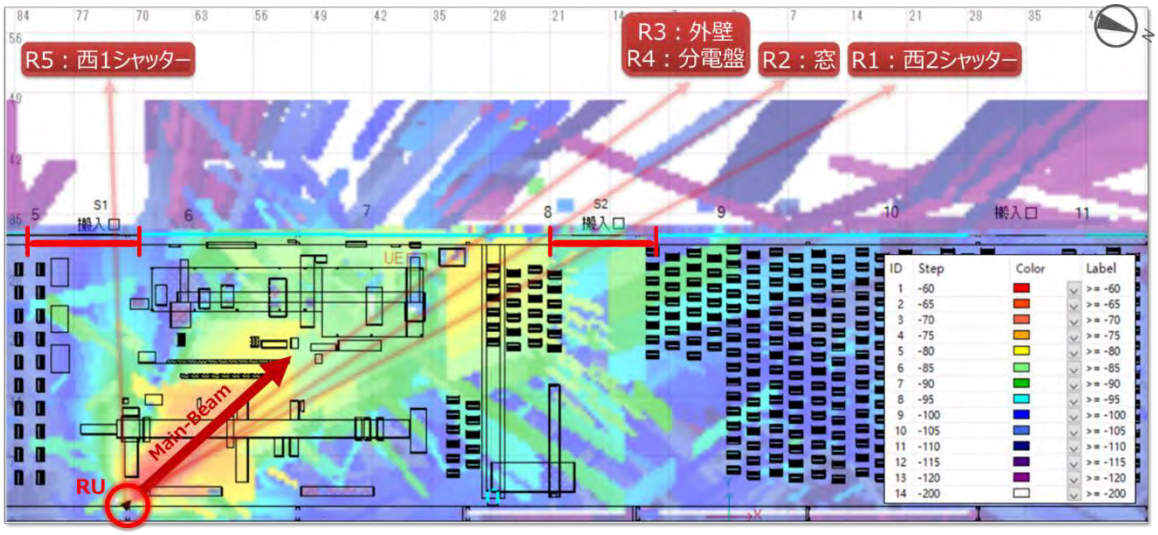


図 5.4.5-21）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１開く/西２開く

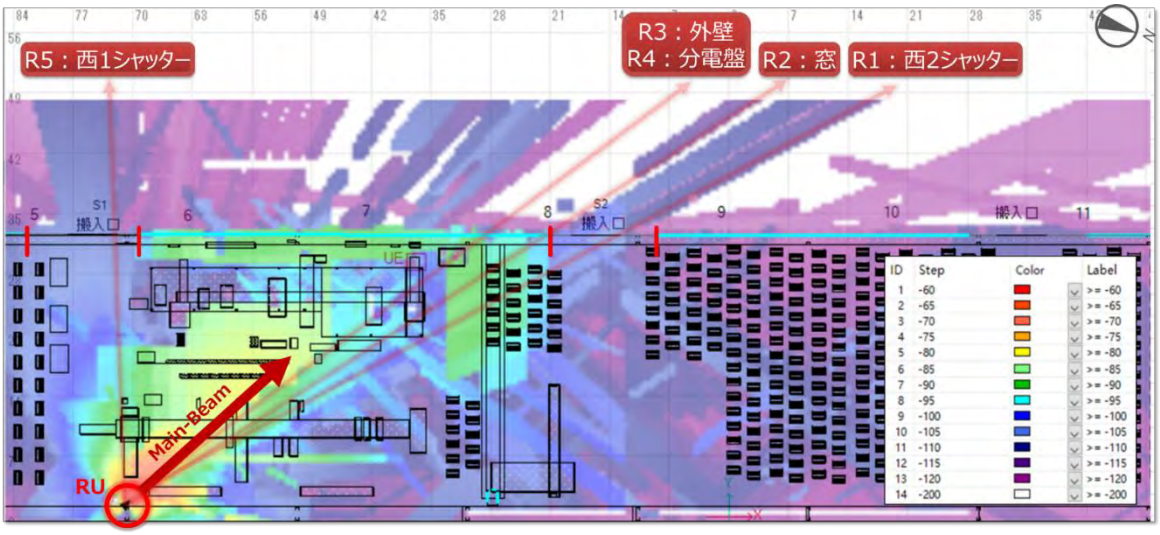


図 5.4.5-22）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１閉じる/西２開く

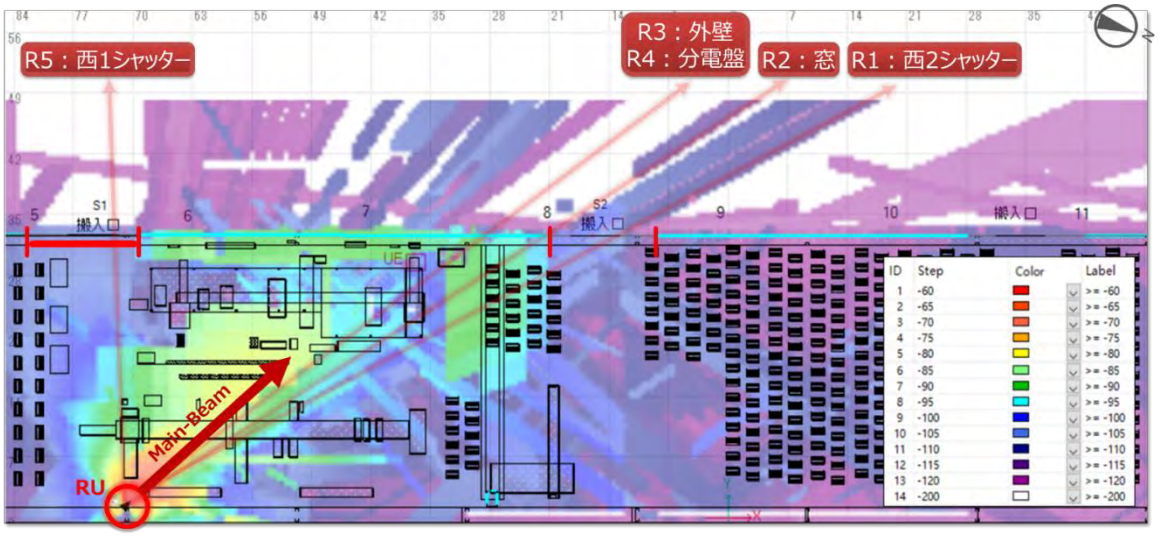


図 5.4.5-23）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１開く/西２閉じる

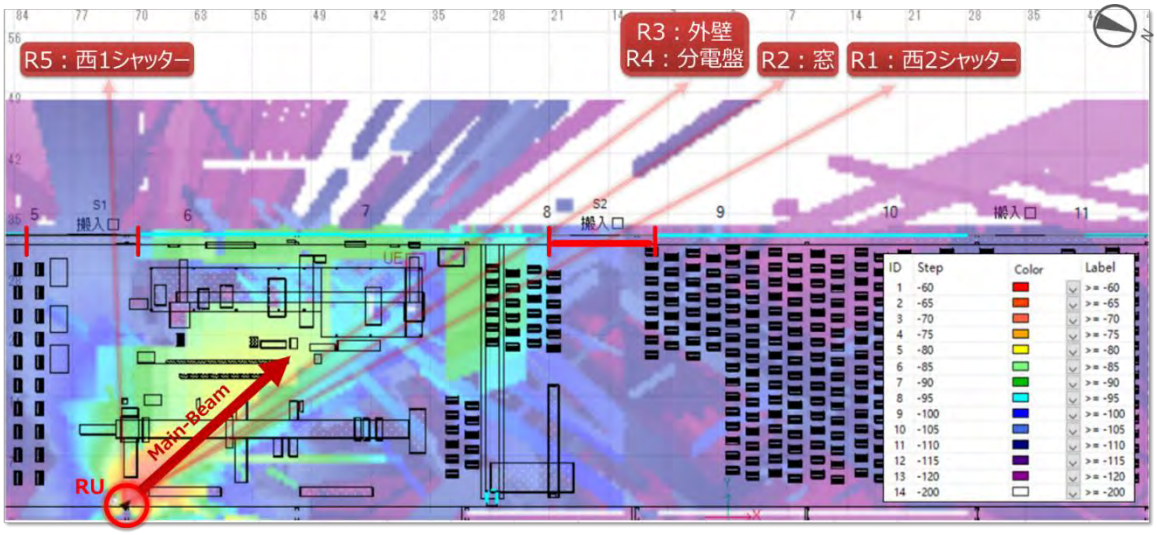
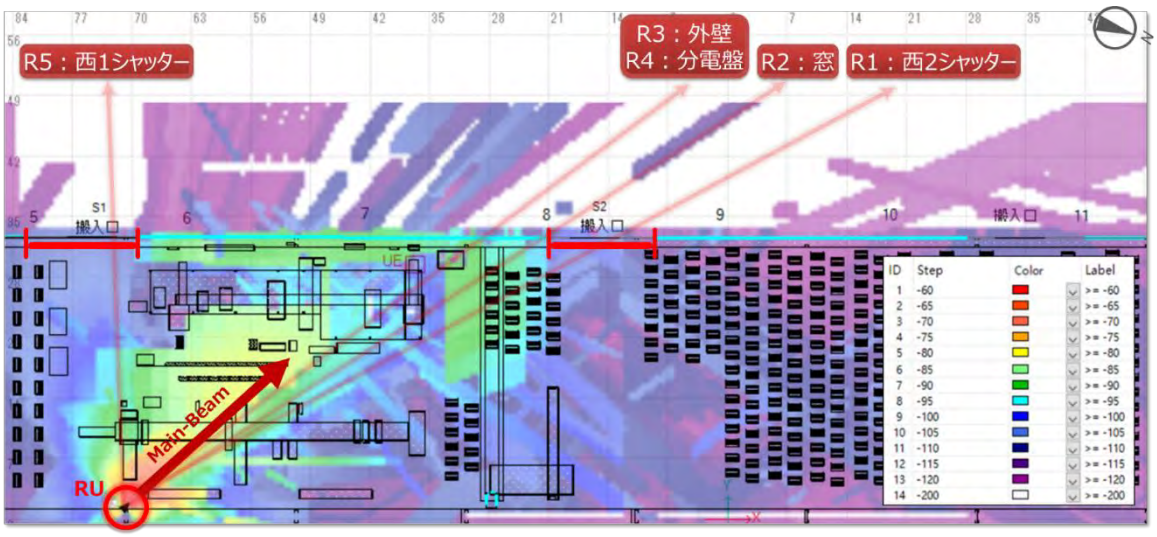


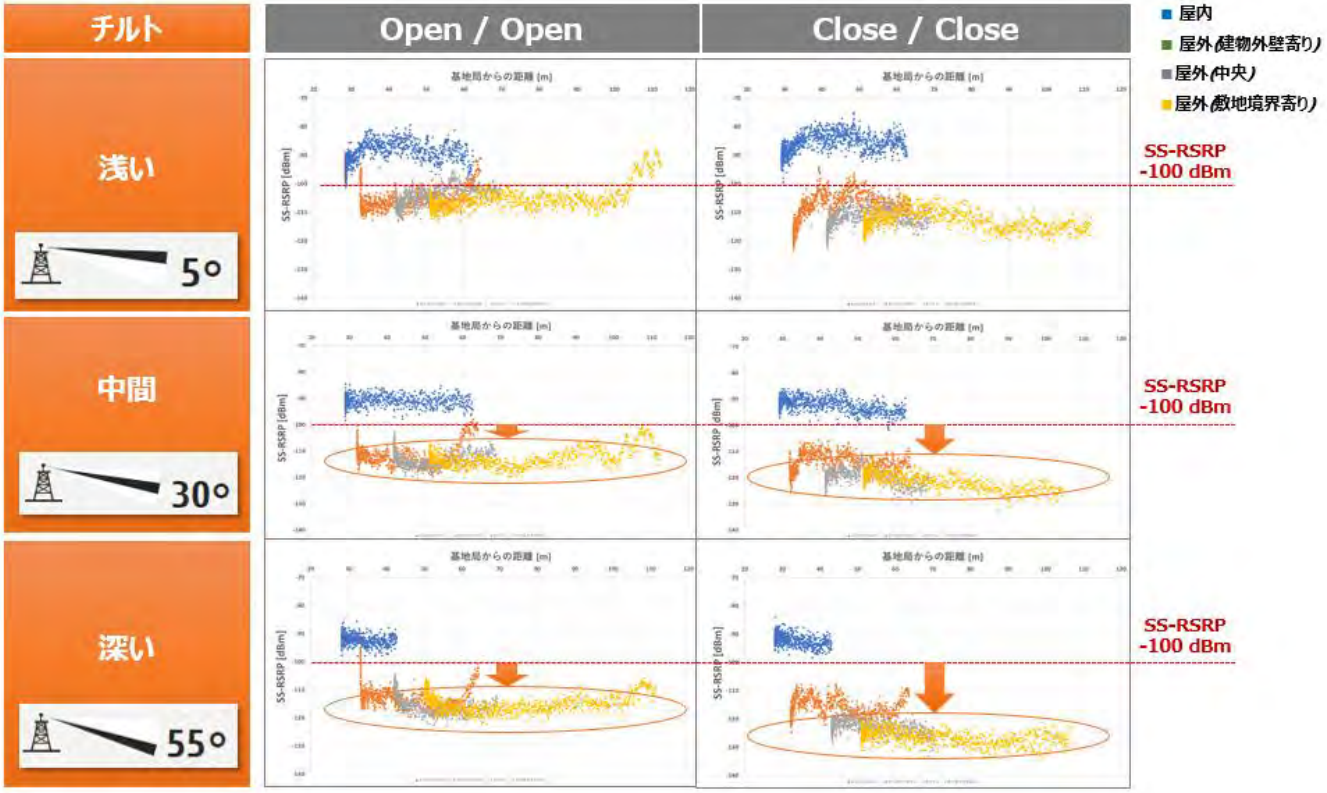
図 5.4.5-24）基地局アンテナチルト角：55°　・シャッター：西１閉じる/西２閉じる



【測定結果の分析と考察】

縦軸に歩行測定データ「SS-RSRP[dBm]」を、横軸に「基地局アンテナからの距離[m]」をとったグラフを（図 5.4.5-25）に示す。

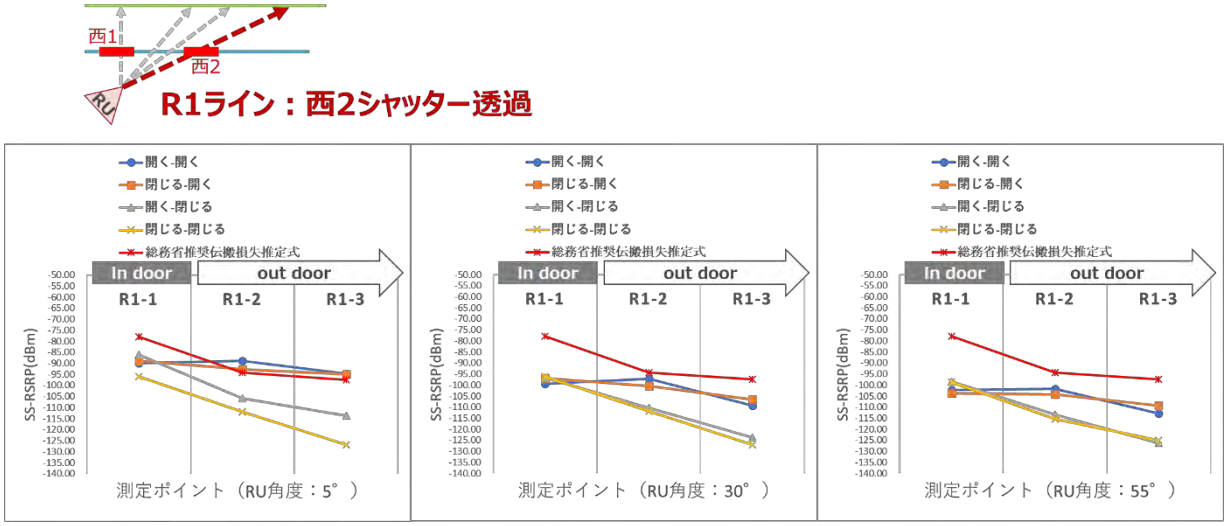
図 5.4.5-25）チルト角の変更による受信電力の変化

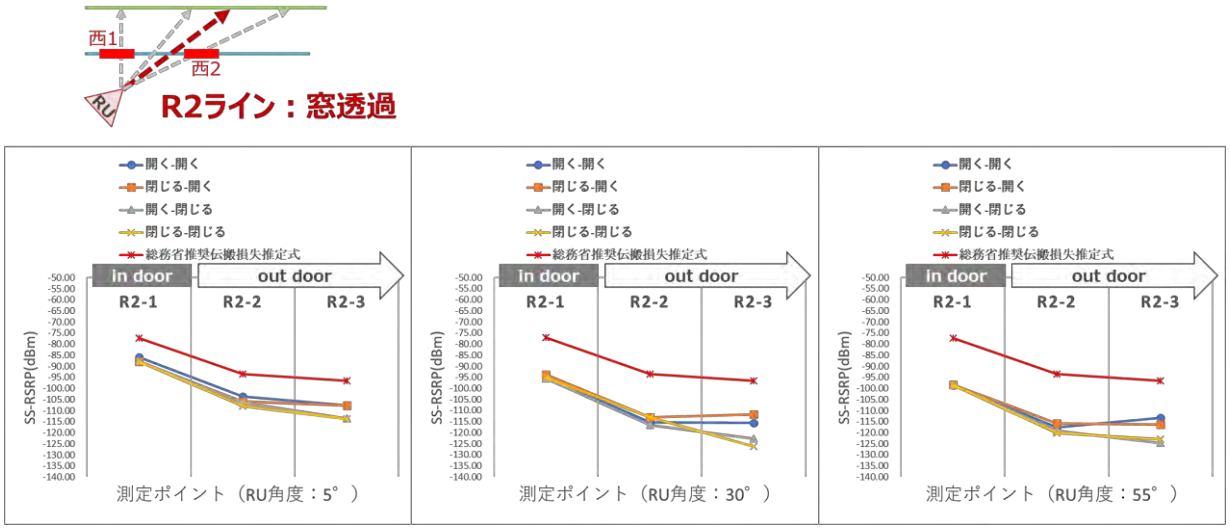


チルト角を浅い(5°)から深い(55°)に変化させたところ、屋内よりも屋外の受信レベルがより顕著に低下することを実測にて確認した。干渉調整において屋外漏洩レベルが問題になる場合、基地局アンテナのサイトエンジニアリングとしてチルト角を深く変更することは、有効な選択肢になることが分かった。

次に、実測値と伝搬損失推定式との比較を（図 5.4.5-26）に、事前シミュレーションとの比較を（図 5.4.5-27）に示す。

図 5.4.5-26）伝搬損失推定式との比較（1/2）





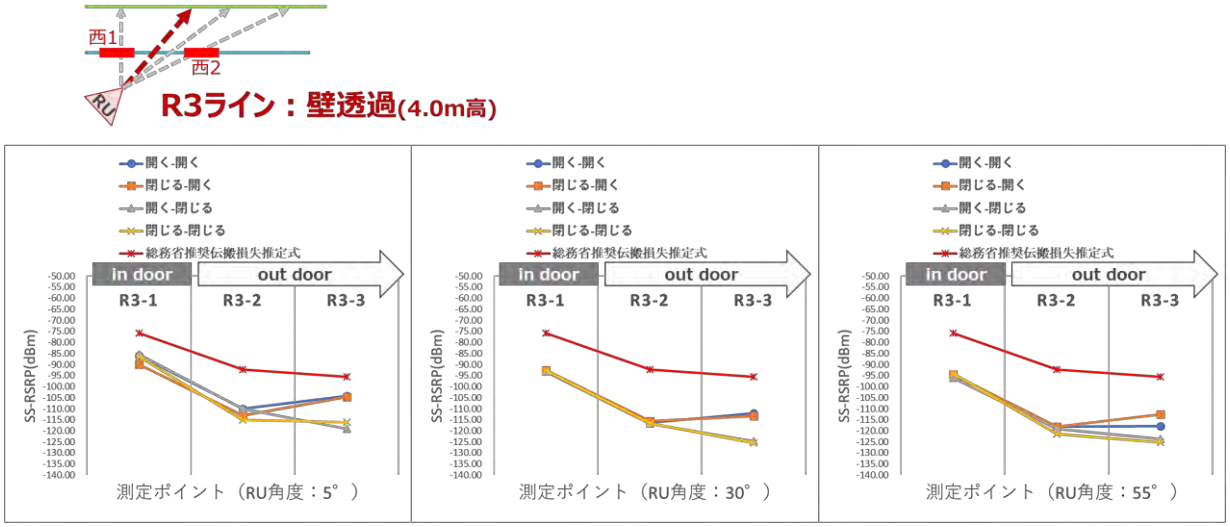
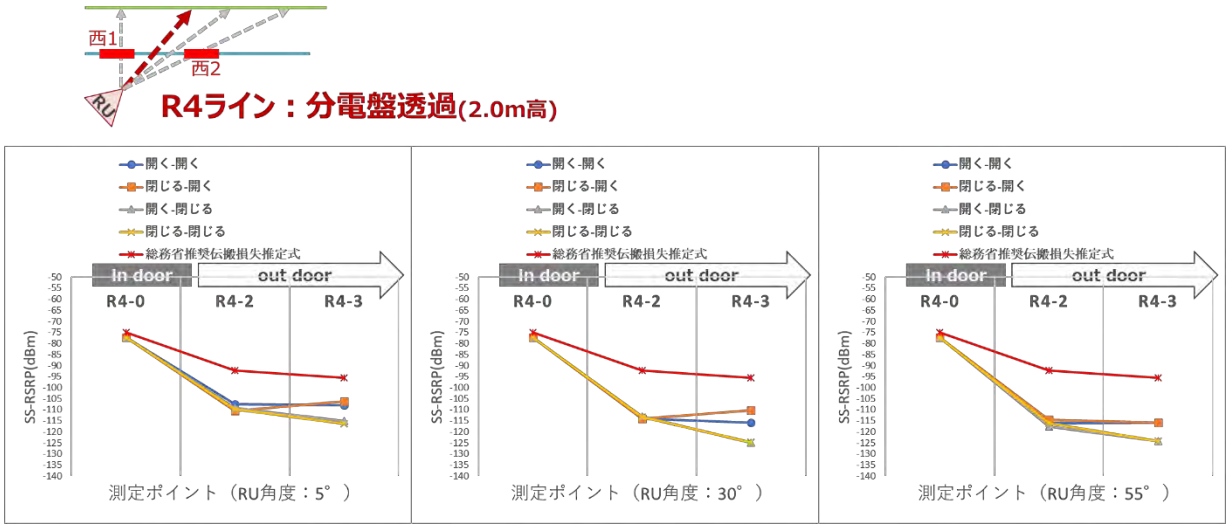
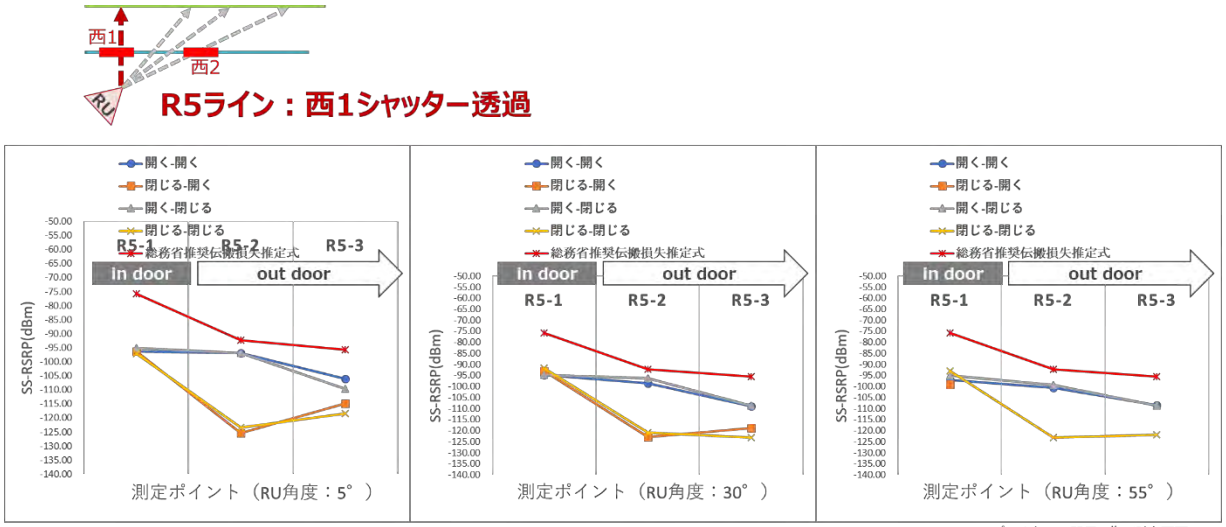


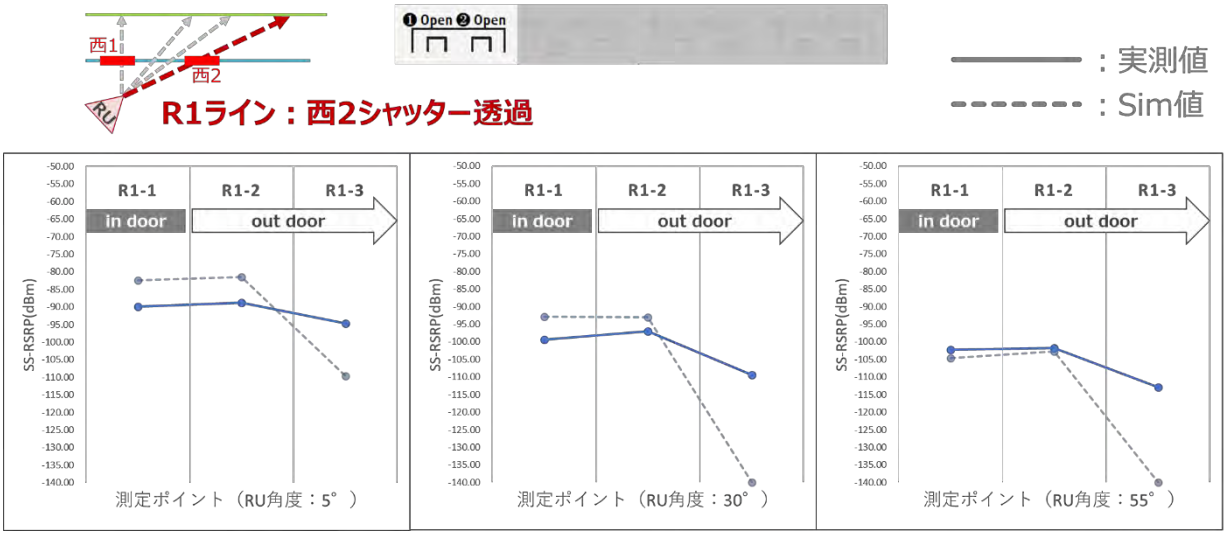
図 5.4.5-26）伝搬損失推定式との比較（2/2）

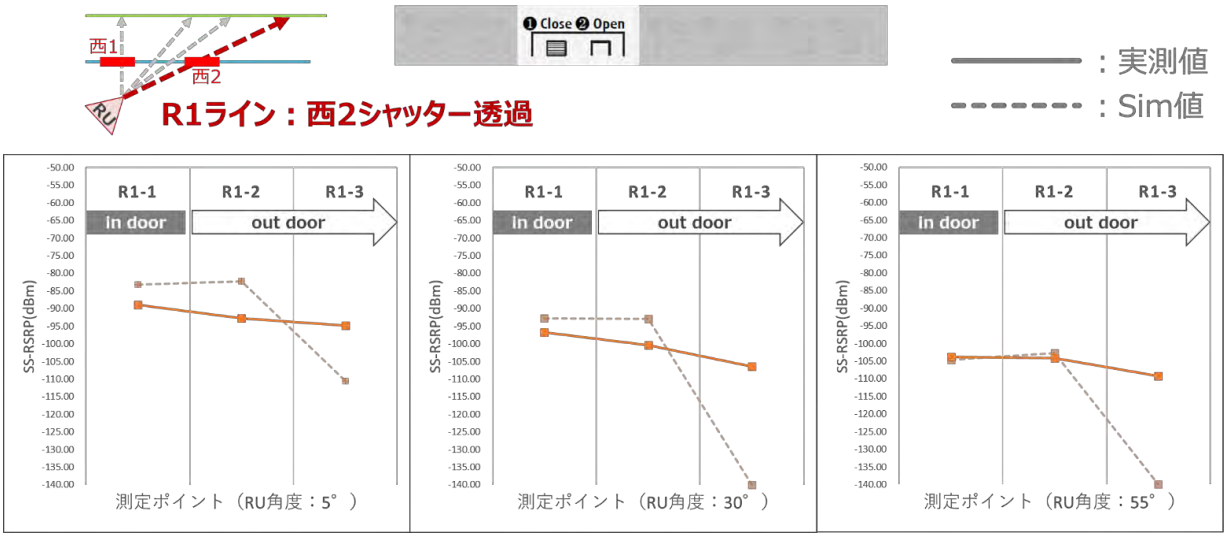




※プロット無し：弱電の為、測定不可

図 5.4.5-27）事前シミュレーションとの比較（1/6）





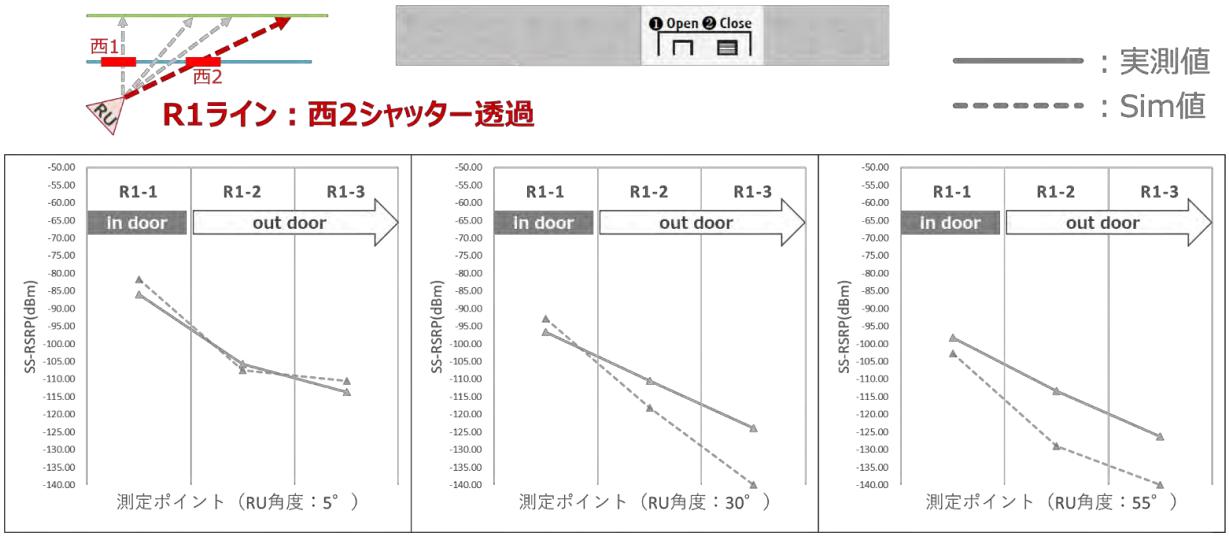
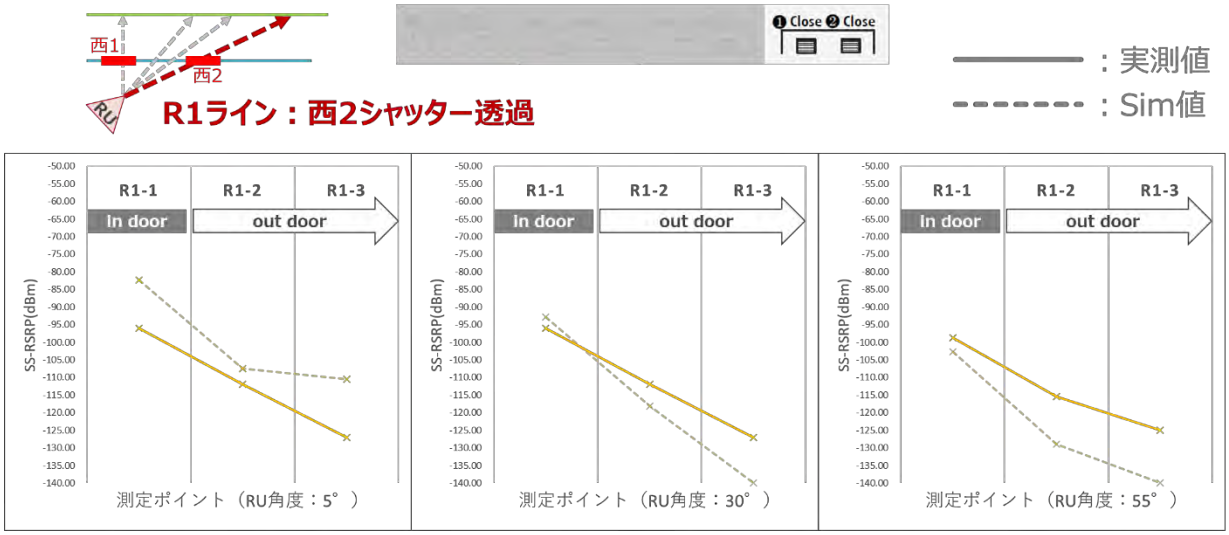
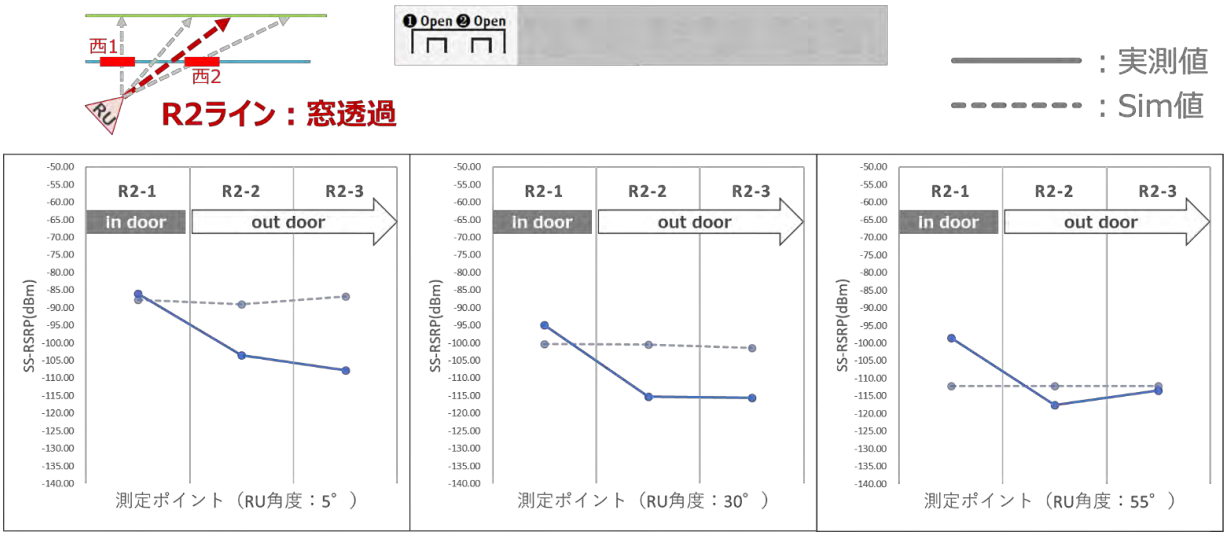


図 5.4.5-27）事前シミュレーションとの比較（2/6）





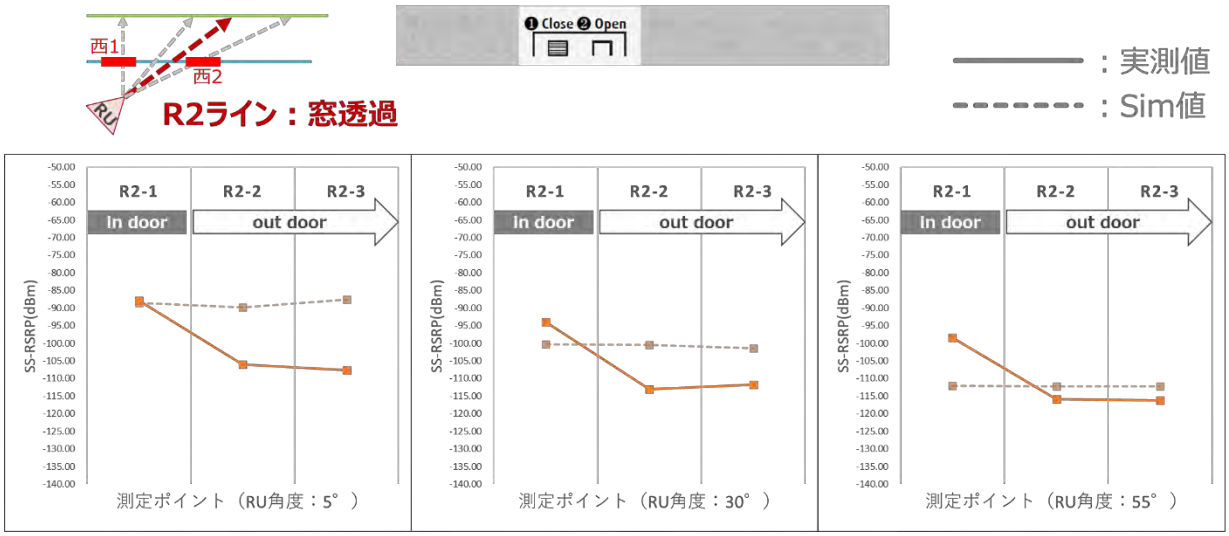
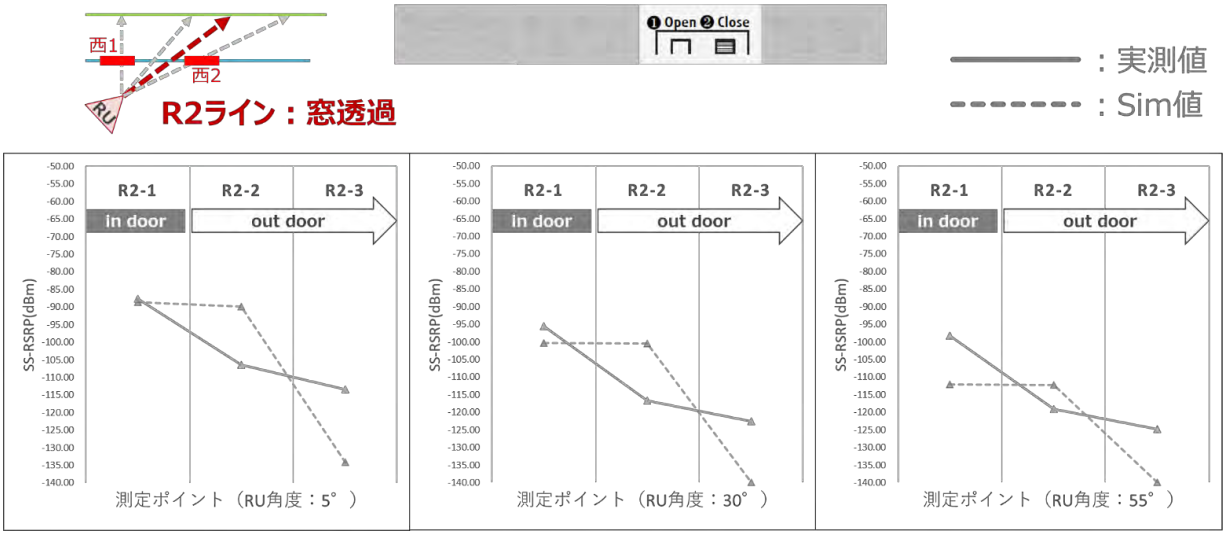
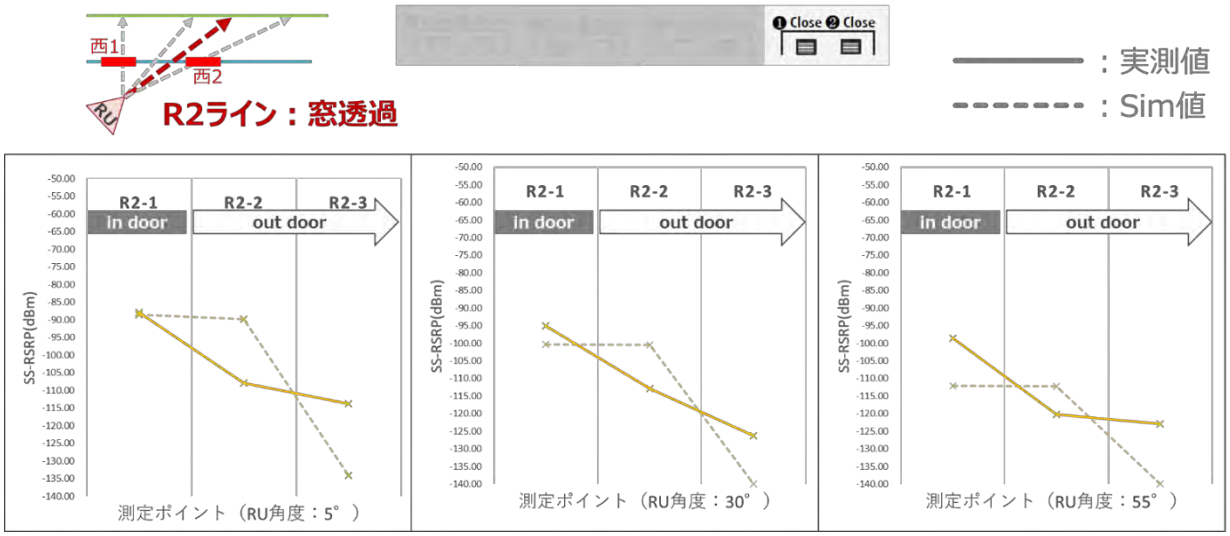


図 5.4.5-27）事前シミュレーションとの比較（3/6）





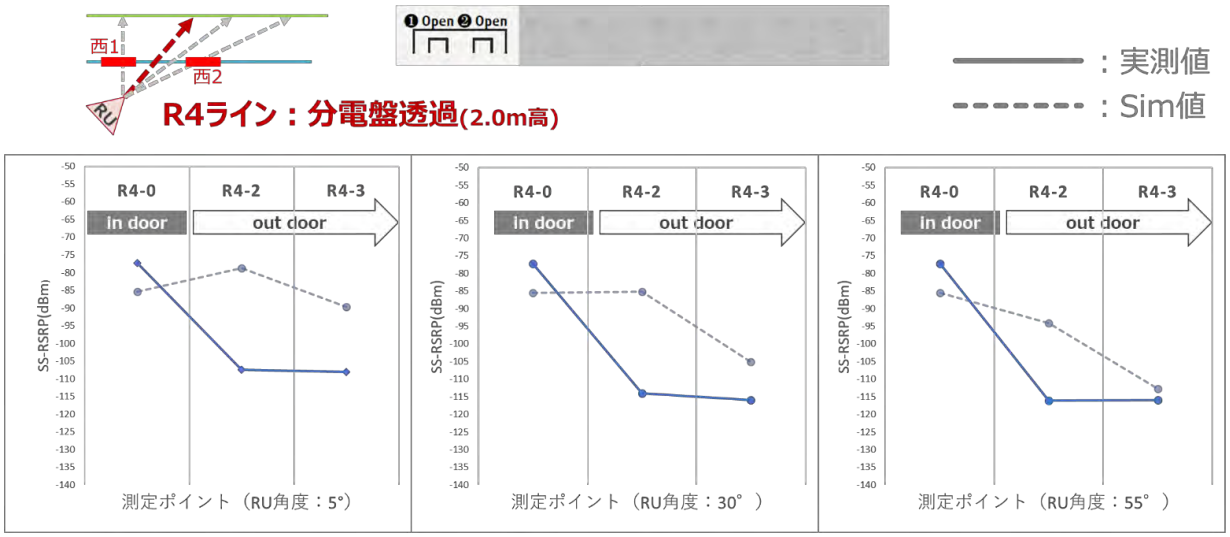
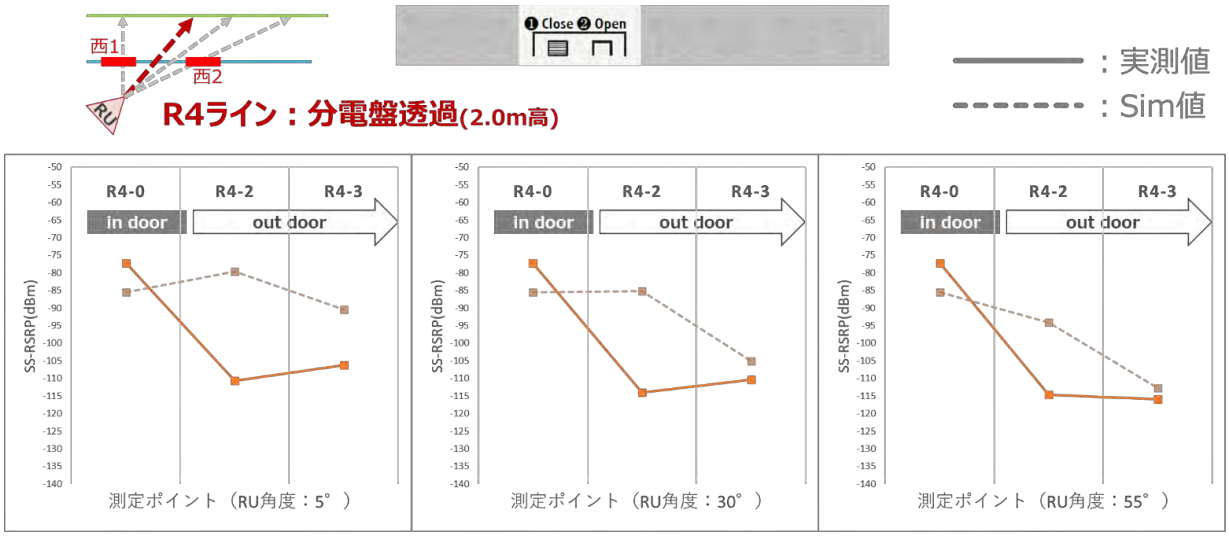
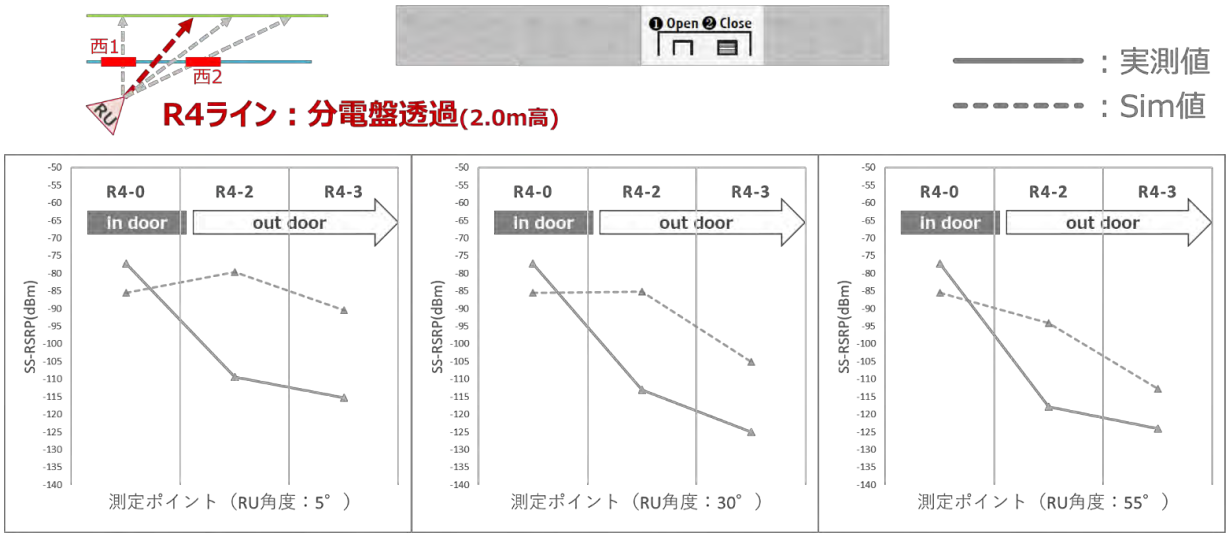


図 5.4.5-27）事前シミュレーションとの比較（4/6）





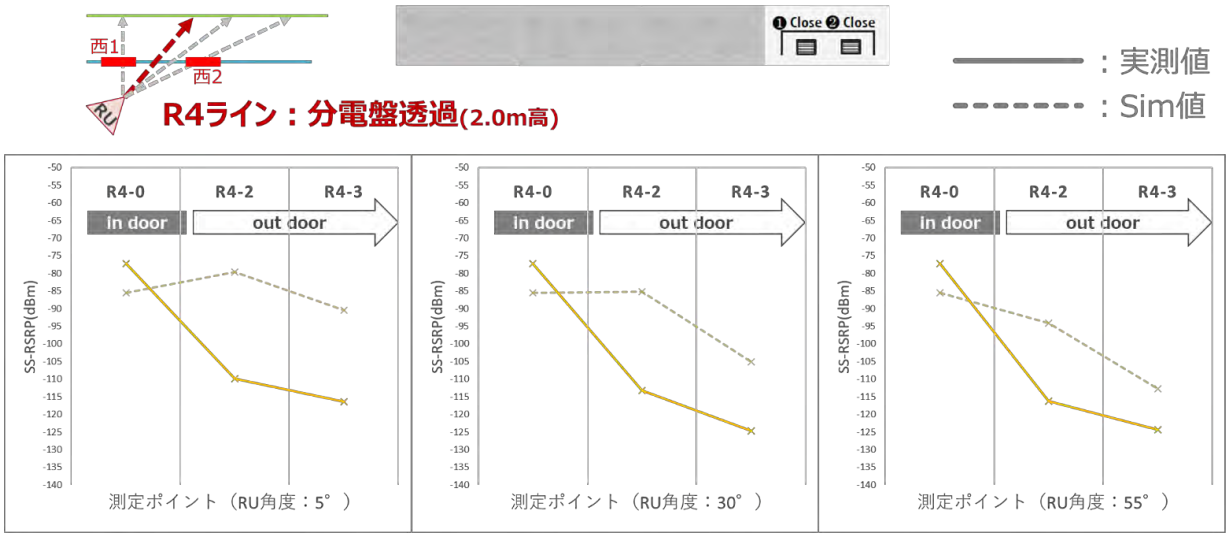
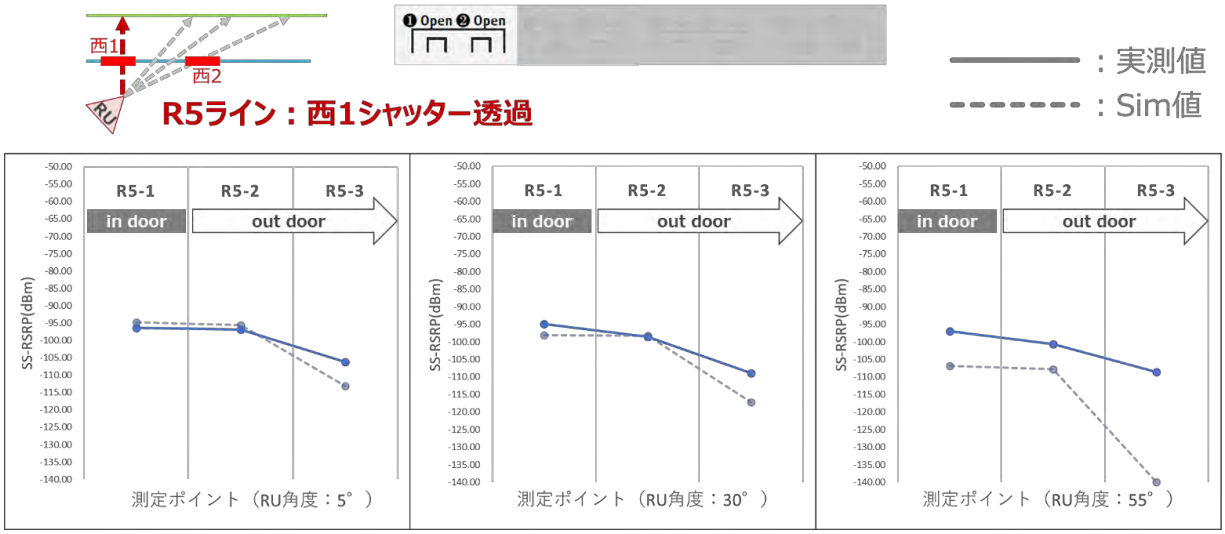
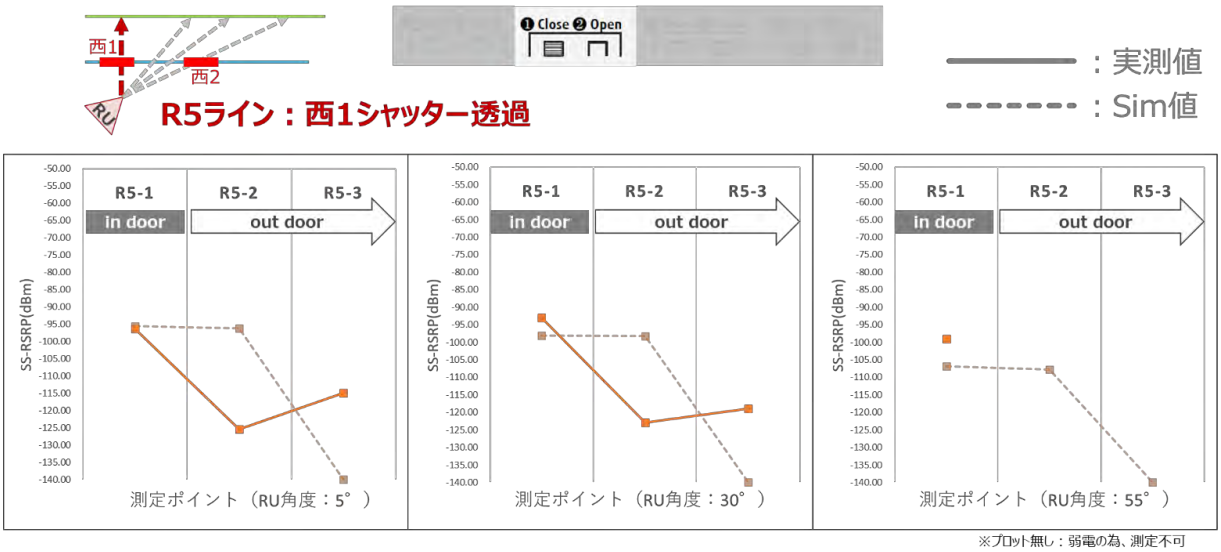


図 5.4.5-27）事前シミュレーションとの比較（5/6）





※プロット無し：弱電の為、測定不可

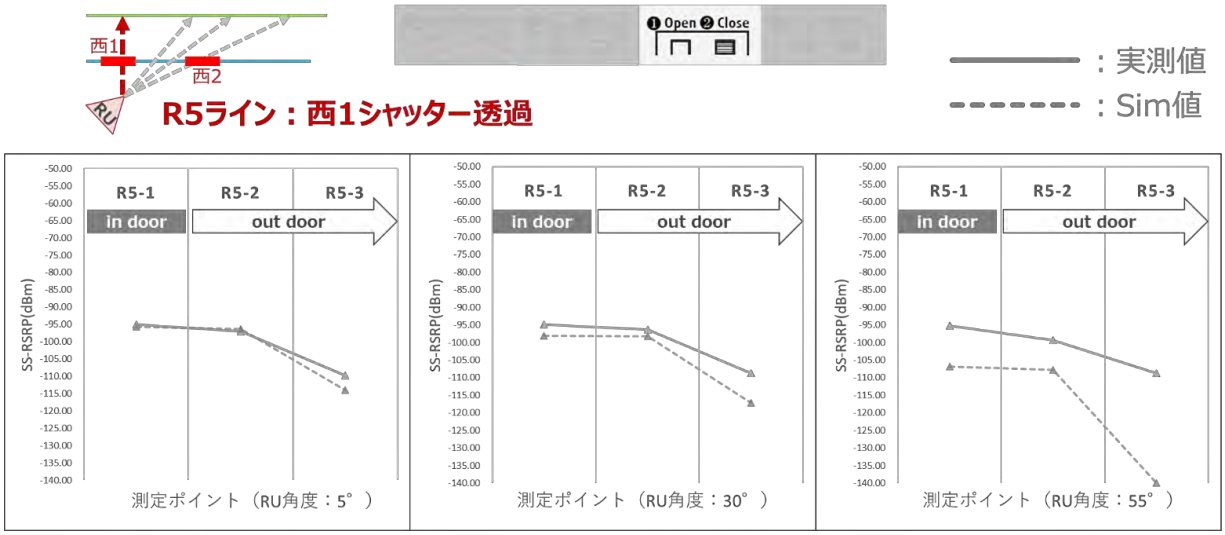
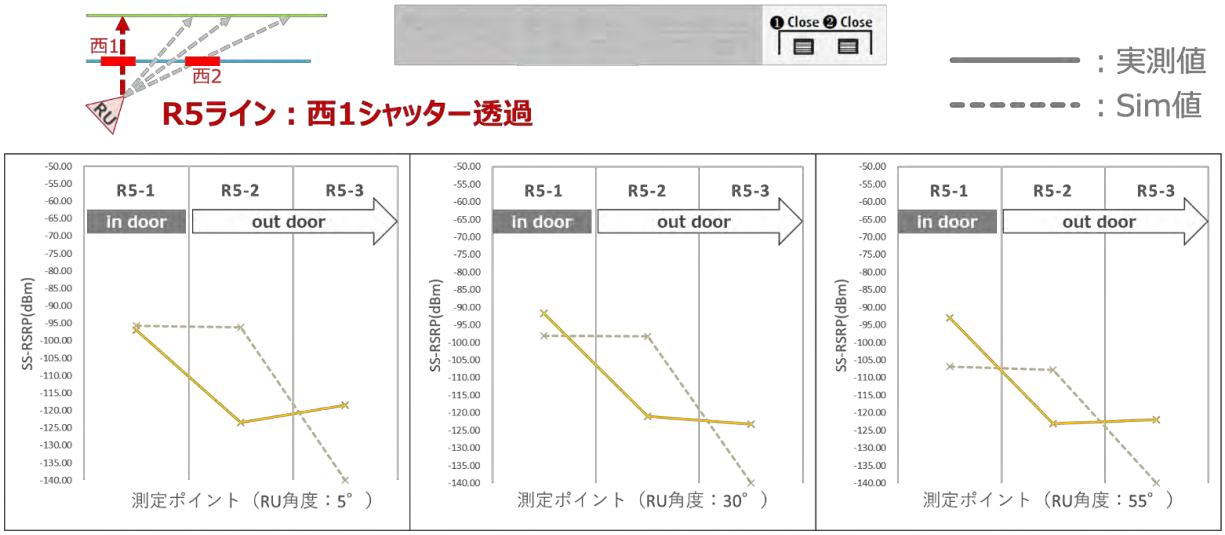


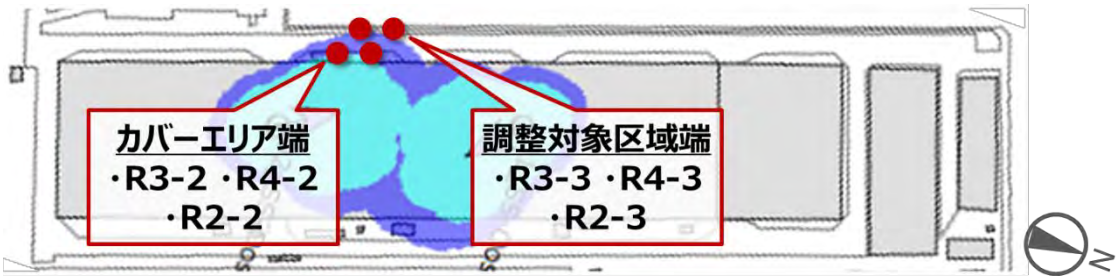
図 5.4.5-27）事前シミュレーションとの比較（6/6）



【カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端実測値】

「項 5.4.2. カバーエリアおよび調整対象区域」で触れた通り、総務省訓令第 47 号の算出法によれば、屋外測定地点と各エリア端の位置関係は（図 5.4.3-6）の通りとなる。

図 5.4.3-6）エリア端の測定地点（再掲）



該当の測定地点における実測値と受信電力基準値との差を（表 5.4.3-1）に示す。

表 5.4.3-1）各エリア端の受信電力基準値と実測値の比較

項目	① 受信電力基準値 (dBm/100MHz)	基地局アンテナチルト角	測定地点名	端末アンテナ高 [m]	基地局アンテナからの水平距離[m]	② 実測値 (dBm/100MHz)	差(dB) ①-②
カバーエリア端	-84.6	5°	R2-2	2.0	56.6	-83.40	-1.20
			R3-2	4.0	47.1	-87.30	+2.70
			R4-2	2.0	47.1	-84.92	+0.32
調整対象区域端	-91.0		R2-3	2.0	80.4	-86.77	-4.23
			R3-3	4.0	76.5	-87.71	-3.29
			R4-3	2.0	76.5	-87.68	-3.32

表の最右欄の「差(dB)」がマイナスの値になっている行が「算出法の値よりも実測値が高い」ことを表す。例えば最下段R4-3を例にとると、それぞれ基地局アンテナからの直線上にある R4.2 から R4-3 間の距離が 29.4m、その区間における伝搬損失が 2.76dB に相当するため、R4-3 から延長線上を更に 29.4m 進んだ基地局アンテナから 105.9m 地点の想定受信電力が-90.44dBm と考えれば、受信電力基準値-91.0dBm の近似することが予想される。

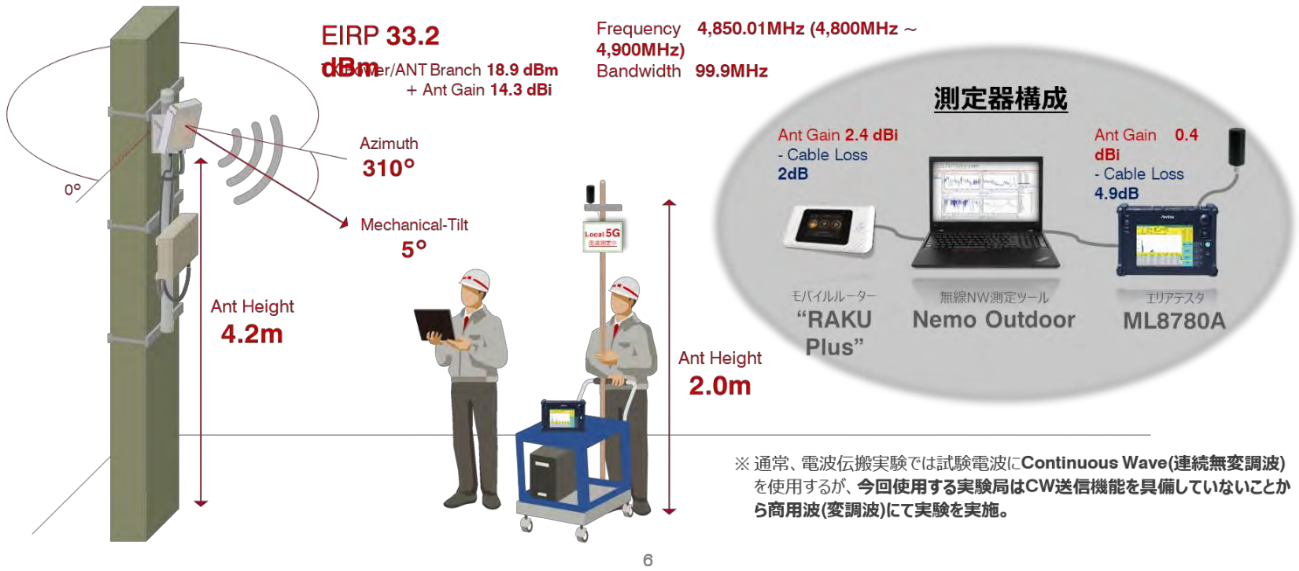
5.4.6. 実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上

工場棟屋内外の歩行測定により得られた実測値をエリアシミュレータにフィードバックし、シミュレーション精度向上を試みた。結果を（図 5.4.6-1）に結果をまとめる。

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（1/14）

電波伝搬実験の試験方法

工場棟内の支柱に仮設した**RUの周辺を歩行測定**※し、**RU近傍～遠方、見通し内外**の伝搬特性を調査。
測定中は受信アンテナ高2mを維持するため、**アンテナを高さ2mのポール先端に固定**し、台車で移動させる。



測定区間と実測値

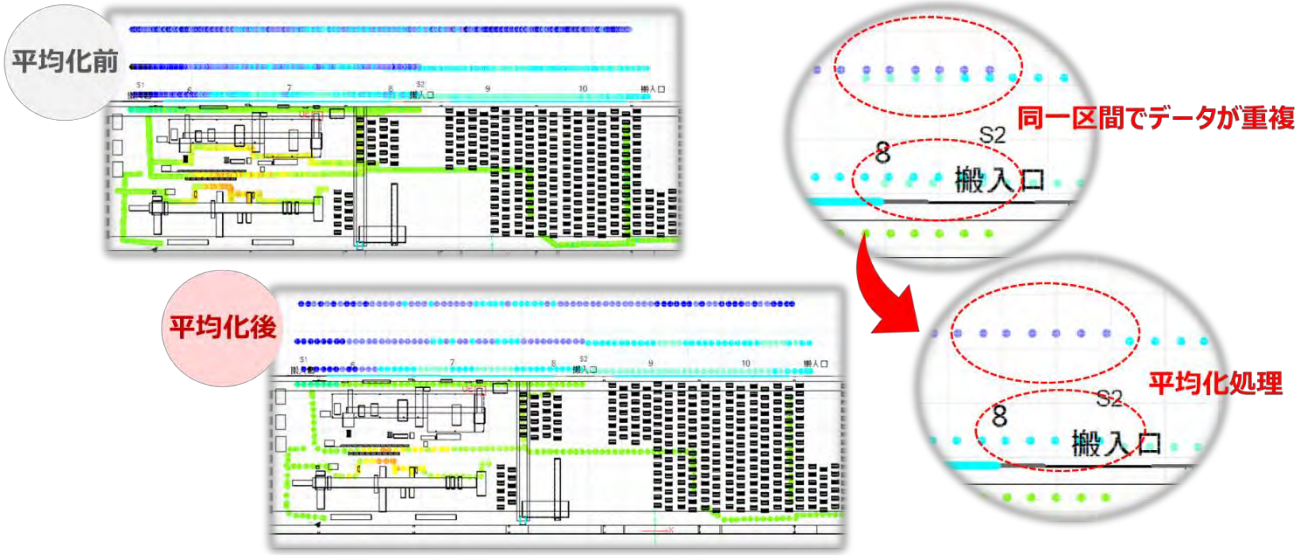
アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

実測データのうち、**RUのカバーエリアである工場棟西側のデータ**を伝搬モデルの較正用サンプルとして使用。

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（1/14）

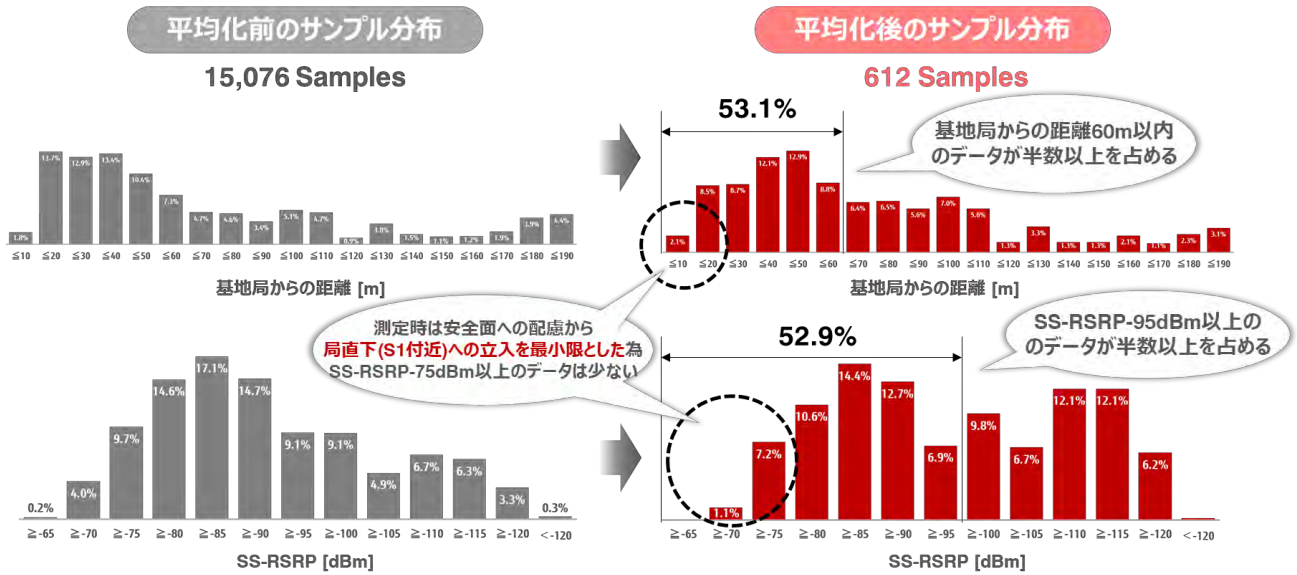
実測データのクレンジング

瞬時変動による受信電力のバラつきや、**測定時の移動速度で生じるデータ量の偏り**を解消するため、**実測データを約1.3m(人が2歩進む距離)で平均化。**



実測データ サンプル数の分布

実測データのサンプル数は**基地局近傍、強電界エリアのデータが半数以上を占める。**



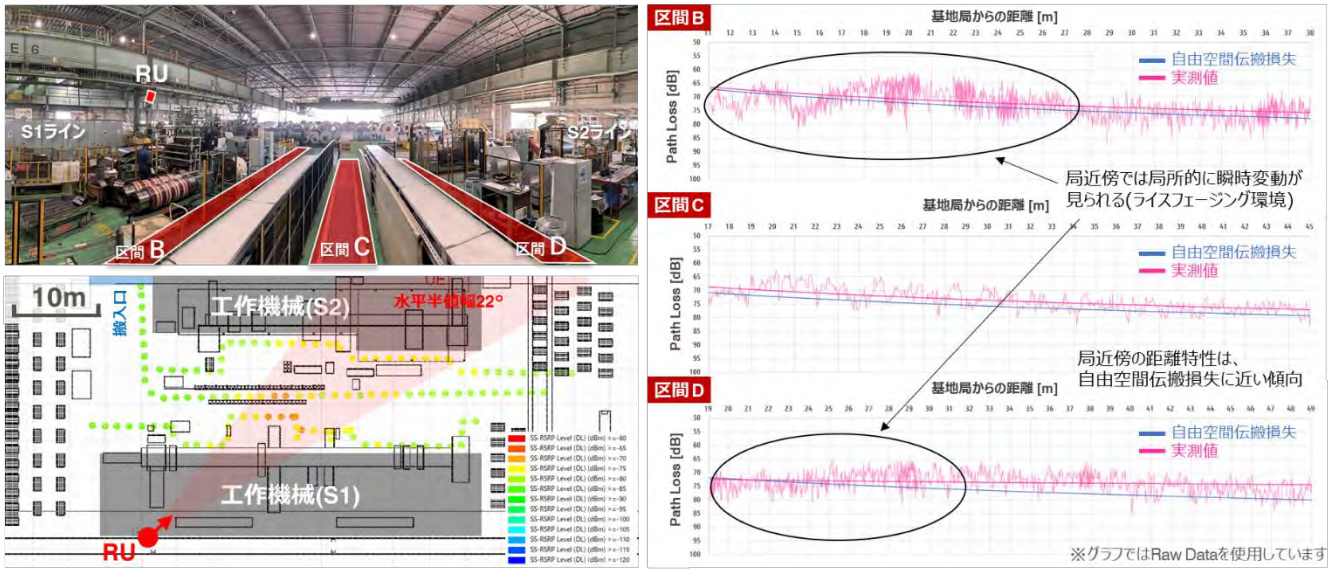
10

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（3/14）

LoS環境の伝搬特性(局近傍)

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

見通し内の**距離減衰は緩やかであり、自由空間伝搬損失に近い傾向。工作機械に囲まれた場所**では**瞬時変動**がみられ、**反射波や散乱波など、直接波以外の成分が大きく影響している状況。**



NLoS環境の伝搬特性(局近傍)

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

屋内のS2バックヤードなど**工作機械や資材で遮蔽された区間では、LoS環境と比べ約10dBの減衰を確認。屋外では建物外壁の遮蔽効果により、屋内と比べて20dB以上の差がみられた。**(※全シャッター閉鎖時)

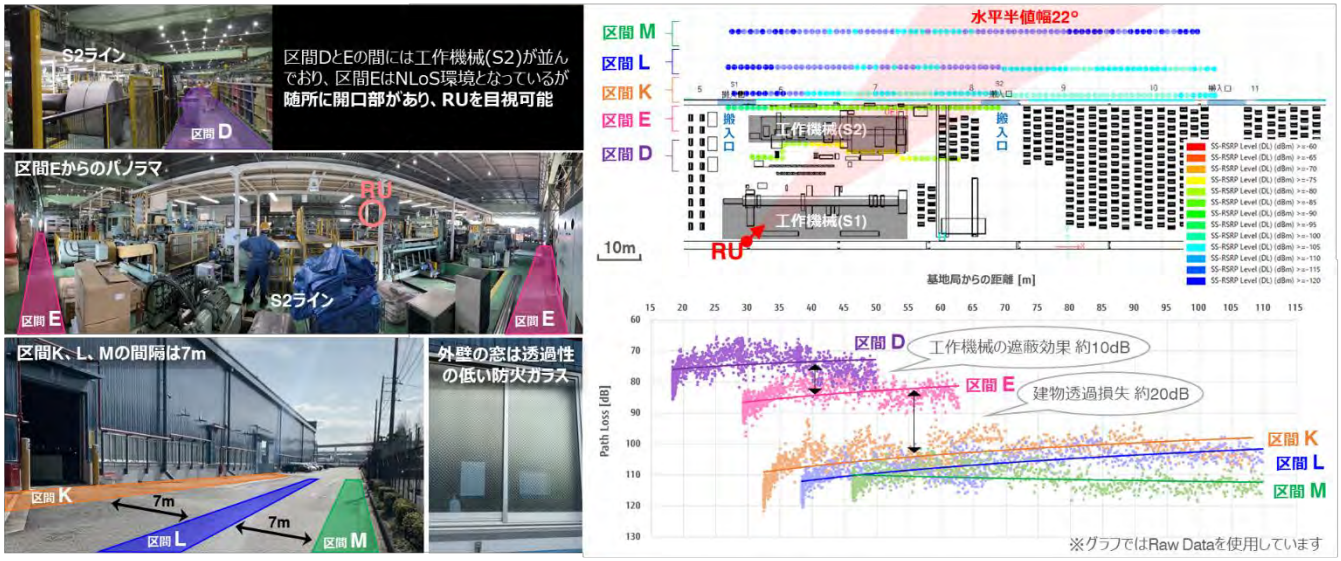
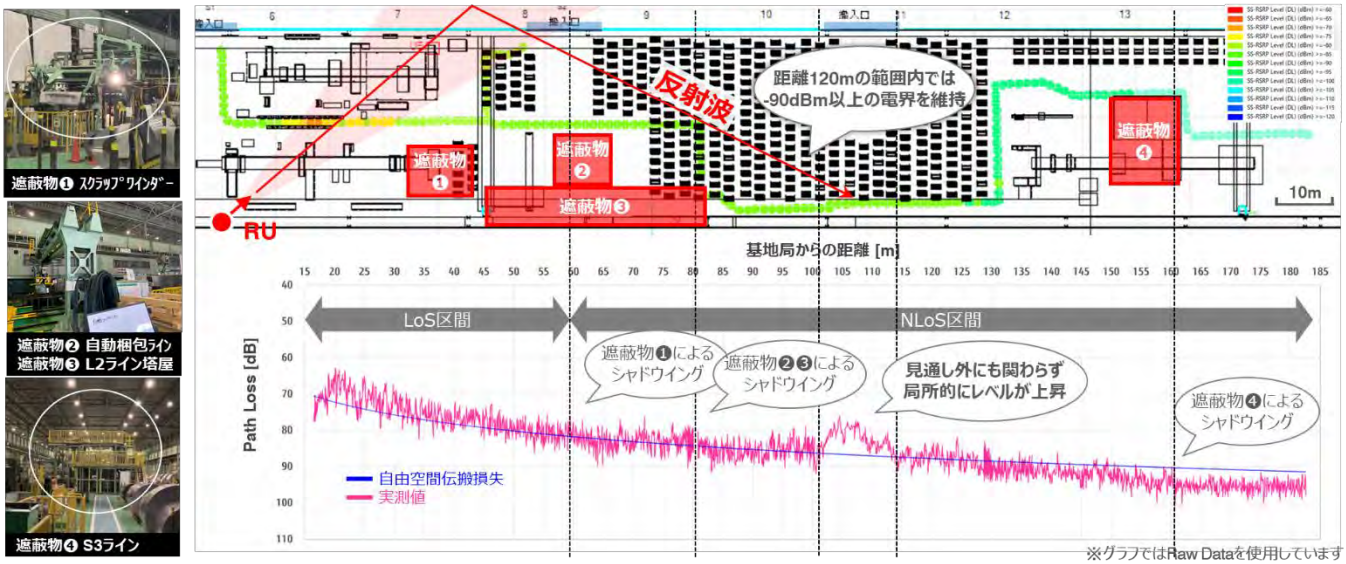


図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（4/14）

NLoS環境の伝搬特性(局遠方)

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

基地局から約100m地点では**見通し外で局所的に受信レベルが増加。**要因として**西側外壁(全シャッター閉鎖状態)に反射、且つ工作機械で回折したメインビームが遮蔽物の背後へ飛来**したものと推測される。



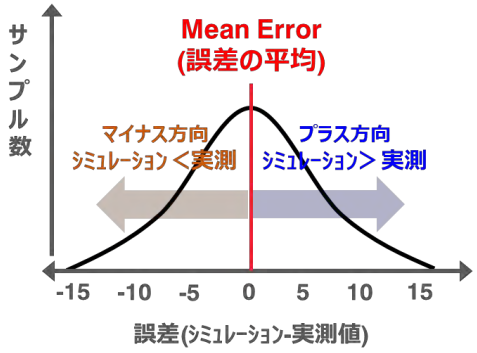
シミュレーション精度のKPI

伝搬モデルの精度は、一般的な評価指標である**Mean Error(ME)**と**Standard Deviation(STD)**を用いて統計的に評価。**一般的にMEは0dB※、STDは8dB以内を満たすことが望ましい**とされている。

※±3dBの範囲であれば許容範囲内

Mean Error (ME)

実測値とシミュレーションそれぞれの受信レベルを比較したときの**平均誤差**。伝搬モデルの**MEがプラス側に振れている場合、全体的にシミュレーションが実測値よりも強く**、反対に**マイナス側に振れている場合は、実測値がシミュレーションよりも強い**傾向にあることを表す。



Standard Deviation (STD)

実測値とシミュレーションそれぞれの受信レベルを比較したときの**標準偏差**。平均値だけではデータの分布がわからないため、データのばらつきの範囲を示す散布度を使用する。伝搬モデルの**STDが小さいほど、誤差のバラつきが少なく、伝搬モデルが高精度**であることを表す。

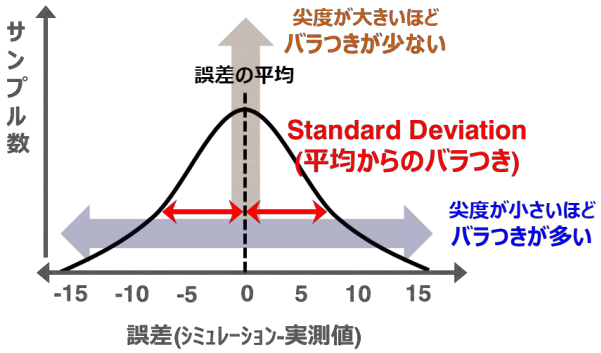
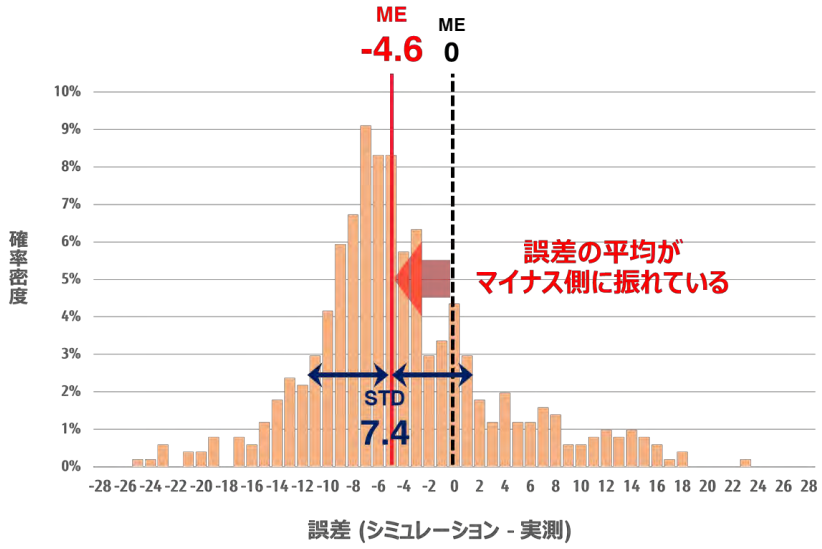


図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（5/14）

伝搬モデル較正前のシミュレーション精度

実測データをもとに較正前の伝搬モデルを評価した結果、**STDが7.4、MEが-4.6**であった。誤差に大幅なバラつきは無いが、**MEがマイナスに振れており、全体的にシミュレーションが実測よりも弱く計算される傾向。**



	ME	STD
ターゲットKPI	0	≤ 8
伝搬モデル較正前	-4.6	7.4
伝搬モデル較正後		

16

シミュレーションと実測の乖離要因(考察)

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

屋内(主にLoS環境)ではシミュレーションが弱く計算され、反対に屋外では強く計算される傾向。
原因として、**伝搬路を形成する地物データが不足、且つ材質係数が実態と合っておらず、実環境の反射波・回折波を十分に模擬できていないことが考えられる。**

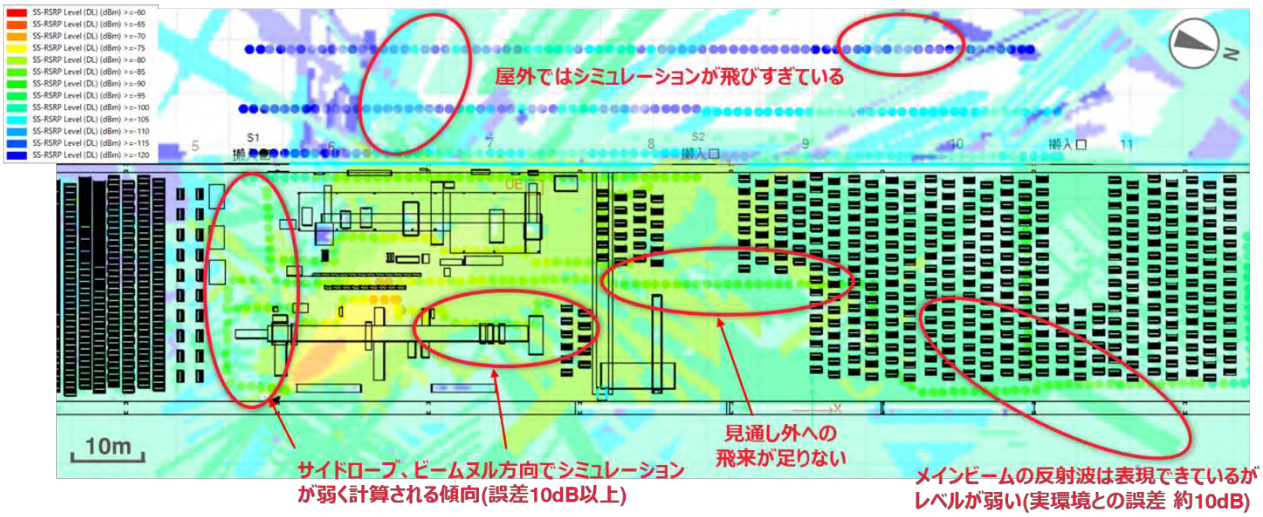


図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（7/14）

伝搬モデルの作成コンセプト

実測データの解析結果、既存モデルの評価結果を踏まえ、以下2つの方法で**一次チューニング**を実施。

① **地物データの修正** ・・・ 工場内の障害物の位置や構造、材質の種類を精緻化

② **伝搬モデルの較正** ・・・ 実測データをもとに伝搬モデルを統計的に較正し、材質係数を適正化

➡ **外壁や工作機械による反射・回折影響を考慮したモデル**を作成し、**工作機械や鋼材が密集する鉄鋼製品工場特有の伝搬特性**を表現。

適用範囲	無線アクセス技術	5G NR
	周波数	4.7GHz帯 (Sub-6)
	地形・地勢	屋内環境のうち、鉄鋼製品工場 ※今回はサミットスチール大阪工場に限定
シミュレーション精度ターゲットKPI	Mean Error	0dB
	Standard Deviation	8dB以内

① 地物データの修正(3Dモデリング)

Ranplanでは**電波伝搬路の計算にレイトレーシングを用いるため、シミュレーション精度向上には伝搬路構造の精緻化が不可欠となる。**実測データや現場写真等の追加情報を参考に地物データを修正。

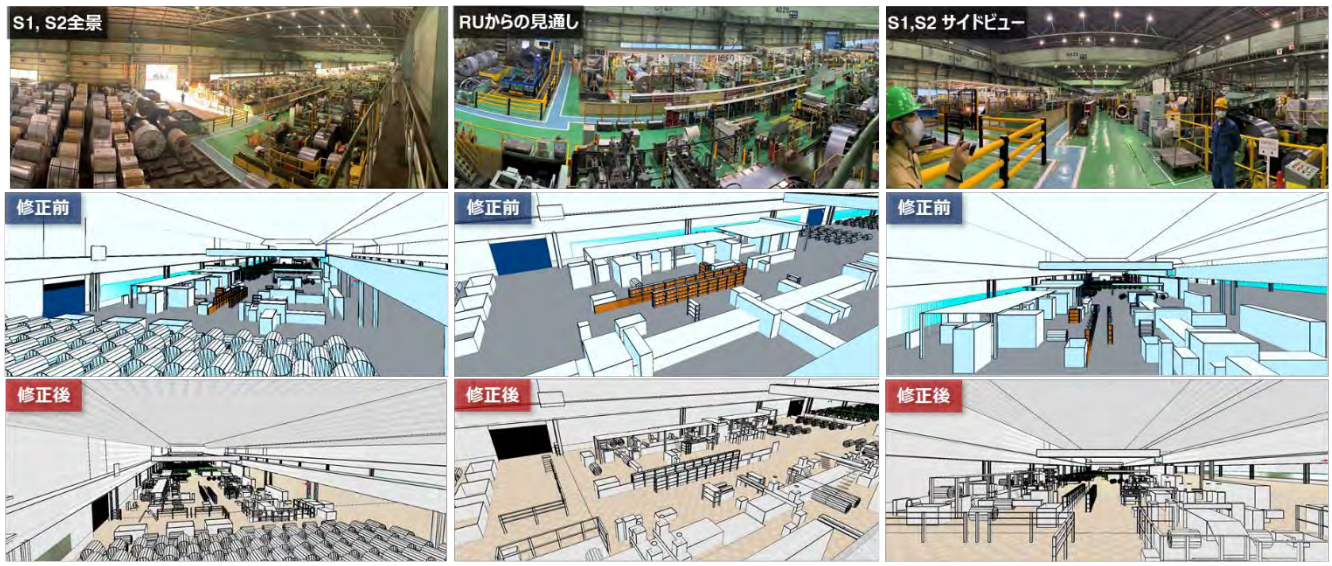
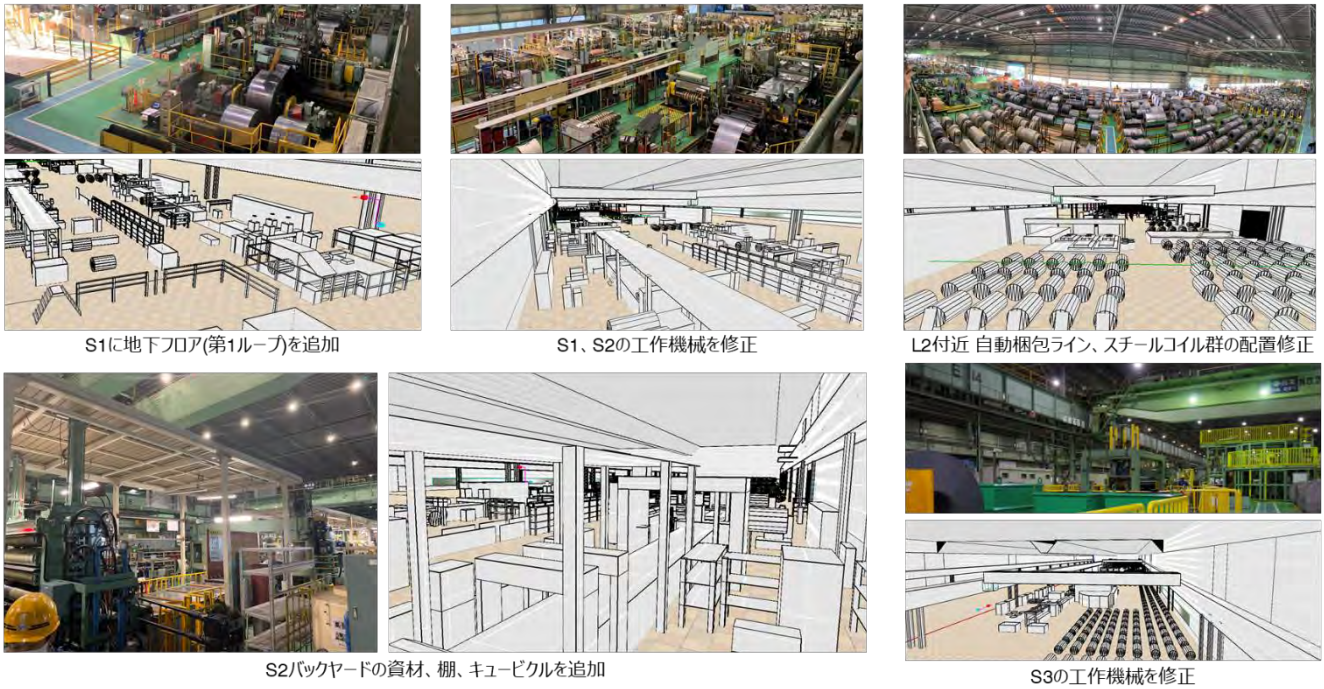


図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（8/14）

地物データ修正箇所

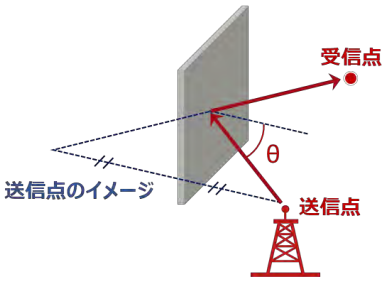


【参考】レイトレーシングとは

送受信点間を繋ぐ複数の伝搬路を**直接波・回折波・反射波からなるレイとして近似的にモデル化**し、その合成として受信値を求める計算手法。以下二通りの手法があり、**Ranplanではレイ・ローンチング法を採用。**

イメージング法

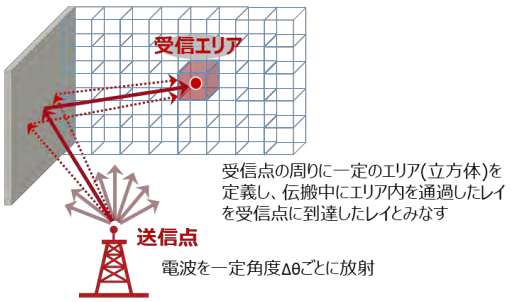
送受信点、考慮する全ての反射面・回折面の組合せから幾何学的に反射点や回折点を求め、送受信点間の三次元的なレイを求める



利点 受信点に到達するレイを厳密に求めることができる
欠点 考慮する反射・回折回数を増やすと、面とエッジの組合せ数が指数オーダーで増加するため、計算量が膨大となる

レイ・ローンチング法

送信点から一定角度ごと離散的にレイを発射させ、その軌跡を逐次追跡して受信点に到達するレイを探索



利点 アルゴリズムが比較的単純なため、イメージング法より計算量が少ない
欠点 伝搬距離が長くなると空間分解能が悪くなり、精度が劣化する

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（9/14）

② 伝搬モデルの較正

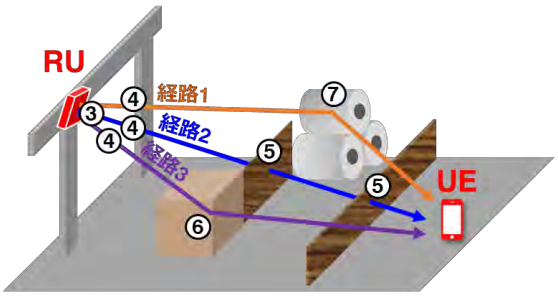
Ranplanの**Material Calibration(伝搬モデルの自動較正機能)**を利用し、実測データをもとに**伝搬損失推定式に組み込まれた係数を調整。**伝送距離のほか、透過、回折、反射で生じる減衰値を適正化。

Ranplan Maxwell Propagation Engine (RMPE)

$$L = \underbrace{K_1 + 20\log_{10}(f) + K_2 \times 10\log_{10}(d)}_{\text{自由空間伝搬損失}} + \underbrace{\sum_{m=1} A_m + {}^{D}\sum_{m=1} A_m {}^{R} + \sum A_m + M}_{\text{付加損失}}$$

自由空間伝搬損失
(周波数、伝送距離、経路損失係数)

付加損失
(材質係数、マージン)



	係数	単位	パラメータ概要
①	f	MHz	使用する周波数
②	d	Km	送信アンテナと受信アンテナ間の伝送距離
③	K_1	dB	経路損失定数 (伝搬式全体に対するオフセット値)
④	K_2	-	経路損失指数
⑤	$\sum_{m=1} A_m^P$	dB	透過損失の合計値 (透過の発生回数 × 材質別の透過損失値)
⑥	$\sum_{m=1} A_m^D$	dB	回折損失の合計値 (回折の発生回数 × 材質別の回折損失値)
⑦	$\sum_{m=1} A_m^R$	dB	反射損失の合計値 (反射の発生回数 × 材質別の反射損失値)
⑧	M	dB	マージン (ボディロス、ファストフェージングなど)

チューニング対象パラメータ

【参考】総務省伝搬損失推定式との比較

Ranplanの伝搬モデルエンジンは、総務省が告示する3種類の伝搬損失推定式のうち、近傍界に適用される式とほぼ等価。送受信点間の距離に関わらず、**一貫して同一の伝搬損失推定式が使用される。**

適用範囲	総務省が告示する伝搬損失推定式 出典：電波法関係審査基準 総務省訓令第47号(令和2年12月)	Ranplanの伝搬損失推定式 Ranplan Maxwell Propagation Engine (RMPE)
$d_{xy} \leq 0.04$km	$L = 32.4 + 20\log_{10}(f) + 10\log_{10}\{(d_{xy}^2) + (H_b - H_m^2)^6 / 10\} + R$	$L = 32.45 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d_{xy}) + R$※
0.04km < d_{xy} < 0.1km	$L = L0(d_{xy} = 0.04) + \{2.51 \times \log_{10}(d_{xy}) + 3.51\} \times \{L_H(d_{xy} = 0.1) - L0(d_{xy} = 0.04)\}$	
0.1km ≤ d_{xy}	$L = 46.3 + 33.9\log_{10}(2000) + 10\log_{10}(f/2000) - 13.82\log_{10}(\max(30, H_b)) + 44.9 - 6.55\log_{10}(\max(30, H_b))\}(\log_{10}(d_{xy}))^{\alpha} - a(H_m) - b(H_b) + R - K + S$	

※初期状態(経路損失係数を較正していない状態)の伝搬式

f (MHz) ：使用する周波数
H_b (m) ：基地局の空中線地上高
d_{xy} (km) ：基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
H_m (m) ：陸上移動局の空中線地上高

R (dB) ：基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損
建物に応じた値、あるいは事業者間調整時の値等を適用
α ：遠距離に対して考慮する補正項
$a(H_m)$ ：陸上移動局高に対して考慮する補正項

$b(H_b)$ ：基地局高に対して考慮する補正項
K ：地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正値
S (dB) ：市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（10/14）

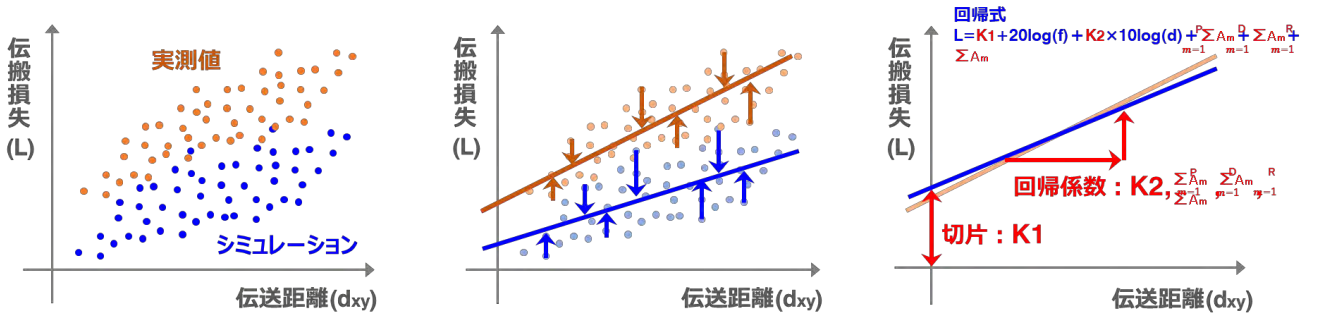
伝搬モデル較正のメカニズム

Material Calibrationでは、電波伝搬損失を線形回帰または指数回帰でモデル化。**MEとSTDを評価指標に実測値とシミュレーションの誤差が最小となる係数の組合せを探索し、伝搬モデルを統計的に較正。**

Step1
実測値とシミュレーションをマッピング

Step2
伝送距離と伝搬損失の相関を線形回帰または指数回帰でモデル化

Step3
回帰式から、実測とシミュレーションの平均誤差・標準偏差が最小となる係数を導出※



※線形/指数回帰式の解法には遺伝的アルゴリズムの繰り返し計算を使用

伝搬モデル較正結果 (一次チューニング)

Material Calibrationを利用し、経路損失係数、材質係数を較正。**伝搬モデル較正前と比べ、コンクリートと木材の透過損失、コンクリートと工作機械の回折損失が大幅に緩和された。**

□：今回調整範囲

係数		パラメータ 初期値	較正後	
① f	周波数 (MHz)	Sim環境に依存 (4.7GHz帯に限る)	Sim環境に依存 (4.7GHz帯に限る)	
② d	伝送距離 (Km)	Sim環境に依存	Sim環境に依存	
③ K_1	経路損失定数 (dB)	32.45	33.3	+0.85
④ K_2	経路損失指数	2	1.51	-0.49
⑧ M	マージン (dB)	0	0	

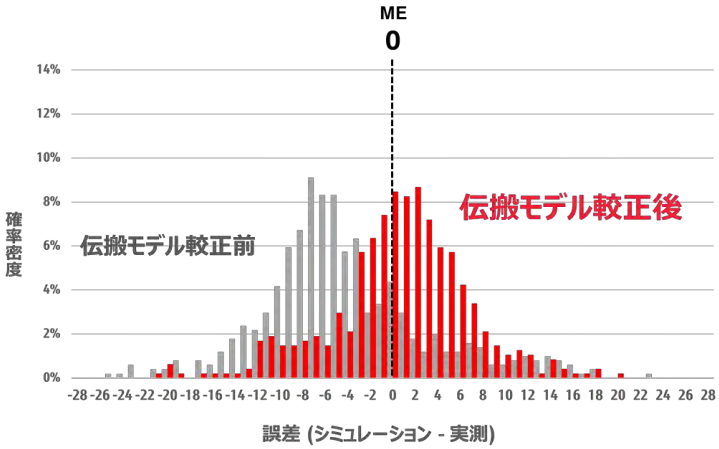
係数		発生回数 初期値	較正後	損失値 (dB) 材質	初期値	較正後	
⑤ $\sum_{m=1}^{P} A_m$	透過	5	5	Concrete(Medium)	27.4	27.4	
				Concrete(Heavy)	44.35	24.59	-19.76
				Wood(Heavy)	12.21	5.07	-7.14
				Glass	1.73→5※	0.97	-4.03
				Steel (外壁/クレーン)	87.9	87.73	-0.17
				Steel (工作機械)	87.9	89.24	+1.34
				Steel (スチールコイル)	87.9	87.9	

係数		発生回数 初期値	較正後	損失値 (dB) 材質	初期値	較正後	
⑥ $\sum_{m=1}^{D} A_m$	回折	2	2	Concrete(Medium)	44	44	
				Concrete(Heavy)	38	29.56	-8.44
				Wood(Heavy)	47	47	
				Glass	44	44	
				Steel (外壁/クレーン)	45	45.03	+0.03
				Steel (工作機械)	45	27.95	-17.05
				Steel (スチールコイル)	45	45	
⑦ $\sum_{m=1}^{R} A_m$	反射	7	7	Concrete(Medium)	7.5	8.84	+1.34
				Concrete(Heavy)	6	13.68	+7.68
				Wood(Heavy)	13.65	13.94	+0.29
				Glass	7.53	13.63	+6.1
				Steel (外壁/クレーン)	0.05	1.66	+1.61
				Steel (工作機械)	0.05	5.22	+5.17
				Steel (スチールコイル)	0.05	2.45	+2.4

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（11/14）

一次チューニング後のシミュレーション精度

伝搬モデル較正後は**マイナスに振れていた平均誤差が改善し、全体的にシミュレーションが弱く計算される傾向が改善。**また、**標準偏差は7.4→6.6まで収束し、全体的な誤差のバラつきも解消**された。

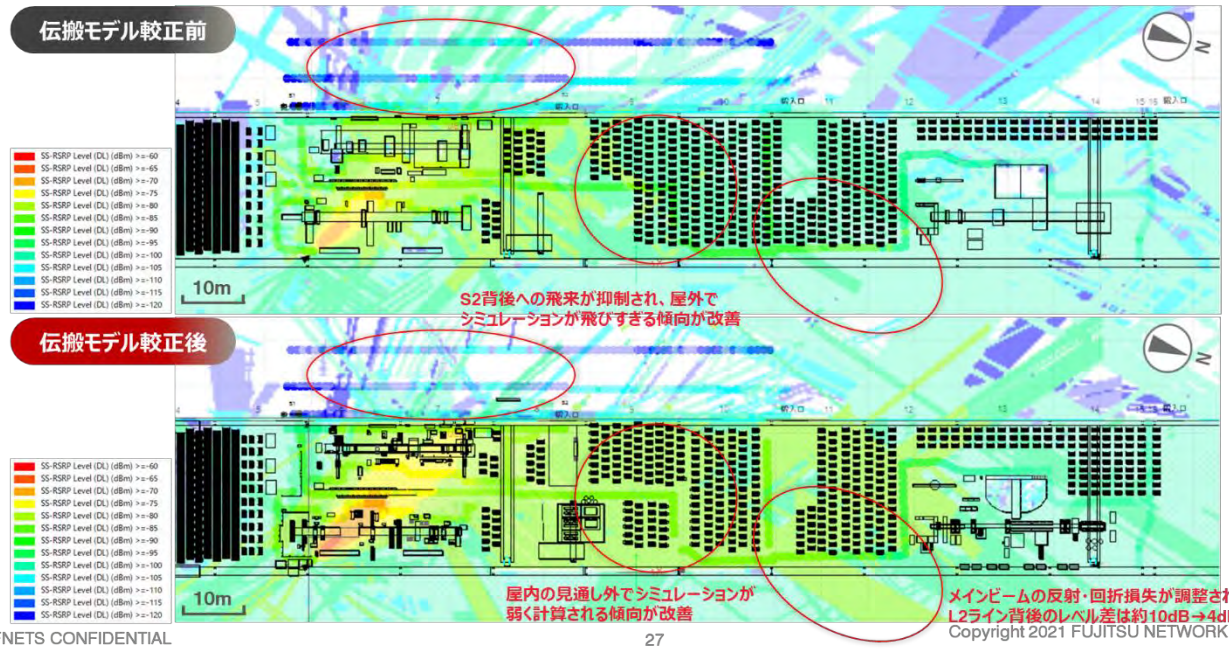


	ME	STD
ターゲットKPI	0	≤ 8
伝搬モデル較正前	-4.6	7.4
伝搬モデル較正後	0	6.6

ターゲットKPIを達成

一次チューニング後の伝搬特性

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m



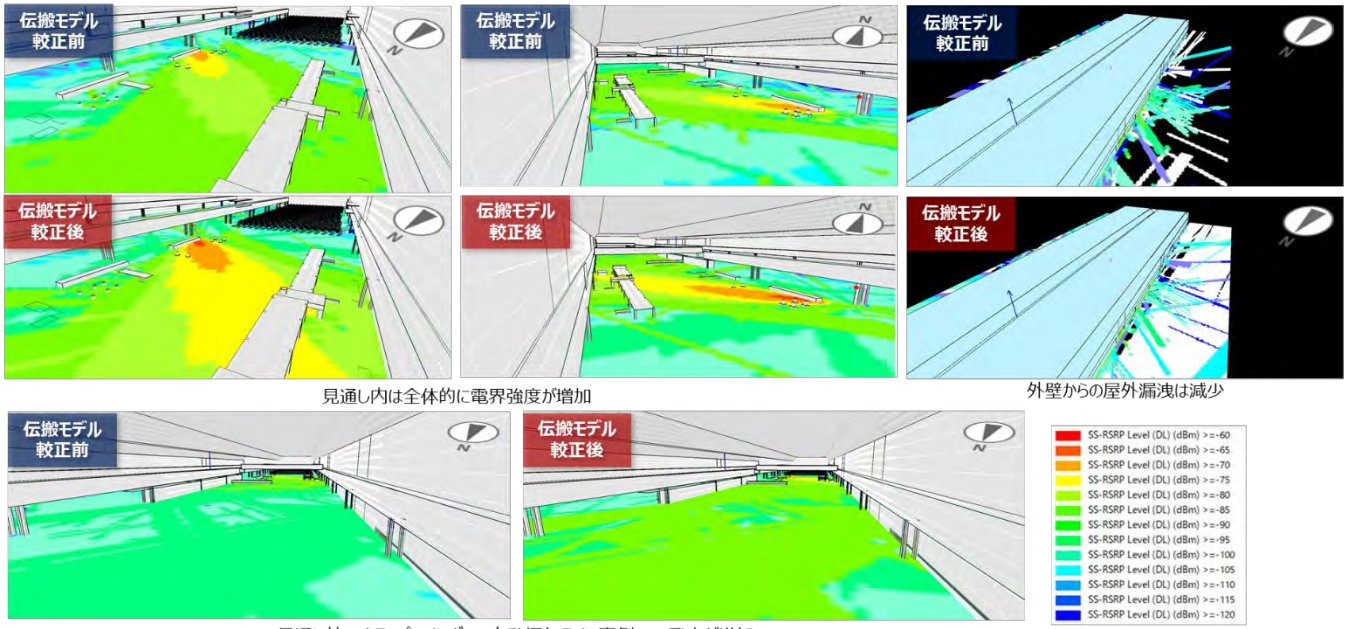
FNETS CONFIDENTIAL

Copyright 2021 FUJITSU NETWORK SOLUTIONS LIMITED

図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（12/14）

一次チューニング後の伝搬特性(3D View)

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m



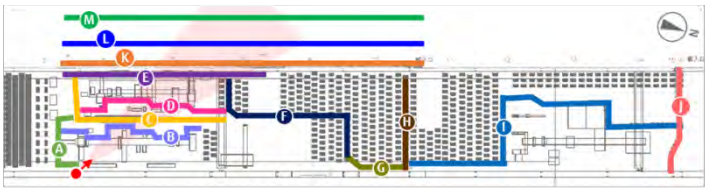
シミュレーション精度改善効果　地物データ修正のみ

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

伝搬モデルを較正せず、地物データ修正のみ実施したところ、シミュレーション精度が僅かながら改善。

シミュレーション精度への影響は限定的だが、地物データの修正で伝搬路構造が変化することを確認。

	ME	STD
伝搬モデル較正前	-4.6	7.4
伝搬モデル較正前(地物データ修正)	-4.2	7.9



僅かながらシミュレーションが実測に近づいている

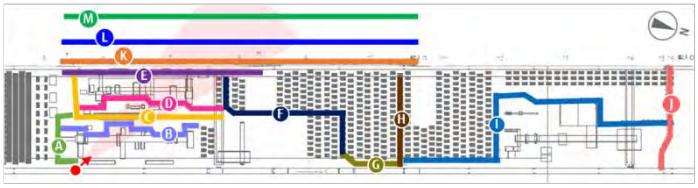
図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（13/14）

シミュレーション精度改善効果　地物データ修正＆伝搬モデル較正

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 2.0m

地物データ修正＆伝搬モデル較正後は、全体的にシミュレーション精度が改善。今後の継続課題として材質係数を微調整し、実環境との乖離が残る区間(サイドローブ、ビームヌル方向など)の合わせ込みが必要。

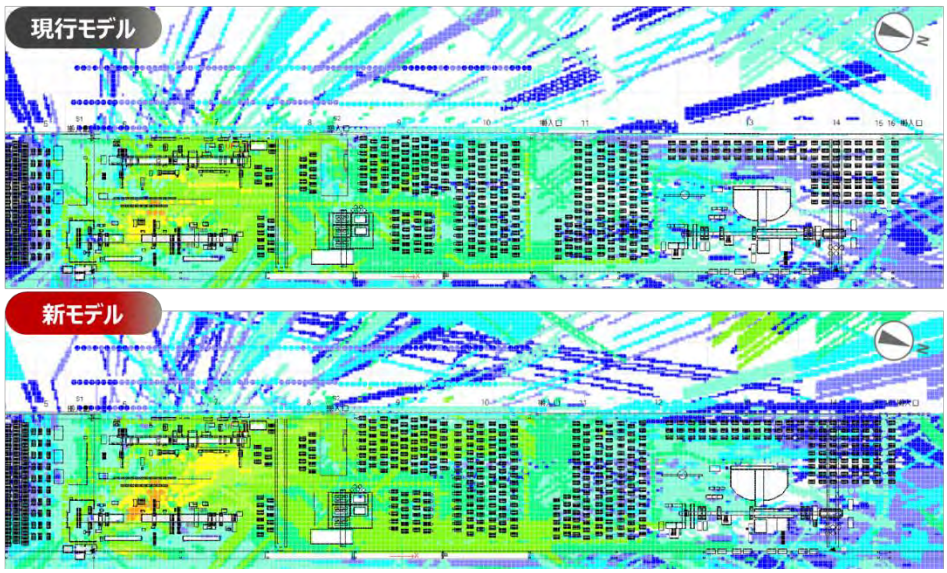
	ME	STD
伝搬モデル較正前	-4.6	7.4
伝搬モデル較正後(地物データ修正)	0	6.6



【参考】受信アンテナ高0.3mのシミュレーション精度

アンテナチルト角 5°
シャッター 全閉鎖
受信アンテナ高 0.3m

較正した伝搬モデルで受信アンテナ高0.3mのシミュレーション精度を評価した結果、**ME・STDともに改善しており、伝搬モデル較正前に比べて精度が向上していることを確認。**



	ME	STD
現行モデル	-8.4	8.1
新モデル	3.7	7.3

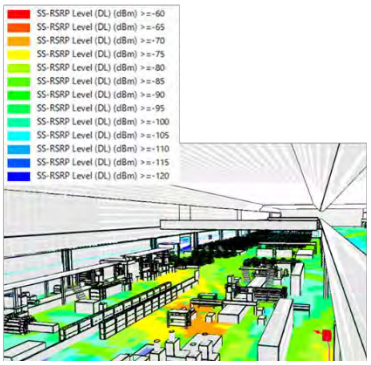


図 5.4.6-1）実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上（14/14）

まとめ

1. 4.7GHz帯 屋内(鉄鋼製品工場)伝搬特性の考察

- 工場の建物内は直接波以外(主に反射波)の影響が大きく、NLoS環境も含め広範囲への飛来がみられた。➡ **指向性のあるアンテナ**であっても、広域をカバー可能。
- アンテナチルト角を浅く設定した場合でも、外壁に約20dBの遮蔽効果がみられた。➡これらをシャドウイングマージンとして考慮することで、**屋内の電界強度を担保しつつ、屋外への漏洩を最小限に抑えた設計**が可能。

2. 更なるシミュレーション精度向上に向けて

- 今回作成した伝搬モデルは、限られたサンプルをもとに作成しており、**サミットスチール大阪工場の環境に特化**している。他の工場など、**異なる環境のシミュレーションで利用する場合、複数のサンプルを使用した十分な検証が必要。**
- 実測データのサンプル(最低10～15局)を増やし、**二次チューニング(手動による詳細な較正)を実施することで、より汎用性の高いモデルを作成することが可能。**

5.4.7. 技術的課題の解決方法

基地局設置場所の制約が多い工場屋内環境において、基地局数を最小に抑え最適なアンテナ方向を決定するためのエリアシミュレーションは重要な役割を果たすことから、チューニング前のエリアシミュレーション精度の評価と実測値フィードバックによるチューニング後にどの程度シミュレーション精度が向上するかの検証を行った。

シミュレーション精度の評価にあたり、マクロセル環境での指標を参考に実測値との平均誤差（Mean Error：ME）および標準偏差（Standard Deviation：STD）とし、それぞれのターゲット KPI を「ME：0dB±3dB」、「STD：8dB 以内」と設定した。チューニング前「平均誤差（ME）：-4.6dB」で範囲外（＝実際よりもシミュレーションの方が電波が飛びにくい値を示す）だったシミュレーション精度が大きく改善（-4.6dB→0.0dB）し、合わせて標準偏差（STD）についても 7.4dB→6.6dB に改善した。シミュレーションのチューニングにおいて変更値が大きかったパラメータは、金属とコンクリートの回折損失設定値およびコンクリートと木材の透過損失設定値であり、シミュレータのデフォルト値よりも実際の回折と透過の影響が大きかったことが分かる。

歩行測定の実測値フィードバックを行うことでシミュレーション精度向上の課題は解決した。但し、チューニング後の各設定値は、本実証環境ひとつの事例であり、あらゆる工場屋内環境に広く適用できるものかは、複数の工場における実測結果を蓄積して判断する必要があると考える。

5.5. その他ローカル５Ｇに関する技術実証

5.5.1. ハンドオーバー機能検証

課題解決システム【遠隔作業者支援】の利用シーン拡張や将来の AGV 導入を見据え、工場棟内のより広いエリアでシームレスにローカル５Ｇを活用できるか、２つの基地局アンテナ方位角を変えて検証する。試験パターンを（図 5.5.1-1）に示す。

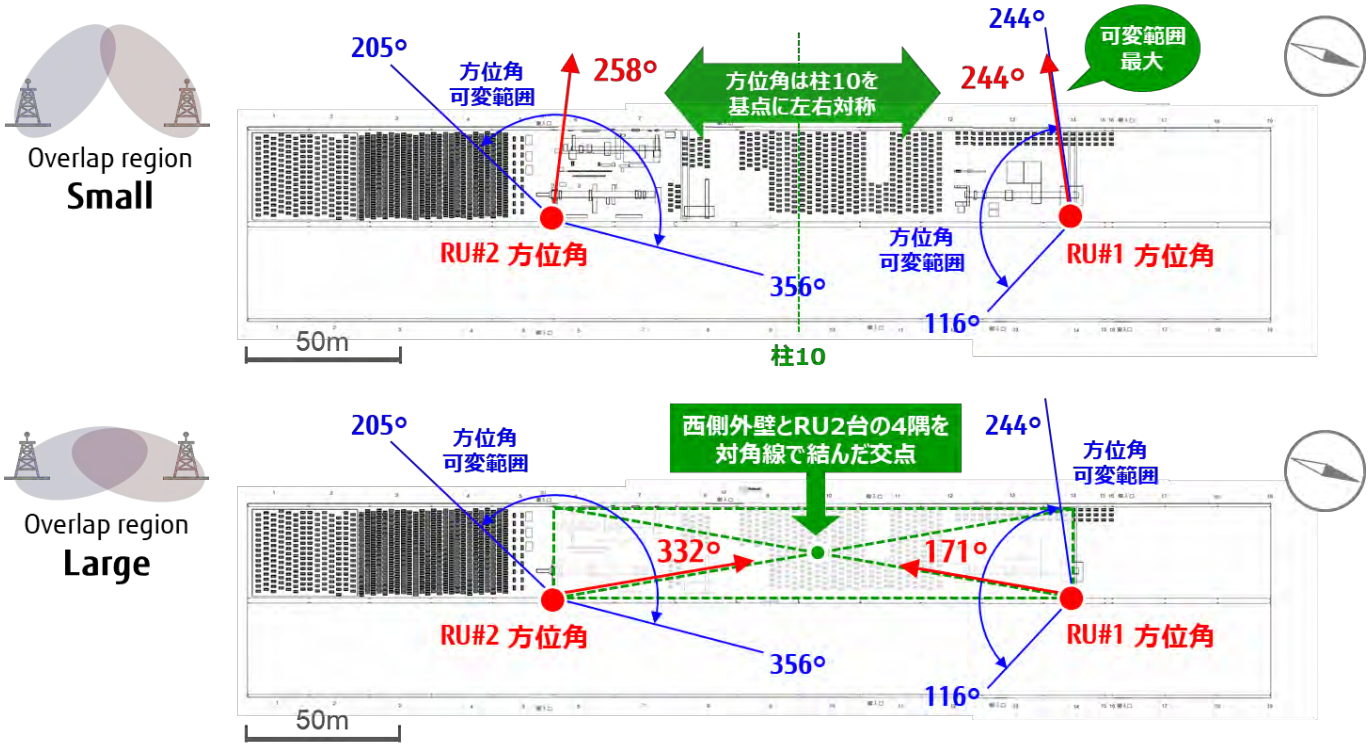
図 5.5.1-1）ハンドオーバー機能評価の試験パターン

L5G技術実証検証項目		基地局諸元							シャッター開閉	
		受信アンテナ高(m)	送信出力(dBm)		アンテナ方位角(°)		アンテナチルト角(°)			
		端末UE	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2	西#1	西#2
1	エリア品質評価	0.3	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
2		2.0								
3	屋外漏洩評価	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
4							停波	❽ 30		
5							停波	❼ 55		
6							停波	❻ 5	Close	
7							停波	❽ 30		
8							停波	❼ 55		
9							停波	❻ 5	Open	Close
10							停波	❽ 30		
11							停波	❼ 55		
12							停波	❻ 5	Close	
13							停波	❽ 30		
14							停波	❼ 55		
15	ハンドオーバー機能評価	**2.0**	**24.9**	**24.9**	**❷ 244**	**❸ 258**	**❾ 30**	**❽ 30**	**Close**	**Close**
16					**❹ 171**	**❺ 332**				
17	準同期スループット	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	－	－

ハンドオーバーに関するエリア設計の課題として「２基地局セル間のオーバーラップ面積をどの程度に設定するか」があげられる。本機能検証ではセル間のオーバーラップ面積が大小異なるエリアを設定し、セル境界におけるハンドオーバー動作に差が生じるかを検証した。オーバーラップ面積２パターンのイメージを（図 5.6.1-1）に示す。

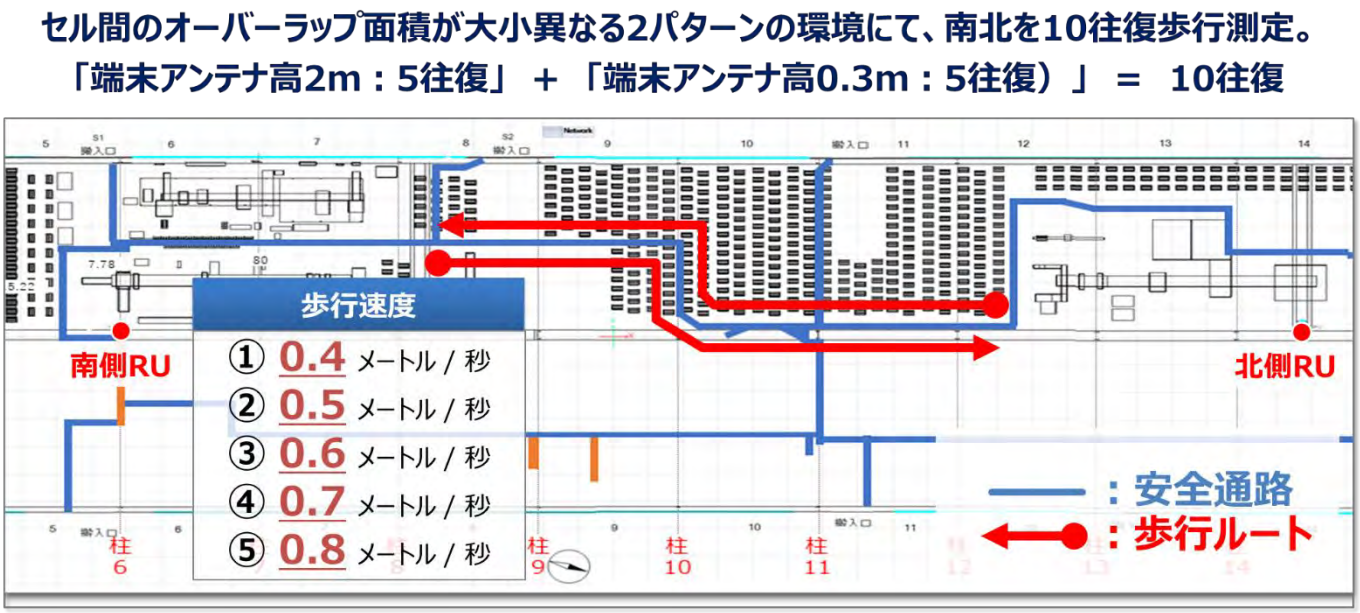
検証前の仮説としては、オーバーラップ面積が大きい場合に２基地局間でのバタツキが発生しやすく、オーバーラップ面積が小さい場合はハンドオーバー動作前に呼切断が発生して再接続となる可能性が高まると想定した。

図 5.6.1-1）オーバーラップ面積大小の設定



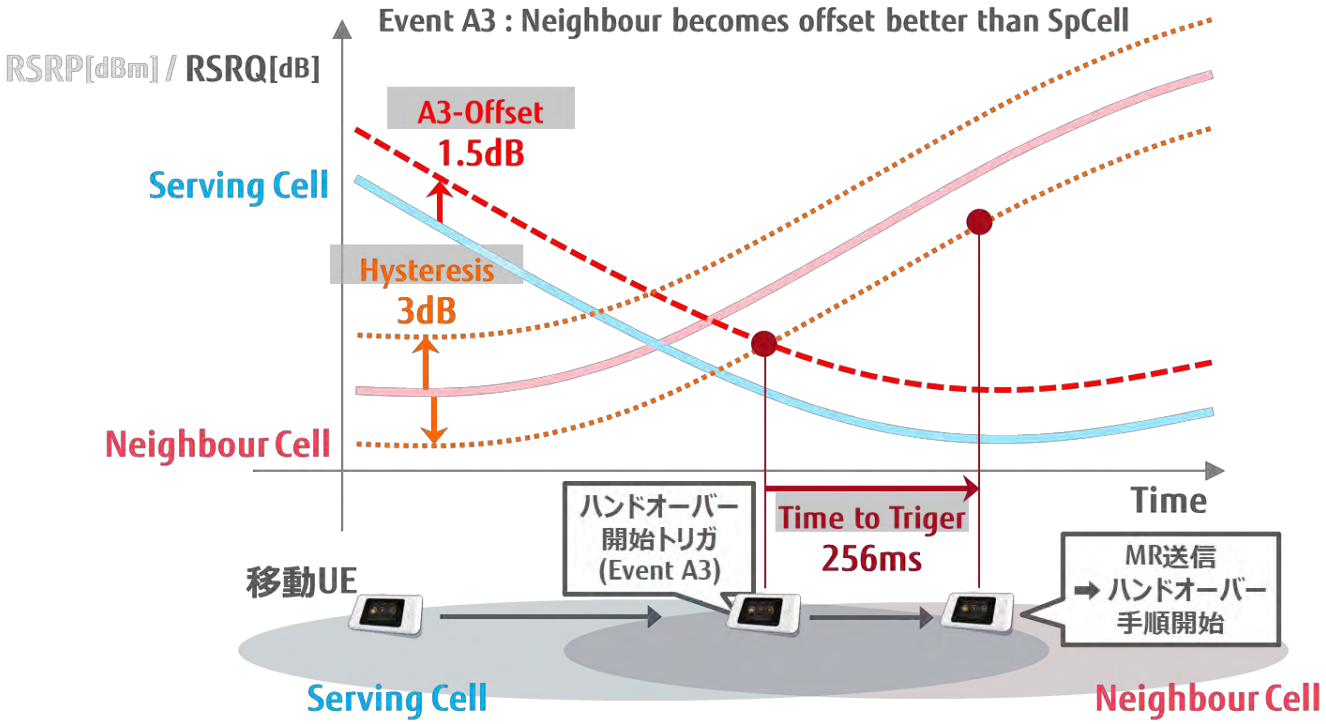
セル間オーバーラップ面積大小それぞれについて工場棟西側の安全通路を南北に 10 往復した。歩行測定中は Nemo outdoor にて端末の状態ログを収集するとともに、100msec 周期の連続 ping 試験を行い通信段が発生しないかを確認した。また、試行回数ごとに徐々に歩行速度を遅くすることで、結果的に 5 段階の歩行速度にて測定を行った。歩行ルートを（図 5.6.1-2）に示す

図 5.6.1-1）歩行測定ルートと歩行速度設定



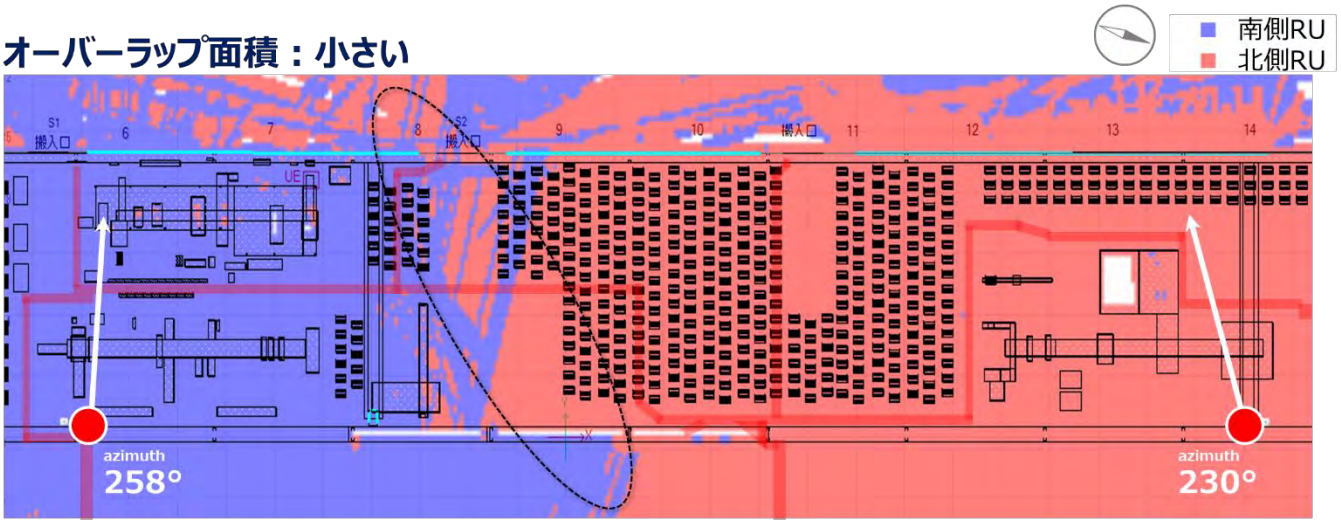
本実証システムのハンドオーバー機能は 3GPP 規格に準拠している。今回の試験で採用したハンドオーバー機能の設定値および動作イメージを（図 5.5.1-2）に示す。

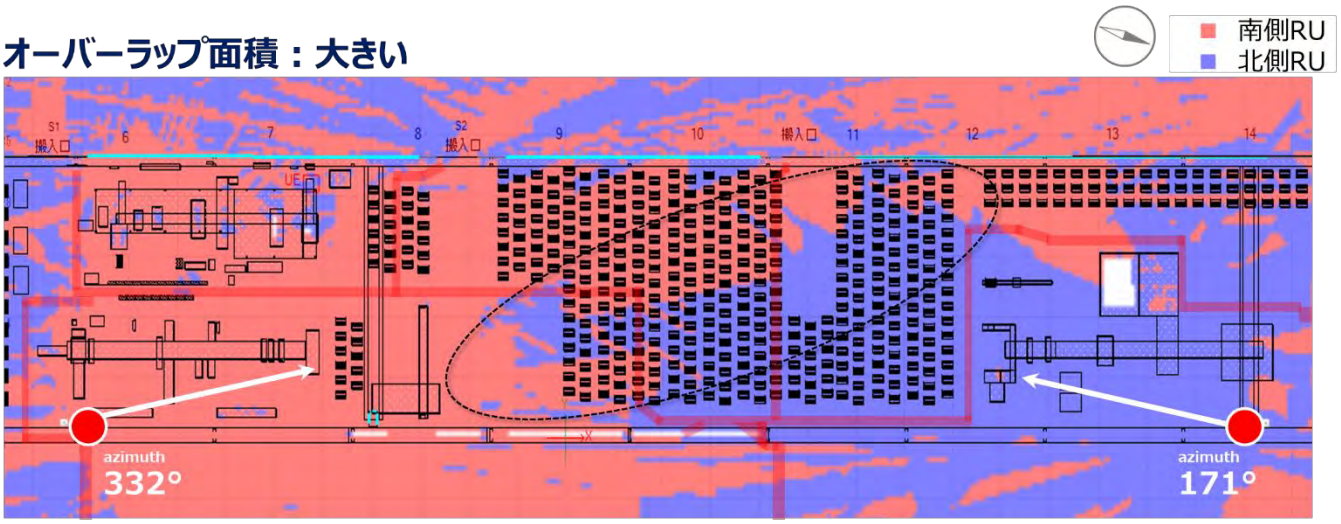
図 5.5.1-2）ハンドオーバー機能の設定と動作イメージ



ハンドオーバー機能検証に先立って、事前エリアシミュレーションにおいて２基地局間の RSRQ 値で優位になるエリアを色分けするシミュレーションを行った。（図 5.5.1-3）にシミュレーション結果を示す。

図 5.5.1-3）シミュレーション結果（RSRQ 値での比較・色分け）





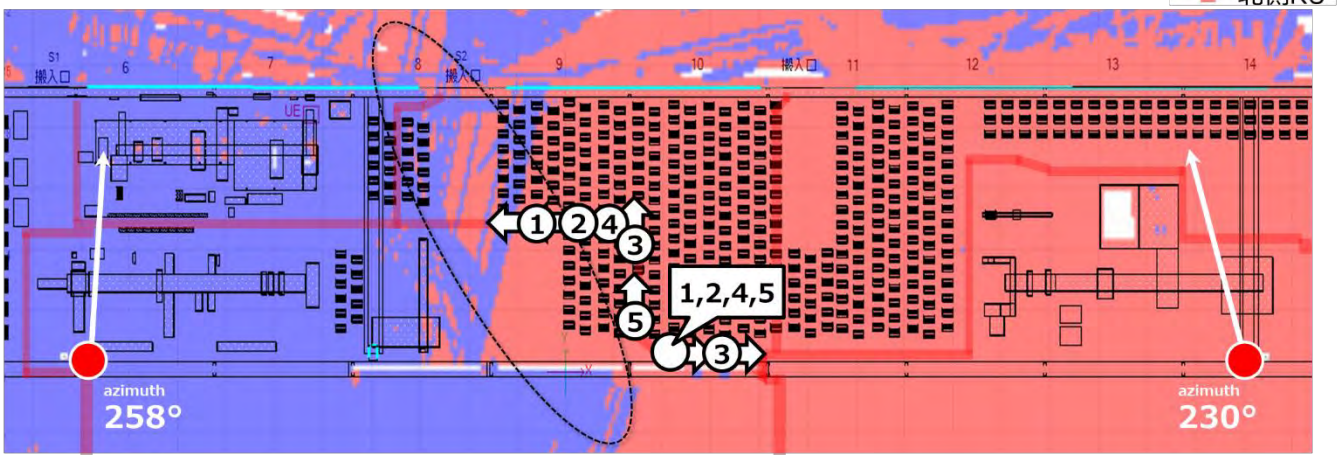
【ハンドオーバー機能検証結果】

検証結果について、はじめにハンドオーバーが動作した地点を（図 5.5.1-4）に示す。なお、図中の〇数字の位置がハンドオーバー動作地点を、数字①～⑤が歩行速度（①が遅く⑤が早い）を表し、矢印の向きが歩行方向となる。

図 5.5.1-4）ハンドオーバー動作地点（1/3）

・ハンドオーバーポイント測定結果　Overlap region Small　アンテナ高2.0m

・北側RU⇔南側RU



・ハンドオーバーポイント測定結果　Overlap region Small　アンテナ高0.3m

・南側RU→北側RU

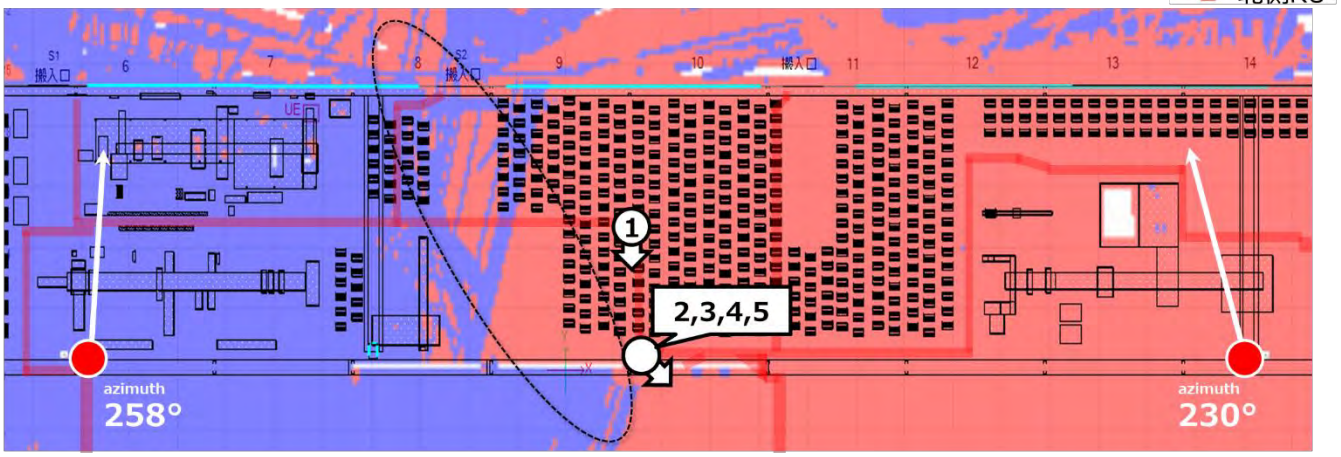
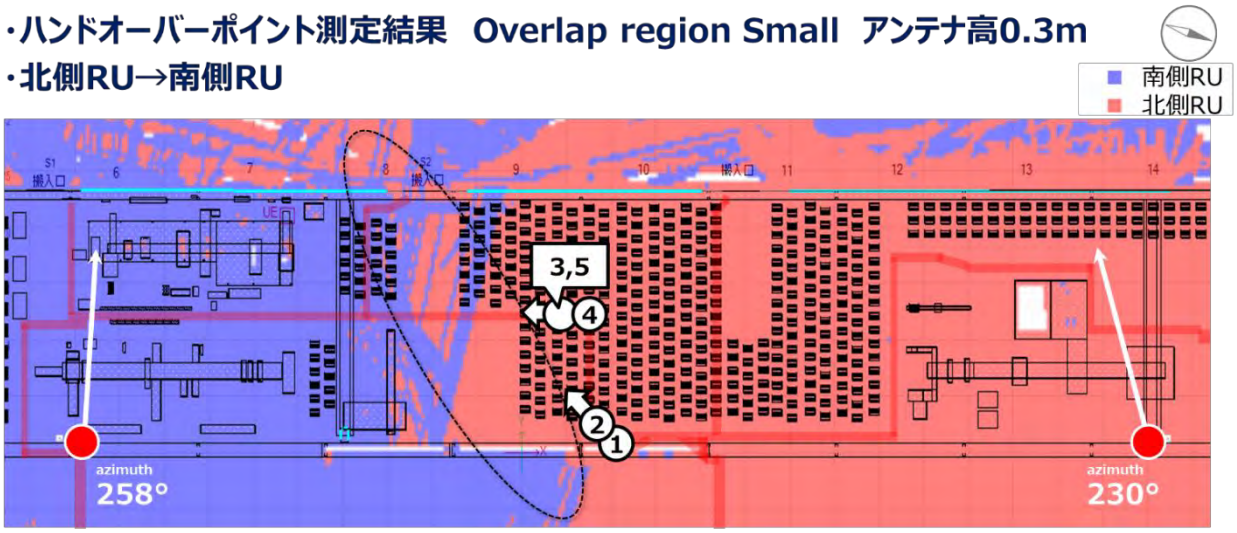
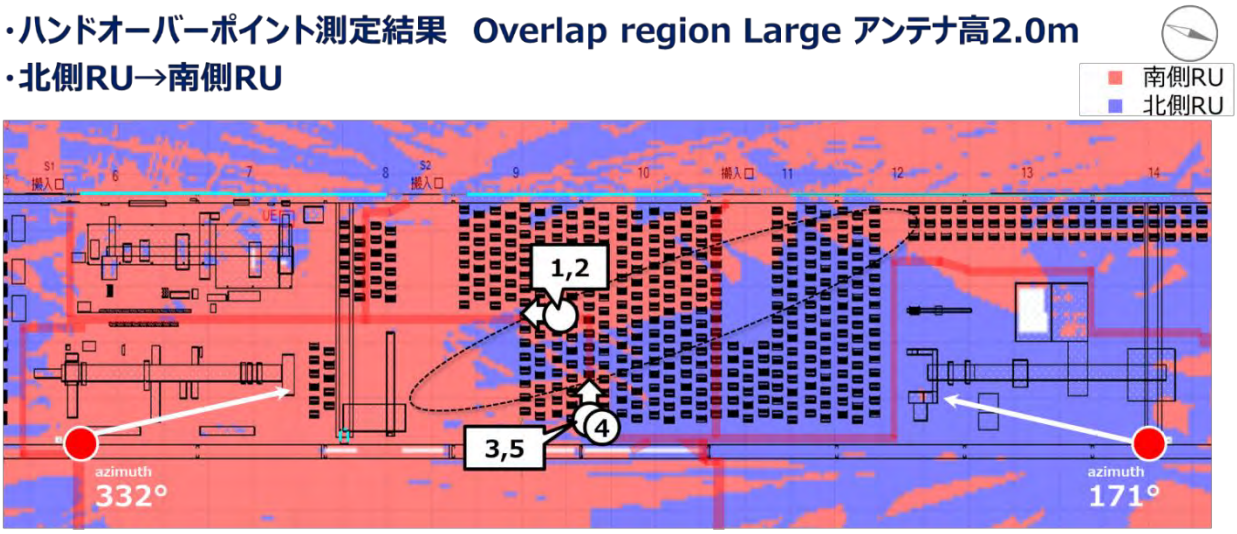


図 5.5.1-4）ハンドオーバー動作地点（2/3）

・ハンドオーバーポイント測定結果　Overlap region Small　アンテナ高0.3m
・北側RU→南側RU



・ハンドオーバーポイント測定結果　Overlap region Large アンテナ高2.0m
・北側RU→南側RU



・ハンドオーバーポイント測定結果　Overlap region Large アンテナ高2.0m
・南側RU→北側RU

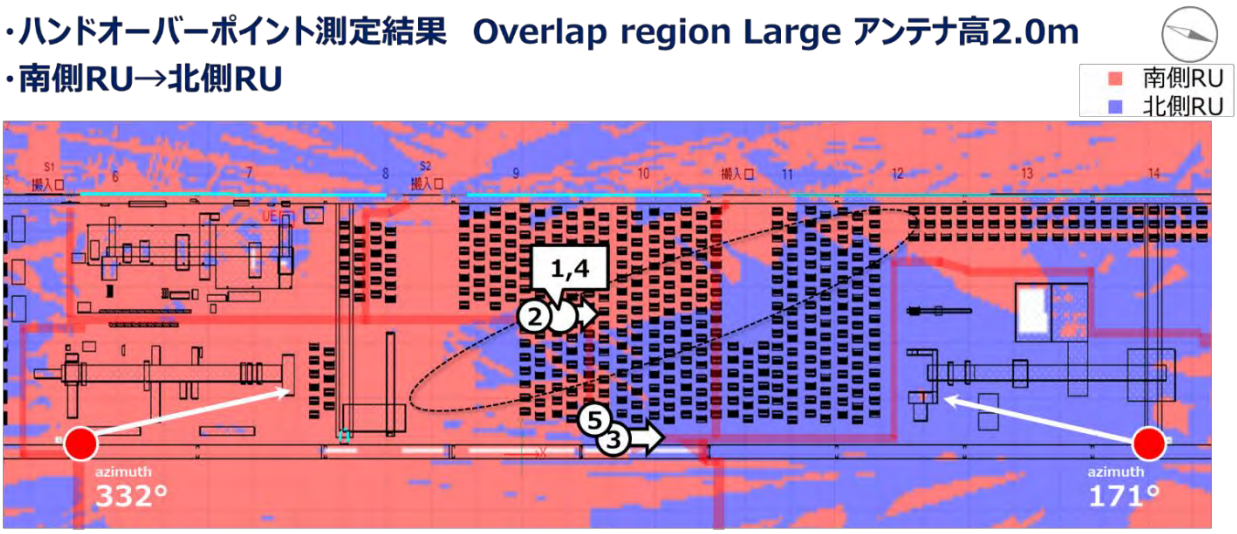
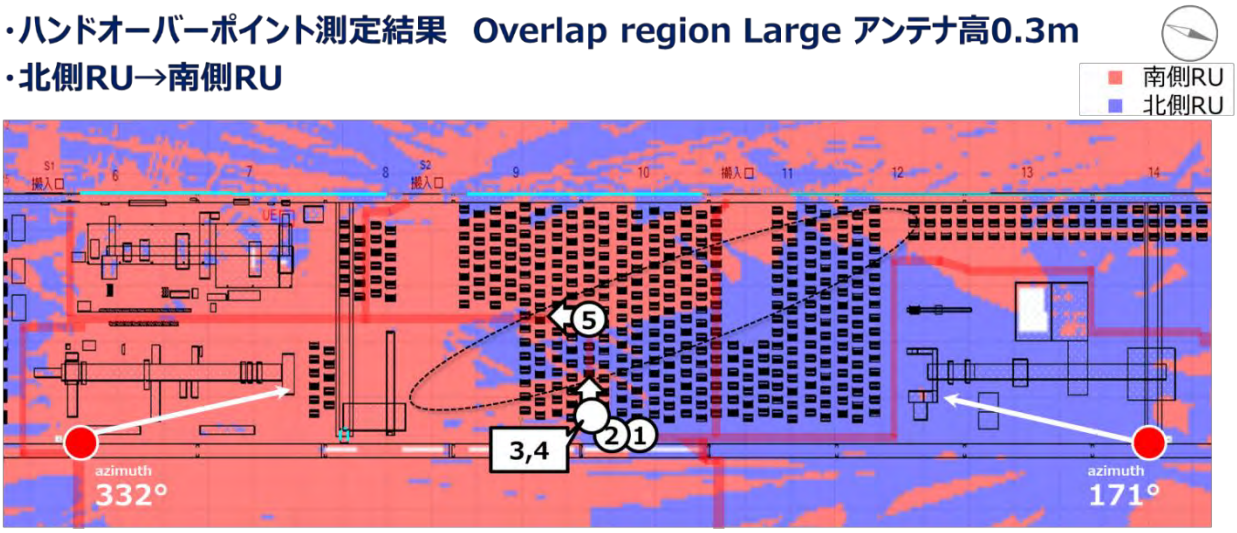


図 5.5.1-4）ハンドオーバー動作地点（3/3）



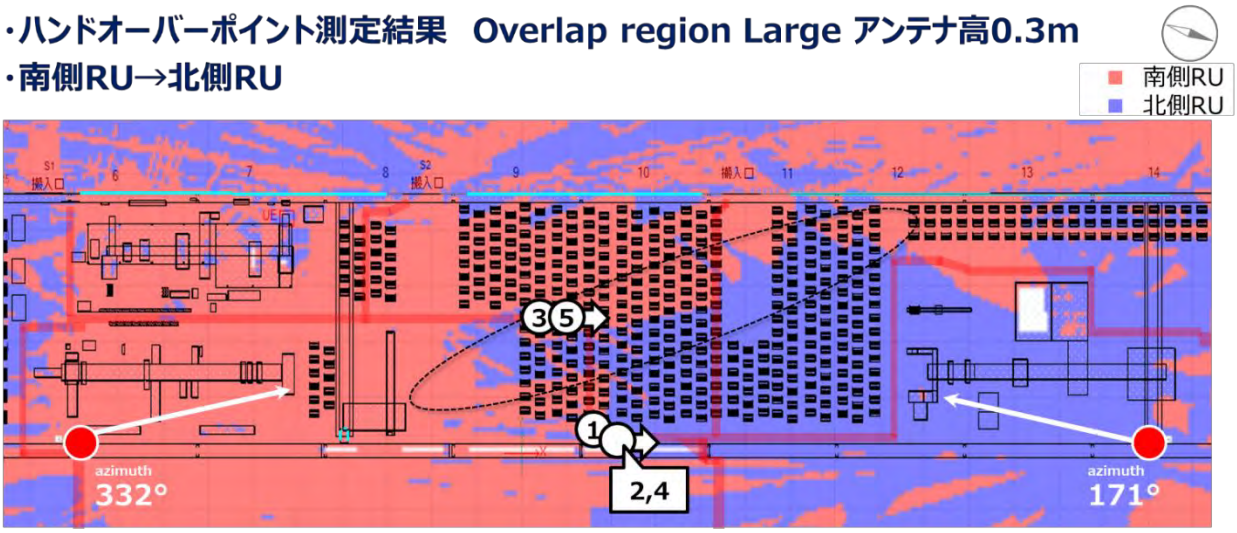


図 5.5.1-5）ハンドオーバー動作詳細（1/3）

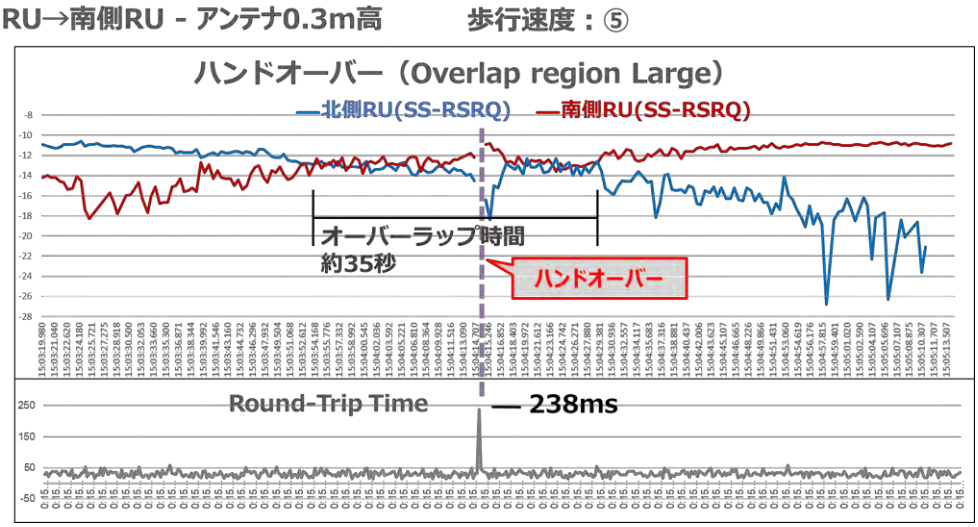
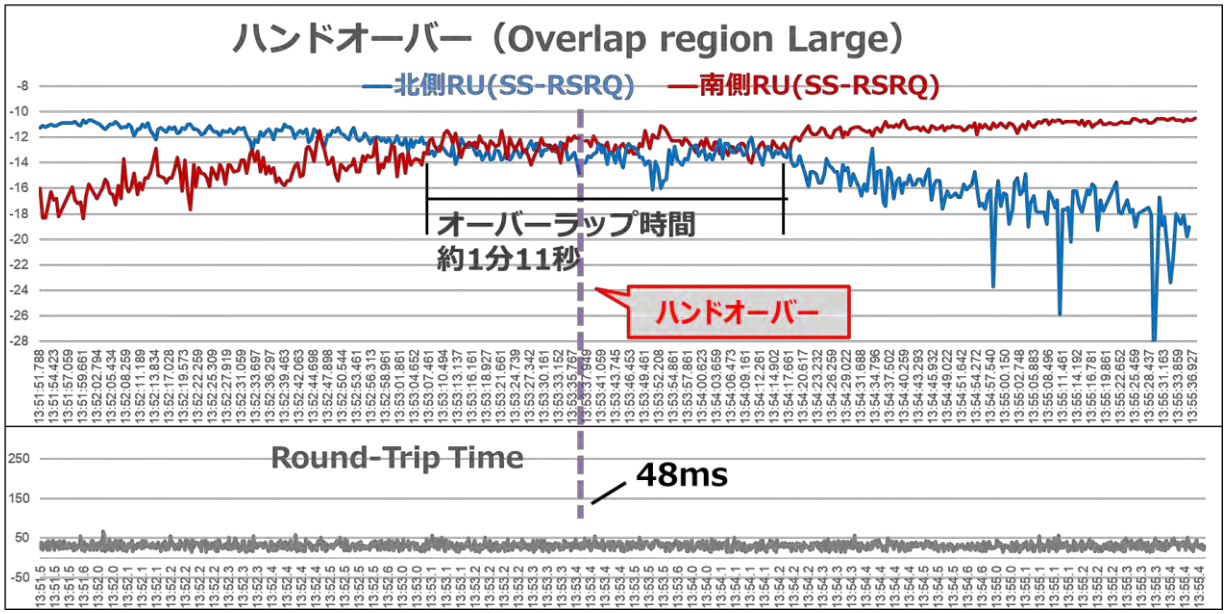


図 5.5.1-5）ハンドオーバー動作詳細（2/3）

■ 北側RU→南側RU - アンテナ0.3m高　　歩行速度：①



■ 南側RU→北側RU - アンテナ0.3m高　　歩行速度：①

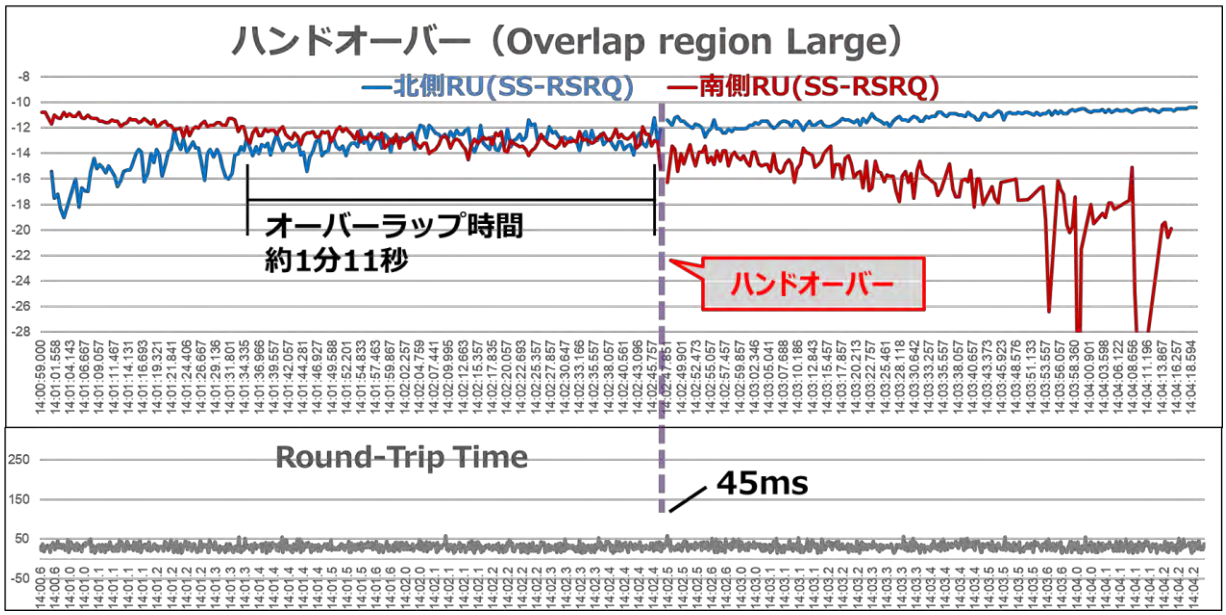
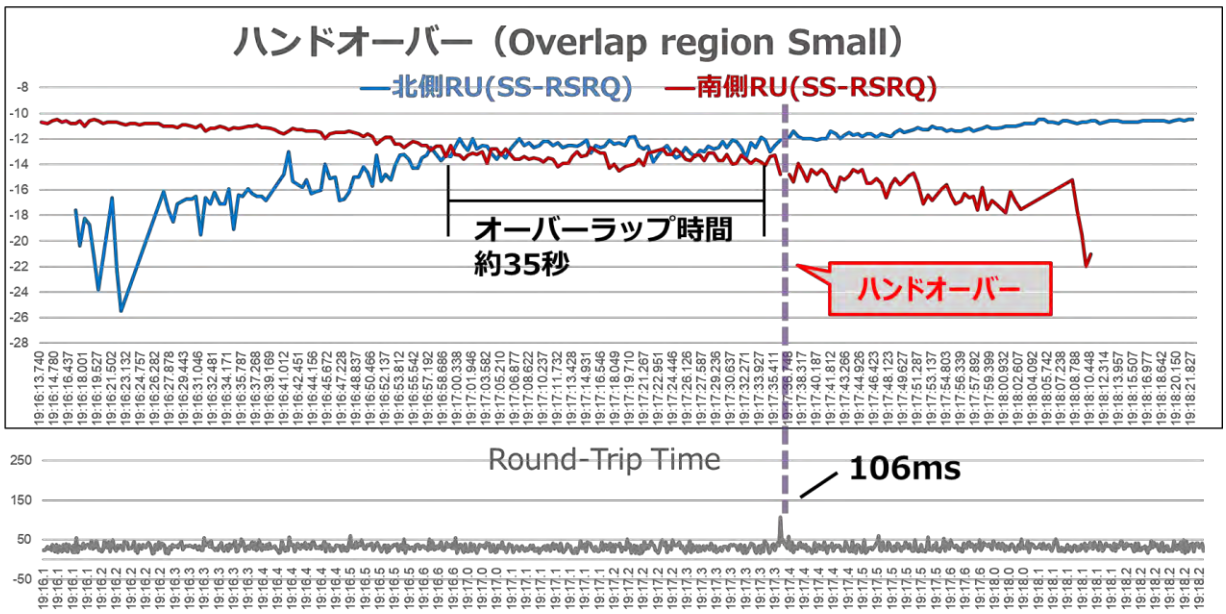
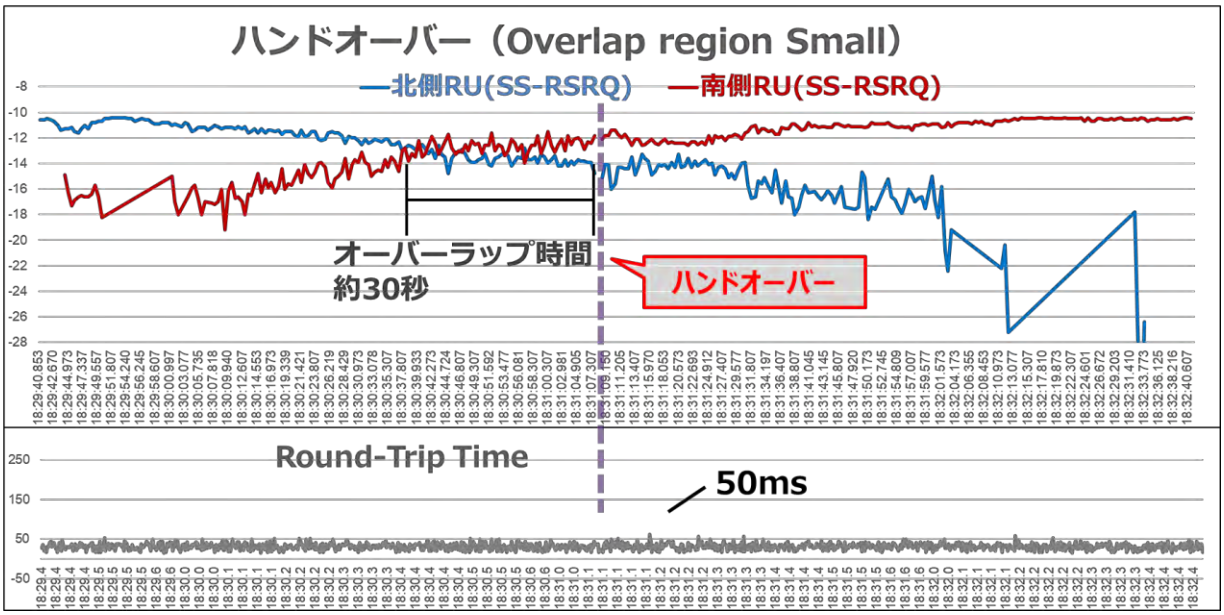


図 5.5.1-5）ハンドオーバー動作詳細（2/3）

■ 南側RU→北側RU - アンテナ0.3m高　　歩行速度：④



■ 南側RU→北側RU - アンテナ0.3m高　　歩行速度：①



5.5.2. 準同期 TDD のスループット測定

今後の利用端末の増加や利用シーン拡張を見据え、か、２つの基地局アンテナ方位角を変えて検証する。試験パターンを（図 5.5.2-1）に示す。

図 5.5.2-1）準同期 TDD スループット測定の試験パターン

L5G技術実証検証項目		基地局諸元							シャッター開閉	
		受信アンテナ高(m)	送信出力(dBm)		アンテナ方位角(°)		アンテナチルト角(°)		西#1	西#2
		端末UE	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2	RU#1	RU#2		
1	エリア品質評価	0.3	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
2		2.0								
3	屋外漏洩評価	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	Open	Open
4							停波	❽ 30		
5							停波	❼ 55		
6							停波	❻ 5	Close	
7							停波	❽ 30		
8							停波	❼ 55		
9							停波	❻ 5	Open	Close
10							停波	❽ 30		
11							停波	❼ 55		
12							停波	❻ 5	Close	
13							停波	❽ 30		
14							停波	❼ 55		
15	ハンドオーバー機能評価	2.0	24.9	24.9	❷ 244	❸ 258	❾ 30	❽ 30	Close	Close
16					❹ 171	❺ 332				
17	準同期スループット	2.0	停波	24.9	停波	❶ 301	停波	❻ 5	－	－

今回採用した２つの課題解決システムに限らず、工場で想定されるユースケースは「工場内の現場環境から情報（動画や静止画など）を発信する上りリンクを使った通信」の要求が高く、今後、上りスループットの更なる拡張が求められると考えられる。前項までの課題実証および技術実証の測定はすべて全国５Ｇと同期した TDD（DL:UL:S=7:2:1）にて実施しており、本項では、より上りリンクのリソース割り当てが大きい準同期 TDD（DL:UL:S=4:4:2）フレームパターンを局データに投入して測定を行う。

なお、令和 3 年 3 月現在、本実証で採用した無線機ベンダーおよび端末ベンダーともに、総務省が推奨する準同期 TDD フレームパターンの動作保証は対象外（局データ投入はできるが動作未検証）との回答を得ており、実フィールドにて初めての動作検証となった。

準同期 TDD に関しては、新世代モバイル通信システム委員会が令和 2 年 6 月に発行した「情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告－「新世代モバイル通信システムに関する技術的条件」のうち「地域ニーズや個別ニーズに応じて様々な主体が利用可能な第５世代移動通信システム（ローカル５Ｇ）の技術的条件等」において次のように整理されている。（図 5.5.3-1）および（図 5.5.3-2）参照。

図 5.5.3-1）新世代モバイル通信システム委員会報告書抜粋

3－1．非同期運用について

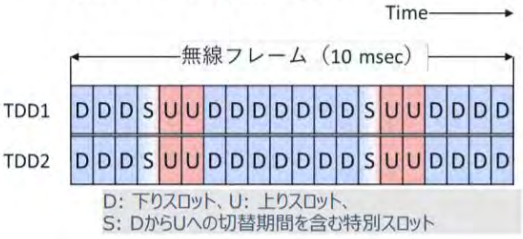
9

- 現在、28.2-28.3GHz帯のローカル5Gは、他のローカル5G及び全国５Ｇとの間でTDD方式の同期運用が前提。
- ローカル５Ｇによる多様なユースケースの実現に向けて、非同期運用について検討を実施。

同期運用

（同期運用の仕組み）

- **無線フレーム開始タイミングが一致（タイミング誤差は+/-1.5us 以内）**
  <u>かつ</u>
- **TDDの切り替えパターンが一致**



（主な特徴）

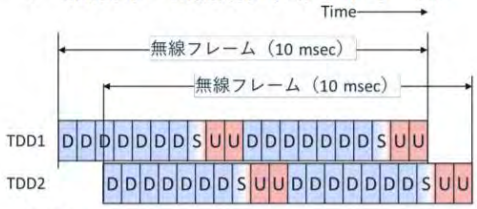
◆ ガードバンド等の設定が必要なく、周波数利用効率が高い

◆ 上り/下りの伝送速度の設定が制約される

非同期運用

（非同期運用の仕組み）

- **無線フレーム開始タイミングが不一致**



<u>または</u>

- **TDDの切り替えパターンが不一致**

（主な特徴）

◆ 利用シーンに合わせた通信性能の実現が可能

◆ 基地局間・移動局間の干渉検討が必要

3－2．非同期運用における基本的な考え方

10

- 非同期運用の導入に際しては、原則として、同期運用を行う無線局を優先的に保護する考え方を適用。
- 非同期運用として利用ニーズが多い「上りスロットの比率が高いＴＤＤパターン」を実現しつつ、干渉調整の簡素化が可能な準同期TDDを導入する。
- 準同期TDDの導入とその考え方は、ローカル５Ｇに加えて、全国５Ｇに対しても適用する。

■ 非同期運用における基本的な考え方

原則として、同期運用を行う無線局（同期局）が、非同期運用を行う無線局（非同期局）よりも優先的に保護されることが適当である。

- 先発・後発にかかわらず、非同期局が同期局から有害な混信を受ける場合は、非同期局が同期局からの混信を容認するものとし、同期局に保護を求めてはならない。
- 先発・後発にかかわらず、非同期局が同期局に有害な混信を与えてはならない。同期局へ有害な混信が生じた場合は、非同期局が混信回避の対策を実施するものとする。

■ 準同期TDDの導入

非同期運用する場合の干渉調整を簡素化するため、全国５Ｇの同期TDDとスロットのタイミングを一致させたまま上り/下りスロットのパターンのみを一部変更する「準同期TDD」を導入する。
なお、準同期TDDは、上記の基本的な考え方において非同期局に該当する。

4.7GHz帯準同期TDD　※D:下りスロット　U:上りスロット

28GHz帯準同期TDD　※D:下りスロット　U:上りスロット

図 5.5.3-2）準同期 TDD フレームパターン拡大

特に全国５Ｇのエリア拡大が見込まれる同期局との干渉調整が今後の課題となるが、ローカル５Ｇシステムが持つ伝送容量をより現場ニーズの高い上りリンクへ多く割り当てられることは、有効な手段になると考える。

準同期 TDD スループット測定地点は「5.3. ユースケースに基づくローカル５Ｇの性能評価」と同様、課題解決システムからの要求カバーエリアを中心に（図 5.5.3-3）に示す９地点とした。

また、準同期 TDD 適用時の上りリンク実行スループット理論値を（表 5.5.3-1）に示す。

図 5.5.3-3）準同期 TDD 測定地点選定

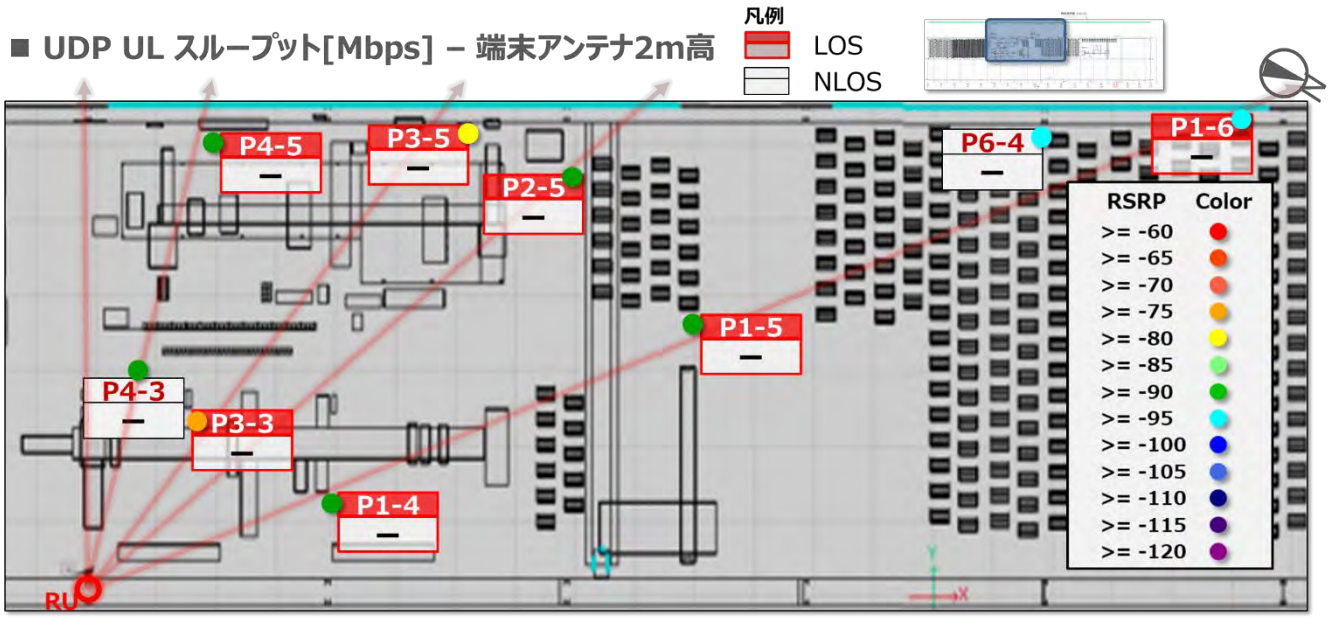


表 5.5.3-1) 準同期 TDD スループット理論値(概算)

１基地局あたり上りリンク伝送容量（準同期 TDD フレームパターン適用時）

変調方式	256QAM		64QAM	
MIMO	2	1	2	1
実行スループット理論値	0.38 Gbps	0.19 Gbps	0.28 Gbps	0.14 Gbps

※上り/下りとも適応変調方式としては、より低レートの[16QAM][QPSK]もあるが記載省略する。

２つの課題実証システムからの上りリンク要求スループット（合計 140Mbps 程度）と照らし合わせると、64QAM・1MIMO の場合でも２システム同時稼働の条件を満たし、更に 2MIMO になるとカメラ台数を倍増させた２セット（計４システム）の同時稼働も可能になる。

【検証結果】

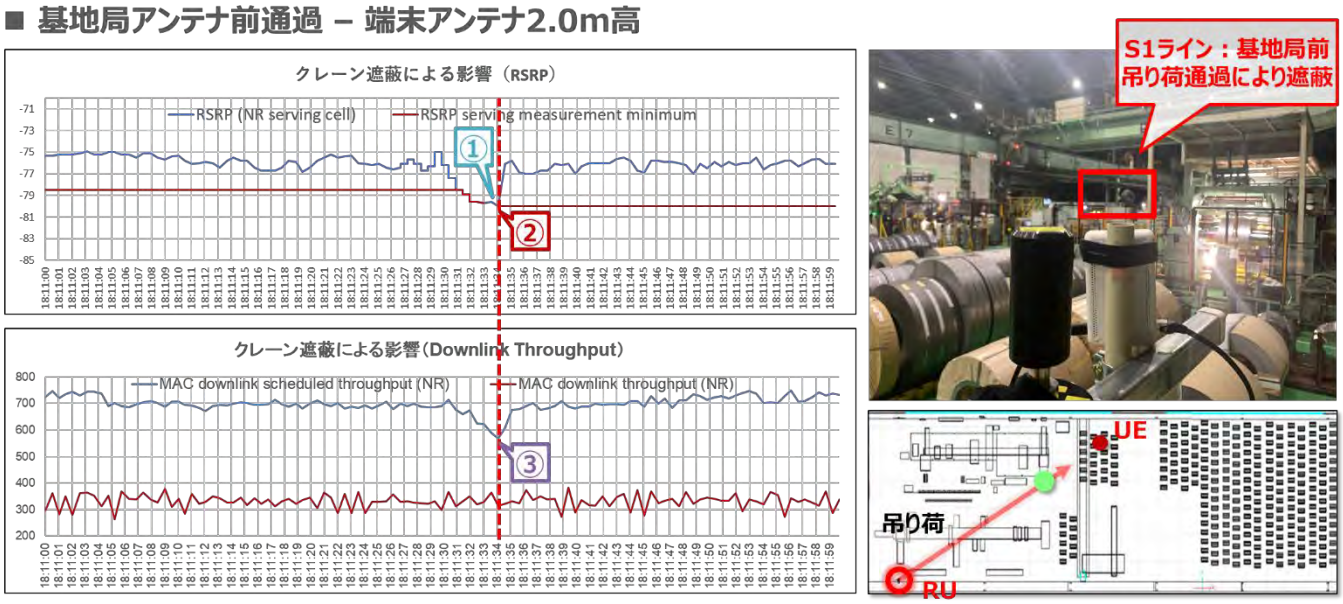
ローカル５Ｇシステムの局データに準同期 TDD フレームパターンを投入したところ、端末とのアタッチが完了せず、スループット測定が実施できなかった。本事象は同期 TDD フレームパターンの初期立ち上げ時にも発生していたもので、その際はローカル５Ｇシステムのソフトウェアバージョンアップにより問題が解消した。本件も同様にソフトウェアバージョンアップが有効と考えられるが、無線機ベンダーからの正式機能リリースは本実証期間中に行われないため、本項目は測定不能として報告する。

5.5.3. 工場特有の環境要因による無線通信への影響評価

鋼鈑コイルをオーバーヘッドクレーンで移動する際、基地局と端末の位置関係によっては一時的に遮蔽が発生する。この影響を評価するために 90 分間連続測定を実施した。クレーン遮蔽の発生状況を（図 5.5.3-1）に、通信への影響を（図 5.5.3-2）、（図 5.5.3-3）に示す。

図 5.5.3-1）クレーン遮蔽測定場所

図 5.5.3-2）クレーン遮蔽による影響（遮蔽位置：基地局アンテナ寄り）



90 分間の測定中にクレーン吊り荷による遮蔽が 3 回発生した。1 回あたりの遮蔽時間はクレーンが通過する 2 秒程度で通信への影響は次の通りとなった。

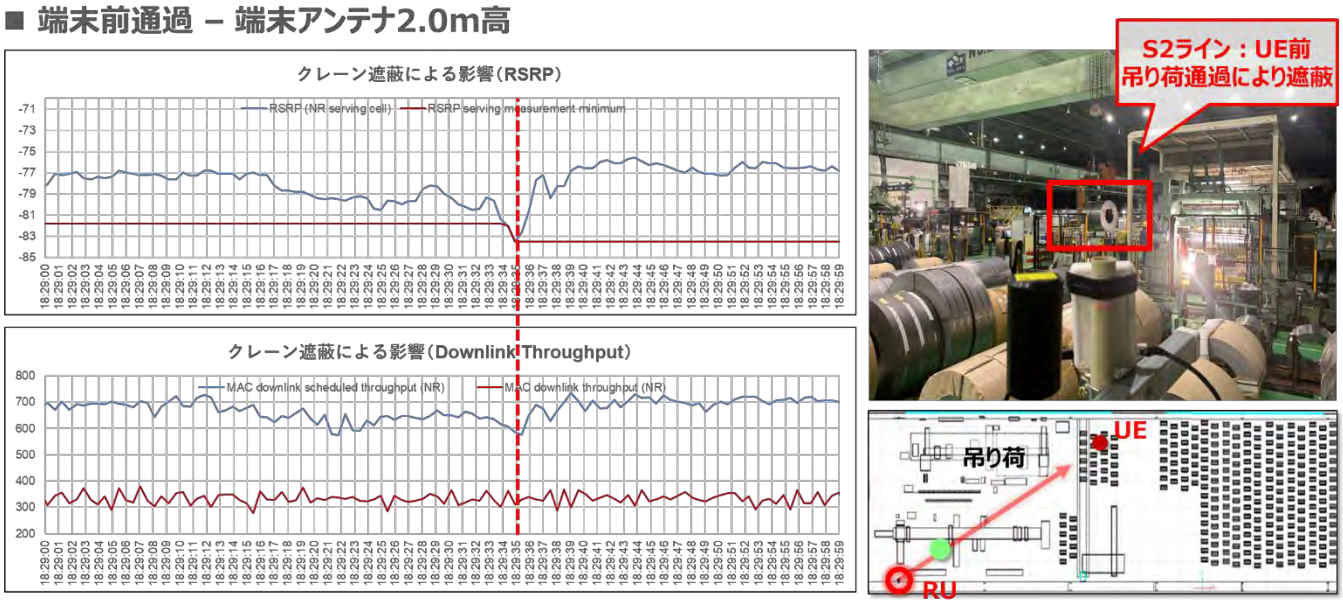
①RSRP の秒間平均値では、変化量は観測されず。

②RSRP 最小測定値は、遮蔽のタイミングで 2dB 程度減少。

③DL スループットは遮蔽時に最大で 20%程度減少、吊り荷通過後すぐに元の状態に戻った。

なお、上りリンクスループットも同時に測定していたが遮蔽発生の３回とも上りリンクスループット低下の影響はは観測されなかった。

図 5.5.3-3）クレーン遮蔽による影響（遮蔽位置：端末寄り）



より端末側に近い位置でクレーン吊り荷が遮蔽になるケースも発生し、基地局寄り遮蔽と同様 RSRP が若干低下する事象を観測したが、上り/下りリンクスループットへの影響は見られなかった。傾向として、より指向性の強い基地局アンテナ寄りに遮蔽物がある方が通信への影響が大きくなると考えられるが、いずれもスループットの減少幅は無視できる程度に軽微であり、4.7GHz 帯の反射、回折の効果が表れたものと想定する。

5.6. まとめ

本技術実証で得られた成果を以下４項目の観点でまとめる。

（１）4.8GHz 帯の工場屋内における電波伝搬特性

・稼働中工場の屋内外にて安全を確保して電波測定できる地点で実測したところ、事前の想定よりも広く、くまなく工場屋内をエリアカバーできることが分かった。
・本実証環境における工場屋内の電波伝搬損失係数は 15.1 となり、自由空間よりも工場棟の中は電波が届きやすい環境であるという結果になった。
・シミュレーション上、素材別の損失設定において金属（壁面およびライン設備や製品コイルなど）とコンクリート（工場棟床面）の回折損を小さく設定することでシミュレーション精度が向上した。事前シミュレーションによる想定よりもカバーエリアは広くかつムラのないものとなったため、反射、回折の効果が強く出たものと想定する。
・オーバーヘッドクレーンの稼働に関わる一時的な電波遮蔽の影響は小さく、無視できる程度であることを確認した。

※関連項：「5.1.1. 使用する周波数帯域」「5.1.3. 環境ノイズ測定」「5.1.4. 使用測定器類」「5.4.1. 評価・検証項目」「5.5.1. ハンドオーバー機能検証」「5.5.3. 工場特有の環境要因による無線通信への影響評価」

（２）エリアシミュレーション精度の向上

・実測値フィードバックによりシミュレーション精度が高められた
・地物再現の精緻化によるシミュレーション精度向上効果には限界がある。
・シミュレーション精度の評価指標として、シミュレーション値と実測値間の平均誤差と標準偏差を用いることが有効であった。
・金属とコンクリートの回折損およびコンクリートと木材の透過損は当初想定（シミュレータのデフォルト値）よりも小さく、電波が見通し外にも届くことに効果を発揮していることが分かった。

※関連項：「5.1.2. 基地局の設置場所とアンテナ角度の決定」「5.1.4. 使用測定器類」「5.3.3. 屋内測定ポイントの選定」「5.4.1. 評価・検証項目」「5.4.2. 屋外測定ポイントの選定」「5.5.1. ハンドオーバー機能検証」

（３）ローカル５Ｇのスループット性能

・課題解決システムからの上りリンクスループット要求（AI 傷検知：100Mbps、遠隔作業者支援 40Mbps 程度）に対して、問題なく運用できることを確認した。

（AI 傷検知についてはソリューション設置箇所の予期せぬ変更により変更後の箇所では70Mbps 程度のスループットとなったが、問題なく稼働(変更前の当初想定箇所では140Mbps～を実現)。）

・上りリンクの 2MIMO は、基地局アンテナから約 25m までの距離で機能した。1MIMO-64QAM における上りリンク 70Mbps 程度は、工場棟内の 100m を超える広い範囲で動作した。

※関連項：「3.3.1. 無線区間及びシステム全体として必要とされる通信性能」「5.1.4. 使用測定器類」「5.3.1. 評価・検証項目」「5.3.2. 課題解決システムからの要求性能」「5.3.3. 屋内測定ポイントの選定」「5.3.4. 測定結果」「5.3.5. システム要求に対する性能」「5.5.2. 準同期 TDD のスループット測定」

（４）将来におけるローカル５Ｇ活用の拡張性・期待と課題

・端末が低い位置（見通し外）にあっても電波の反射、回折によりエリアカバーされ、ハンドオーバー機能も有効であることを確認した。AGV の導入にも有用であると考える。

・今後、端末台数の増加などにより、更に上りリンクスループットへの要求は高まると想定されるため、マルチアンテナ技術の高度化や準同期 TDD の運用が求められる。

※関連項：「5.5.1. ハンドオーバー機能検証」「5.3.5. 性能評価結果」「5.5.2. 準同期 TDD のスループット測定」

6. 実装及び横展開に関する検討

6.1 前提条件

6.1.1 実装に係る基本的な考え方

サミットスチール大阪工場に構築したローカル５Ｇ及び課題解決システムの稼働環境を、令和 3 年 4 月以降に実装継続するにあたっての検討経緯は以下のとおり。詳細は項番 6.2 参照。

① 本開発実証の計画策定時は、令和 3 年 3 月末までにサミットスチール大阪工場における実装の継続可否を、今回導入した課題解決システムが生産性向上に資するか、導入した場合に得られる想定効果、コスト、業務上の運用面等での課題がないか等の観点を踏まえて、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて総合的に判断する想定だった。

② 然し、令和 3 年 3 月末時点では、実装の継続について見通しがたっていない。主な理由は、開発実証期間内には、想定していた効果の実現に至らなかったため。

③ 実装継続する場合の費用負担は、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールでの負担となるが、その場合、費用対効果を判断するにあたって、効果が限定的となる場合、継続判断しかねるというもの。

④ 上記を踏まえ、令和 3 年 4 月以降も引き続き、実装可否を判断する期間を一定期間設けることを検討している。本開発実証で見えてきた課題と対応策を踏まえて、想定される導入効果を見極め、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールとして実装継続可否を検討する。特に「目視検査の自動化」についてはアルゴリズム精度が想定レベルまで至らず、現場における改善効果がまだ得られていないため、実運用に向けての対策含めて検討する。

⑤ 加えて、「遠隔作業者支援」についても、実運用を見据えると、改善事項があるため、同ソリューションの改善検討を進める。更に、他のユースケースでの利用等、用途の拡大についても検討する。

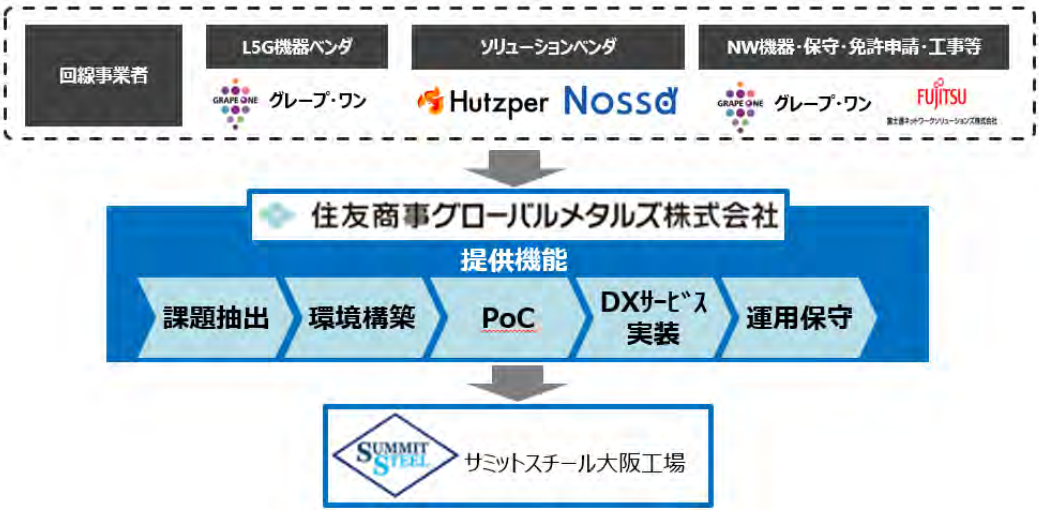
⑥ 同ソリューション及びローカル５Ｇをサミットスチール大阪工場にて実装継続する際には、開発実証時のような、住友商事、住友商事マシネックス、住友商事グローバルメタルズの 3 社が関与するスキームではなく、住友商事グローバルメタルズが各関係者と契約し、同社がインフラ・ソリューションをパッケージ化したサービスとしてサミットスチールへ提供することを想定している。
例えば、サミットスチールへのサービス提供は住友商事グローバルメタルズが行うが、住友商事グローバルメタルズの裏側では、免許申請を住友商事マシネックスが代行申請し、５Ｇコアネットワーク設備はグレープ・ワンが提供し、ネットワーク機器保守は FNETS が行う等のスキームを想定している。

想定している４月以降の検討スケジュール案は以下（図 6. 1. 1-1）のとおり。

図 6. 1. 1-1)

想定しているサミットスチールへのサービス提供スキームは以下（図 6. 1. 1-2）のとおり。

図 6. 1. 1-2)



6.1.2 横展開に係る基本的な考え方

サミットスチール大阪工場での取組をもとに、他の製造業現場に横展開する場合は、以下のとおりのシナリオが考えられる。詳細は項番 6. 3 参照。

① 住友商事が主体となって、横展開先に導入する
住友商事のグループ会社や取引先の中で、ローカル５Ｇと課題解決システムに関心のある企業に、住友商事が主体者となって導入するスキーム。サミットスチール大阪工場での取組内容をローカル５Ｇと課題解決システム導入のモデルケースとして、住友商事ＤＸセンターをハブに全産業分野の事業会社向けに、広報・啓蒙を図る。例えば、検討から導入までが体感できる分かりやすい動画を作成し、グループ事業会社向けにセミナーを開催する等を検討している。

② 住友商事マシネックスが主体となって、横展開先に導入する
住友商事マシネックスの取引先の中で、ローカル５Ｇと課題解決システムに関心のある企業に、住友商事マシネックスが主体者となって導入するスキーム。

③ 住友商事グローバルメタルズが主体となって、横展開先に導入する
住友商事グローバルメタルズが有する他の加工･生産拠点及び同社の取引先の中で、ローカル５Ｇと課題解決システムに関心のある企業に、住友商事グローバルメタルズが主体者となって導入するスキーム。

それぞれの観点から他地域・他分野への横展開を見据えた実効性の高い普及モデルを項番6.3にて検討する。

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

6.2.1 実証終了後の継続利用の見通し

前述のとおり、令和3年3月末時点では、サミットスチール大阪工場における実装の見通しはたっていない。まだ見通しがたっていない理由は、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて実装継続の可否を判断するにあたり、令和3年3月末時点では、想定していた効果を得られていないことから、住友商事グローバルメタルズとサミットスチールにて追加で検討期間を設ける必要があるため。令和3年4月以降も継続して、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて実装継続の検討にあたって、開発実証期間で見えてきた課題事項への対応を整理し、実装した場合に想定される費用と効果や、オペレーションへの影響等を総合的に検証した上で、実装継続可否について判断する。実装継続にあたり、課題となっている主な事項は以下のとおり。

① “AIを活用した目視検査の自動化”における課題

・課題1：AI検知精度の向上
実証目標の「目視検査をゼロにする」については、本開発実証期間中は達成できなかった。不良画像データ収集が不調に終わり、AIによる不良の検出精度が十分に向上しなかったことにより、現状の目視による品質検査のオペレーションを課題解決システムで代替するに至らなかった。今後の対策としては、主に以下を検討している。
①追加でのキズデータ収集
②品種別の光量等の適切な閾値の設定
③アルゴリズムの追加開発
アルゴリズムの精度が実用レベルに至るまでに、上記の対策のいずれが有効で、所要期間と追加費用等を含めて検討する。一方で、導入対象ラインで加工されている全種類の鋼材の全種類のキズの検出精度向上を図ることは相当の時間を要することが想定されるので、「加工量」や「取引先」など、特定の項目に絞って検討することで費用対効果を最大化する方法も含めて検討する。

・課題2：加工スピード200m/min.への対応
サミットスチール大阪工場の S2 では最速で約 200m/min.という加工スピードで製品を加工している。今回の開発実証では、機器性能や費用、スペースの制約もあり最速100m/min.の加工スピードに対応できる課題解決システムを導入した。一部の 20m/min.の低速で全長を目視検査している製品に関しては 100m/min での自動検査が実現するため「改善」になるが、200m/min.加工している製品に関しては100m/min.が従来よりも低速稼働になってしまうため「加工効率の悪化」という「改悪」を招くことが懸念される。解決策として考えられる、前処理PCのスペックを上げ、現状の処理速度を2倍とする場合、8Kラインスキャンカメラ1台に対して前処理PCが1台、前処理AI（Jetson）が

1台という構成となる。つまり、現状導入している前処理PCと前処理AIの数を2倍（各2台を4台に増加）とする必要がある。

現状、前処理PCや前処理AI（Jetson）を搭載している現場サーバラックは空きのポートがない為、サーバラックを再度購入する必要がある。その場合に新設するサーバラックの置き場所やケーブル配線ルート等を現場と相談する必要がある。

② 遠隔作業者支援

課題１：15～20秒の配信遅延について

項番4.2.3の通り今回の開発実証では、データ通信において「安定配信」を志向したHLSを採用していることにより15～20秒程の遅延が確認されている。アンケート調査結果（項番4.2.6）の通り、配信側の工場作業者および受信側の営業担当者からは、この配信遅延に対する改善要望が多く上がっていた。以下が改善要望の主な内容。こういった改善要望への対策や運用方法を検討する必要がある。

（工場作業者　意見）

・「撮影時の『タイムラグ』及び『手振れ』が調整できればキズや平坦不良などの品質不良を明確に伝えられると思う。」

・「『遅れ（タイムラグ)』が気になる。」

（営業部社員　意見）

・「反応が遅い（＝タイムラグがある）と感じる。」

・「現場とのコミュニケーションに不安を感じる。」

課題2：運用

実用に向けて検討した結果、以下のような現場作業者から改善要望がある。既存オペレーションへの影響を最小限にするかたちで、具体的な運用方法やルール等を検討する必要がある。

（工場作業者　意見）

・「バッグをコンパクトにしてほしい。」

・「バッグがもう少しコンパクトで軽くなれば良い。」

・「見た目以上に重く感じる。軽くすることはできないのか。」

・「両手がふさがるのは安全面に影響する。」

・「可能であれば、カメラ単体で体に取り付けられるタイプのものが良い。」

③ ローカル５Ｇ商用免許取得

ローカル５Ｇ環境の実装継続には、商用免許取得が必要である。

仮に7月より商用免許申請を開始した場合、最短免許取得期間を1～2カ月とした場合、8～9月頃となる。商用免許取得までの期間は、現地での電波発射ができないため、その間のソリューションの稼働、運用方法については検討する必要がある。

(1)目視検査自動化
稼働する場合は、有線にて実施する。

(2)遠隔作業者支援
有線接続の場合は、可搬できるエリアが限定され実運用に支障がでるため、稼働する場合は映像の質は落ちるが、携帯のテザリング等を利用して使用する。

④ 継続利用における保守・運用コストの負担
令和 3 年度以降継続する場合は、イニシャルコストで約 1 百万円、ランニングコストで最大年間 8.9 百万円の費用が発生する見込み。

上記費用は、住友商事グローバルメタルズまたはサミットスチールによる費用負担が前提となる。費用負担にあたり、関係先との検討状況は以下の通り。

(1) 住友商事
本開発実証に携わった関係各部と議論した結果、本開発実証で導入したローカル５Ｇを活用した課題解決システムを、現場が効果あり＝継続して利用したい、という認識をもったうえで現場企業でのコスト負担が必要という整理。

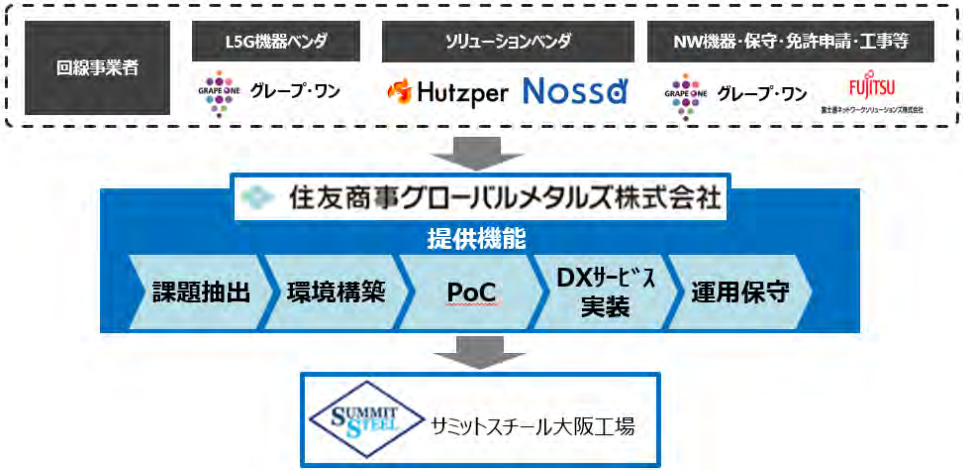
(2) 住友商事グローバルメタルズ・サミットスチール
本開発実証で導入したローカル５Ｇを活用した課題解決システムを実装した場合、効果がどの程度あるか分析し、費用対効果が見込まれることを前提に、実装継続を検討する。住友商事グローバルメタルズ・サミットスチールにて実証結果の分析、及び本開発実証で見えた各課題への対応、対応にかかる費用や期間の検証が完了しておらず、報告書提出(令和 3 年 3 月末)時点では結論が出ていない。
新型コロナウイルスの影響による経済状況悪化で需要減となり、製造業・鉄鋼業の市況環境が非常に難しいという状況下、サミットスチールは本開発実証プロジェクト開始当初より、場所貸し・検証への協力、住友商事グローバルメタルズは調査検討における人材提供という条件で本プロジェクトに参加しており、導入メリットがどの程度あるかということを見極められない限り、実装継続は難しい状況。

6.2.2 普及モデル実装時のサービススキーム

実装現場であるサミットスチールは、これまで、Wi-Fi やバーコードリーダー以外の通信環境を自社で導入・運用した経験がなく、早期にローカル５Ｇ及び課題解決システムの運用体制を構築することが困難。
無線システムまたは、同システム上で稼働するソリューションにおいて障害が発生した際には、システム/ソリューションにおける障害切り分けや適切な対応が必要であるため、一元的

に１社にて管理されていることがユーザーにとっては望ましい。
本実装継続検討においては、上記背景からローカル５Ｇシステムからソリューションまで、住友商事グローバルメタルズがワンストップでユーザーにサービスを提供する前提で検討した。

図 6.2.2-1. 実装時のサービス提供スキーム図



6.2.3　実装計画について

本開発実証で導入した課題解決システムをサミットスチール大阪工場のスリッターライン2で開発実証同様の対象ライン、端末数実装した場合の、想定効果は以下(表 6.2.3-1)の通り。

(表 6.2.3-1)課題解決システム実装継続時の想定効果

	令和2年度 (2020年度)	令和3年度 (2021年度)	令和4年度 (2022年度)	令和5年度 (2023年度)	令和6年度 (2024年度)
目視検査の自動化	(開発実証)	1,738千円/年	1,738千円/年	1,738千円/年	1,738千円/年
遠隔作業者支援	(開発実証)	1,002千円/年	1,002千円/年	1,002千円/年	1,002千円/年

・本開発実証については、総務省からの請負事業のため初期費用はじめ現場での費用負担がなく現場も導入に前向きに検討することができた。

・一方、費用負担する現場側にとって費用対効果の検討はシビアになる。今回実装を検討している 2 つのソリューションから得られる想定効果は上記(表 6.2.3-1)のみで、課題解決システム全体にかかる運用費用を賄うことは困難。
一方で、現場側に現状の人による目視検査を自動化したいという「安全性」へのニーズやは確実にあり、「安全」への投資はプライスレスであり、定性面で導入を前向きに検討したいという現場の声もある。加えて、新型コロナウイルス禍において遠隔からでも品質確認したいというニーズや、こういった先進的な取組をすることで他の製造拠点と差別化を図りたい

という声もあるため、将来的に例えば、「遠隔作業者支援」の利用用途が広がった場合の想定効果や、ソリューションや端末数を追加した場合の想定効果等も踏まえて総合的な観点から検討の上、判断する予定。

サミットスチール大阪工場において実装する場合の計画案は以下(図 6.2.3-1)のとおり。

(図 6.2.3-1) サミットスチール大阪工場において実装する場合の計画

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

6.3.1 普及モデル

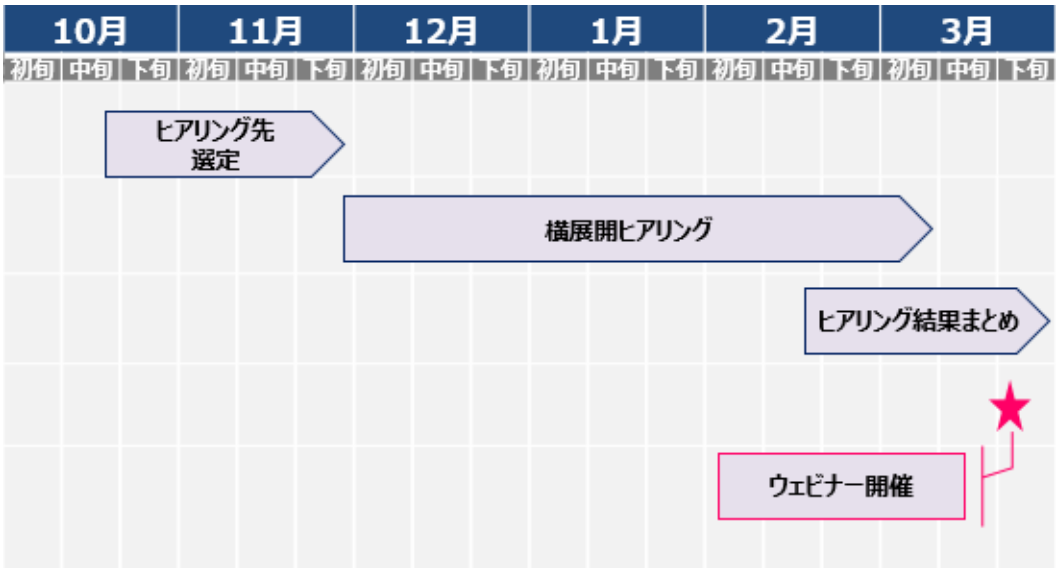
弊社コンソーシアムにおける、横展開の想定先は以下(表 6.3.1-1)のとおり。

(表 6.3.1-1)

横展開の想定先	
1）住友商事グループ内　事業会社	
2）コンソーシアム参加各社関係先	
	① 住友商事グローバルメタルズ加工・生産拠点(サミットスチール他工場を含む)
	② 住友商事グローバルメタルズ取引先
	③ 住友商事マシネックス取引先
	④ 地場企業（中西金属工業、生野金属、ショウワシステム）
	⑤ 大阪市・大阪産業局関係先

横展開の検討にあたって、弊社コンソーシアムがとったアプローチは以下(図 6.3.1-1)のとおり。令和 2 年 12 月～令和 3 年 3 月上旬にかけて、コンソーシアム参画企業の中西金属工業、生野金属、及び住友商事マシネックスの取引先の製造業企業 9 社、合計 11 社を対象に、「横展開ヒアリング」を実施した。

(図 6.3.1-1) 横展開ヒアリング 実施スケジュール



ヒアリング対象となった住友商事マシネックスの取引先 9 社の企業概要は以下(表 6.3.1-2)のとおり（企業名は公表不可)。

（表 6.3.1-2）横展開ヒアリング実施先　企業概要

	業態	製品
1	制御、計測機器製造業	プラントコントロールシステム
2	電気機械器具製造業	各種盤製品
3	産業精機製造業	アルミ鍛造、金型製造
4	自動車関連部品製造業	内燃機関連製品
5	環境機器製造業	培養装置
6	配電制御機器製造業	配電盤
7	プラスチック製品製造業	工業用フィルム、シート
8	環境機器製造業	水・廃棄物処理装置
9	食料品製造	医薬・食品

同ヒアリングは、本開発実証の横展開先となる製造業企業の生の声を拾い上げることを目的としており、各社ごとに各回 2 時間程度面談し、本開発実証での取り組みを紹介した上で、市場のニーズを探るための質問や、意見を聴取した。

ヒアリングした結果、令和 3 年 3 月末時点、次年度のローカル５Ｇ導入を強く希望している事業者はおらず、上記（表 6.3.1-1）の横展開候補となる企業群を対象に、引き続き検討や普及活動を継続している段階。弊社が想定していた以上に、横展開候補先への導入にこぎつけるまでは時間を要す見通しであることが分かった。これまでの検討内容を踏まえると、横展開先の選定にあたっては以下の観点が重要と考える。

１）横展開先との関係性

横展開の検討にあたって、上記の候補企業にヒアリングを実施したが、まずはヒアリングのアポイント取得に至るまでにも、関係の深さがアポイント取得の容易さに大きく影響した。~~下~~。住友商事マシネックスの販売先、仕入先から年間１億円以上の取引実績を基に、取引額の大きい企業をピックアップしアポイント取得を試みた。取引額が大きく、会話をしやすい取引先については、アポイント取得が容易でヒアリングも前向きに対応してもらえる傾向があるが、取引額が小さく、関係性が薄い取引先については、ヒアリングに至ることも難しいという結果になった。

またアポイント取得に際して、ローカル５Ｇ活用や DX 施策推進への意識が社員に浸透しておらず、依頼先に至る前段階の自社内（住友商事マシネックス内）での連携に時間を要した。更に依頼先（取引先）内でも、担当（所管）部門がどこになるか見当がつかず、候補になり得る担当部署までコンタクトできずに「担当部門不明」と返答されるケースもあった。

特に中小規模の製造業事業者の場合は、「ローカル５Ｇ」について聞いたことはあるが、何かよく分からず身構えてしまうケースもあり、具体的な利活用の検討まで踏み込んで会話できる企業はまだまだ少ないという印象を受けた。

こういったヒアリングの回答、及びヒアリングに至るまでのプロセスを振り返ると、今後2～3年はローカル５Ｇの利活用を進めるための機運を醸成（啓蒙、プロモーション）するステージであると考える。まずは、自社内や関係者に、「ローカル５Ｇ」や「DX施策」への理解を深め、感度を上げることから始める必要がある。取引先に導入する際も、例えば、現場の“DXコンサルティング”といった「お悩み相談」に近いアプローチで、入り口のハードルを下げて、まずは会話の糸口をつかむ手法をとることも有効かもしれない。

関係者への啓蒙や意識付けのためには、実際のユースケース事例を積み重ねて、効果を出している現場を見て、理解してもらうことが肝要と考える。当面の間は、機運醸成期間と捉え、幅広い企業を対象に横展開先を検討するのではなく、現場の温度感が高い案件2～3件に対象を絞り、具体的なユースケースを創出することが先決と考える。その際に、５Ｇ投資促進税制等の各種制度と合わせて提案し、ユースケース積み上げを促進したい。

２）導入事業者の規模

これから普及期を迎えるローカル５Ｇは、現状は黎明期にあたり、ローカル５Ｇ関連機器の価格やローカル５Ｇ導入にあたっての設置工事、免許申請、無線システム設計、ネットワーク設計など導入に要するコストがまだ高い。コストの高さはローカル５Ｇという将来の無線インフラへの投資に企業が踏み切るための、大きなハードルとなっている。

ローカル５Ｇのような新しいテクノロジーの導入には、現時点においては先行投資に耐えることができる比較的規模が大きい企業となってしまうのが実態だ。ローカル５Ｇ導入の必要性は、将来的に様々なソリューションが稼働し、上りの回線がひっ迫する際に最も感じられる。導入事業者には初期的に導入する１つ、２つのソリューションに限らず、将来的に様々なソリューションを利用する際にローカル５Ｇの活用メリットが得られることを理解してもらう必要がある。

中小規模の製造業企業の中でも比較的規模感の小さい企業では、従来のオペレーションに対して導入後すぐに回収できる改善効果を基準に投資判断を行う傾向が強くなる。先行投資に踏み切るためには、一定程度の事業規模が求められる。

弊社コンソーシアムが行った横展開ヒアリングにおいて、ローカル５Ｇ導入時の価格の受容性についての結果を踏まえると、導入コストは「10百万円～20百万円以内」、ランニングコストは「1百万円程度/年」というレンジの回答もあった。

一部の企業からは「既に導入しているWi-Fi等の他の無線通信インフラの5倍程度なら検討可能」といった回答もあり、比較的規模が大きい製造業企業においても価格の許容度が、実態のコストより１桁小さいという回答結果も一部にみられた。これらを踏まえると比較的規模の大きい製造業企業からの導入がスムーズであると考える。

コストの受容性をヒアリングした際に、具体的なローカル５Ｇを活用したソリューションや、ユースケースが少ない現在、導入コストに関しては「効果不明の為、回答不可」との返答も多く、この点からもユースケースの積み重ね（効果の見える化）の重要性が窺えた。

上記を踏まえ、今後も引き続き横展開候補先に対して、導入への機運を高める広報活動を強化したい。今後の具体的な横展開先選定に向けた、各社へのアプローチ方法は以下のとおり。

１）オンライン説明会参加申込者を対象としたアプローチ

ローカル５GやDX施策の導入に関心のある企業を対象に、以下のオンライン説明会を実施した。全3回のオンライン説明会には、合計約1,300名からの申込があり、合計約1,000名が参加した。同説明会への申込者に対して、事前/事後アンケートを実施し、関心度の高い企業に対しては、個別で相談会を設ける等のアプローチを予定。

①総務省主催　リモート視察会（令和2年度地域課題解決型ローカル５G等の実現に向けた開発実証　リモート実証視察会）

・日時：令和3年3月23日(火)15：00～16：30
・申込人数：180名
・参加人数：120名
・対象者：総務省　総合通信局経由で集客を図り参加を希望した企業
・概要：
　－ローカル５G概要/製造業における利活用について
　－開発実証全体概要
　－ローカル５Gを活用した課題解決のデモンストレーション
　　a. 8K高精細画像×AIによる目視検査の自動化
　　b. 4K高精細映像伝送による遠隔作業者支援
　－ローカル５Gの技術性能検証のデモンストレーション
　－その他概説
　（ローカル５G導入プロセス、４G/Wi-Fi/携帯キャリアが展開する５Gとの比較、ローカル５G・DX導入についてよくある質問等）

②弊社主催　「スマートファクトリー×ローカル５G」ウェビナー

・日程：令和3年3月25日(木)14：00～15：30、29日(月)14：00～15：30
・申込人数：1,125名
・参加人数：860名
・対象者：
　製造業・その他産業分野においてスマート化/DX施策に関心のある企業
　ローカル５Gの活用に関心のある企業
　各産業分野の課題解決に資するソリューションに関心のある企業
・概要：
　－ローカル５G概要/製造業における利活用について
　－開発実証全体概要
　－ローカル５Gを活用した課題解決のデモンストレーション
　　a. 8K高精細画像×AIによる目視検査の自動化
　　b. 4K高精細映像伝送による遠隔作業者支援
　－ローカル５Gの技術性能検証のデモンストレーション
　－その他概説
　（ローカル５G導入プロセス、４G/Wi-Fi/携帯キャリアが展開する５Gとの比較、ローカル５G・DX導入についてよくある質問等）

２）セミナー登壇、視察会随時（大阪市・大阪産業局、商工会議所等）

上記ウェビナーの開催に加え、弊社コンソーシアムに参加している大阪市、大阪産業局、弊社と関わりの強い商工会議所と連携し、ローカル５Ｇ、ＤＸ施策の導入に関心のある企業向けにセミナーを実施する。

大阪市、大阪産業局では、以下のような製造業や中小企業向けのセミナーを常時開催しているので、ローカル５ＧやDXをテーマとしたセミナーには、弊社が参加し講演を実施する。参加企業の中で、関心度の高い企業については個別で相談会を実施する。

（参考）以下は産創館のHPより転載

経営課題の解決

現場力向上セミナー

中小製造業の現場力向上を目的に、毎月違うテーマで開催するセミナーです。中小製造業の経営者や経営幹部、部門の管理責任者を対象に生産管理、原価管理、在庫管理、技能伝承など、押さえておくべき基礎的な知識を分かりやすく解説します。

詳細はこちら

製造業の現場改善！強い現場づくりプロジェクト

現場改善で豊富な実績をもつ専門家が直接工場を訪問し、現場担当者自ら改善点を考え、実行していただくオーダーメイド型、短期集中の改善プログラム。潜在的なムダや課題などを徹底的に分析、問題点を抽出し、改善ノウハウの定着をめざします。

詳細はこちら

ロジスティクスセミナー

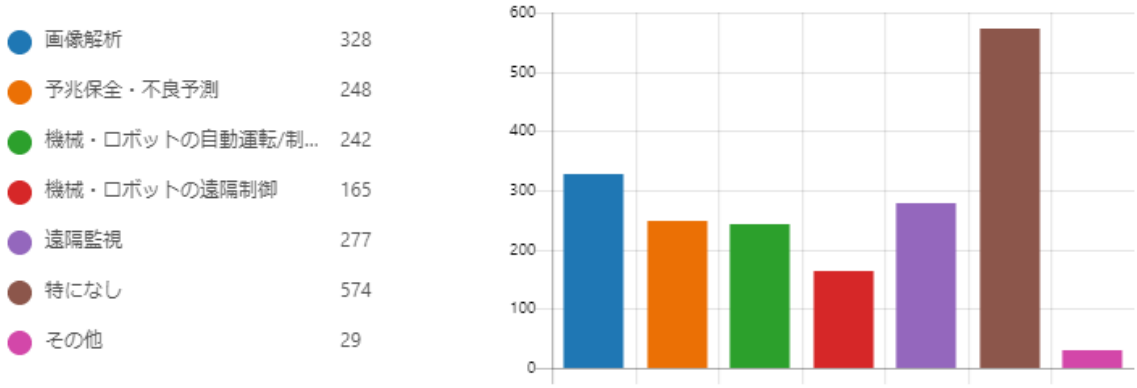
製造業に欠かせないQCD（品質・コスト・納期）のDを担う物流にスポットを当てたビジネスセミナー。物流現場の改善や倉庫管理といったテーマで開催。

詳細はこちら

横展開に資する普及モデルの検討にあたり、本開発実証の２つのソリューションの横展開可能性について記載する。ウェビナー参加申込者を対象とした事前アンケートでは、(図.6.3.1-2)関心のあるソリューションとして、「画像解析」「遠隔監視」への関心が最も高く、製造業において共通の課題であることが分かる。

(図.6.3.1-2) ウェビナー参加申込者を対象とした事前アンケートの一部

19. 生産性、安全性向上などに向けて、導入済み、または検討中のスマート化ソリューション(AI/IoTなど)があれば選択してください。(複数選択可) (回答必須)



① 目視検査の自動化：(項番 4.1.6 参照)

製造業企業を対象とした横展開ヒアリングを通じて、人が行っている品質検査を自動化したいというニーズは多くの企業で抱えており、製造現場に共通する課題であることが分かった。一方、検査対象は多種多様で、各製造現場で製造している製品や、客先の基準に応じて、何をどんな品質管理レベルで検知したいかは大きく異なることも分かった。

今回開発した課題解決システム「目視検査の自動化」については、検知する対象を「鋼板にある 0.3 ㎜程度のキズ」としている。キズの種類も複数（擦りキズ、打痕キズ等）あり、キズの種類ごとに教師データを取得する必要がある。検査対象固有の NG 画像取得数が AI アルゴリズム精度に大きく影響することも検証のとおり（項番 4.1.6 参照)。

本開発実証で導入したスリッターラインを同様の設備構成で保有している工場で、検知したいキズが同様といったケースであれば、今回選定した目視検査の為の各種機器や設置にあたっての機構、AI アルゴリズム、教師データを汎用的に活用できる可能性は高い。然し、導入する対象ラインが異なる場合や、検知したいキズが異なる場合は、そのまま汎用的に活用できる部分が限定される。例えば、今回採用した機器を取り付ける機構をそのまま他の工場に適用できるかは、現場の設備構成や設備間のスペースなどの設置条件によって変動し得る。また、製品や検知対象、品質管理レベルが異なる場合は、現場の検査ルールに則って、NG とされる対象物の画像を改めて取得する必要がある。

加えて、同じ機種、同じ対象のキズであっても、導入工場における光の入り方等の微妙な差異によっては、NG 教師データを再度取得し直す必要があるケースもある。同システムを汎用的に活用する場合は、現場ごとにチューニングが発生する点に留意する必要がある。

現場の条件によって再度 NG 教師データを取得し、AI アルゴリズムを再構築する必要があるのは上記の通りだが、本開発実証で取得した NG 教師データの再活用も可能である。個別条件に対応した NG 教師データを追加することにより、其々の条件に合致した、より精度が高い AI アルゴリズムが構築される。

② 遠隔作業者支援：（項番 4.2.6 参照）

課題解決システム「遠隔作業者支援」では、Amazon 社のクラウドサービス AWS を利用してフロントエンドとバックエンドを構築しているため、オンプレミスで開発しているシステムに比べると汎用性が高いといえる。導入事業者が AWS を契約した上で、同様の設計をすることができれば、同様の４K 映像配信サービスを利用できる。但し、具体的な受信者（映像を閲覧できる人）の設定や、個別のアプリの設定等の個別調整は必要となる。

横展開ヒアリング対象企業の多くが本システムに関心を示し、製造業企業の多くが同様の遠隔での作業や映像確認の課題を抱えていることが分かった。特に新型コロナウイルス禍で遠隔から工場の様子や製品を見たいというニーズが高まっているようで、Facetime や Zoom 等の既存のビデオ会議システムを活用しながら遠隔でのコミュニケーションを開始している企業も複数社いた。

一方で、横展開ヒアリングを通じて、製造現場の様子や製品の映像データをクラウド上にあげることに抵抗を持っている企業がいることも明らかになった。自社内で視聴する際や、映像データを共有する際であっても、映像にアクセス可能な権限付与や ID・パスワード管理などのセキュリティ面での管理が施されていることが導入の前提となる。特に、顧客・サプライヤー・業者とのコミュニケーションやデータ共有で使用する場合は、導入事業者へのセキュリティ要求がより高くなる。セキュリティの施工はもちろんだが、導入企業が安心してして利用できるよう、導入時にセキュリティ面でのガイダンス等を併せて実施することでより普及しやすくなると考える。

続いて、横展開に資する普及モデルの検討にあたり、ソリューションとローカル５Ｇの展開モデルについて検討する。

課題解決システム（ソリューション）とローカル５Ｇ導入にあたって、想定される標準的な展開モデルは、以下のとおり。

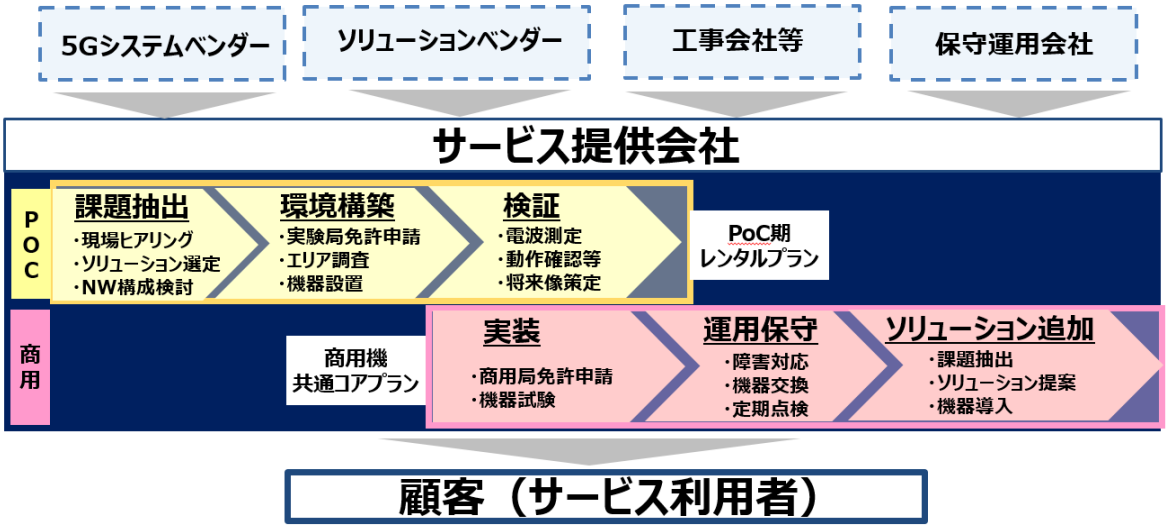
① ローカル５Ｇとソリューションのパッケージでの展開モデル
② ユーザーが中心となり、各ベンダー（ソリューションベンダーやローカル５Ｇ導入ベンダー等）を取り纏めるモデル

横展開ヒアリングの内容を踏まえると、①のモデルが現場ニーズに合致すると考える。②のメリットとしては、価格が①に比べて安く収まる可能性がある点と、馴染みの業者に頼みたいというユーザーには使いやすいモデルという点があげられる。一方、インテグレーションを自社でハンドリングする必要がある点や、各業者と個別でやり取りする手間が発生する点がデメリットとなる。

ヒアリング結果では、製造現場で課題解決のソリューションを導入するにあたって、ユーザー企業は実現したいこと、解決したい課題をベンダーに伝えて、ベンダー側で一貫して構築から導入まで実施してもらいたいという企業が多数だった。ローカル５Ｇの導入も同様に現場が望んでいる課題解決にあたって、親身に現場に寄り添って、何を現場の負担が低く、導入効果が最大化されやすいか的確に抽出するステップが重要であると感じる。

①のモデルの詳細については以下(図 6.3.1-3)のとおり。

(図 6.3.1-3) ①　ローカル５Ｇとソリューション パッケージ展開モデル



1 社が事業主体となり、免許申請をはじめとするローカル５Ｇの通信インフラ導入や現場の課題に応じたソリューションの導入、工事や運用保守まで一貫してトータルパッケージで展開するモデル。

同モデルでは、PoC 期においては、ローカル５Ｇ導入に関心のある事業者が手軽に導入できるような基地局と端末を対象にレンタルプランを提供する。リース事業者と連携しながら、初期コストを低減し、関心のある事業者がまず PoC から始められるような俎上を作ることが必要と考える。

また PoC 期間に導入する１つ～２つの限られたソリューションだけでは、投資回収に至らないので、この期間に、目指したい将来像（工場内のいたるところにカメラやセンサーが設置され、大量のデータを伝送し、人の労働負荷が極限まで減らされるような工場等）の構想構築まで行う。通信インフラにのるソリューションが少ないと、投資回収期間が長くなるため、将来的に様々なソリューションがのることで投資回収できる絵姿を示す。

PoC 期での結果を踏まえて、商用期に入ることが決まった企業に対しては、商用期もサービス提供者がユーザーに寄り添いながら、将来像に至るまでの道のりを提案する。具体的には、追加でローカル５Ｇのインフラにのせる課題解決ソリューションの提案や導入を行

う。加えて、ローカル５Ｇ機器のコスト低減を図るべく、５Ｇコアネットワークの共有化を図る（後述)。

6.3.2 推進対応方策

ローカル５Ｇを活用した案件推進にあたっての課題と対応策については以下のとおり。

【主な課題】

① ローカル５Ｇの導入/運用コスト
上述のとおり、横展開に向けたヒアリング結果を踏まえると、幅広い企業への浸透を目指す場合、導入コスト、運用コストともに市場の許容価格と大きく乖離がある。

② ローカル５Ｇ導入にあたっての手続きの複雑さ
開発実証にあたり、4.7GHｚ帯(4.8～4.9GHz)の実験局免許を取得。制度化前の免許申請だったこともあり、取得までには時間や手間を要した。
申請の際には、専門的な知識を要し、また専門要員(無線従事者)を確保する必要があるため、一般的な製造業企業が独自で申請することは難しく、専門の業者を介さなければ手続きが難しい。ローカル５Ｇ制度の普及に向けては、こういった各種手続きの煩雑さの緩和や相談窓口の拡充などが必要と考える

③ オペレーションの変更を伴うソリューション導入あたって、現場との調整
ローカル５Ｇ導入に限らず、DX 施策の導入にあたっては現場の従来のオペレーション変更を伴うものが多い。これまでのオペレーションから変更するメリットを現場に理解してもらうプロセスは、時間を要することが多く、一定期間は現場に付き添いでオペレーションを浸透させるための要員が必要となる。現場のオペレーションをよく理解し、導入時のオペレーションへの影響や効果等を深く洞察する人材が求められる。

上記課題を踏まえ、弊社コンソーシアムが検討している対応策は以下のとおり。

① ローカル５Ｇの導入/運用コストの低廉化に向けた取り組み

ローカル５Ｇの機器がまだ高いので、コスト低減の施策として５Ｇコアネットワーク設備の共有化を図る。比較的高価な５Ｇコアネットワークのオンプレミスモデルは、初期コスト、運用コストともに、市場の許容価格に至っていない。横展開ヒアリングでの結果を踏まえると、市場が期待している価格への低減に向けて、５Ｇコアネットワーク設備は共有化を図るべきと考えている。監視費用や運用保守費用はユーザーが増えることで、割り勘が働き、1企業あたりの負担額が軽減される。５Ｇコアネットワークの共有化を図ることで、商用期においても廉価にローカル５Ｇ機器を提供できるモデルを、グレープ・ワンや地場のケーブルテレビ事業者とともに検討したい。

横展開ヒアリングで、下図(図6.3.2-1)を示しながら共有化モデルについて意見聴取した。結果、セキュリティが担保される前提で、価格が廉価であれば、自社で資産を持たずに、他

事業者と５Ｇコアネットワークを共有することへ理解が得られることが分かった。オンプレミスモデルに比べると、個社が望む機能強化の意思決定の柔軟性等に劣るデメリットを考慮してもなお、ユーザーは価格メリットを取るという結果がみられた。

なお、グレープ・ワンはすでに、ケーブルテレビ事業者向けには５Ｇコアネットワーク共用モデルでのサービス提供を開始している。本サービスは、バックホール回線等の通信インフラや、通信回線サービス提供のための人的リソースなどをすでに自社で抱えているケーブルテレビ事業者向けだからこそ提供できているモデルであり、製造業向けに同一モデルでの提供をする場合、工場側での対応要員の確保などが必要となることが想定される。

（図 6. 3. 2-1）５Ｇコアネットワーク共有化プラン　イメージ

②５Ｇソリューションセンターの活用

ローカル５ＧやDX 施策の導入を検討する企業が、最終的な導入に至るまでには、様々な検討事項がある。検討から導入に向けたサポートができるよう、過去の導入事例や、導入可能な事業者等の情報に容易にアクセスできる仕組みが必要と考える。そのためには、総務省が中心として検討している５Ｇソリューションセンターの確立と、同センター活用に向けた普及活動が有用と考える（５Ｇソリューションセンターの在り方については、項番6.4参照）。

特に、ローカル５Ｇは導入コストがまだ高いので、導入事業者が費用対効果を最大限享受できるためには、様々なソリューションを導入することと考える。ローカル５Ｇを活用したソリューション導入事例を幅広く紹介し、ローカル５Ｇと複数のスマート化ソリューションの導入で投資対効果を最大化し、早期の投資回収が可能になると考える。

6.3.3　横展開計画

横展開に向けて、弊社グループが主体となり、横展開候補先企業への導入を検討する。弊社グループ会社や弊社グループの取引先の中で、ローカル５Ｇと課題解決システムに関心の

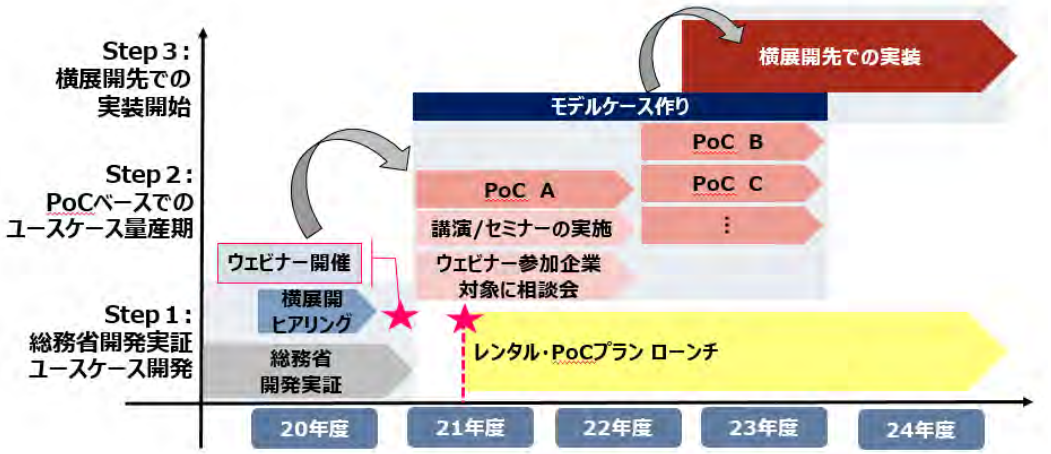
ある企業とパートナーシップを組み、相手先に応じて最適な事業者が主体者となって導入する想定。

例えば、住友商事マシネックスの取引先企業であれば、同社の事業として、住友商事グローバルメタルズの取引先であれば、同社の事業として、取引先企業への横展開を検討する。住友商事、住友商事マシネックス、住友商事グローバルメタルズ、それぞれにおける横展開の検討内容を以下に記載する。

尚、いずれの座組においても、SIer や技術パートナーの選定が必要となる。SIer や技術パートナーの選定については、マルチベンダー方針をとることで、常にパートナー候補に緊張感をもたせて、比較検討の上でリーズナブルな仕入れ価格での調達を実現し、より安価なユーザー向けの提供価格を実現できるよう都度体制を検討する。

横展開の検討計画は下図(図 6.3.3-1)のとおり。令和 3 年度から令和 5 年までは、モデルケース作りの期間と考える。ローカル５Ｇの導入を本格的に検討している事業者はまだ少ないので、まずは PoC から簡易に始められるレンタルも活用したプランを提示しながらユースケースの創出に注力する。ローカル５Ｇの活用事例が増えることで、徐々に企業間で認知され、導入希望者も増えるサイクルができる。それまでの期間は、啓蒙期間と捉えて、本開発実証を紹介するセミナーや講演と並行して、温度感の高い事業者との PoC 事例を量産したい。

（図 6.3.3-1） 横展開計画（案）



【住友商事の横展開計画】

本開発実証事例をモデルケースとして、住友商事が抱える様々な産業領域へローカル５Ｇを活用した DX 施策の展開を検討している。住友商事内において横ぐし組織として DX 施策導入を推進している「DX センター」をハブとして、関係部署、関係事業会社とコミュニケーションを取り、具体的な DX 導入事例として本開発実証を紹介したい。製造業分野の事業会社はもちろん、製造業企業に限らず、物流・倉庫事業や、建設部隊等産業を超えた波及を図る（(図 6.3.3-2) 参照）。

加えて、住友商事が社外のソリューションを開発している事業者等とパートナーシップを組むことも検討する。例えば、パートナー企業がソリューション部分の開発を担い、ローカ

ル５Ｇ部分についてはグレープ・ワンからの提供となるような、パートナー企業とのパッケージ展開を検討する。

尚、ローカル５Ｇ 導入にあたっては、技術パートナーやインテグレーターが必要となるため、実際に導入に至る場合は座組や取組体制に技術的観点から配慮する必要がある。

（図 6.3.3-2）　住友商事内での横展開活動（案）

【住友商事マシネックスとしての横展開計画】

横展開に向けて、住友商事マシネックスが主体となり、住友商事マシネックスの取引先企業等への導入を検討する。顧客の求める条件に応じて最適なパートナー企業を選定し、住友商事マシネックスが主体者となってパートナー企業各社を取りまとめて導入を推進するスキーム。

住友商事マシネックスの取引先企業への導入以前に、先ずは住友商事マシネックス社内におけるローカル５ＧやDXに関する啓蒙（本開発実証についての情報共有等、認知度向上を図る、取引先企業へのプロモーションを促進するためのセミナー実施等）を行う。併せて、住友商事マシネックスの取引先（仕販先共に）への定期的な情報提供を行い、取引先の意識醸成を図る。

取引先に対しては、、まずは現場の課題発掘、課題の見える化に協力することで、ローカル５Ｇを活用したDX施策導入に向けた接点を持つように、社員に意識付ける。

ローカル５Ｇの普及には、具体的な実例があることが導入へのインセンティブを高める。当面は啓蒙期間と捉えて、先ずはPoCをはじめとするユースケースの積み重ねを推進する。特にローカル５Ｇの大容量伝送の特徴を発揮できる高精細画像データの利用分野において複数の企業との協業体制を２～３年内に構築する。

加えて、将来に向けての取組として、従業員の各種スキルを向上させ、製造業のデジタルツイン化の実現に貢献できる課題解決型ローカル５Ｇサービサーを目指す。

【住友商事グローバルメタルズとしての横展開計画】

横展開に向けて、住友商事グローバルメタルズが主体となり、今回の開発実証の現場であるサミットスチールの他加工ラインや、サミットスチールの大阪工場以外の工場、住友商事グローバルメタルズのグループ会社、鋼材取引のある横展開候補先企業等への導入を検討する。顧客の求める条件に応じて最適なパートナー企業を選定し、住友商事グローバルメタルズが主体者となってパートナー企業各社を取りまとめて導入を推進するスキーム。

① サミットスチールの他加工ライン(S2 ライン以外)

今回、目視検査の自動化のシステム・機器を導入した S2 スリッターライン以外に、サミットスチール大阪工場には 2 つのスリッターラインと 3 つのレベラーシャーラインがあり、今度の導入横展開候補先と成り得る。

2 つのスリッターラインは、システム・機器導入済の S2 ラインと全く同じ設備構成ではないが、基本的な構成は類似であり、S2 ライン同様のカメラ・照明機器が利用出来ると考えている。但し、S2 と同じ箇所にカメラ・照明などの機器を設置する十分なスペースがあるかは、2 ラインの詳細確認が必要となる。また、カメラ・照明の位置、即ち鋼板との距離はライン毎の構造と特性を調査した上で再設定が必要となり、照明の光量も再調整する事になる。

教師データになるキズなどの品質課題は S2 とほぼ同じであり、S2 用に構築した AI アルゴリズムを活用可能と考えている。但し、カメラ・照明のライン毎の個別設定よる 8K 画像の違いが顕著であれば、改めてキズ教師データを取得して AI アルゴリズムを再構築することも想定している。

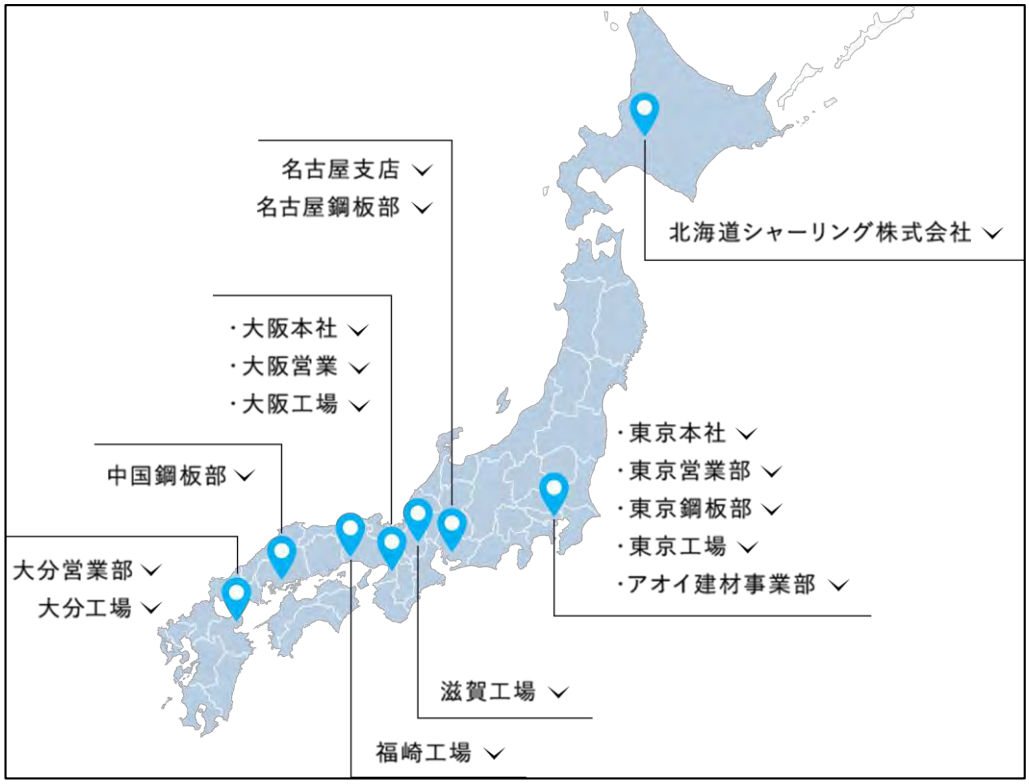
遠隔での品質検査については、今回実証で、当初想定以上の広範囲に５Ｇ電波が届いていると確認出来ており、サミットスチール大阪工場内へのローカル５Ｇ機器の追加導入は不要と考えている。

② サミットスチールの他工場(大阪工場以外)

サミットスチールには、大阪工場以外に千葉・滋賀・兵庫・大分に同様の加工設備を有する工場があり、大阪工場で構築した目視検査の自動化のシステムを横展開する候補先と考えている。各工場で、取引先の品質要求レベルに差異があると思われるが、目視検査を省力化・自動化したいという要望はある。また、千葉県市川市の東京工場は、大阪工場同様に営業の所在地が離れており、工場と東京都江東区木場の営業部を自動車で往復 1 時間掛けて行き来している為、4K 映像を活用した遠隔での品質確認の需要はある。

各工場のスリッターラインは、今回実証でシステム・機器導入した大阪工場 S2 ラインと全く同じ設備構成ではないが、基本的な構成は類似であり、S2 ライン同様のカメラ・照明機器が利用出来ると考えている。但し、S2 と同じ箇所にカメラ・照明などの機器を設置する十分なスペースがあるかは、各工場のスリッターラインの詳細確認が必要となり、別のカメラ・照明の選定や、スペースや距離の制限で導入断念も有り得る。また、カメラ・照明の位置、即ち鋼板との距離はライン毎の構造と特性を調査した上で再設定が必要となり、工場内の明るさや鋼板への光の反射具合もライン毎に異なる為、照明の光量も再調整する事になる。

教師データになるキズなどの品質課題は大阪工場 S2 とほぼ同じであり、S2 用に構築した AI アルゴリズムを活用可能と考えている。但し、カメラ・照明のライン毎の個別設定による 8K 画像の違いが顕著であれば、改めてキズ教師データを取得して AI アルゴリズムを再構築することも想定している。
各工場の広さ、天井までの高さ、設備配置、クレーン設備と位置などは異なる。従って、遠隔での品質検査については、ローカル５Ｇの電波がどの範囲まで届くのか事前調査と推測を行い、4K カメラで撮影したい範囲をカバーするようなローカル５Ｇ基地局の設置が必要になる。求める範囲をカバー出来なければローカル５Ｇ基地局を複数設置する必要が出てくる為、費用増加が導入の障害に成り得る。



③ 住友商事グローバルメタルズのグループ会社
住友商事グローバルメタルズには、サミットスチール以外にも国内外に関連会社を有しており、サミットスチールと同事業のスチールサービスセンターは北海道・群馬県・広島県に工場がある。各工場には同様のスリッター・レベラーシャーの設備ラインが設置されており、サミットスチール大阪工場で構築した目視検査の自動化のシステムを横展開する候補先と考えている。各社・各工場で、取引先の品質要求レベルに差異があるが、目視検査を省力化・自動化したいという要望は共通している。また、4K 映像を活用した遠隔での品質確認の需要もあると考えている。
各社・各工場のスリッターラインは、今回実証でシステム・機器導入した大阪工場 S2 ラインと全く同じ設備構成ではないが、基本的な構成は類似であり、S2 ライン同様のカメラ・照明機器が利用出来ると考えている。但し、S2 と同じ箇所にカメラ・照明などの機器を設置する十分なスペースがあるかは、各社・各工場のスリッターラインの詳細確認が必要となり、別のカメラ・照明の選定や、スペースや距離の制限で導入断念も

有り得る。また、カメラ・照明の位置、即ち鋼板との距離は工場毎・ライン毎の構造と特性を調査した上で再設定が必要となり、工場内の明るさや鋼板への光の反射具合もライン毎に異なる為、照明の光量も再調整する事になる。
教師データになるキズなどの品質課題は、スチールサービスセンターという同業種であればサミットスチール大阪工場 S2 ラインとほぼ同じであり、S2 用に構築した AI アルゴリズムを活用可能と考えている。但し、カメラ・照明のライン毎の個別設定による 8K 画像の違いが顕著であれば、改めてキズ教師データを取得して AI アルゴリズムを再構築することも想定している。
各工場の広さ、天井までの高さ、設備配置、クレーン設備と位置などは異なる。従って、遠隔での品質検査については、ローカル５Ｇの電波がどの範囲まで届くのか事前調査と推測を行い、4K カメラで撮影したい範囲をカバーするようなローカル５Ｇ基地局の設置が必要になる。求める範囲をカバー出来なければローカル５Ｇ基地局を複数設置する必要が出てくる為、費用増加が導入の障害に成り得る。
スチールサービスセンターの中には、鋼材を金型で異形に抜くブランキングという加工設備を有する工場があり、スペースや品質確認ポイントを精査した上で、目視検査の自動化のシステムの横展開先として検討する。取引先の品質要求、品質確認すべき箇所、キズなど品質異常が発生し得る場所はスリッターとは異なる為、S2 ラインで取得した既存教師データの再活用は限定的で、教師データ取得を取得し直して AI アルゴリズムを再構築する必要がある。
スチールサービスセンター以外に、鋼板のフォーミング加工設備を有する工場についても目視検査の自動化のシステム横展開を検討する。但し、取引先の設備構造、品質要求、品質確認すべき箇所、キズなど品質異常が発生し得る場所などがスリッター・レベラーシャー・ブランキングと全く異なる為、カメラ・照明の設置可否の調査やフォーミング用の教師データ取得・AI アルゴリズム再構築が必須となる。

社名	事業内容
日本	
北海道シャーリング（株）	スチールサービスセンター（鋼材加工・販売）
サミットスチール（株）	スチールサービスセンター（鋼材加工・販売）
住商メタレックス（株）	非鉄金属製品、建材、住設配管資材等の販売
伊藤忠丸紅住商テクノスチール（株）	鉄鋼建材製品の販売
マツダスチール（株）	スチールサービスセンター（鋼材加工・販売）
大利根倉庫（株）	スチールサービスセンター（鋼材加工・販売）
紅忠サミットコイルセンター（株）	スチールサービスセンター（鋼材加工・販売）

住友商事グローバルメタルズ及び住友商事は、海外に約 30 社・約 40 工場のスチールサービスセンターを有している。将来、ローカル５Ｇの海外展開が為された際は、導入横展開先の候補と考えている。

④ 鋼材取引のある横展開候補先企業

住友商事グローバルメタルズ、及びスチールサービスセンターなどの鋼材を取り扱う国内外のグループ会社は、合計で数千社の取引先と商売がある。鋼材を取り扱う取引先はほぼ全てが製造業であり、鋼材加工における品質管理に益する目視検査の自動化システムを横展開する候補先と考えている。各社・各工場・各加工ライン・製品毎の品質要求レベルに差異があるが、目視検査を省力化・自動化したいという要望は共通している。また、4K 映像を活用した遠隔での品質確認の需要もあると考えている。

スリッターラインであれば、今回実証でシステム・機器導入したサミットスチール大阪工場 S2 ラインと基本的な構成は類似であり、S2 ライン同様のカメラ・照明機器が利用出来ると考えている。但し、S2 と同じ箇所にカメラ・照明などの機器を設置する十分なスペースがあるかは、各社・各工場のスリッターラインの詳細確認が必要となり、別のカメラ・照明の選定や、スペースや距離の制限で導入断念も有り得る。また、カメラ・照明の位置、即ち鋼板との距離は工場毎・ライン毎の構造と特性を調査した上で再設定が必要となり、工場内の明るさや鋼板への光の反射具合もライン毎に異なる為、照明の光量も再調整する事になる。

教師データになるキズなどの品質課題は、スチールサービスセンターという同業種であればサミットスチール大阪工場 S2 ラインとほぼ同じであり、S2 用に構築した AI ア

ルゴリズムを活用可能と考えている。但し、カメラ・照明のライン毎の個別設定による8K画像の違いが顕著であれば、改めてキズ教師データを取得してAIアルゴリズムを再構築することも想定している。
鋼材を金型で異形に抜くブランキングという加工設備、鋼板のフォーミング加工設備やプレス加工設備については、設備構造、品質要求、品質確認すべき箇所、キズなど品質異常が発生し得る場所などがスペースや品質確認ポイントを精査した上で、目視検査の自動化のシステムの横展開先として検討する。取引先の品質要求、品質確認すべき箇所、キズなど品質異常が発生し得る場所など諸条件が加工ライン毎に異なり、S2ラインで取得した既存教師データの再活用は限定的或いは困難と考えている。おそらく、多くのケースで教師データ取得を取得してAIアルゴリズムを構築する必要があり、実現難易度が上がるだけでなく、費用と時間も要すると考える。
各工場の広さ、天井までの高さ、設備配置、クレーン設備と位置などは異なる。従って、遠隔での品質検査については、ローカル５Ｇの電波がどの範囲まで届くのか事前調査と推測を行い、4Kカメラで撮影したい範囲をカバーするようなローカル５Ｇ基地局の設置が必要になる。求める範囲をカバー出来なければローカル５Ｇ基地局を複数設置する必要が出てくる為、費用増加が導入の障害に成り得る。

サミットスチールやグループ会社を含む横展開先企業の課題と要望に合わせて、課題解決が可能な最適なパートナー企業を選定し、ローカル５Ｇの導入部分については同じ住友商事グループであるグレープ・ワンを起用する、といった形で、高いサービス品質と競争力ある価格を提示出来るような最適体制を都度検討する。

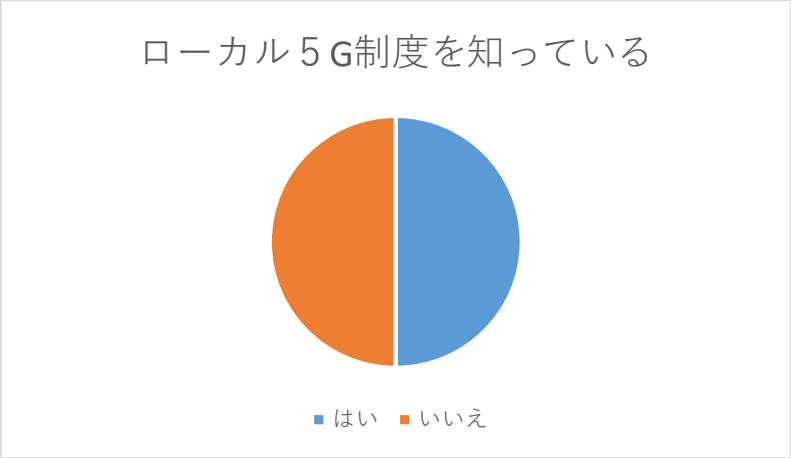
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

開発実証の成果を他の地域・ユーザー等が活用できるプラットフォームの在り方について、以下のとおり検討する。

6.4.1 ５Ｇソリューション提供センター（仮称）の必要な機能等の仕様案

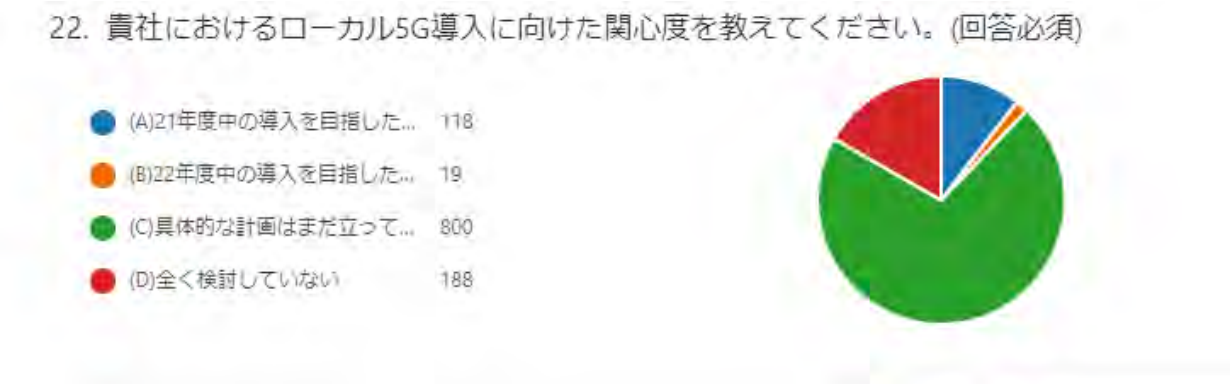
５Ｇ があらゆる分野や地域において浸透し、徹底的に使いこなされている「Beyond ５Ｇ」「Beyond ５Ｇ ready」な環境を実現するためには、５Ｇのユースケース事例を多くの人が知ることが必要と考える。弊社コンソーシアムが実施した、製造業企業を対象とした横展開ヒアリングでは、「ローカル５Ｇ」という制度を知っている割合は、対象者の半分を占める結果となり、「ローカル５Ｇ」制度の認知度は一定割合あることが分かった（図. 6. 4. 1-1 参照）。

（図. 6. 4. 1-1）



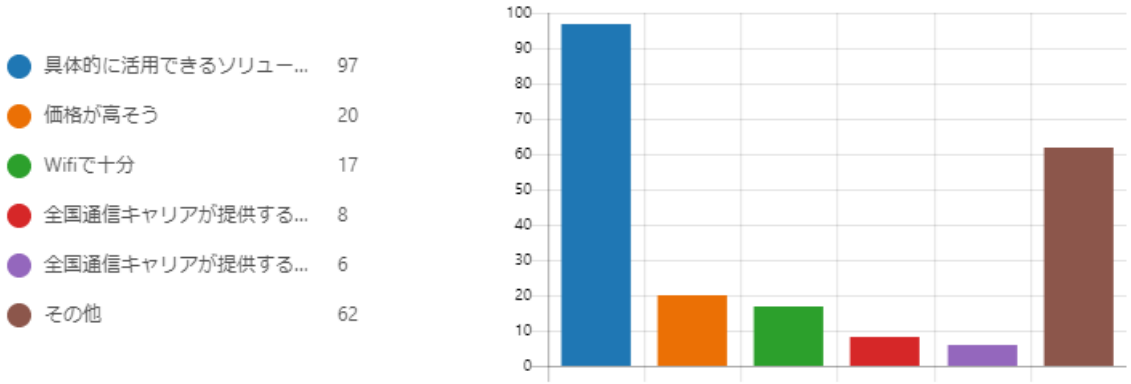
一方で、弊社コンソーシアムが開催したウェビナー申込者を対象とした事前アンケートで、「ローカル５Ｇの導入に向けた関心度」を問う項目では、「ローカル５Ｇの導入を全く検討していない」回答者が全体の 17%となった（（図. 6. 4. 1-2）参照）。同回答者へ理由を問う設問では、最大数の回答が「具体的に活用できるソリューションが思い浮かばない」というものだった（（図. 6. 4. 1-3）参照）。

（図. 6. 4. 1-2）ウェビナー参加申込者を対象とした事前アンケートの一部



（図. 6. 4. 1-3）ウェビナー参加申込者を対象とした事前アンケートの一部

24. 前問で「(D)全く検討していない」と回答された方に質問です。理由を教えてください。 (回答必須。複数選択可)



上記回答結果から、５G/ローカル５G活用したソリューション事例を、ユーザーとなる企業や組織に幅広く認知してもらうことが、５G/ローカル５Gの普及には不可欠であると考える。

そのためには、総務省が主導する５Gソリューション提供センター（仮称）をハブとして、ローカル５Gのユースケース事例を共有することにより認識を広め、導入を普及させる仕組みが必要である。

弊社コンソーシアムでは、５Gソリューション提供センター（仮称）に必要な機能について、以下のとおり提案する。

① ライブラリサイトとして情報提供する機能

５Gソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能のひとつは、５G/ローカル５Gに関心のある事業者に対して、情報提供する機能である。弊社コンソーシアムでは、５Gソリューション提供センター（仮称）のユーザーを、エンドユーザーと定義付けた。例えば、５G/ローカル５Gを活用した課題解決に関心がある、中小企業の製造業企業等、サービスを利用する事業者を想定する。５Gソリューション提供センター（仮称）を誰でもアクセスできるインターネット上にサイトとして立ち上げる想定のもと、詳細な導入事例の紹介があると検討が進みやすいと考える。

弊社コンソーシアムが実施した横展開ヒアリングで、「ユーザー企業が、課題解決システムの導入検討にあたり、社内で検討が進めやすい情報」として最も多かった回答が「同業他社での導入実績」となった。

一般的なユースケースの紹介に留まらず、導入した現場の対象事業、製造業であれば可能な範囲での製造物、設備説明を含む対象ラインの情報等、詳細に導入事例を紹介することで同業者や関係事業者における検討が加速すると考える。一方で、製造物の情報・製造方法・設備情報は各社がノウハウを有する秘密情報である場合が多く、提供可能な情報はあくまで情報提供者に委ねるべきと考える。

ライブラリサイトとして多数の５G/ローカル５G導入事例を掲載し、情報を求めるサイト利用者が容易に必要データにアクセス出来るような検索機能も充実させると良いと考える。また、参照した情報を基に５G/ローカル５Gの導入検討を開始したいサイト利用者に対し、情報提供した企業の担当者・連絡先も記載されていれば、相談窓口にもなり、導入の第一歩が踏み出しやすくなると考えられる。

② 紹介、マッチング機能

ユーザーに対して、ローカル５Gと課題解決システムを導入できる事業者の紹介や、マッチング機能があると、５Gソリューション提供センター（仮称）の活用が進みやすいと考える。

自社で内製のシステム開発チームを持っている企業もいるが、多くの企業は新たな機器やシステムの導入にあたって、いつも馴染みにしている事業者やベンダーに依頼するケースが多く、しかしながら５G/ローカル５G機器や５Gを活用した新たなソリューションの機器・設備についての知見を有するとは限らない。導入を検討している企業が、誰に依頼または相談すればいいのか明確であると導入検討がスムーズになる。

導入希望者に留まらず、関心がある検討中の事業者に対しても、「相談会」や「現場診断」、「現場導入へのアドバイス」等の問い合わせに対応できる企業を、５Gソリューション提供センター（仮称）にて紹介することで、少しでもローカル５Gや課題解決システムに関心のある企業を拾い上げることが可能になる。

実際に、横展開ヒアリングでは、ローカル５Gを活用したDX施策の導入への関心が高い一方、「導入をしたいが、DXを推進する人手が足りない」、「課題解決システムを外部に委託するのではなく、内製で進めたいが、人材がいない」という声もあがった。

特に、人員に限りがあるであろう中小企業では、導入推進できる人材が限られていることから、できるだけ導入までの負荷を下げるための、サポート機能が必要であると考える。

上記ヒアリング内容を踏まえ、５Gソリューション提供センター（仮称）では、ローカル５GやDX施策に関心のある事業者向けに、導入事例の紹介、導入に向けたノウハウや知見の提供、実際に導入したい企業と導入可能な企業のマッチング、導入に至るまでのサポート等の機能を具備すべきと考える。

尚、５Gソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能として、５G/ローカル５Gに関心のある事業者に対して、直接ソフトウェアを提供するシナリオについても検討したが、現状は難しいと考える。

例えば、汎用的に使用できるソフトウェアを開発し、利用を希望するユーザーが、５Gソリューション提供センター（仮称）からダウンロードすることで使用できるようなモデルの在り方を検討したが、まだ現場ごとに設定やチューニングが必要となる事項が多く、導入者に負担がかかるため、ソフトウェアのみをサービス提供することは難しい段階と考える。

③ デジタルツインで実証環境を再現する機能

５Ｇ/ローカル５Ｇの活用に興味を持つ将来のユーザー候補にとって、一定の費用が掛かる５Ｇ機器や課題解決システムの導入は、社内承認を取得するハードルが高いと想定する。上記①のライブラリサイトの情報も有用だが、先行導入企業の報告書・動画や図面データだけでは導入承認を得る為の説得力が十分でない可能性がある。

実際の導入事例の現場をサイバー空間上に疑似的に構築する、即ちデジタルツインを構築する事によって、より臨場感ある実証/導入環境が提示出来れば、自社に置き換えての導入検討がより真に迫ったものに成り得ると考える。

５Ｇソリューション提供センター（仮称）が、モデルとなる実証/導入事例を選定し、クラウドなどサイバー空間をセキュリティに配慮した上で準備し、実証/導入工場・現場・設備のデジタルツインを構築・提供する機能を提案する。

デジタルツイン上で、５Ｇ/ローカル５Ｇと４Ｇ・Wi-Fi との電波伝搬特性の違いが表現出来れば、導入検討するユーザー候補の事前比較・検証に非常に有用である。実際にデジタルツインで表現が可能なのかは、構築スキルを有する IT 企業と検討する必要がある。

導入を検討するユーザー候補が希望するようなデジタルツインを構築するような支援体制があると尚良い。機器設置場所の有無やケーブルの長さなどを、より現実に近い精度で事前にシミュレーション出来れば、導入検討が大きく前進し得る。但し、検討中のユーザー候補の為に然るべき費用を掛けてデジタルツイン構築するのは費用・工数・時間の面で容易でないとも考えられる為、工場・設備・機器の 3D CAD 図での代用も考えられる。

④ ５Ｇ導入について啓蒙する機能

５Ｇソリューション提供センター（仮称）の機能・役割として、将来の導入候補企業への５Ｇ/ローカル５Ｇの啓蒙を提案する。

上記①のライブラリサイトとしての機能から、実証/導入企業の情報が５Ｇソリューション提供センター（仮称）に集約されると考えており、集まった事例や５Ｇに関する最新情報をセミナー開催やメールマガジン配信で発信する機能を想定する。

また、モデルケースとして、５Ｇ/ローカル５Ｇを活用した 4K 映像の常時配信サイトの運営も、啓蒙に役立つと考える。５Ｇ/ローカル５Ｇを利用した 4K 映像配信と、４Ｇでの配信の比較が体験出来る環境も有意義と考える。

更に、５Ｇ/ローカル５Ｇ先行導入企業の協力を取り付け、興味を持つユーザー候補の現場見学手配を行い、その後上記②の紹介・マッチングによって導入へと前進させる。

6.4.2 課題解決システムが公開する API 仕様ないしは PF とのインターフェース仕様

弊社が開発した２つの課題解決システムのネットワーク構成や、設計概要については、4.1.1 と 4.2.1 を参照。

① ライブラリサイトとして情報提供する場合

弊社コンソーシアムでは、以下の内容を、５Ｇソリューション提供センター（仮称）に提供することが可能。

a. 課題解決システムの概要（ネットワーク構成、使用した機器等）
b. 実証環境の概要（事業分野、製造物、導入ライン等）
c. ソリューション導入にあたっての手引書（つまずきやすいポイント、留意点等）
d. ローカル５Ｇ導入に向けた必要なアクション（免許申請の手続き等）
e. PoC 実施時のスケジュール（線表）
f. 課題解決システム構築に関わった企業の情報

具体的な実証環境やシステムの内容、携わった事業者名等を５Ｇソリューション提供センター（仮称）に公開することで、本開発実証と同様の課題を抱える事業現場の課題解決に貢献したい。

② 紹介、マッチング機能を提供する場合

弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）経由で、問い合わせがあったローカル５Ｇや課題解決システム導入希望企業に対して、個別で相談会等を実施することが可能。但し、実際に課題解決システムやローカル５Ｇを導入する際は、構築にかかる費用やサポートにかかる費用を、導入事業者にて負担する前提となる（項番 6.3.2 記載のとおり PoC 期は機器をレンタルするプラン等、低価格で提供できるプランを弊社コンソーシアムにて検討中)。

a. 課題解決システム「目視検査の自動化」
AI 活用に関心のある事業者に対して、センター経由で問い合わせを受け、現場導入にあたっての相談対応等、ソリューションやローカル５Ｇ導入へのサポートやサービス提供することが可能。
本システムにおける学習済み AI や教師データの公開についても検討したが、導入希望事業者の現場に応じて変動する要素が多いため（6.3.1 参照)、システムの一部を切り出して同センターへ提供しても、現場でチューニングする項目が多く、サービスとして成立しないと考える。
まずは個別の事情やニーズをヒアリングし、適切な機構やアルゴリズム、教師データの取得に至るまで、ユーザーに寄り添って導入まで指南することが普及の鍵であると考える。

b. 課題解決システム「遠隔作業者支援」

本システムの活用に関心のある事業者に対して、センター経由で問い合わせを受け、現場導入にあたっての相談対応等、ソリューションやローカル５Ｇ導入へのサポートやサービス提供することが可能。
本システムは既存のクラウドシステムを利用しているので汎用性は高いが、一定のクラウド構築やネットワークの知識が必要であり、エンドユーザーが設計書を見ながらでも設定することは難易度が高く、受信側の設定やセキュリティ対策・ID 設定・管理等、専門家が開発することが望ましい。よって、本システムについても利用希望者についてはセンター経由で相談を受け、希望者向けにトレーニングを行うことや、サービス提供することで普及が進むと考える。

③ デジタルツインで実証環境を再現する機能を提供する場合

弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）がサイバー空間上に構築するデジタルツインの、ローカル５Ｇ導入先行事例モデル工場としてご協力が可能。
先行事例の工場・設備をデジタルデータ化するには、現場確認や図面などのデータ収集が必要となる。現場受け入れや各種情報開示に関して難色を示す先も多々あると想像するが、今回開発実証を進めた弊社コンソーシアムとしては是非ご協力させていただきたいという考えである。

④ ５Ｇ導入について啓蒙する機能を提供する場合

弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）が５G/ローカル５Ｇ啓蒙の為のセミナー開催やメールマガジン送付をする際、ローカル５Ｇや課題解決システム導入検討企業や、まだ検討に至らずとも将来の可能性がある取引先に、参加を案内する等ご協力することが可能。
また、モデルケースとしてローカル５Ｇを活用した 4K 映像の常時配信サイトを構築する場合、今回の開発実証の知見から 4K カメラ・GPU・クラウドサーバーのサービス等の選定が可能。GPU の配信プログラム構築や、クラウドサービスの設定・構築をご支援するパートナー企業もご紹介しご協力させていただきたい。
更に、５G/ローカル５Ｇに興味を持つユーザー候補の現場見学先として、住友商事グローバルメタルズの関連会社にて受け入れご協力可能と考えている。

6.5 まとめ

6 章に記載した内容を以下にまとめる。

(1)サミットスチール大阪工場における実装の検討について

令和 3 年 3 月末時点でサミットスチール大阪工場における実装の見通しは立っていない。まだ見通しがたっていない理由は、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて実装の可否を判断するにあたり、開発実証を通じて想定していた効果を得るまでには至らず、住友商事グローバルメタルズとサミットスチールにて導入にあたっての検討や分析がまだ十分に進まず、追加で検討期間を設ける必要があるため。令和 3 年 4 月以降も継続して、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて導入にあたって、開発実証期間で見えてきた課題事項への対応を整理し、実装した場合に想定される費用と効果や、オペレーションへの影響等を総合的に検証した上で、実装可否について判断する。

(2)横展開検討について

弊社コンソーシアムにおける、横展開の想定先は、住友商事グループ内の事業会社、及びコンソーシアム参加各社（住友商事グローバルメタルズ、住友商事マシネックス、大阪市・大阪産業局）の取引先、関係先である。

令和 3 年 3 月末時点、次年度のローカル５Ｇ導入を強く希望している事業者はおらず、上記の横展開候補となる企業群を対象に、令和 3 年 4 月以降も引き続き普及活動を継続する。

ローカル５Ｇを活用した案件推進にあたっての主な課題は、ローカル５Ｇの導入/運用コストである。弊社コンソーシアムが検討しているコスト低減に向けた対応策は、以下のとおり。

①５Ｇコアネットワーク設備の共有化：

５Ｇコアネットワークの共有化を図ることで、商用期においても廉価にローカル５Ｇ機器を提供できるモデルを、グレープ・ワンや地場のケーブルテレビ事業者とともに検討したい。

②RU と端末のレンタルプラン：

ローカル５Ｇの導入を本格的に検討している事業者はまだ少ないので、まずは PoC から簡易に始められるレンタルも活用したプランを提示しながらユースケースの創出に注力する。

③５Ｇソリューションセンターの活用

ローカル５ＧやDX 施策の導入に関心がある企業を対象に、検討から導入に向けたサポートができるよう、総務省が中心として検討している５Ｇソリューションセンターの早期確立と、同センター活用に向けた普及活動が有用と考える。ローカル５Ｇ導入事業者が費用対効果を最大限享受できるよう、ローカル５Ｇを活用したソリューション導入事例を幅広く紹介する機能が必要と考える。ローカル５Ｇと複数のスマート化ソリューションの導入で投資対効果を最大化することで、早期の投資回収を促す。

(3) 共同利用型プラットフォームに関する検討

弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）に必要な機能について、以下のとおり提案する。

① ライブラリサイトとして情報提供する機能
② 紹介、マッチング機能
③ デジタルツインで実証環境を再現する機能
④ ５Ｇ導入について啓蒙する機能

５Ｇソリューション提供センター（仮称）が上記の機能を具備する場合、弊社コンソーシアムが協力できる事項は以下のとおり。本開発実証と同様の課題を抱える事業現場の課題解決に貢献したい。

① ライブラリサイトとして情報提供する場合
本開発実証で構築した具体的な実証環境やシステムの内容、携わった事業者名等を５Ｇソリューション提供センター（仮称）に提供することが可能。

② 紹介、マッチング機能を提供する場合
弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）経由で、問い合わせがあったローカル５Ｇや課題解決システム導入希望企業に対して、個別で相談会等を実施することが可能。

③ デジタルツインで実証環境を再現する機能を提供する場合
弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）がサイバー空間上に構築するデジタルツインの、ローカル５Ｇ導入先行事例モデル工場としてご協力が可能。

④ ５Ｇ導入について啓蒙する機能を提供する場合
弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）が５G/ローカル５Ｇ啓蒙の為のセミナー開催やメールマガジン送付をする際、ローカル５Ｇや課題解決システム導入検討企業や、まだ検討に至らずとも将来の可能性がある取引先に、参加を案内する等ご協力することが可能。

7. まとめ

本開発実証は、製造業現場の人材不足や熟練技術の継承及び作業者の安全性の向上等の課題解決を目的として、ローカル５Ｇを活用した課題解決システムを導入し、現場での各種検証を実施した。

ローカル５Ｇを活用した課題解決システムの有効性をソリューション観点から検証する「課題実証」と、金属製設備・部材等の環境下にある工場におけるローカル５Ｇの電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討「技術実証」を実施し、技術面・運用面から課題抽出、また解決方針を策定し、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行った。

「課題実証」と「技術実証」の概要は以下のとおり。

・課題実証：地域の製造業における課題解決を目的としたソリューション実証

① 高精細画像データ及び AI 解析を用いた目視検査の自動化（以下、目視検査の自動化）

② 高精細映像伝送による遠隔からの品質確認（以下、遠隔作業者支援）

・技術実証：ローカル５Ｇ基地局のエリアカバレッジ（以下、無線エリア）設計精度向上に向けた電波伝搬特性評価実証

① 工場屋内無線エリア品質評価

② 屋外への電波漏洩評価

③ 運用を見据えたハンドオーバー機能検証

④ DL/UL 比率変更_非同期（準同期）における評価検証

課題実証①目視検査の自動化については、不良画像データ収集が不調に終わり、AI による不良の検出精度が十分に向上しなかったことにより、現状の目視による品質検査のオペレーションを課題解決システムで代替するに至らなかった。

今後、実運用を目指すためには、AI による検出精度の向上が求められる。検出精度向上のために、不良画像データを取得する場合は、現場の協力も必要となるため、所要期間や、実装した場合の想定効果等を踏まえ、総合的な観点で現場となるサミットスチール、及び住友商事グローバルメタルズにて取り進めを検討予定。

課題実証②遠隔作業者支援については、4K 映像そのものに対する関係者の評価は高く、今後の品質確認のオペレーションを変える期待感は大きい。また、想定以上にローカル５Ｇの電波が工場の広範囲をカバーしていることが分かったため、今回対象としたスリッター2 ライン付近のみならず他のラインや出荷ヤードなど工場内の広範囲で様々な用途の検討が期待できる。例えば、品質確認以外にも設備メンテナンスや長期滞留在庫の状態確認など様々な用途に広げ、新型コロナウイルスの感染対策にも繋がるソリューションとして、様々な用途での運用方法をサミットスチール、及び住友商事グローバルメタルズにて検討予定。

技術実証については、以下の成果を得られた。

（１）4.8GHz 帯の工場屋内における電波伝搬特性

・稼働中工場の屋内外にて安全を確保して電波測定できる地点で実測したところ、事前の想定よりも広く、くまなく工場屋内をエリアカバーできることが分かった。

・本実証環境における工場屋内の電波伝搬損失係数は 15.1 となり、自由空間よりも工場棟の中は電波が届きやすい環境であるという結果になった。

・シミュレーション上、素材別の損失設定において金属（壁面およびライン設備や製品コイルなど）とコンクリート（工場棟床面）の回折損を小さく設定することでシミュレーション精度が向上した。事前シミュレーションによる想定よりもカバーエリアは広くかつムラのないものとなったため、反射、回折の効果が強く出たものと想定する。

・オーバーヘッドクレーンの稼働に関わる一時的な電波遮蔽の影響は小さく、無視できる程度であることを確認した。

（２）エリアシミュレーション精度の向上

・実測値フィードバックによりシミュレーション精度が高められた

・地物再現の精緻化によるシミュレーション精度向上効果には限界がある。

・シミュレーション精度の評価指標として、シミュレーション値と実測値間の平均誤差と標準偏差を用いることが有効であった。

・金属とコンクリートの回折損およびコンクリートと木材の透過損は当初想定（シミュレータのデフォルト値）よりも小さく、電波が見通し外にも届くことに効果を発揮していることが分かった。

（３）ローカル５Ｇのスループット性能

・課題解決システムからの上りリンクスループット要求（AI 傷検知：100Mbps、遠隔作業者支援 40Mbps 程度）に対して、問題なく運用できることを確認した。

（AI 傷検知についてはソリューション設置箇所の予期せぬ変更により変更後の箇所では 70Mbps 程度のスループットとなったが、問題なく稼働(変更前の当初想定箇所では 140Mbps～を実現)。）

・上りリンクの 2MIMO は、基地局アンテナから約 25m までの距離で機能した。1MIMO-64QAM における上りリンク 70Mbps 程度は、工場棟内の 100m を超える広い範囲で動作した。

（４）将来におけるローカル５Ｇ活用の拡張性・期待と課題

・端末が低い位置（見通し外）にあっても電波の反射、回折によりエリアカバーされ、ハンドオーバー機能も有効であることを確認した。AGV の導入にも有用であると考える。

・今後、端末台数の増加などにより、更に上りリンクスループットへの要求は高まると想定されるため、マルチアンテナ技術の高度化や準同期 TDD の運用が求められる。

実装及び横展開の検討に関しては、住友商事、住友商事マシネックス、住友商事グローバルメタルズの 3 組織を軸に、①持続可能な事業モデル、②横展開に資する普及モデル、③共同利用型プラットフォームを検討した。検討結果は以下のとおり。

(1)サミットスチール大阪工場における実装の検討について

令和 3 年 3 月末時点でサミットスチール大阪工場における実装の見通しは立っていない。まだ見通しがたっていない理由は、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて実装の可否を判断するにあたり、開発実証を通じて想定していた効果を得られていないことから、住友商事グローバルメタルズとサミットスチールにて導入にあたっての検討や分析がまだ十分に進まず、追加で検討期間を設ける必要があるため。令和 3 年 4 月以降も継続して、住友商事グローバルメタルズ、サミットスチールにて導入にあたって、開発実証期間で見えてきた課題事項への対応を整理し、実装した場合にの想定される費用と効果や、オペレーションへの影響等を総合的に検証した上で、実装可否について判断する。

(2)横展開検討について

弊社コンソーシアムにおける、横展開の想定先は、住友商事グループ内の事業会社、及びコンソーシアム参加各社（住友商事グローバルメタルズ、住友商事マシネックス、大阪市・大阪産業局）の取引先、関係先である。

令和 3 年 3 月末時点、次年度のローカル５Ｇ導入を強く希望している事業者はおらず、上記の横展開候補となる企業群を対象に、令和 3 年 4 月以降も引き続き普及活動を継続する。

ローカル５Ｇを活用した案件推進にあたっての主な課題は、ローカル５Ｇの導入/運用コストである。弊社コンソーシアムでは、コスト低減に向けた対応策として、①５Ｇコアネットワーク設備の共有化、②RU と端末のレンタルプラン、③５Ｇソリューションセンターの活用を提案している。

(3)共同利用型プラットフォームに関する検討

今後の５Ｇ/ローカル５Ｇの普及に向けて、５Ｇソリューション提供センター（仮称）が果たす役割は大きいと考える。本開発実証と同様の課題を有する事業者が、今後より容易にかつより安価にローカル５Ｇを活用した課題解決システムを利用できるよう、５Ｇソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能は以下のとおり。

① ライブラリサイトとして情報提供する機能
② 紹介、マッチング機能
③ デジタルツインで実証環境を再現する機能
④ ５Ｇ導入について啓蒙する機能

上記の機能を５Ｇソリューション提供センター（仮称）が具備する場合に、弊社コンソーシアムが提供できる事項は以下のとおり。

① ライブラリサイトとして情報提供する場合

本開発実証で構築した具体的な実証環境やシステムの内容、携わった事業者名等を５Ｇソリューション提供センター（仮称）に提供することが可能。

② 紹介、マッチング機能を提供する場合
弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）経由で、問い合わせがあったローカル５Ｇや課題解決システム導入希望企業に対して、個別で相談会等を実施することが可能。

③ デジタルツインで実証環境を再現する機能を提供する場合
弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）がサイバー空間上に構築するデジタルツインの、ローカル５Ｇ導入先行事例モデル工場としてご協力が可能。

④ ５Ｇ導入について啓蒙する機能を提供する場合
弊社コンソーシアムでは、５Ｇソリューション提供センター（仮称）が５G/ローカル５Ｇ啓蒙の為のセミナー開催やメールマガジン送付をする際、ローカル５Ｇや課題解決システム導入検討企業や、まだ検討に至らずとも将来の可能性がある取引先に、参加を案内する等ご協力することが可能。

今後本開発実証の実装、横展開を継続して検討することに加えて、今回の実証を通じて得られた知見や気づきを、同様の地域課題を抱える事業者に向けて、積極的に発信することで、５Ｇ/ローカル５Ｇを活用したユースケースの普及に貢献したい。

8. 参考資料

【講演・記事掲載】（予定含む。すべて総務省通信規格課様へ連絡済み）

・3 月 11 日：住友商事ホームページ DX 特設ページに記事掲載済み。
https://www.sumitomocorp.com/ja/jp/business/case/group/dx

・3 月中旬：近畿総合通信局 年次会報誌へ記事掲載予定。

・4 月中旬：日経産業新聞・日経新聞大阪版に記事掲載予定。