

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

中小企業における地域共有型ローカル5Gシステム
による AI 異常検知等の実証

成果報告書

令和4年3月25日

株式会社愛媛CATV

目次

1. 実証概要	1
1.1 背景・目的	1
1.2 実証の概要	5
2. 実証環境の構築	8
2.1 実施環境	8
2.2 ネットワーク・システム構成	8
2.3 システム機能・性能・要件	19
2.4 免許及び各種許認可	24
2.5 その他要件	24
2.6 実証環境の運用	27
3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）	28
3.1 実証概要	28
3.2 実証環境	29
3.3 実証内容	30
3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定	30
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化	74
3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化	142
3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発	250
3.3.5 その他のテーマ	251
3.3.6 技術実証における追加提案	266
4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）	267
4.1 実証概要	267
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標	269
4.3 実証環境	277
4.4 実証内容	283
4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証	283
4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証	364
4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討	368
4.4.4 継続利用の見通し・実装計画	372
5. 普及啓発活動の実施	378
5.1 映像制作への協力	378
5.2 実証視察会の実施	378
5.3 その他普及啓発活動	378

6. 実施体制	379
7. スケジュール	381

1. 実証概要

1.1 背景・目的

愛媛県においては官民協働による「ものづくり企業」の促進に注力しているが、そのほとんどが中小であり、ICTの導入やスマート化の遅れによりハンディキャップが生じている。各企業における生産性の向上や熟練技術の伝承は大きな課題であり、それぞれの規模感に応じたスマート工場化が求められている。

そのような中、第5世代高速無線通信規格である5Gがローカル5Gとして地域に電波割り当てされたことで様々な地域の課題解決に活用が期待されているが、一方で自己土地利用が前提となるため、地域の中小企業などにおいては導入のコストやノウハウの不足などが高い障壁となっている。

こうした障壁を取り払うには従来大手キャリア型サービス（設備共有型）を活用することが有効だが、5Gの性能や品質を独占的に担保することが困難であったり、コストコントロールにイニシアティブが持てないといったデメリットがある。

本コンソーシアムでは、社会実装が進まないローカル5Gの最大障壁であるコストの低減化に焦点を絞り、5G機器、インフラ、ソフトウェア等のあらゆるパーツにおける地域シェアリング（注）を追求し、本モデルが高額な占有型モデルに対して5Gの品質を劣後するものではないことを証し、オール地域（地域内連携）による低コストかつ高品質な共有型ローカル5G導入の実現に資することを目的とする。

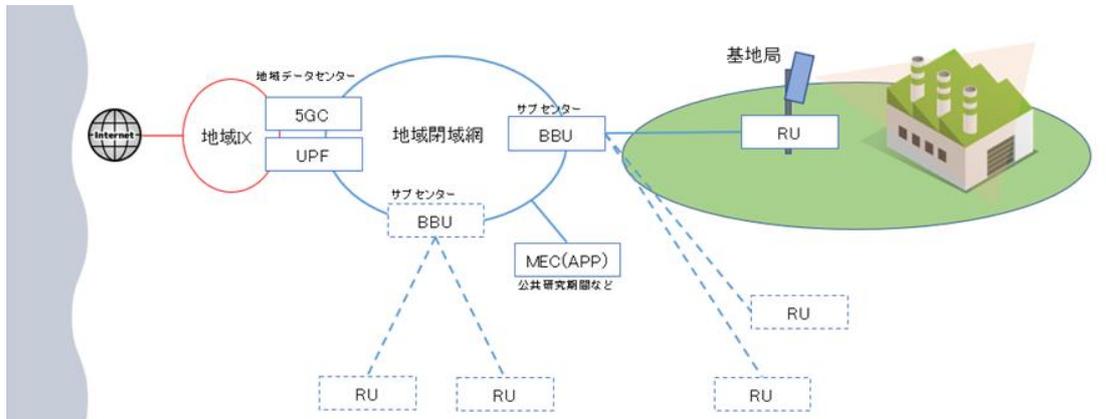
（注） 地域シェアリングモデルとは、

- ・ローカル5Gのユーザ側設備をRUのみとするなど極小化し、他の設備をすべて地域の閉域網内で共有することでオンプレミス型同等の品質・性能の確保を可能とし、ユーザ側の設備投資コストを抑制
- ・地域閉域網の活用により機密性の確保とボトルネックの回避、トラヒックの域外流出・構築運用コストの肥大化を回避
- ・ソフトウェア等についても、地域閉域網内に接続されたMECサーバーで共有し効率的に活用

するモデルであり、株愛媛CATVが令和3年6月から「サブスクリプション型ローカル5G支援サービス※1」として提供している。

本サービスの有効性を検証することにより、早期の実装横展開が実現できることから、本サブスク型サービスを採択し実証する。

地域シェアリングモデルのイメージ図



※1 愛媛 CATV のサブスクリプション型ローカル 5G 支援サービスの概要

(株)愛媛 CATV が令和 3 年 6 月から提供開始したローカル 5G 利用者向けの支援サービスで、一定の月額利用料の負担により、専門的な知識が必要な免許手続きやエリア設計、高額な費用のかかる基地局の構築・運用・保守を、愛媛 CATV が全面的にサポート支援するサービス。愛媛 CATV が免許人及び設備の所有者となり、関係設備を地域でシェアリングすることを前提としている。利用者の要望に応じて免許人を利用者とすることも可能。

ローカル5G（第5世代移动通信システム）活用をご検討の方へ

地域の暮らしとビジネスが進化する



愛媛CATVが完全バックアップ！

「ローカル5G」は自己の建物や敷地内など限られたエリアで活用するという条件のもと、免許を受け無線通信回線（5G：第5世代移动通信システム）を利用することができる電波です。

専門的な知識が必要な免許取得・エリア設定、高額な費用のかかる基地局設置など…負担が大きいローカル5Gの構築・運用・保守を、地域の電気通信事業者である愛媛CATVがサポート支援する「ローカル5G支援サービス（サブスクリプション型）」を開始いたします。

イメージ 例）工場敷地内に基地局を設置する場合



愛媛CATVでは、エリア内に構築されたネットワークとローカル5G基幹システムとなるコアネットワークを提供し、ローカル5Gの活用をサポートします。

特に大きな投資コストのコアシステムを地域内で共有化し利用することで、高額な設備投資を必要とせず、手軽に「ローカル5G」を始めることが可能な「サブスクリプション型」サービスです。

ローカル5Gの活用シーン

【超高速】・【超低遅延】・【多数同時接続】を可能とする次世代通信技術です。今後はその特徴を活かした下記のような分野での活用が期待されています。

- 集合住宅** アパート・マンション入居者向け高速ブロードバンドサービスの提供
- 工場** 安定した遠隔制御による自動生産と強固なセキュリティ
- 農業** ロボットやドローンを活用した省力化、IoT-AIによる収量予想
- 防犯・防災** 河川や危険箇所等を遅延のないネットワークで常時監視
- 医療** 高精細画像によるロボット手術や電子カルテの即時共有の高度化
- 教育** 大容量データの多数端末制御にストレスがない学習環境提供
- 家庭** CATVネットワークを活用した無線による高精細4K8K映像伝送
- エンタメ** 臨場感ある試合・ライブ映像のマルチアングルやVRの即時配信

利用開始までの流れ



Check!!
大手事業者と比べてみてください！

月額利用料（税込）

■基地局提供サービス 110,000円（1基地局）～
（免許使用料、基地局、運用・監視、標準アクセス回線費用含む）

■インターネット使用料 4,290円～（1端末）
（端末・SIMカード利用料、インターネット接続費用含む）

上記モデルは先払い。設備の所有者が管轄の場合となります。サービス提供のエリアは、原則愛媛県内といたします。最良利用期間より方向誤差、解約手数料はかかりませんが、撤去費用が必要となる場合があります。

お問い合わせ先

愛媛CATV

☎089-904-2220

〒790-8509 愛媛県松山市大手町1-11-4

MAIL: medi-sol@e-catv.ne.jp

愛媛県内の産業の現状に目を向けると、表 1-1 に示すように、製造品出荷額等が多い業種は、非鉄金属（17.1%）、石油・石炭（14.2%）、紙・パルプ（13.2%）船舶などの輸送用機械（10.0%）、食料品製造業（7.0%）等の順である。この統計結果は、製紙・紙加工業の一大集積地である四国中央市、非鉄金属や化学等において技術力の高い中小企業の機械産業群が形成されている新居浜市、西条市、造船、タオル・繊維など多種多様なものづくり企業が立地する今治市、化学、一般機械、食品加工における国内トップクラスの企業やそれらを支える技術力の高い中小関連企業が立地する松山市、柑橘栽培、漁業養殖等の第1次産業のウエイトが高く、その加工産業などが存在する宇和島市など、本県産業の地域的特徴が色濃く反映している。

表 1-1 愛媛県の主要な産業分類別統計と全国の比較（2020年工業統計調査より）

産業分類	製造品出荷額等%		事業所数%		従業者数%	
	愛媛県	全国	愛媛県	全国	愛媛県	全国
食料品製造業	7.0	9.3	17.0	13.0	17.6	14.7
繊維工業	4.4	1.1	12.0	5.8	9.9	3.1
パルプ・紙・紙加工品製造業	13.2	2.4	10.9	2.9	13.3	2.4
化学工業	8.0	9.1	2.4	2.6	5.6	4.9
石油製品・石炭製品製造業	14.2	4.3	0.6	0.5	0.9	0.3
非鉄金属製造業	17.1	3.0	0.8	1.4	2.1	1.8
金属製品製造業	1.7	4.9	7.9	13.8	4.3	7.9
はん用機械器具製造業	4.3	3.8	3.7	3.6	6.1	4.2
生産用機械器具製造業	5.6	6.5	9.6	10.0	9.6	8.1
輸送用機械器具製造業	10.0	21.1	6.1	5.2	6.8	13.8

中でも、表 1-1 の黄色マーカーで示している金属製品製造業においては、愛媛県下には高い技術力を有する精密金属加工業などを含むものづくり産業に関わる企業が数多く存在しているが、出荷額が 1.7%に対し、事業数（7.9%）、従業者数（4.3%）の割合が高く、ほとんどが中小企業であると読み取れる。また、機械設備などの IoT 化といった IT 利活用・ネットワーク接続などが進んでおらず、現場やそれに準ずる箇所にいる熟練者の経験と技能に頼っているという現状がある。全国統計においても、金属製品製造業は、出荷額 4.9%に対し、事業所数（13.8%）、従業者数（7.9%）と同様の傾向であり、事業所数は産業分類別では一番割合が高い。愛媛県の金属製品製造業が抱える課題を解決することは全国の同様の事例の解決に繋がり、日本全体の産業力を強化する原動力になりうる。

愛媛県東温市の山間部に立地するツウテック株式会社及び松山市の都市部に立地する株式会社ユタカは、アルミ・ステンレス・銅・鉄など各種素材における、航空宇宙部品・半導体製造装置部品等、**各種精密機械部品加工**を専門とした高い技術力を持つ中小企業であるが、両社においても他の県内中小企業と同様に、経験と勘といった所謂アナログに頼った業務が行われており、以下のような課題を抱えている。

- ① 加工に利用する切削機械の部品寿命の判断が難しく、早期交換によるコスト増、交換が遅れた際の機械故障や**不良品発生**に繋がる。【**設備の異常による不良品発生**】
- ② 生産の中心となる熟練技術者が他業務を兼務することから生産現場を離れる機会が多く、熟練技術を要する製品の**検品が滞っている**。遠隔地の熟練技術者がスマホで製品外観を画像確認しても、画像の精細度が不十分で帰社せざるを得ないなど非効率であり、**出荷遅れ**に繋がる。【**検品の停滞による出荷遅れ**】

- ③ 両社が有する高度な加工技術を継続するため、未熟練者への技術伝承に取り組んでいるが、熟練技術者が現場を離れることが多く、十分に進められていない。【**技術伝承の遅れによる習熟度不足**】

これらの課題に対しては、高速・低遅延性能を有したネットワーク環境を構築し、AI やスマートグラスを活用することにより解決可能と考える。ネットワーク環境構築のためにツウテック株式会社及び株式会社ユタカの工場において必要とされる通信環境条件は以下の3点である。

- 広帯域及び低遅延であり、これらの品質が外部からの影響を受けない
- イントラネット型で、ネットワーク構成等自由度が高い
- 測定機器等のモビリティが確保されている

これらの条件を考慮してネットワーク環境構築方法の優位性及び必要性を検討した結果、ローカル 5G を採用することが最も適していると考えられる。他の利用者と回線を共有する公衆 5G では品質保証が難しく、自由度も低いため適さない。また、Wi-Fi は干渉の発生が品質保証の課題となるため適さない。有線 LAN を工場内に敷設することは、モビリティが低いため、適さない。これらと比較して、ローカル 5G は高速・低遅延性を有しており、閉域のネットワークであるため外部からの影響を受けず、設置場所の状況に応じたネットワーク構成が可能であり、無線であるためモビリティが確保されている。また、本事業で提案するように地域でローカル 5G 機器をシェアすることにより各種コストを抑えることができる。

よって、本開発実証においては上記①～③の課題についてオール地域（地域内連携）による低コストかつ高品質な共有型ローカル 5G 導入により解決することを目的としている。

国内では、このような多品種小ロットの金属製品生産を担う中小企業が多く存在しており、生産工程の効率化や技術伝承における共通の課題認識を有している。本開発実証において、得られた知見は同様の課題を有する県内ものづくり企業に横展開することはもとより、人材育成・作業の効率化を進展させることによって、全国の同業他社及び他の産業への水平展開も期待され、今後の国内産業の発展に寄与していく。

1.2 実証の概要

愛媛県内の精密機械部品加工会社 2 社（ツウテック株式会社及び株式会社ユタカ）の工場をフィールドに、ローカル 5G を活用した地域シェアリングモデルによるスマート工場を設定し、ローカル 5G 普及に向けた次の技術や課題に対する実証を行った。

- (1) ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）
次の 3 つのテーマについて、各社の実情に応じた技術実証を行った。

○電波伝搬モデルの精緻化

【ツウテック】

敷地 3 面を山斜面に囲まれた場所に複数建屋を持つ工場において、屋外（工場敷地内）から複数工場建屋内及び事務所内に向けて、開放面への電波漏洩の影響を検証しつつ効率よく電波伝搬を行える基地局の置局モデルを導出する。

【ユタカ】

市街地（住宅地）に囲まれ、道路をはさむ自己土地内に7つの工場建屋が存在する環境において、屋外から各工場建屋間をつなぐローカルネットワークとしてローカル5Gを活用するモデルを導出した。

○電波反射板によるエリア構築の柔軟化

【ツウテック】

屋外から工場や事務所の建屋内に安定して電波を伝搬するための反射板の効果的な利用モデルを導出した。

【ユタカ】

一部工場建屋において屋外基地局との位置関係により電波を受信したいポイントが死角（不感エリア）又は受信不安定となる場合を想定し、同基地局からそのポイントに電波を届けるための電波反射板の効果的な利用モデルを導出した。

○その他（社会実装を実現するシェアリングモデルに即した品質確保に関する実証）

【ツウテック・ユタカ】

ユーザ側（工場側）設備を極小化し、他の設備をすべて地域の閉域網内で共有することでオンプレミス型と同等の品質・性能の確保を可能とし、地域閉域網ならではの機密性の確保が行え、外部ネットワークに起因するボトルネックと、トラヒックの域外流出・構築運用コストの肥大化を回避できる、社会実装の早期実現に資する低コストのローカル5Gネットワークモデルを導出した。

(2) ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

(2-1) 検証項目について

1.1 で示したツウテック株式会社及び株式会社ユタカが抱える3つの課題を解決するため、ローカル5Gを活用したソリューションの有効性や実装性を以下のとおり検証し、検証結果を踏まえて、着実かつ早期の実装が図れるローカル5G活用モデルを導出した。

○設備の異常検知

ローカル5Gの高速・低遅延性を活かし、設備の繊細な動作音をリアルタイムに収集して AIにより破損につながる異常音（予兆）を検知し、切削工具の適正なタイミングでの予防交換を実現し、不良品発生の低減や生産性の向上が図れることを検証した。

○検品作業の効率化

ローカル5Gの高速・低遅延性を活かし、完成した部品の高精細画像を収集し、遠隔からの検品チェックや AIを活用した検品判断により検品作業の効率化、納期の短縮や納期遅れの低減が図れることを検証した。

○熟練技術の伝承

ローカル5Gの高速・低遅延性を活かし、スマートグラスを用いて、遠隔からの熟練技術者による技術指導や作業支援を実現し、非熟練者のスキルアップ（習熟度向上）や生産性の向上が図れることを検証した。

(2-2) 実証実施場所の考え方について

(2-1) で示した検証項目の実証実施場所については以下の考え方により設定した。

○設備の異常検知

異常音検知において切削工具異常音のみならず検証環境音の違いによる影響も検証する必要があるため、ツウテック株式会社及び株式会社ユタカ両社で実施した。

○**検品作業の効率化**

AI を活用した検品の実証は、検証環境の違いに影響されないため、実証に適した画一的な製品をより多く取り扱っているツウテック株式会社のみで行った。

○**熟練技術の伝承**

株式会社ユタカに比べツウテック株式会社は熟練技術者の数が限られ、営業職と技術職が兼務されており、遠隔からの技術指導等がより求められているため、ツウテック株式会社のみで行った。なお、実証において作成されたコンテンツについては本実証の 5G ネットワークを利用して株式会社ユタカでも共有可能な状態とした。

2. 実証環境の構築

精密機械部品加工会社 2 社（ツウテック株式会社（愛媛県東温市）及び株式会社ユタカ（愛媛県松山市））の工場をフィールドとしてローカル 5G をインフラとした地域シェアリングモデルによる実証環境を構築した。

2.1 実施環境

5G のインフラとネットワークは株式会社愛媛CATV の地域シェアリングモデルを活用し、スマート工場ソリューションに必要なMECサーバー等は愛媛県産業技術研究所を中心に提供し、実証環境を構築した。

愛媛県産業技術研究所は、産学官共同研究の拠点となっており、今後もスマート工場関係ソリューションの検証等での利用が見込まれることから、本実証におけるMECサーバーの設置場所とした。

2.2 ネットワーク・システム構成

表 2-1 ローカル 5G システム（基地局）の概要

	基地局 A(F5G-J001001-00) ツウテック社工場	基地局 B (F5G-J001001-00) ユタカ社工場
製造ベンダ	フォックスコン・ジャパン	フォックスコン・ジャパン
台数	1 台	1 台
設置場所（屋内/屋外）	屋外	屋外
同期/準同期	同期/準同期	同期/準同期
UL : DL 比率	1:4/1:1 (両方に対応)	1:4/1:1 (両方に対応)
周波数帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz	4.8~4.9GHz
DL 周波数		
UL 帯域幅	100MHz	100MHz
DL 帯域幅		
UL 中心周波数	4.85GHz	4.85GHz
DL 中心周波数		
UL 変調方式	256QAM	256QAM
DL 変調方式		
MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO

基地局無線部特性（無線局数、周波数帯、通信方式、SA/NSA、帯域幅ほか）

基地局アンテナ製品コード	F5G-J001001-00
ベンダー	フォックスコン・ジャパン 工事設計認証書上の製造者

	HON LINTechnology Co.Ltd.
基地局アンテナ数	8T8R
周波数帯	4.8GHz～4.9GHz 100MHz
送信出力	2W
通信方式	5G NR TDD
SA/NSA	SA 方式
フロントホール	O-RAN option 7.2
技術適合証明番号	020-210149

コアネットワーク性能（機種、同時接続数、最大スループット等）

CUDU 製品コード	F5G-J002001-00
ベンダー	フォックスコン・ジャパン
RU 収容数	3
同時接続数	128UE/Cell
5G C/UPF 型番	F5G-J005002-00
ベンダー	フォックスコン・ジャパン
最大スループット	6Gbps

端末の概要（端末数、機種、製造ベンダー、その他諸元）

端末製品コード	T99W288 ※FOXCONN IDU の場合
製造ベンダー	フォックスコン・ジャパン 工事設計認証書上の製造者 HON LINTechnology Co.Ltd.
WiFi 接続可能端末数	16
外部接続インターフェース	Ether×2つ 2.4GHz 802.11b/g/n/ax 5GHz 802.11a/n/ac/ax
技術適合証明番号	005-102707

端末製品コード	RTL0306
製造ベンダー	ASKEY Computer Corporation
WiFi 接続可能端末数	-
外部接続インターフェース	PoE
技術適合証明番号	020-210023

【ツウテック社工場】

設置場所（建物内の見取り図等）

◆事業実施場所

【住所】

● 愛媛県東温市則之内甲208番地1



【所有者】

- ツウテック株式会社(屋内・屋外 自己土地)
 - ・ 敷地面積: 6,836m²
 - ・ 建屋4棟(事務所建屋 1 棟、工場建屋 3 棟)

【ローカル5Gを導入する場所及びその周辺の写真】



◆事業実施場所



【見取り図】

白枠内は敷地(自己土地)

敷地面積: 6,836m²

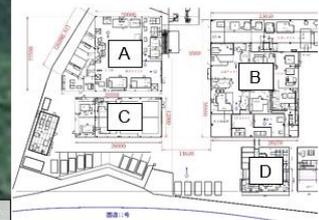
赤線内は建屋(4棟)

A: 工場建屋 1 (ローカル5G利用)

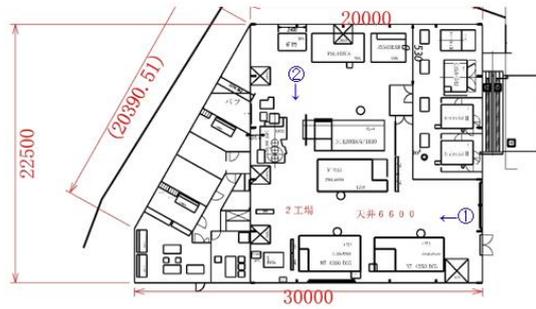
B: 工場建屋 2 (ローカル5G利用)

C: 工場建屋 3

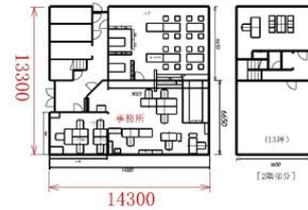
D: 事務所建屋(ローカル5G利用)



◆事業実施場所



【工場建屋1：図面】
幅30(20)m×奥行23m×高さ6.6m



【事務所建屋：図面】
幅14m×奥行13m（一部2階建）



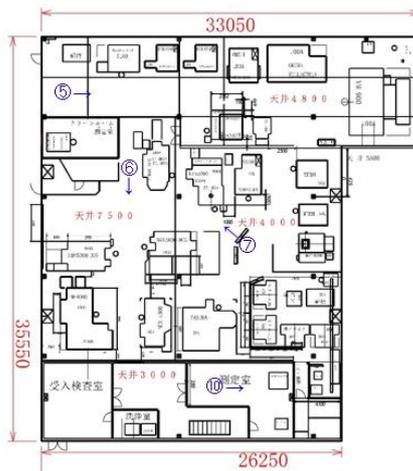
加工機器①



加工機器②

【工場建屋1：内部写真】

◆事業実施場所



【工場建屋2：図面】
幅33(26)m×奥行36m×高さ7.5(4.0・3.0)m



加工機器⑤



加工機器⑥



加工機器⑦

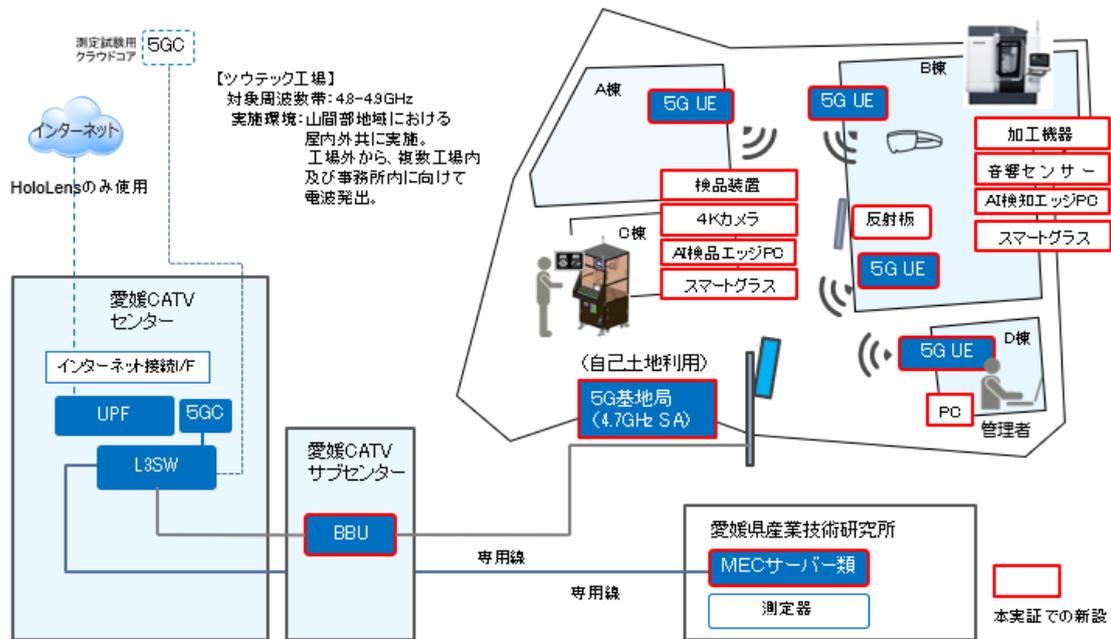


計測機器⑧

【工場建屋2：内部写真】

基地局エリアカバレッジを含む実証環境
ネットワーク・システム構成図

ツウテック工場 配置構成図



【ユタカ社工場】

設置場所（建物内の見取り図等）

◆事業実施場所

【住所】

- 愛媛県松山市西垣生町822-2

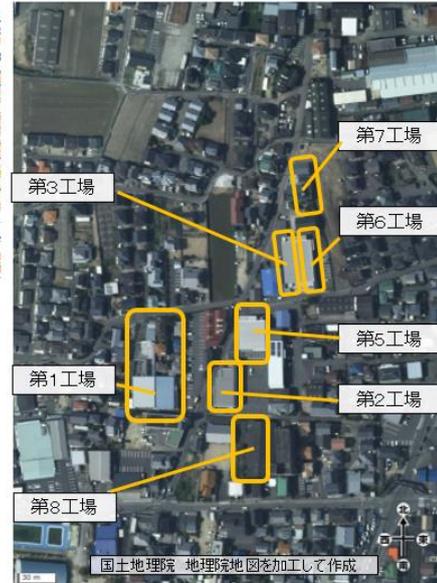


【所有者】

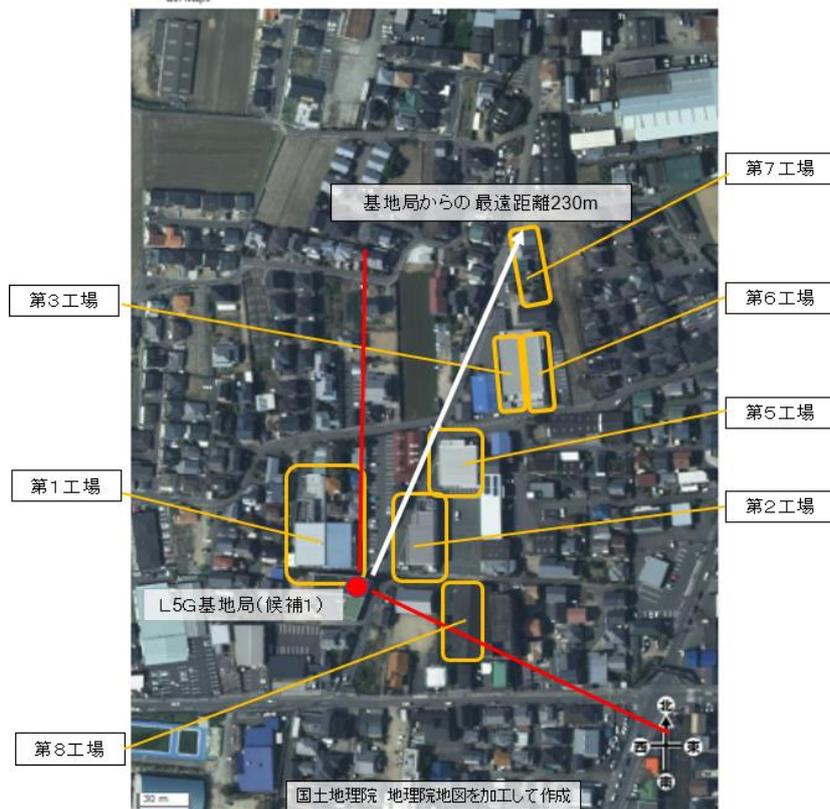
- 株式会社ユタカ(屋内・屋外 自己土地)
 - ・ 松山市西垣生町 第1～第8工場(今回の実証環境)
 - ・ 敷地面積:
 - 第1工場 1084m²
 - 第2工場 756.23m²
 - 第3工場 865.8m²
 - 第5工場 465.75m²
 - 第6工場 801.89m²
 - 第7工場 760.93m²
 - 第8工場 911.78m²

【ローカル5Gを導入する場所及びその周辺の写真】

地理院地図



地理院地図 L5G基地局設置場所とカバーエリア



◆事業実施場所

第1工場 1階=1084㎡（工場）

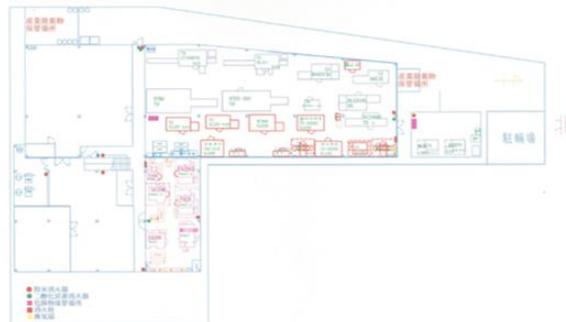


株式会社ユタカ

【第1工場建屋：外観写真】

第1工場 レイアウト

株式会社ユタカ



【第1工場建屋：図面】

事務所棟 13,500×24,300×7,775
増築部分 16,600×48,800×8,690

◆事業実施場所

第2工場 1階=756.23㎡（工場）



株式会社ユタカ

【第2工場建屋：外観写真】

第2工場 レイアウト



2020/8/20 作成 長田 勝敏

株式会社ユタカ

【第2工場建屋：図面】
13,900×35,100×9,185

◆事業実施場所

第3工場 865.8㎡ (工場)



株式会社ユタカ

【第3工場建屋：外観写真】

第3工場 レイアウト

株式会社ユタカ



【第3工場建屋：図面】
22,200×39,000×8,285

◆事業実施場所

株式会社ユタカ 工場案内

第5工場 465.75㎡ (工場)



株式会社ユタカ

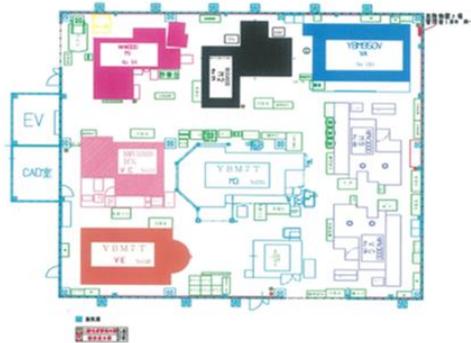
【第5工場建屋：外観写真】

第5工場 レイアウト

株式会社ユタカ

第5工場レイアウト

名称	面積	用途
2020/05/31	基本	内装



【第5工場建屋：図面】
20,250×23,000×9,785

◆事業実施場所

株式会社ユタカ 工場案内

第6工場 801.89㎡ (工場)

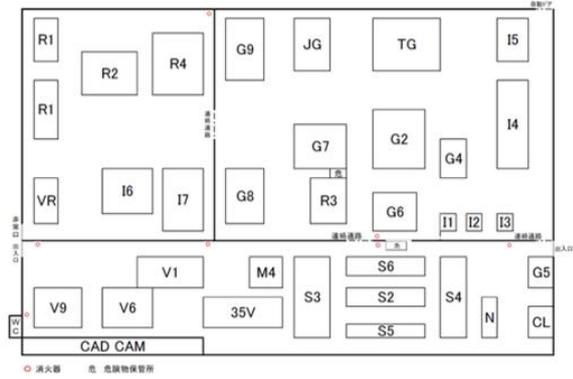


株式会社ユタカ

【第6工場建屋：外観写真】

第6工場 レイアウト

株式会社ユタカ



【第6工場建屋：図面】
22,200×39,000×5,535

◆事業実施場所

株式会社ユタカ 工場案内

第7工場 760.93㎡ (工場)



株式会社ユタカ

【第7工場建屋：外観写真】

第7工場 レイアウト

株式会社ユタカ



【第7工場建屋：図面】
19,675×38,675×8,100

株式会社ユタカ 工場案内

第8工場 911.78㎡ (工場)



株式会社ユタカ

【第8工場建屋：外観写真】

第8工場 レイアウト

株式会社ユタカ

第八工場レイアウト図



2020/6/24 作成 伊藤

【第8工場建屋：図面】

20,175×40,175×8.100

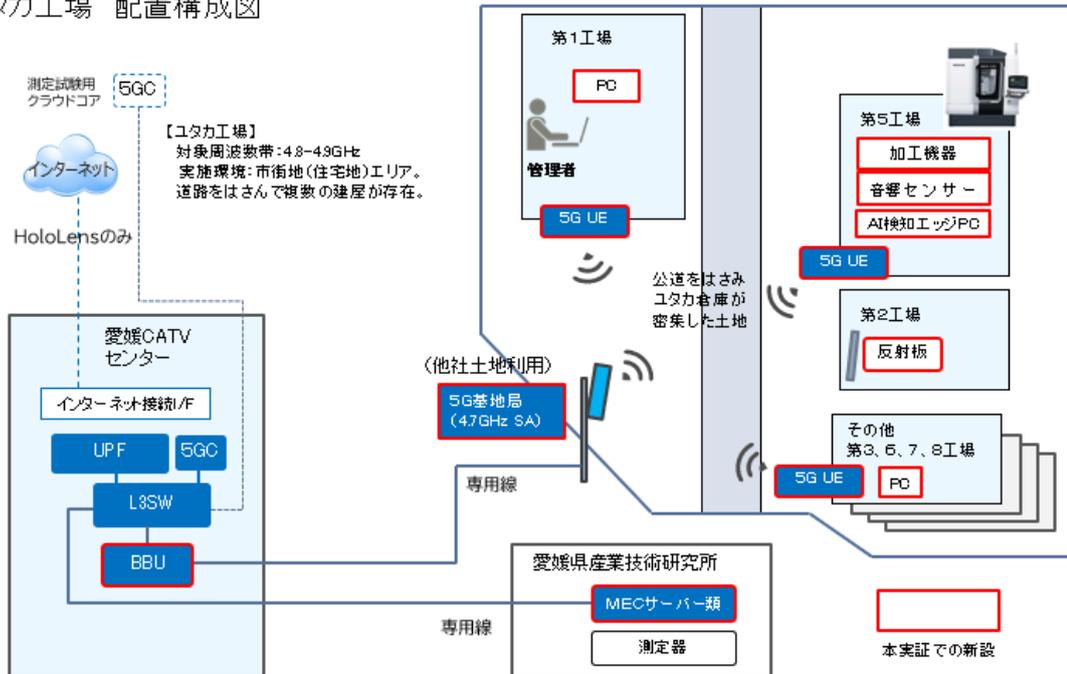
【第5工場写真】 ◆機械加工 細溝刃物破損実証実験場所

株式会社ユタカ

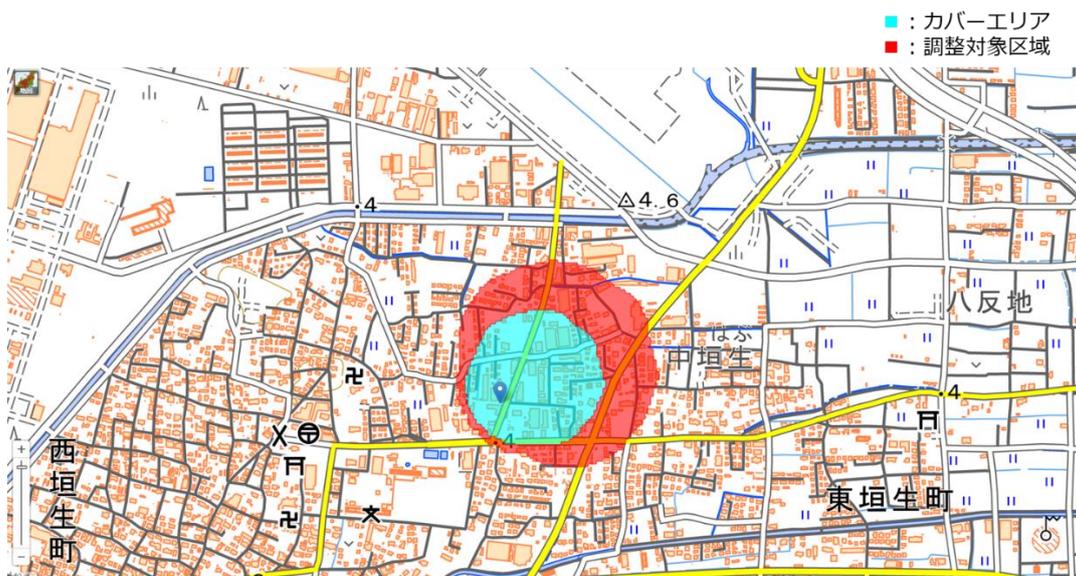


基地局エリアカバレッジを含む実証環境
ネットワーク・システム構成図

ユタカ工場 配置構成図



■カバーエリア図



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>)
・標準地図を加工して作成

※市街地（中小都市）の条件で計算

2.3 システム機能・性能・要件

(1) システム機能

- ・ローカル 5G・地域閉域網内通信機能
- ・電波伝搬シミュレーション機能
- ・電波測定機能
- ・AI 音響分析異常検知機能
- ・AI 画像分析検品機能
- ・スマートグラス機能

(2) システム性能・要件

ローカル 5G・地域閉域網内通信機能

項目	システム性能・要件
スループット (上り)	30Mbps～
スループット (下り)	150～200Mbps
基地局の数	1 局
移動局の数	10 台以上
移動局と接続するデバイス数	最大 30 台
利用する周波数帯	4.8～4.9GHz
アンカーバンドの構成	なし (SA 対応)

※課題解決システムから要求される伝送性能としては、UL はスマートグラス:約 1.5Mbps×3 台分、音響・振動データ:約 1.5Mbps×1 台分、4K カメラ画像:約 24Mbps×1 台分 (フレームレート等の調整により回線能力を最大限に活かし伝送) の計 30Mbps を想定。DL はスマートグラス:約 1.5Mbps×3 台分、音響・振動データ:約 1.5Mbps×1 台分、4K カメラ画像:約 144Mbps×1 台分 (フレームレート等の調整により回線能力を最大限に利用して伝送) の計 150Mbps を想定。

電波伝搬シミュレーション機能

<システム 性能・要件>

項目	システム性能・要件
ライセンス	Wireless InSite Standard : 1 つ
電波伝搬式	X3D / Urban Canyon(2D) / Vertical Plane(2D) / Full-3D / Free Space
計算対象	受信電力、伝搬損失、遅延スプレッド、位相を計算できること
付属ツール	標高データ、建物データを変換できること 電波法関係審査基準に記載されている計算式にて受信レベルを計算できること
地形データ	国土地理院 10m メッシュ、DTED、DEM、DSMW、ARC/INFO ASCII GRID、KMZ、

	COLLADA、TIFF、BigTIFF、GeoTIFFに対応していること
建物データ	手作業で任意の建物データをインポートできること ゼンリン Zmap AREA II を利用できること

<シミュレーション用 PC 動作環境>

項目	システム動作環境
OS	Windows 10 64 bit 推奨
CPU	Xeon、core i7 推奨
RAM	8GB 以上
空きディスク	500GB 以上
GPU	NVIDIA compute capability 3.0-6.1 対応
解像度	1024×768 以上 Graphics card with OpenGL acceleration

電波測定機能

<受信電力測定 性能・要件>

項目	システム性能・要件
測定周波数	4400 MHz～4900 MHz
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
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
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

トリガモード	時間モード (内部トリガ)、距離モード (外部トリガ)
サンプリング間隔	最小 : 2 × SS 周期
データ処理方法	平均値、中央値、最小値、最大値

<5GNR データ測定 性能・要件>

項目	システム性能・要件
ライセンス	Singma-LA NR5G : 1つ
データ取得	チップセットからレイヤ 1、2、3 のデータを直接収集 収集データをリアルタイムで表示 詳細解析のために、ログデータをディスクに保存

<5GNR データ測定用 PC 動作環境>

項目	システム動作環境
OS	Windows 10 64 bit 推奨
CPU	第 7 世代 core i5 推奨
RAM	8GB 以上
空きディスク	50GB 以上 (SSD 推奨)
接続ポート	USB3.0 以上 (安定して電源供給できること)

<iperf スループット測定用 PC 動作環境>

項目	システム動作環境
台数	2 台
OS	Windows 10 64 bit 推奨
CPU	core i3 推奨
RAM	8GB 以上
空きディスク	20GB 以上
解像度	1024×768 以上

A I 音響分析異常検知機能

< A I 音響分析異常検知 構成・機能要件 >

エッジ PC	1 台
管理者 PC	1 台
高周波数対応マイク	1 本 ※最終的な性能・機能要件は、プロジェクト評価結果より決定する。周波数などの条件
USB 型振動センサー	1 台 ※最終的な性能・機能要件は、プロジェクト評価結果より決定する。軸数、サイズ、周波数などの条件

<エッジ PC・管理者 PC 構成・機能要件 >

CPU	Intel Core i3 以上推奨
-----	--------------------

メモリ	8GB 以上推奨 (最低 4GB)
ストレージ	10GB 以上
オーディオ	OS 対応のオーディオデバイス オーディオミキサーが正常に動作すること
USB	2 ポート以上推奨
ネットワーク接続	1 ポート以上推奨
実行環境	.NET Framework 4.6.1 以降 Microsoft Visual C++ 2017 ランタイムライブラリ (x64)

<ライセンス 構成・機能要件>

エッジ PC 向けライセンス	COLMINA 音響分析診断 V1 クライアント
管理者 PC 向けライセンス	COLMINA 音響分析診断 V1 基本

<システム 性能・機能要件>

音響・振動データ収録	エッジ側に接続したデバイス (高周波数対応マイク、USB 型振動センサー) からデータ収録できること。
音響・振動データの可視化	収録されたデータを波形、スペクトログラムの表示ができること。
音響・振動データの診断	収録されたデータを診断アルゴリズムに基づいて異常検知通知に必要な採点する機能を有すること。
対象設備の工具(ドリル)の異常検知通知	異常検知通知において、安全、注意、危険など多段に診断する機能を有すること。

A I 画像分析検品機能

< A I 画像分析検品 構成・機能要件>

エッジ PC	1 台
ロボット	1 台
カメラ	2 台 ※最終的な性能・機能要件は、プロジェクト評価結果より決定。
照明	7 台 ※最終的な性能・機能要件は、プロジェクト評価結果より決定。

<エッジ PC・管理者 PC 構成・機能要件>

OS	Windows 10 Pro x64
CPU	Intel Core i5 以上推奨
メモリ	16GB 以上
ストレージ	SSD : 256GB 以上
USB	6 ポート以上推奨
ネットワーク接続	2 ポート以上推奨
モニタ解像度	1920×1024 以上

<ライセンス 構成・機能要件>

エッジ PC 向けライセンス	COLMINA Service AI-Pro V1 1 ライセンス (保守含む)
----------------	---

<システム 性能・機能要件>

検品対象の学習、再学習機能	検品対象の良否判定を行うために、良否判定学習モデルを自動生成する機能を有すること
画像検品機能	対象画像を撮像し、学習モデルを利用して良否判定を行う機能を有すること
リモート表示機能	画像検品のためにエッジ PC で撮像した画像を伝送先で表示する機能を有すること

スマートグラス機能

<スマートグラス性能・要件>

デバイス製品名 (スマートグラス)	Microsoft HoloLens2
オペレーティングシステム	ビルド 10.0.17134 以降
インターネット接続	少なくとも 1.5 Mbps の帯域幅推奨
端末数	3 台

<PC 性能・要件>

デバイス製品名 (スマートグラス) (Teams および Guides Autor 機能使用)	Microsoft HoloLens2
オペレーティングシステム	Windows 10 ビルド 10.0.17134 (April 2018 Update 1803) 以降を実行する PC
インターネット接続	少なくとも 1.5 Mbps の帯域幅推奨
コンピューターとプロセッサ	最小速度 1.1 GHz 以上、4 コアプロセッサまたはそれ以上
メモリ	4.0 GB RAM 以上 (Teams では、他のシステム要件に加えて、4 GB の専用 RAM が必要)
ハード ディスク	3.0 GB 以上の空きディスク容量
ディスプレイ	1024 x 768 の画面解像度
NET のバージョン	NET 4.5 CLR 以降が必要
端末数	1 台以上

<ライセンス性能・要件 Dynamics365Guides>

必要とされる製品	詳細
Dynamics 365Guides	有効な Dynamics 365Guides サブスクリプションがある PC と HoloLens で実行されている Dynamics 365Guides ソフト
Azure Active Directory (Azure AD) アカウント	以下を行う際に必要。 <ul style="list-style-type: none"> • Dynamics 365Guides サブスクリプションの購入とライセンスの割り当て。ライセンス ユーザごとに Azure AD アカウントが必要。 • ユーザによるアプリへのサインイン。
ネットワークの接続性	アプリをダウンロードしてそのすべての機能を PC と HoloLens で使用するには、インターネット接続が必要。 (ガイドの再生はオフラインモードで操作可能です。ガイド作成時はインターネット接続が必要)

<ライセンス性能・要件 Dynamics365 RemoteAssist および Teams>

必要とされる製品	詳細
----------	----

Dynamics 365 RemoteAssist	通話機能は、HoloLens またはデバイス上の Dynamics 365 Remote Assist を通じて使用。 機能は次のとおり。 - 電話をかける - Mixed Reality の注釈を使う (HoloLens 側の RemoteAssist のライセンスは Microsoft Teams および Microsoft Dataverse が含まれる)
Microsoft Office365 E1 (Teams)	PC 側の通話は Teams 。
Azure Active Directory (Azure AD) アカウント	以下を行う際に必要。 ・ Dynamics 365 Remote Assist サブスクリプションの購入とライセンスの割り当て。ライセンスユーザーごとに Azure AD アカウントが必要。 ・ ユーザによるアプリへのサインイン。
ネットワークの接続性	アプリでの通話を PC と HoloLens で使用するには、インターネット接続が必要。

2.4 免許及び各種許認可

本実証で使用するローカル 5G については、電波法に基づく実験試験局 27 局の申請を(株)愛媛CATVが行い、四国総合通信局から令和 3 年 12 月 3 日に免許の交付を受けた。

2.5 その他要件

(1) 基地局、コア設備等の開発供給計画認定

基地局、コア設備等については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和 2 年法律第 37 号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器を使用。

認定開発供給事業者名： 株式会社グレープ・ワン
フォックスコン・ジャパン株式会社

開発供給計画認定番号： 2021 開 1 総経第 0003 号-1

認定日等： 令和 3 年 5 月 13 日認定

(2) 本開発実証事業で導入するシステムのサイバーセキュリティ対策

本開発実証事業で導入するシステムのサプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策は、「政府機関等の情報セキュリティ対策のための統一基準群（平成三十年度版）」、「IT 調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ（平成三十年十二月十日関係省庁申合せ）」並びに「第五世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設に関する指針（平成三十一年総務省告示第二十四号）」及び「ローカル 5G 導入に関するガイドライン（令和元年十二月総務省策定）」に留意し、適切にサプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ

ティ対策を実施していることを示し総務省及び経産省に開発供給計画の認定を受けたものである。

(3) クラウドサービスの利用等、外部のネットワークへの接続やデータ伝送

本実証で使用する 5G のインフラとネットワークは株式会社愛媛CATVの地域閉域網を利用し、以下の場合をのぞきクラウドサービスは利用していない。

- ・5Gコア装置がクラウド上にあるケースとローカルにある場合の比較測定。本件におけるサイバーセキュリティ対策は前項(2)のとおり。

- ・マイクロソフトのスマートグラスによる作業ガイド作成等については、マイクロソフトのクラウドサービスを利用した。

利用クラウドサービスは政府情報システムのためのセキュリティ評価制度 (Information system Security Management and Assessment Program: 通称、ISMAP (イスマップ)) へ登録されており、個人情報の管理等を含むサイバーセキュリティ対策を講じられていると判断。

(4) 開発を伴う機器の利用

次の一部ソリューションについては、開発を伴う機器を利用。

ソリューション	開発内容
音響・振動診断による設備の異常検知	・検知 AI の構築
検品対象の AI 画像解析	・検品 AI の構築 ・外観検査装置

(5) 開発を伴わない機器の利用

開発を伴わない機器	機器固有の性能
5Gのインフラ、ネットワーク機器	無線設備については電波法に基づく技術基準適合証明、ネットワーク機器については電気通信事業法に基づく技術基準適合認定等を受けた機器を使用。 2021年10月15日～11月2日 工場出荷前に EVM および TxPower 測定実施。 2021年11月9日～25日 5GC～UE 疎通確認済み。 ラボでの 5mOTA 試験で以下性能を確認済み。 DL UDP842Mbps (1UE)、1040Mbps (2UE) ULUDP116Mbps
受信電力測定機 (アンリツ製エリアテスタ)	2021年11月8日に校正証明書を確認。
スマートグラス	<ul style="list-style-type: none"> ・関連する政府機関の SAR レベルに準拠 ・ICNIRP の国際的なガイドラインで推奨されている電波 (無線周波数の電磁場) への曝露の制限を超えない設計 ・ICNIRP のモバイル機器の SAR 制限値は、10g の組織で平均して 2.0W/kg ・本機器で記録された SAR の最大値は 0.17 W/kg over 10g ・最大 SAR 値を記録したときの周波数帯は WLAN 2.4 GHz ・目の保護は、ANSI Z87.1、CSA Z94.3、および EN166 の規格試験済みであり、基本的な衝撃保護要件に準拠

(6) 実証に用いた機材の実証前の品質担保確認方法・日程

①検知 AI の構築

課題実証を行うために必要な異常検知システムの既存ソフトウェア COLMINA 音響分析診断を事前テスト確認用のエッジ PC、管理者 PC へインストールし、必要な診断アルゴリズムを実装した環境が稼働するかを動作確認テスト仕様書に従って確認した。また、課題実証を行うために必要なローカル 5G ネットワーク環境が期待どおりに動作することを疑似のローカルネットワーク環境にて、動作確認テスト仕様書に従って確認した。

・期間：1/18～1/25

②検品 AI

実証に用いた機材	事前入手済のサンプル (OK/NG 品)
品質担保確認方法	検品 AI ツール作成の学習モデルでの正答率が 90%以上となること
確認日	2022 年 2 月 9 日～2 月 14 日

③外観検品装置

実証に用いた機材	3D モデル検証ツール (VPS-IOC)
品質担保確認方法	バーチャル上での動作確認 (ロボット・PLC 連携含む)
確認日	2022 年 1 月 17 日～2 月 4 日

④スマートグラス

実証に用いた機材	HoloLens2
品質担保確認方法	Wi-fi ネットワーク上での動作確認
確認日	2022 年 1 月 14 日



(7) 事前のラボ等での動作・性能(品質)確認項目と動作の妥当性の確認方法・日程

①検知 AI の構築

課題実証を行うために必要な異常検知システムの既存ソフトウェア COLMINA 音響分析診断をエッジ PC、管理者 PC へインストールし、必要な診断アルゴリズムを実装した環境が稼働するかを動作確認テスト仕様書に従って確認する。また、課題実証を行うために必要なローカル 5G ネットワーク環境が期待どおりに動作することを動作確認テスト仕様書に従って確認した。

- ・テスト項目：Ⅰ. エッジ PC と遠隔地 PC の通信、
Ⅱ. 事前の現地収録音源による COLMINA 音響分析診断の診断結果チェック
- ・テスト方法：Ⅰ. エッジ PC と遠隔地 PC の通信を有線 LAN ケーブルで実施
Ⅱ. COLMINA 音響分析診断に事前の現地収録音源を取り込みし、正常か異常かの診断を正しく判定できるか確認
- ・期間：1/26～1/28、2/2～3

②検品対象の AI 画像解析

検品 AI、外観検品装置（エッジ PC 含む）、遠隔地 PC を結合してのシステム検証（自動検品）を実施。

テスト項目	エッジ PC と遠隔地 PC の通信（検品結果の送受信、相互通知機能）
テスト方法	エッジ PC と遠隔地 PC の通信を有線 LAN ケーブルで実施
期間	2022 年 2 月 9 日～2 月 14 日

④ スマートグラス

テスト項目	作成コンテンツの確認
テスト方法	愛媛県産業技術研究所のローカルネットワークエリア内で、同エリア内サーバーに配置したコンテンツをスマートグラスから確認
期間	2022 年 1 月 24 日～1 月 28 日

2.6 実証環境の運用

実証環境で使用する 5G のインフラとネットワークは株式会社愛媛 C A T V が、スマート工場ソリューションに必要な MEC サーバー等は愛媛県産業技術研究所が中心となり運用した。

また、実証時におけるトラブル・異常時の連絡体制や責任の分解については、コンソーシアム構成員間で「愛媛県ローカル 5G 開発実証に関する契約」を締結し、本契約に基づき、各構成員の業務分担と責任の所在を明確化するとともに、実証時に事故が発生した場合に直ちに代表者へ報告する連絡体制を確立した。

3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

ローカル 5G 導入コストの低減化を目指し、2つの異なる環境下において技術検討を行った。

1 か所目（ツウテック株式会社）は三方を山斜面に囲まれている工場敷地内において、屋外の基地局から複数工場建屋内や事務所の建屋内に向けて 5G の電波を発出することとし、5G の電波伝搬特性等を踏まえた効率的な電波設計の在り方、及び地域閉域網を活かした 5G インフラやネットワークを構築する場合の HW や SW の高品質共有に係る技術的検討を行った。

2 か所目（株式会社ユタカ）は市街地（住宅地）に囲まれ、道路をはさむ自己土地内に 7 つの工場建屋が存在している。この環境において、屋外から各工場建屋間をつなぐローカルネットワークとしてローカル 5G を活用する場合の 5G の電波伝搬特性等を踏まえた効率的な電波設計の在り方、及び地域閉域網を活かした 5G インフラやネットワークを構築する場合の HW や SW の高品質共有に係る技術的検討を行った。

表 3-1 技術実証の概要

項目			該当 (○、×)	
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○	
		28GHz 帯	×	
		キャリア 5G の周波数帯	×	
	屋内外	屋内	○	
		屋外	○	
		半屋内	×	
	周辺環境	都市部	○	
		郊外	○	
		開放地	×	
		その他	○	
	テーマ別 実証	I. 電波伝搬モデルの 精緻化	K の精緻化	×
			S の精緻化	○
R の精緻化			○	
その他の精緻化			○	
II. 電波反射板による エリア構築の柔軟化		実施の有無	○	
III. 準同期 TDD の追 加パターンの開発		TDD2 の検討	×	
		TDD3 の検討	×	
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×	
		追加パターンを具備した実機での検証	×	
IV. その他のテーマ		実施の有無	○	

3.2 実証環境

ローカル 5G の電波伝搬特性の検証については、ツウテック株式会社の工場敷地内および株式会社ユタカの工場敷地内、及びそれぞれの周辺で評価を実施した。

また両社工場において実施したHWやSWの高品質共有の検証については、両社工場のほか、5G のインフラとネットワークの地域シェアリングモデルを提供する株式会社愛媛CATV及びスマート工場ソリューションに必要なMECサーバー等を設置する愛媛県技術研究所を中心に実施した。

【ツウテック株式会社】

三方を山に囲まれているツウテック株式会社敷地内にRUを設置し、屋内にあるUEと通信した。

建物外壁の素材(金属等)により、直接波の屋内浸透による通信がし難いと予想しており、市販の金属板による反射波をガラス越し等により屋内浸透させ通信を実現し評価を行った。



図 3-1 ツウテック株式会社周辺図 (地図：国土地理院ウェブサイトより)

【株式会社ユタカ】

市街地に 7 つの工場が道路を挟んで点在する株式会社ユタカは周辺に設置する 1 つのRUと、工場建物の屋外に設置したUEが通信した。

RUを1つでカバーエリアを構築するために、十分な受信電力を得られないUEが見込まれることから、市販の反射板による反射波により受信電力の改善を計り通信を実現し評価を行った。



図 3-2 株式会社ユタカ周辺図（地図：国土地理院ウェブサイトより）

3.3 実証内容

3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

【ツウテック株式会社】

三方を山斜面に囲まれた中に複数の工場建屋が存在する複雑な環境である。この環境では、電波法関係審査基準（平成13年総務省訓令第67号）に規定するエリア算出法（パラメー

タ仮説) による受信電力や伝送性能のシミュレーション結果と実測値を比較すると、誤差が生じてしまい精度を追求することが困難であることを検証した。

ここでの実証を踏まえ、3.3.2 以降において、この課題を解決するため3次元レイトレース法による精緻化を図った。

(1) エリア算出法によるカバーエリアの算出

電波法関係審査基準に規定するエリア算出法によりシミュレーションした基地局(4.7GHz 帯) のカバーエリア及び調整対象区域の図は下図のとおりとなる。

なお、エリア算出法のパラメータについては、今回の実証環境の環境条件に基づき、次表のとおり仮説した。

表 3-2 エリア算出法パラメータ仮説値

精緻化の対象パラメータ	実施環境の要件	今回の実証環境における仮説値
K ⁹	基地局設置場所の地形情報として、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬影響等を特に考慮する場所ではない。	0
S ¹⁰	基地局設置場所が敷地3面を山斜面に囲まれた郊外地である	12.3
R ¹¹	基地局設置場所が屋外であり、屋内への伝搬を目的とする	16.2

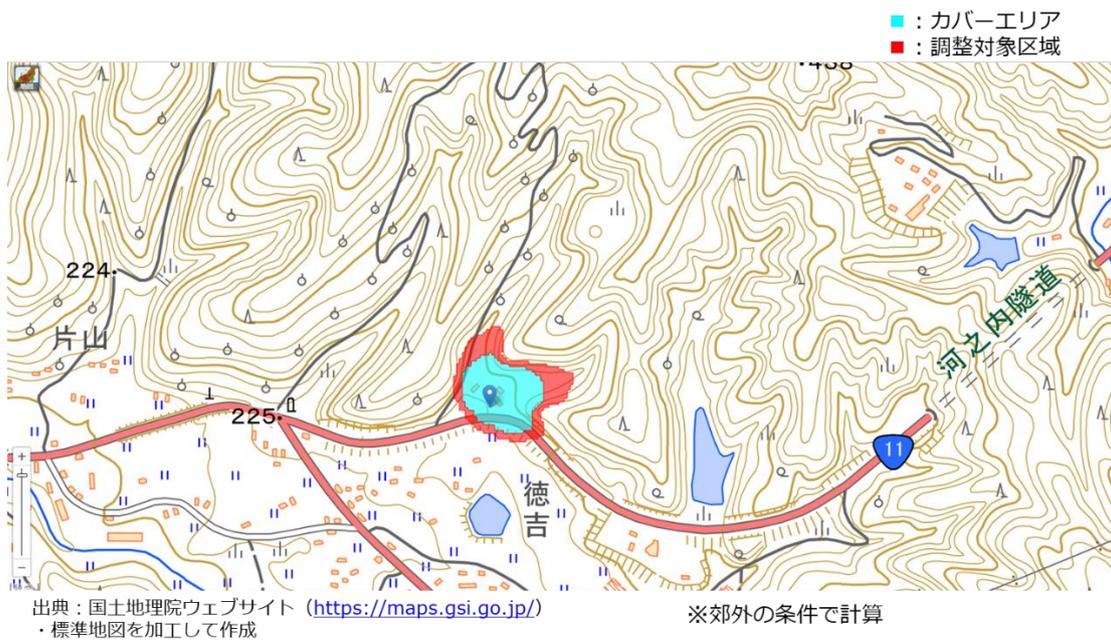


図 3-3 ツウテック株式会社シミュレーション：屋内浸透あり

(参考) 設定パラメータ

- ・ EIRP : 45.53dBm
- ・ アンテナ高 : 9.3m
- ・ チルト角 : 3 度
- ・ 指向方向 : 45 度
- ・ 伝搬条件 : 郊外、屋内浸透あり
- ・ 緯度 : 33.796072 経度 : 132.954147

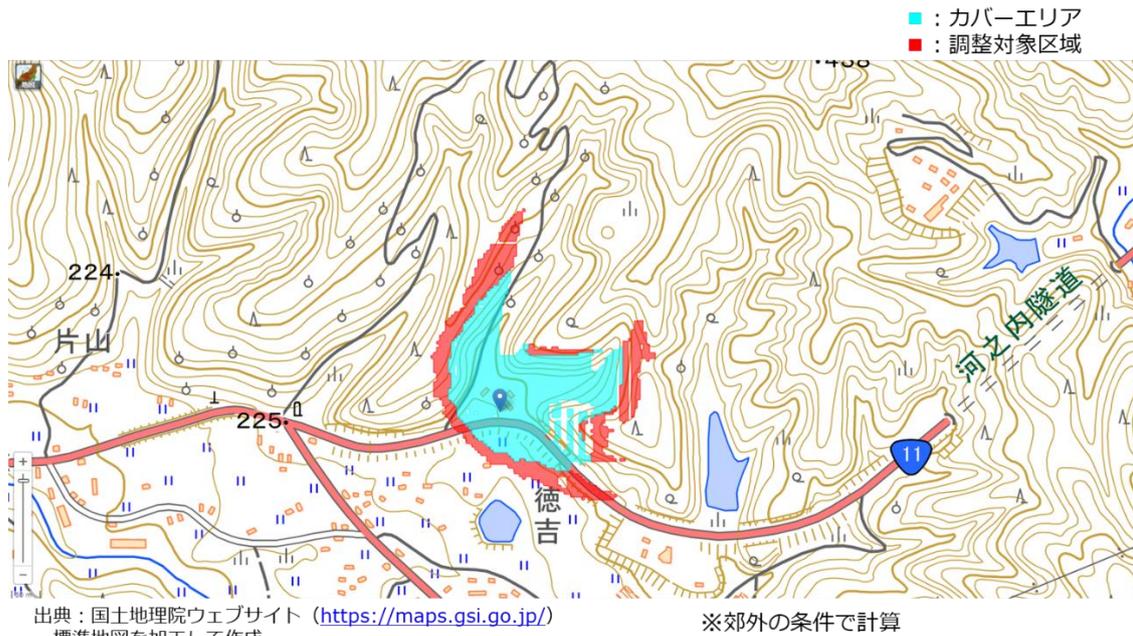


図 3-4 ツウテック株式会社シミュレーション（屋内浸透なし）

（参考）設定パラメータ

- ・ EIRP : 45.53dBm
- ・ アンテナ高 : 9.3m
- ・ チルト角 : 3 度
- ・ 指向方向 : 45 度
- ・ 伝搬条件 : 郊外、屋内浸透なし
- ・ 緯度 : 33.796072 経度 : 132.954147

（2）カバーエリアにおける受信電力及び伝送性能の測定

算出されたカバーエリア端、干渉調整区域端における実際の受信電力を測定し、算結果と異なる場合には、夫々の閾値が測定されるポイントを探索した。

カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能（アップリンク／ダウンリンク別の伝送スループット、伝送遅延等）を測定した。

【株式会社ユタカ】

市街地（住宅地）に囲まれ、道路をはさむ自己土地内に 7 つの工場建屋が存在する環境において、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）に規定するエリア算出法（パラメータ仮説）による受信電力や伝送性能のシミュレーション結果と実測値を比較すると、誤差が生じてしまい精度を追求することが困難であることを検証した。

ここでの実証を踏まえ、3.3.2 以降において、この課題を解決するため 3 次元レイトレーシング法による精緻化を図った。

(1) エリア算出法によるカバーエリアの算出
 電波法関係審査基準に規定するエリア算出法によりシミュレーションした基地局(4.7GHz帯)のカバーエリア及び調整対象区域の図は下図のとおりとなる。
 なお、エリア算出法のパラメータについては、今回の実証環境の環境条件に基づき、次表のとおり仮説した。

表 3-3 エリア算出法パラメータ仮説値

精緻化の対象パラメータ	実施環境の要件	今回の実証環境における仮説値
K ⁹	基地局設置場所の地形情報として、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬影響等を特に考慮する場所ではない。	0
S ¹⁰	基地局設置場所が市街地である	0
R ¹¹	基地局設置場所が屋外であり、各工場建屋向けの屋外の伝搬を目的とする	0

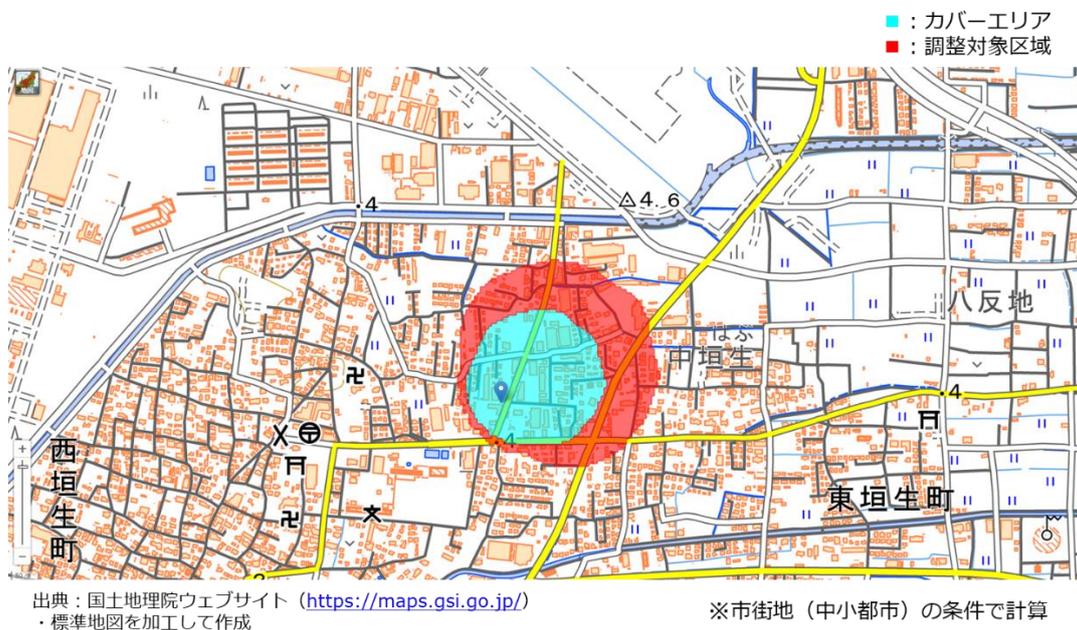


図 3-5 株式会社ユタカシミュレーション

(参考) 設定パラメータ

- ・ EIRP : 45.53dBm
- ・ アンテナ高 : 17m
- ・ チルト角 : 5 度
- ・ 指向方向 : 55 度
- ・ 伝搬条件 : 市街地、屋内浸透なし
- ・ 緯度 : 33.815147 経度 : 132.707188

(2) カバーエリアにおける受信電力及び伝送性能の測定
 算出されたカバーエリア端、干渉調整区域端における実際の受信電力を測定し、算出結果と異なる場合には、夫々の閾値が測定されるポイントを探索した。
 カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能(アップリンク/ダウンリンク別の伝送スループット、伝送遅延等)を測定した。

3.3.1.1 実証目標

これまでに、株式会社愛媛CATVが他のフィールドに実際に設置したSub6ネットワークにおいて、RSRPが-90dBmの環境下において、下りスループット150Mbps、上りスループット30Mbpsを実測定値として確認しており、本実証での2つの環境下（ツウテック株式会社、株式会社ユタカ）においても下り150Mbps、上り30Mbpsを目標値とした。なお、商用展開時における実環境における運用での検証を目的とするため、スループット値はUEに接続するPC等デバイスとUPF上位（N6）に設置するPC等デバイスの区間におけるiPerfで測定を実施した。

また、無線通信に求められる電波法関係審査基準に規定するエリア算出法（パラメータ仮説）による受信電力のシミュレーション結果と実測値の間に明らかな誤差（サイトジェネラルな伝搬式を使うことにより、商用展開時における電波発射後に散見される遮蔽物等による弱電スポット等の発生懸念から）が生じることを検証し、商用展開に行われる机上検討となるエリア算出結果をより現実近づけることを目標とした。

3.3.1.2 評価・検証項目

電波法関係審査基準に規定するエリア算出法による受信電力と、実際に測定する受信電力の間にどの程度の誤差が生じるか検証した。

スループットはTCPスループット試験時のPDSCH/PUSCHスループットを取得、伝送遅延は有線区間（RU~DU、CU~UPF、UPF~iPerfサーバー間）の遅延を測定してiPerfクライアント~iPerfサーバー間の遅延から引いた値を遅延とした。

3.3.1.3 評価・検証方法

電波法関係審査基準に規定するエリア算出法により算出されたカバーエリア端および調整対象区域端にて受信電力を取得（下図測定①）した。カバーエリア端の受信電力と異なっている場合にはカバーエリア端となる場所を探索（下図測定②でRUから直線状に測定し受信電力が同一となるポイントを探査）した。

測定結果を踏まえ、エリア算出法による精度追求に限界があることを検証した。

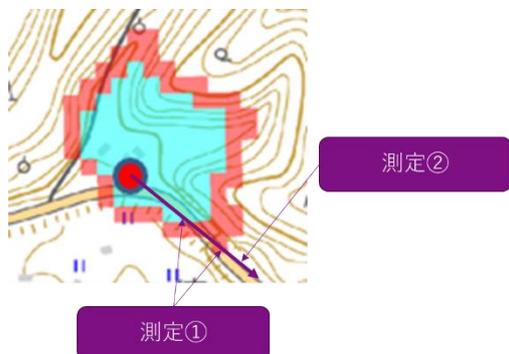


図 3-6 エリア端測定（国土地理院地図を加工して作成）

3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) 【ツウテック株式会社】

1) エリア算出式によるエリアシミュレーション

電波法関係審査基準で示されているカバーエリア算出式を用いてエリアシミュレーションを実施した。シミュレーション条件を表 3-4 に示す。S 値は「郊外地」に相当する $S=12.3$ を用いている。

表 3-4 シミュレーション条件

項目		値	
周波数		4850MHz	
アンテナ	送信	送信電力	2W (33dBm)
		種類	受領資料の2次元アンテナパターン (Rev2_AntPtr.csv) を3次元アンテナパターンに変換して使用 (下図参照)
		偏波	垂直偏波
	受信	種類	無指向性 (最大利得2.98dBi)
		偏波	垂直偏波
計算条件		算出式	郊外
		レイトレース	屋外 : R2D1T0 屋内 : R5D2T3 ※最大反射回数 (R)、最大回折回数 (D)、最大透過回数 (T)
出力		カバーエリア及び調整対象区域、RSSI、RSRP、伝搬損失等	

シミュレーションの結果、図 3-7 に屋内浸透なし ($R=0.0$) の場合のカバーエリアを、図 3-8 に屋内浸透あり ($R=16.2$) の場合のカバーエリアを示す。

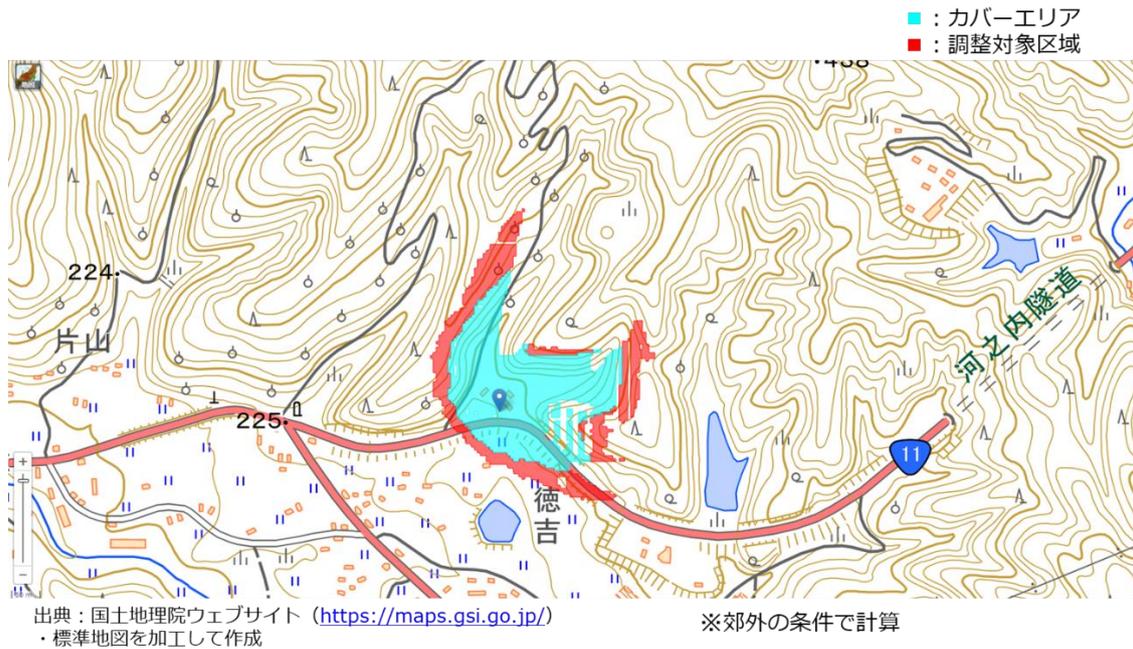


図 3-7 カバーエリア図（屋内浸透なし）

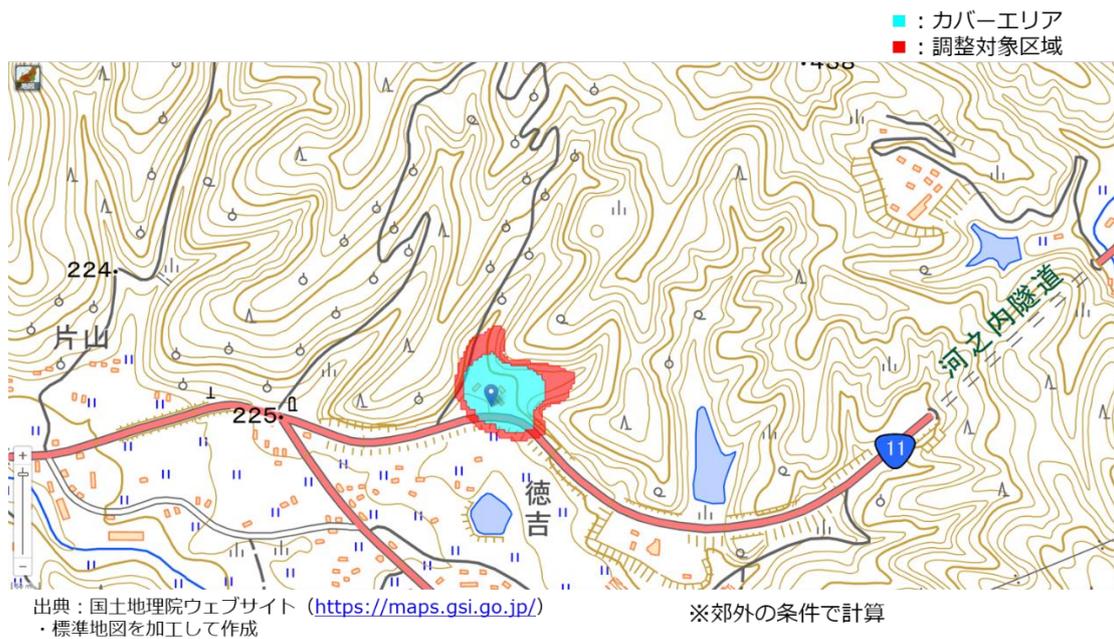
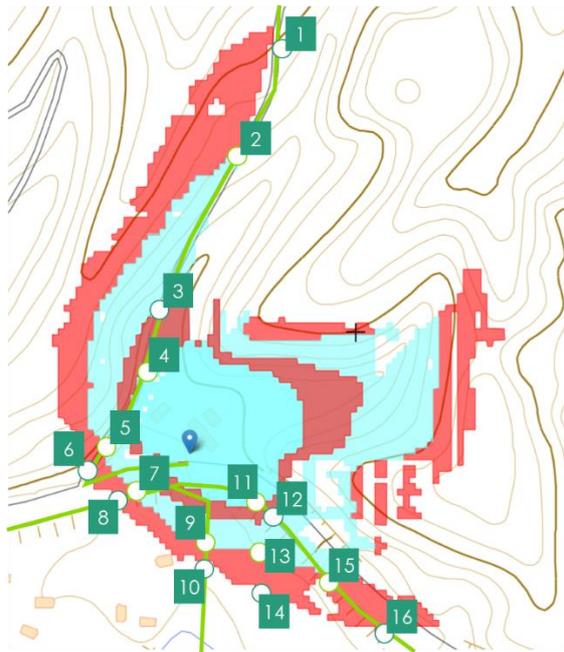


図 3-8 カバーエリア図（屋内浸透あり）

2) カバーエリアにおける受信電力及び伝送性能の測定結果

図 3-9 に示すエリア算出式によるカバーエリア端と調整対象区域端の実際の受信電力を測定し、算出式による受信電力と比較した。その結果を表 3-5 に示す。



内側エリア：屋内浸透なし
 外側エリア：屋内浸透あり

○	カバーエリア端	8
○	調整対象区域端	8

— 歩行ルート

出展：国土地理院ウェブサイト(<https://maps.gsi.go.jp/>)
 ・標準地図を加工して作成

図 3-9 カバーエリア端、調整対象区域端の位置

表 3-5 エリア端における受信電力の比較

屋内浸透	位置	測定点ID	基地局との 3D距離[m]	受信電力[dBm]		差異[dB]
				算出式	実測値	実測値-算出式
なし R=0.0	カバーエリア端	2	248.18	-83.83	-93.95	-10.12
		5	69.18	-82.34	-67.35	14.99
		7	59.20	-84.86	-63.35	21.52
		9	68.59	-83.85	-67.15	16.71
		13	101.43	-84.30	-68.35	15.95
		15	150.06	-84.14	-62.15	21.99
	調整対象区域端	1	364.82	-90.52	測定不可	
		6	83.13	-90.63	-60.35	30.28
		8	73.43	-90.74	-55.15	35.59
		10	90.67	-90.93	-63.25	27.69
		14	126.52	-91.57	-61.75	29.82
		16	216.49	-90.13	-60.65	29.48
あり R=16.2	カバーエリア端	4	77.95	-65.60	-68.65	-3.05
		11	66.07	-65.94	-46.85	19.09
	調整対象区域端	3	124.53	-74.60	-71.15	3.46
		12	91.30	-75.06	-53.75	21.31

表 3-5 によると、ほとんどの地点で算出式の値よりも実測値の方が大きく上回っていることが分かる。そのため、実際のカバーエリアは算出式によるカバーエリアよりもかなり広いと考えられる。実測値が算出式の値よりも下回っている地点は森林の中の道路上であり、樹木による遮蔽が大きいためであると考えられる。

基地局より遠ざかる方向へ探索することで得られた実際のカバーエリア端、調整対象区域端を図 3-10 に示す。



出典：国土地理院ウェブサイト
 (<https://www.gsi.go.jp/>)
 ・写真地図を加工して作成

ポイントの目安と定義
 ● (pink) : カバーエリア端(-119dBm ±3dB)
 ● (blue) : 調整対象区域端(-126dBm ±3dB)

図 3-10 実際のカバーエリア端、調整対象区域端の位置

図 3-10 よりツウテック敷地南側には算出式よりもかなり広いカバーエリアが広がっていることが分かる。敷地の南側は基地局よりも標高が低く、さらに建物や遮蔽物もほとんどなく、ほぼ見通しの環境である。したがって、敷地南側は算出式のカバーエリアより広がっていると考えられる。

表 3-6 に実際のエリア端での測定結果を示す。

表 3-6 実際のエリア端での測定結果

位置	測定点ID	基地局との 3D距離[m]	受信電力[dBm]		差異[dB]
			算出式	実測値	実測値-算出式
カバーエリア端	41	218.59	-81.87	-85.35	-3.47
	42	459.49	-97.93	-83.95	13.98
	43	427.95	-105.96	-85.65	20.31
	44	623.84	-117.80	-83.05	34.75
	45	307.18	-114.66	-86.15	28.51
	46	328.60	-114.77	-83.55	31.23
	47	970.83	-121.82	-82.45	39.37
調整対象区域端	48	231.16	-82.67	-91.35	-8.68
	49	515.35	-98.82	-89.45	9.37
	50	439.53	-106.10	-90.15	15.95
	51	681.23	-122.49	-91.05	31.44
	52	369.01	-117.50	-91.05	26.46
	53	366.97	-116.32	-91.95	24.37
	54	977.09	-121.91	-91.45	30.47

3) カバーエリア内の測定点における、伝送性能および遅延

ツウテック工場において、各測定地点にて測定した伝送スループット、UEで取得したSS-RSRP等RF情報、伝送遅延時間を以下に示す。

測定ができなかったポイントについては測定不可と記載している。

表 3-7 ツウテック伝送性能試験結果

ポイント	DL					UL				
	平均 / NR PCell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR PCell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR PCell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR PCell PDSCH Tput (Mbps)	平均 / NR PCell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR PCell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR PCell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR PCell PUSCH Tput (Mbps)
1	通信不可									

2	通信不可									
3	-104.0	-10.4	17.3	181.0	188.9	-106.2	-10.5	15.6	0.8	1.0
4	-102.9	-10.4	19.7	279.0	294.4	-103.5	-10.5	20.5	2.2	1.6
5	-100.2	-10.4	18.9	274.5	290.3	-99.3	-10.4	19.3	6.9	4.2
6	-90.2	-10.3	28.9	407.5	425.3	-90.7	-10.3	27.2	47.0	20.6
7	-93.4	-10.4	24.9	493.0	516.9	-92.5	-10.3	25.2	19.1	11.8
8	-86.4	-10.3	30.0	254.5	267.2	-86.2	-10.3	29.5	54.0	26.9
9	-99.5	-10.5	23.4	273.0	285.5	-97.9	-10.4	24.4	6.5	3.5
10	-100.7	-10.4	20.1	250.0	270.0	-102.1	-10.4	19.2	9.5	5.7
11	-81.6	-10.3	33.8	680.0	718.2	-81.6	-10.3	31.8	74.0	34.0
12	-90.1	-10.4	28.1	467.0	492.1	-91.0	-10.4	27.8	30.4	16.3
13	-98.5	-10.3	22.7	203.0	208.4	-98.6	-10.3	22.3	1.2	1.1
14	-94.3	-10.3	24.3	295.0	310.1	-94.7	-10.3	24.6	11.0	6.7
15	-102.2	-10.5	17.2	246.5	252.7	-102.5	-10.5	17.3	1.3	1.1
16	-98.1	-10.4	18.5	176.0	188.4	-98.1	-10.4	19.0	4.2	2.7
17	-102.2	-10.4	18.6	259.5	272.0	-99.8	-10.4	19.4	3.0	2.1
18	-94.8	-10.4	25.3	245.5	259.5	-94.9	-10.5	25.6	13.6	8.2
19	-73.8	-10.3	35.7	904.5	954.7	-73.7	-10.3	34.7	60.9	34.2
20	-74.8	-10.3	27.8	828.5	877.1	-75.4	-10.3	28.3	94.6	52.2
21	-99.7	-10.4	22.3	466.0	492.6	-99.2	-10.4	24.0	9.1	5.5
22	-95.2	-10.3	26.0	436.0	429.0	-95.7	-10.3	25.8	4.5	6.4
23	-95.7	-10.4	26.1	623.0	655.5	-93.0	-10.4	26.4	15.8	8.6
24	-77.1	-10.3	33.1	589.5	634.4	-76.3	-10.3	34.4	60.7	30.0
41	通信不可									
42	通信不可									
43	通信不可									
44	通信不可									
45	通信不可									
46	通信不可									
47	通信不可									
48	通信不可									
49	通信不可									
50	通信不可									
51	通信不可									

52	通信不可								
53	通信不可								
54	通信不可								

表 3-8 ツウテック伝送遅延測定結果

ホスト 番号	平均 / MIN(msec)	平均 / AVG(msec)	平均 / MAX(msec)	平均 / MDEV(msec)
1	通信不可			
2	通信不可			
3	36.659	65.359	89.959	14.642
4	23.3635	43.598	71.6765	12.9255
5	22.901	42.386	71.3775	11.952
6	22.0225	41.2495	76.4545	12.7385
7	20.8	42.346	75.832	13.7205
8	21.39	41.337	72.025	15.0405
9	23.4425	46.9965	71.6895	13.631
10	22.6325	43.2365	71.4085	12.4525
11	18.922	47.943	81.26	15.836
12	23.2165	43.127	71.1655	12.357
13	26.481	47.0755	70.067	13.149
14	22.266	44.0365	71.1595	12.242
15	36.2485	52.6805	72.1745	10.567
16	23.7115	44.631	72.11	13.571
17	24.608	44.9195	72.567	12.2
18	22.3035	45.5385	74.047	13.5405
19	21.621	43.1255	89.0695	16.5815
20	22.2145	43.411	75.0655	13.1105
21	21.1145	42.3105	71.4955	12.6685
22	28.3135	55.3115	96.783	17.771
23	22.2245	41.9975	76.591	12.531
24	22.1985	45.9715	87.574	16.988

41	通信不可			
42	通信不可			
43	通信不可			
44	通信不可			
45	通信不可			
46	通信不可			
47	通信不可			
48	通信不可			
49	通信不可			
50	通信不可			
51	通信不可			
52	通信不可			
53	通信不可			
54	通信不可			

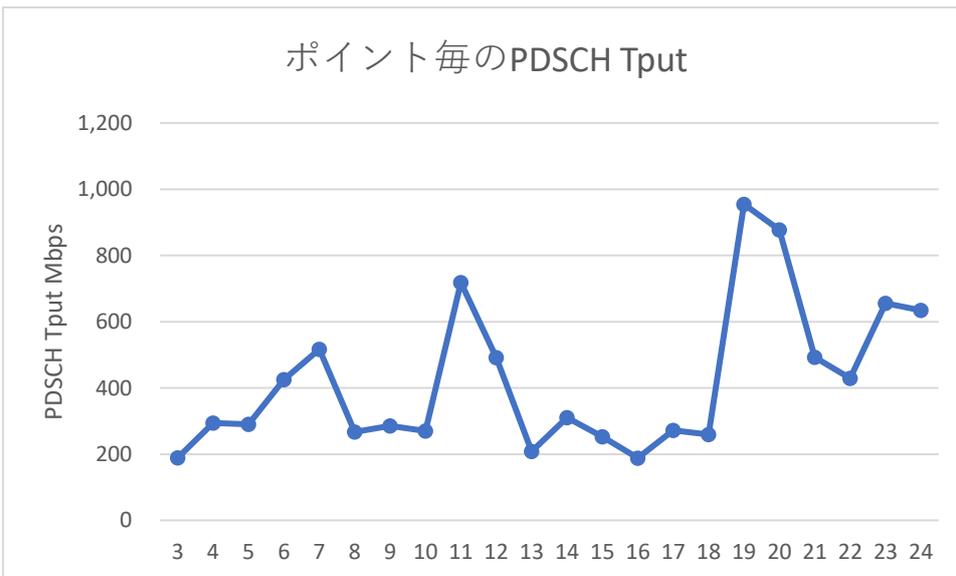


図 3-11 ツウテック PDSCH スループット

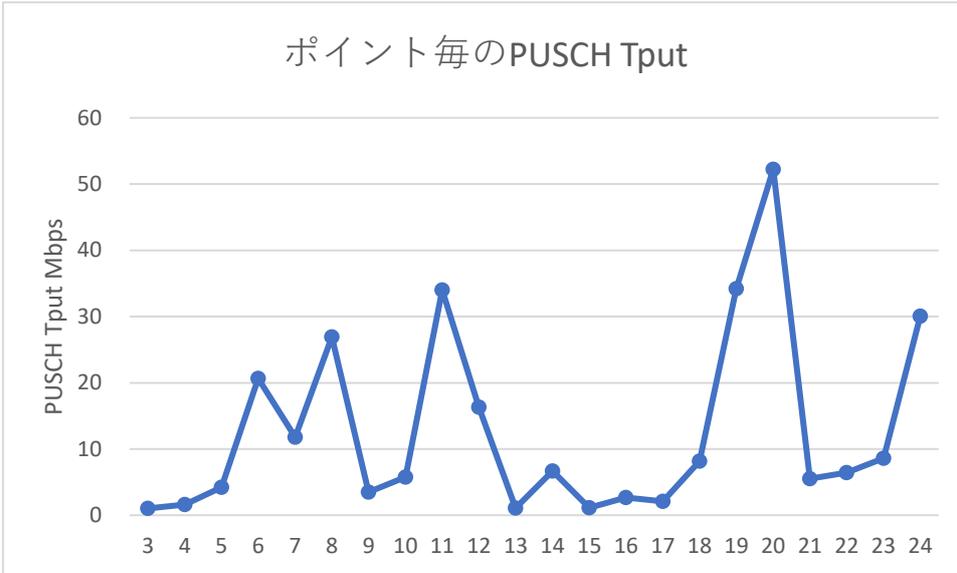


図 3-12 ツウテック PUSCH スループット

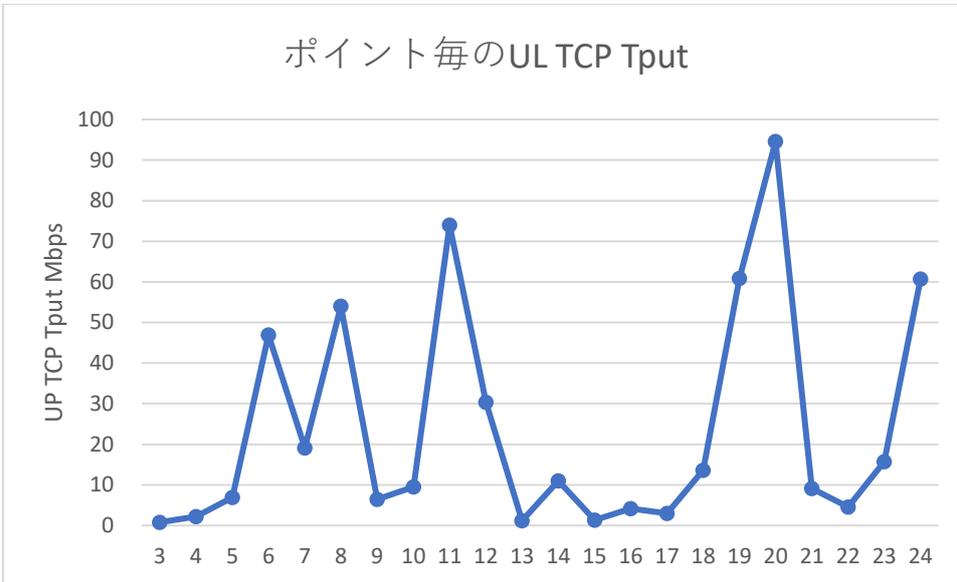


図 3-13 ツウテック Uplink TCP スループット

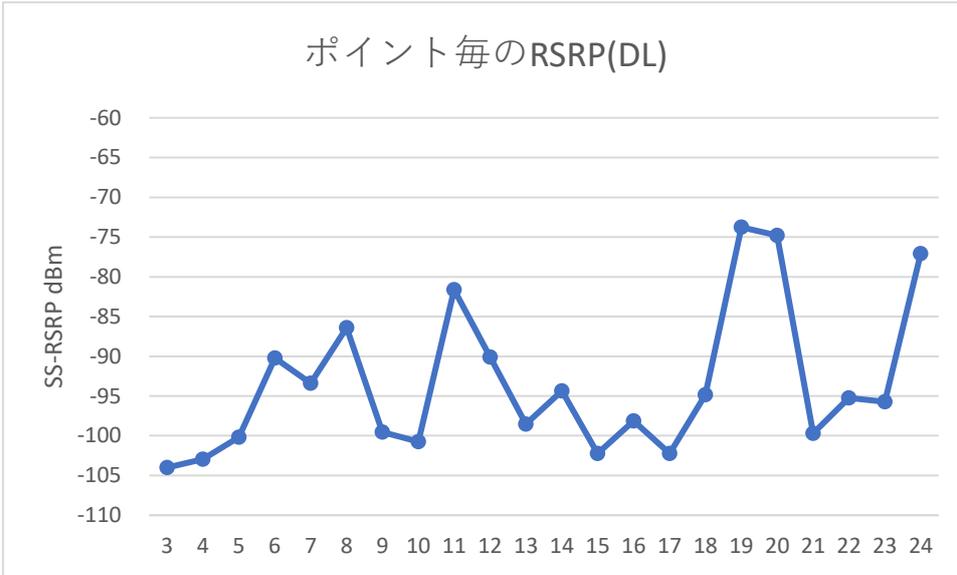


図 3-14 ツウテック SS-RSRP

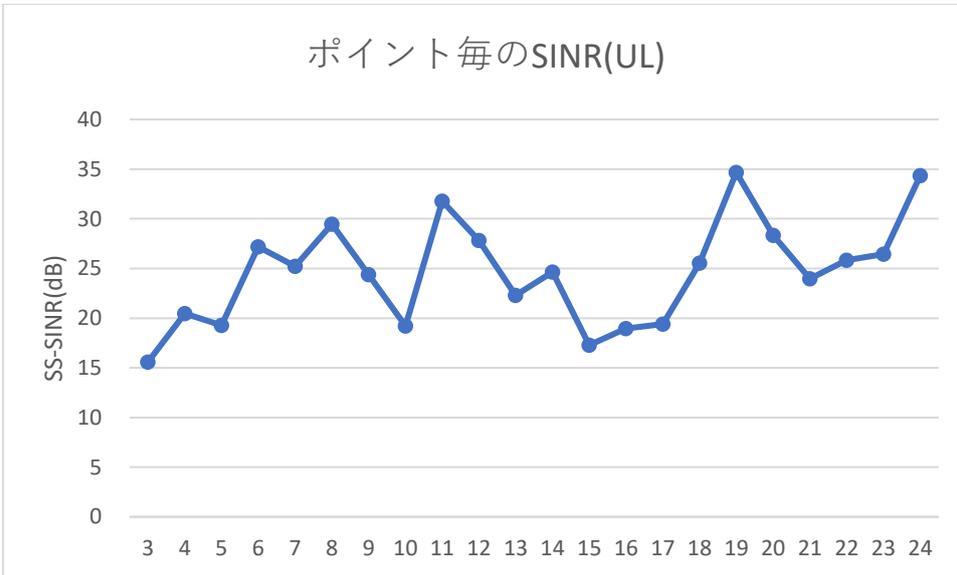


図 3-15 ツウテック SS-SINR

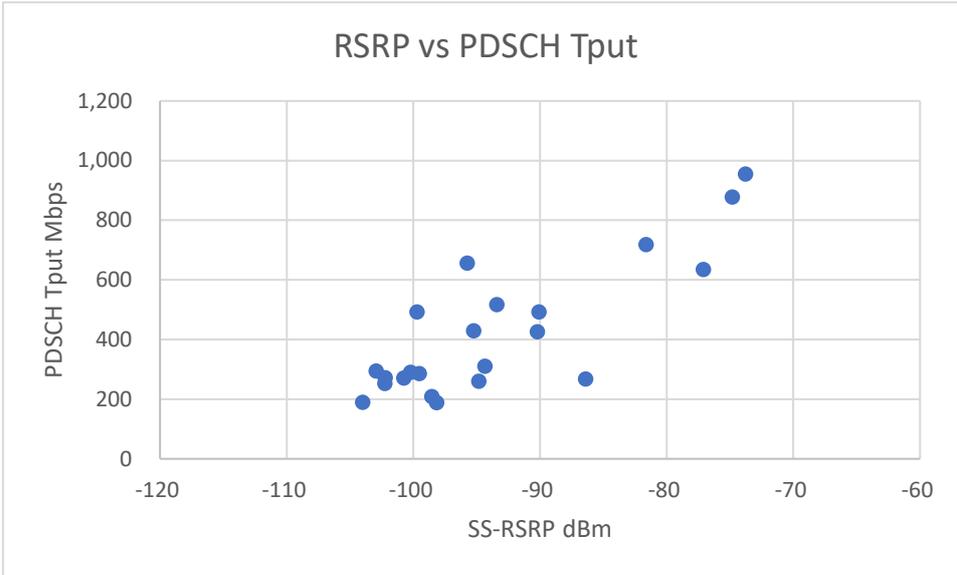


図 3-16 ツウテック SS-RSRP vs PDSCH スループット

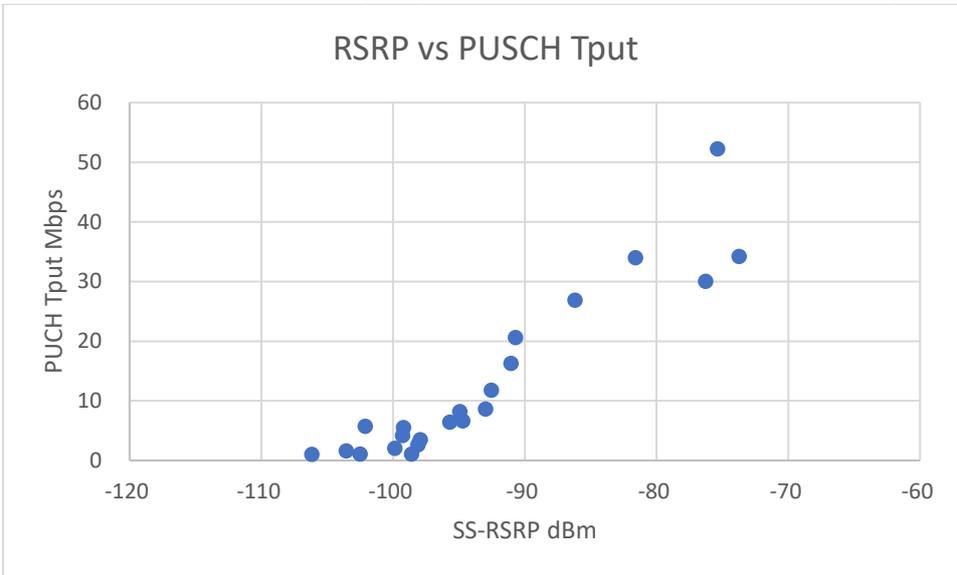


図 3-17 ツウテック SS-RSRP vs PUSCH スループット

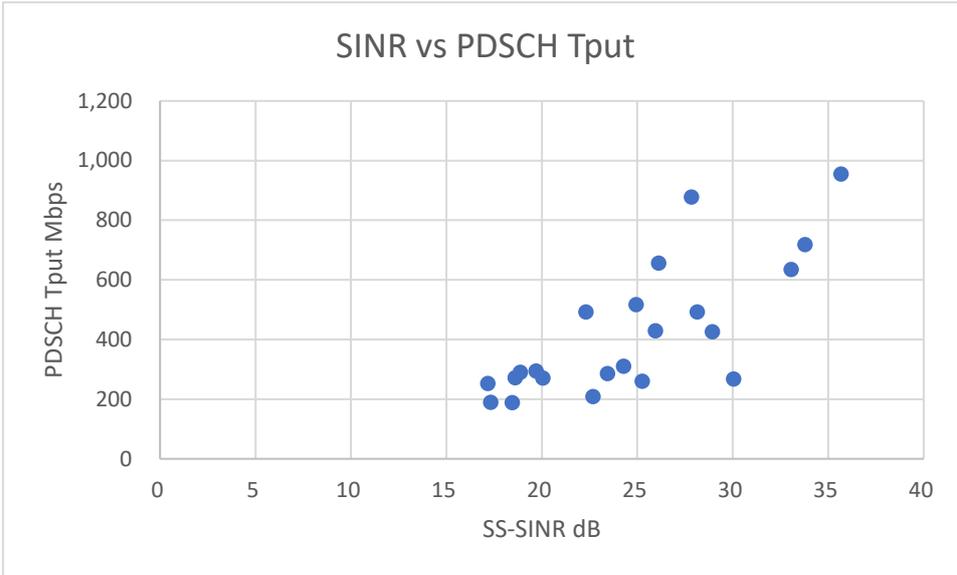


図 3-18 ツウテック SS-SINR vs PDSCH スループット

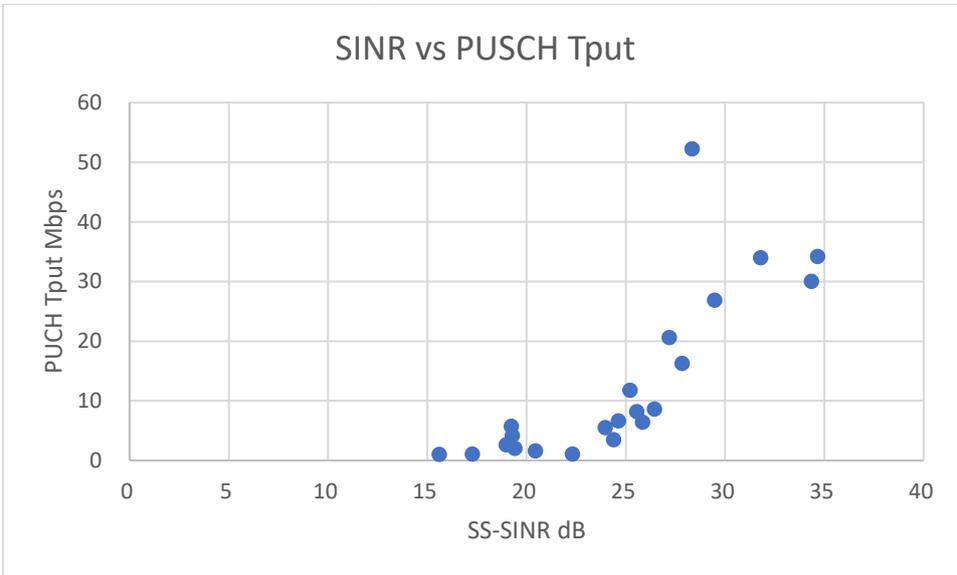


図 3-19 ツウテック SS-SINR vs PUSCH スループット

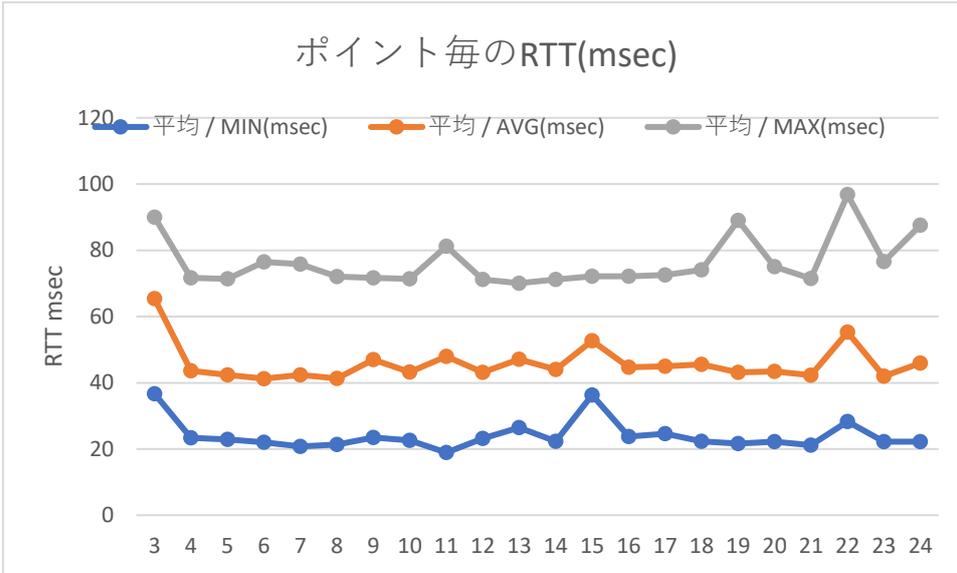


図 3-20 ツウテック 伝送遅延

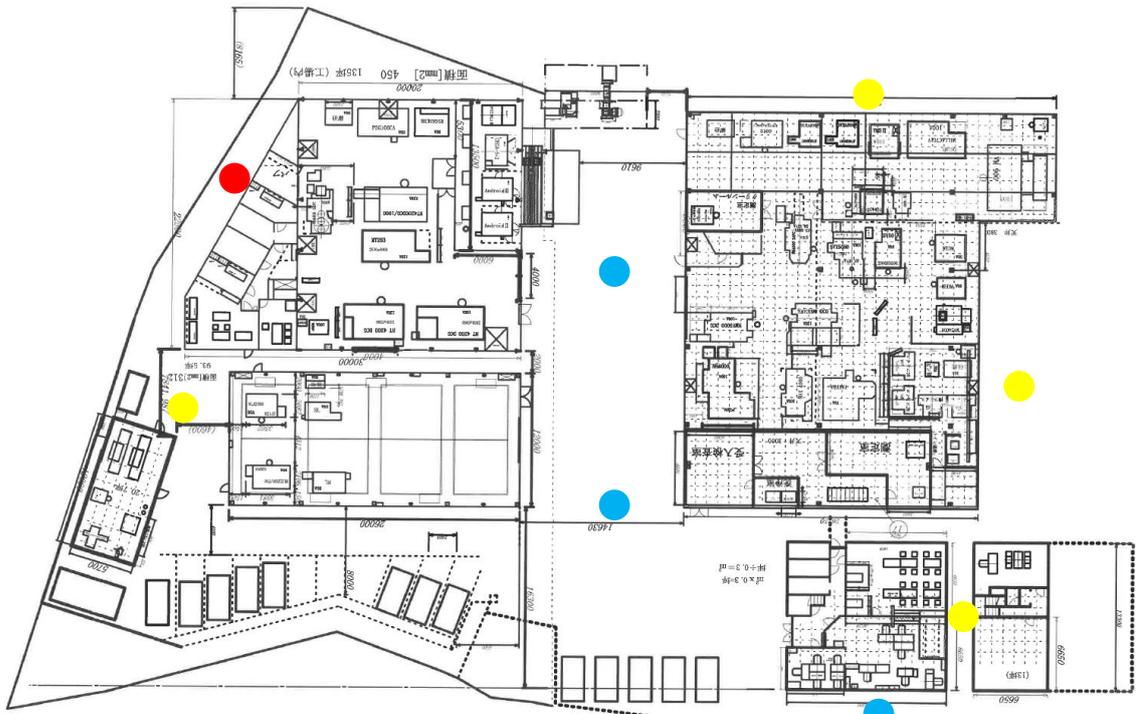


図 3-21 ツウテック SS-RSRP (UE)

SS-RSRP \leq -100 : ● -100 < SS-RSRP \leq -90 : ● -90 < SS-RSRP \leq -80 : ● -80 < SS-RSRP : ●



図 3-22 ツウテック PDSCH スループット

通信不可 : ● 0<=PDSCH<150Mbps : ● PDSCH<=150Mbps : ●

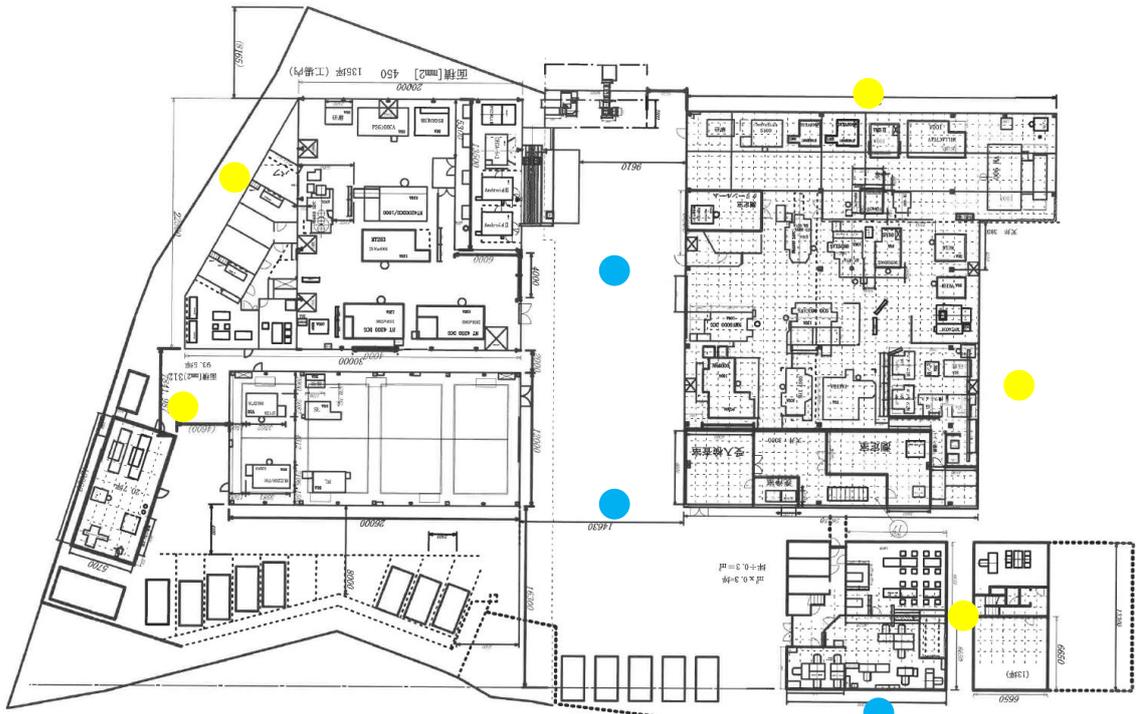


図 3-23 ツウテック PUSCH スループット

通信不可 : ● 0<=PUSCH<30Mbps : ● PUSCH<=30Mbps : ●

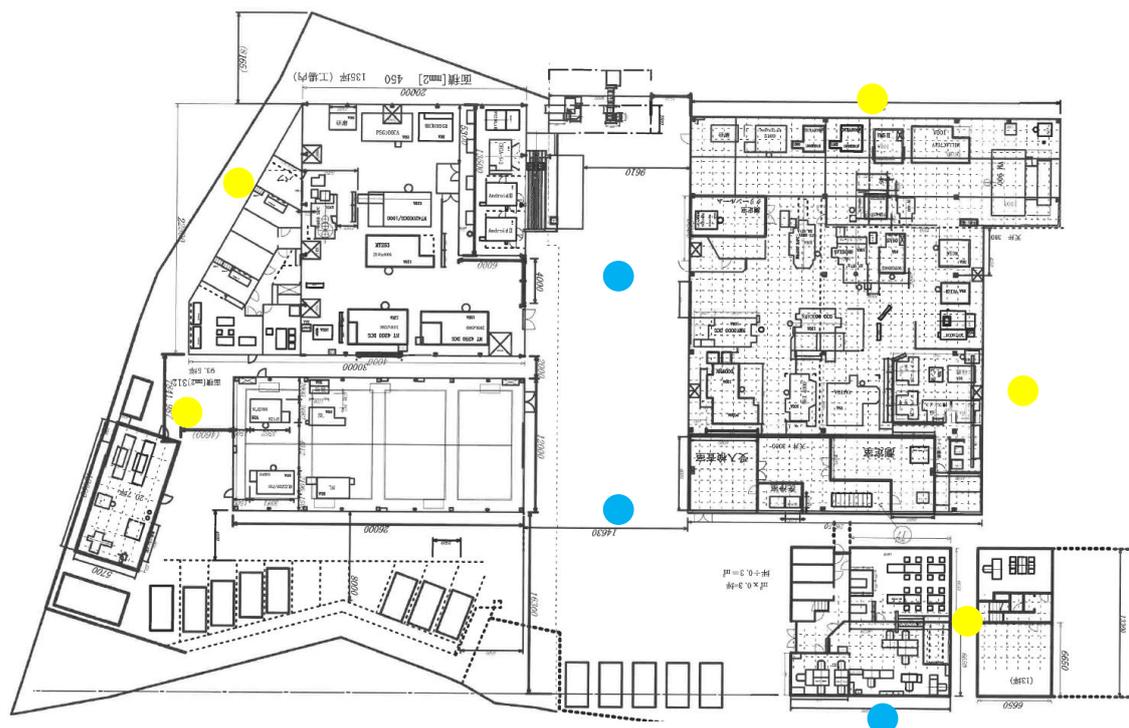


図 3-24 ツウテック UL TCP スループット

通信不可 : ● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30\text{Mbps}$: ● $\text{UL TCP Tput} \leq 30\text{Mbps}$: ●

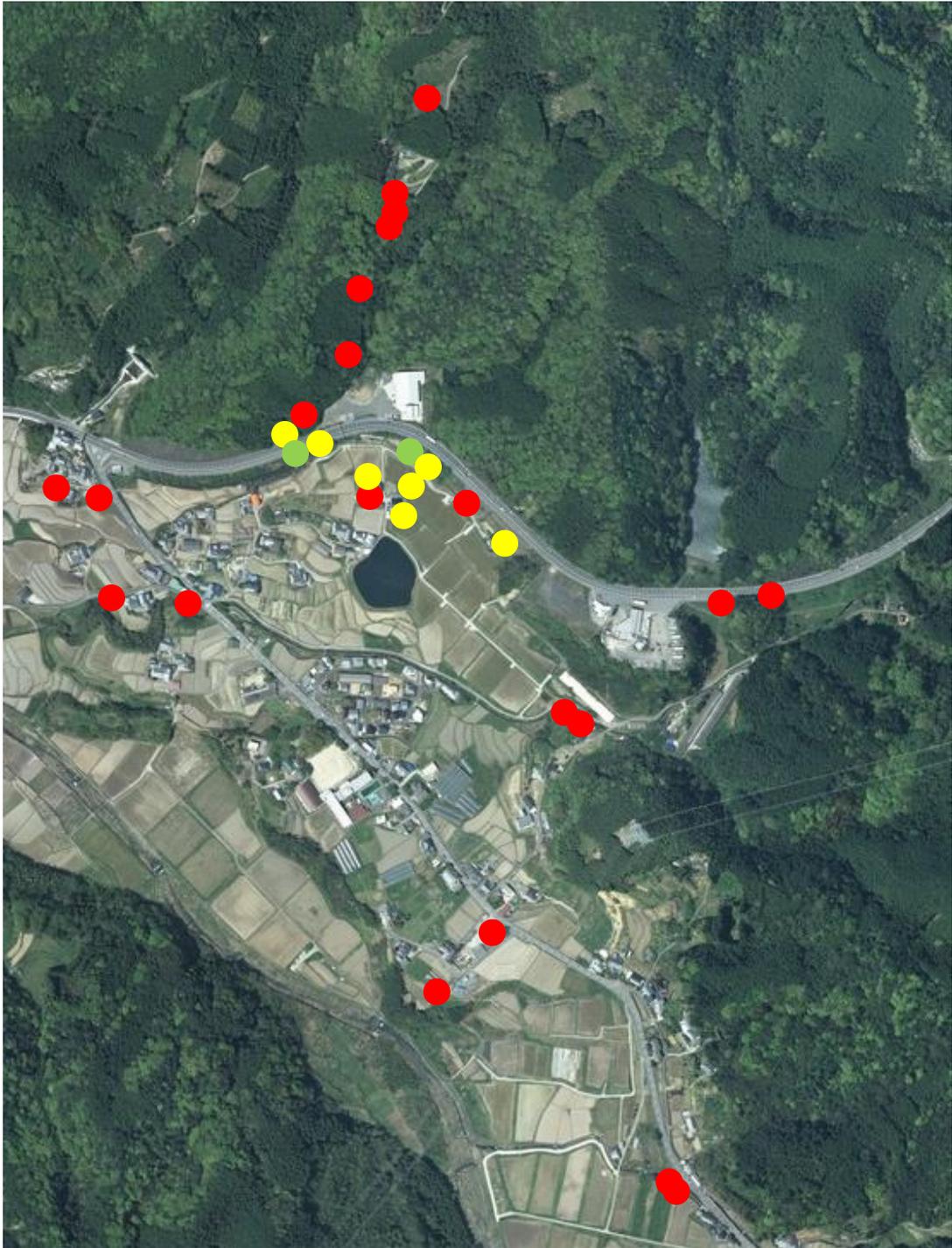


図 3-25 ツウテック SS-RSRP (UE) (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 SS-RSRP \leq -100 : ● -100 < SS-RSRP \leq -90 : ● -90 < SS-RSRP \leq -80 : ● -80 < SS-RSRP ●

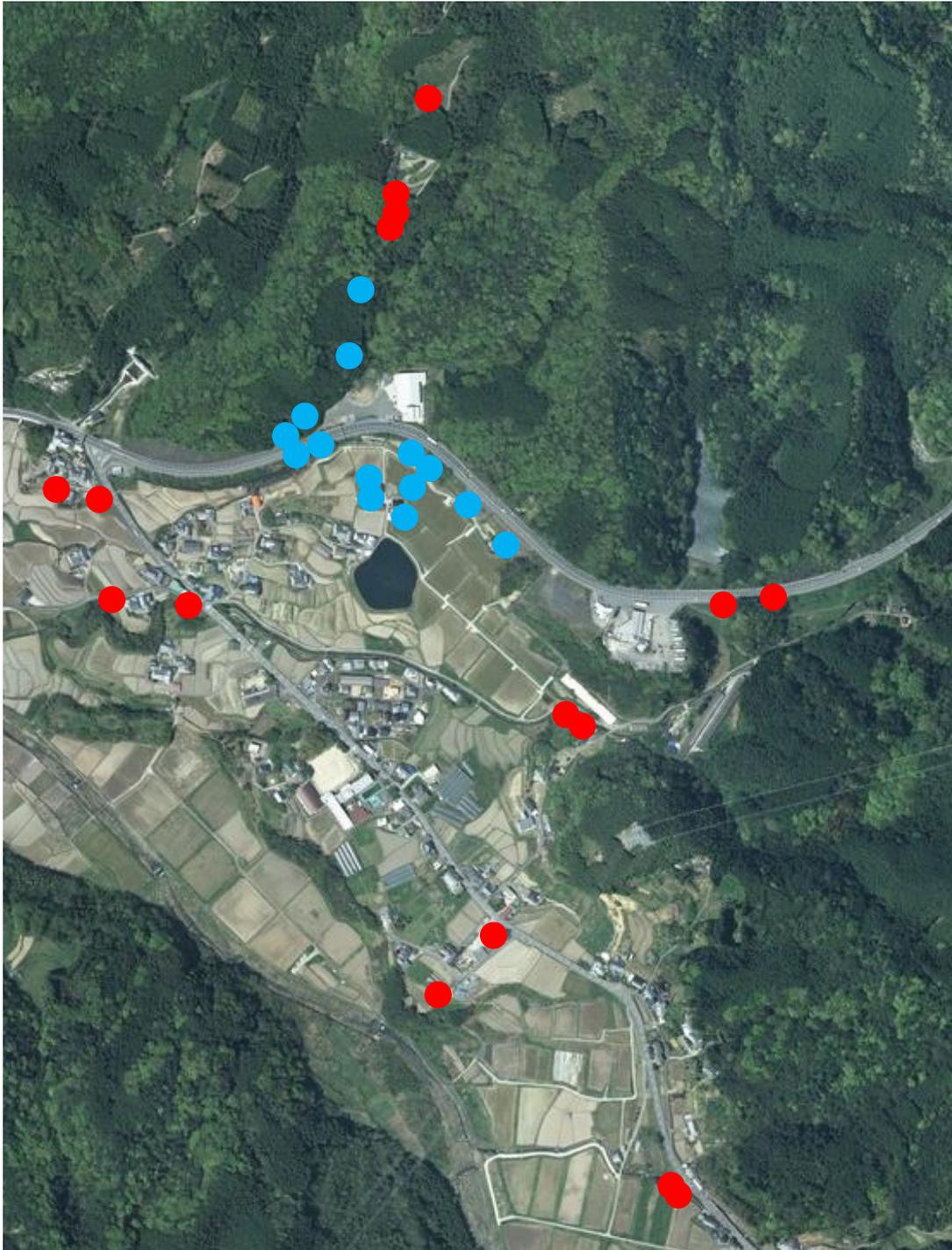


図 3-26 ツウテック PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● $0 \leq \text{PDSCH} < 150 \text{Mbps}$: ● $\text{PDSCH} \leq 150 \text{Mbps}$: ●

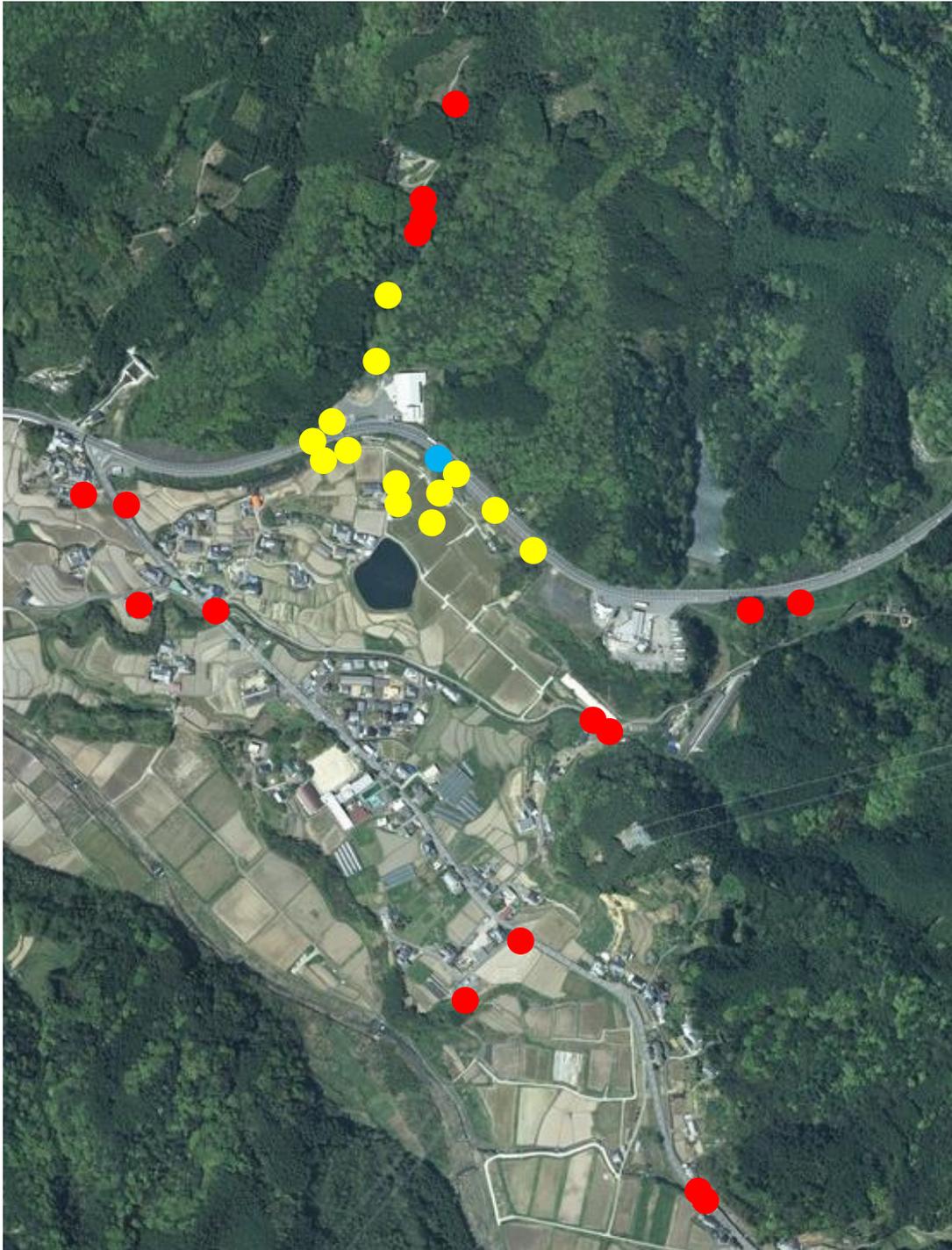


図 3-27 ツウテック PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
通信不可：● 0 ≤ PUSCH < 30 Mbps：● PUSCH ≤ 30 Mbps：●

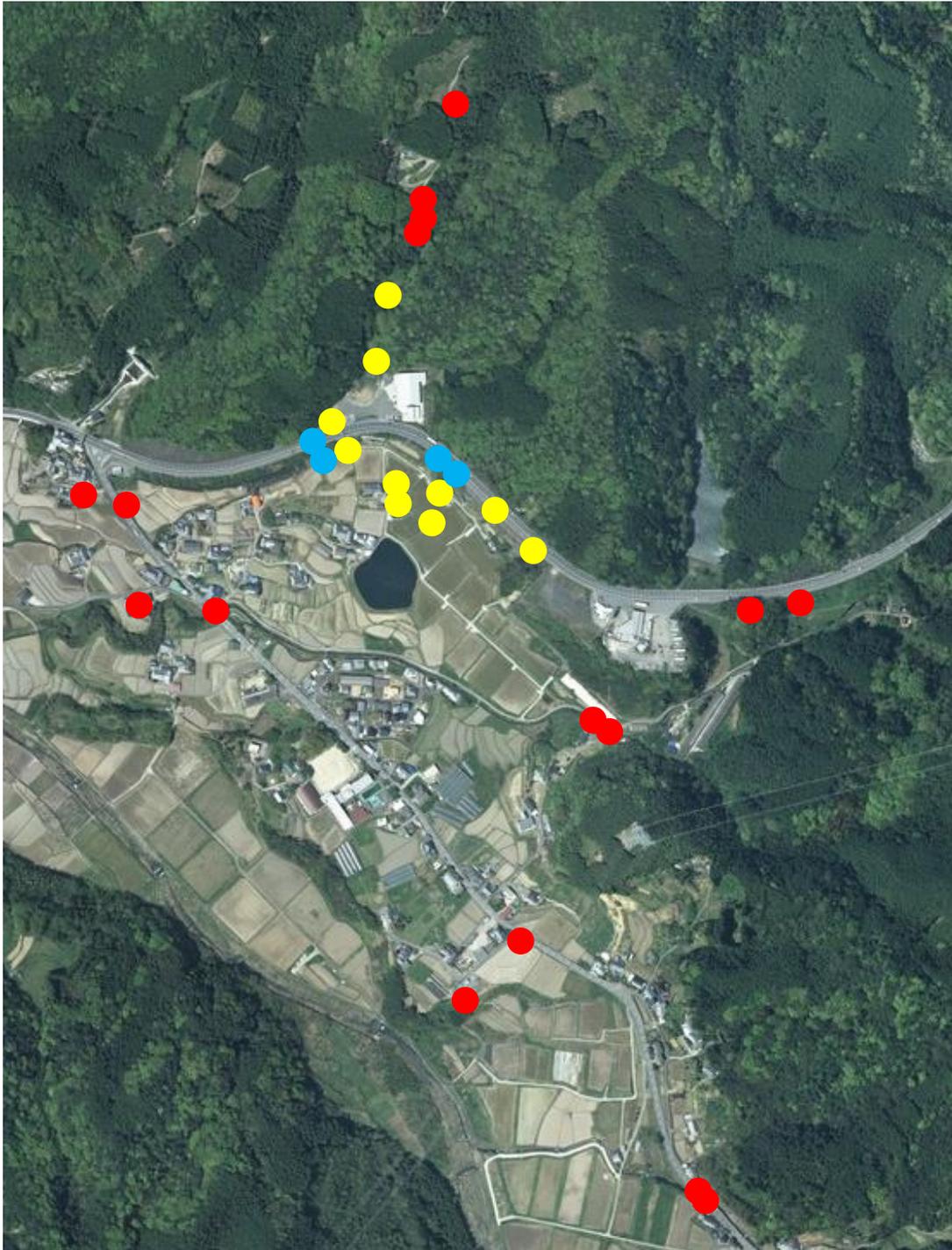


図 3-28 ツウテック UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30\text{Mbps}$ ：● UL TCP Tput $\leq 30\text{Mbps}$ ：●

工場敷地内の屋外測定ポイントでは工場棟裏側のポイントを除き RSRP-90dBm であり、PDSCH/PUSCH スループットはそれぞれ 150Mbps 以上、30Mbps 以上となった。工場敷地外では、屋内浸透なしのエリア算出式によるカバーエリア端、調整対象区域端でも RSRP が-100dBm と弱くなっているものの通信可能となっている。一方で実際のカバーエリア端ではUEでの通信が不可であった。

(2) 【株式会社ユタカ】

1) エリア算出法によるエリアシミュレーション

電波法関係審査基準で示されているカバーエリア算出式を用いてエリアシミュレーションを実施した。シミュレーション条件を表 3-9 に示す。S 値は「市街地」に相当する S=0.0 を用いている。

表 3-9 シミュレーション条件 (ユタカ)

項目		値	
周波数		4850MHz	
アンテナ	送信	送信電力	2W (33dBm)
		種類	受領資料の2次元アンテナパターン (Rev2_AntPtr.csv) を3次元アンテナパターンに変換して使用 (下図参照)
		偏波	垂直偏波
	受信	種類	算出式：無指向性 (最大利得0dBi) レイトレース：無指向性、ダイポール (最大利得2.98dBi)
偏波		垂直偏波	
計算条件		算出式	市街地 (中小都市)
		レイトレース	R2D1T0 ※最大反射回数 (R)、最大回折回数 (D)、最大透過回数 (T)
出力		カバーエリア及び調整対象区域、RSSI、RSRP、伝搬損失等	

シミュレーションの結果として、図 3-29 にカバーエリアを示す。

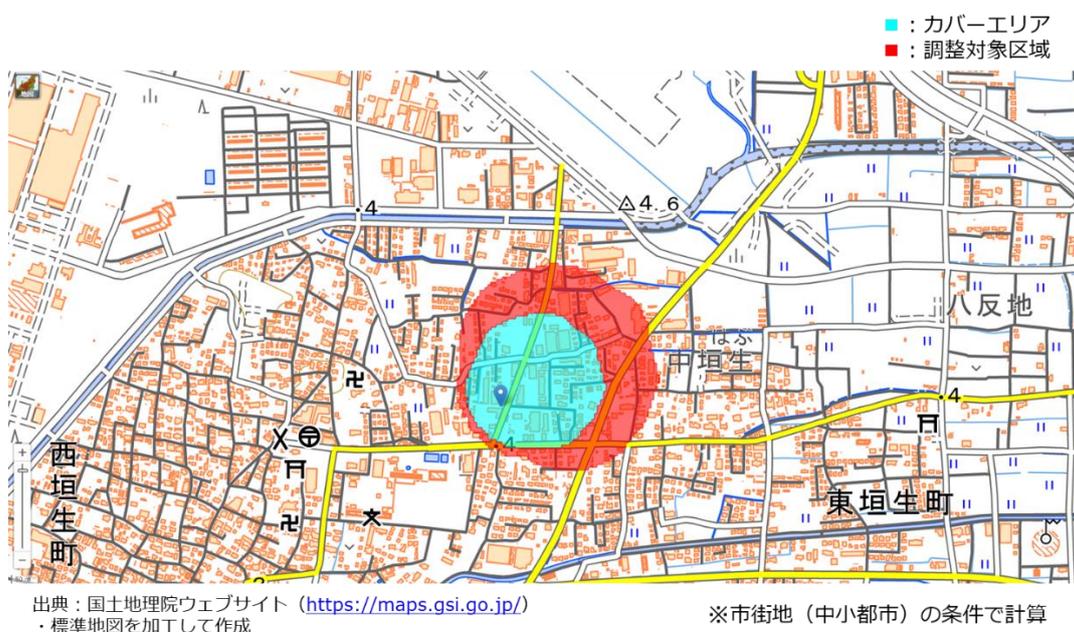
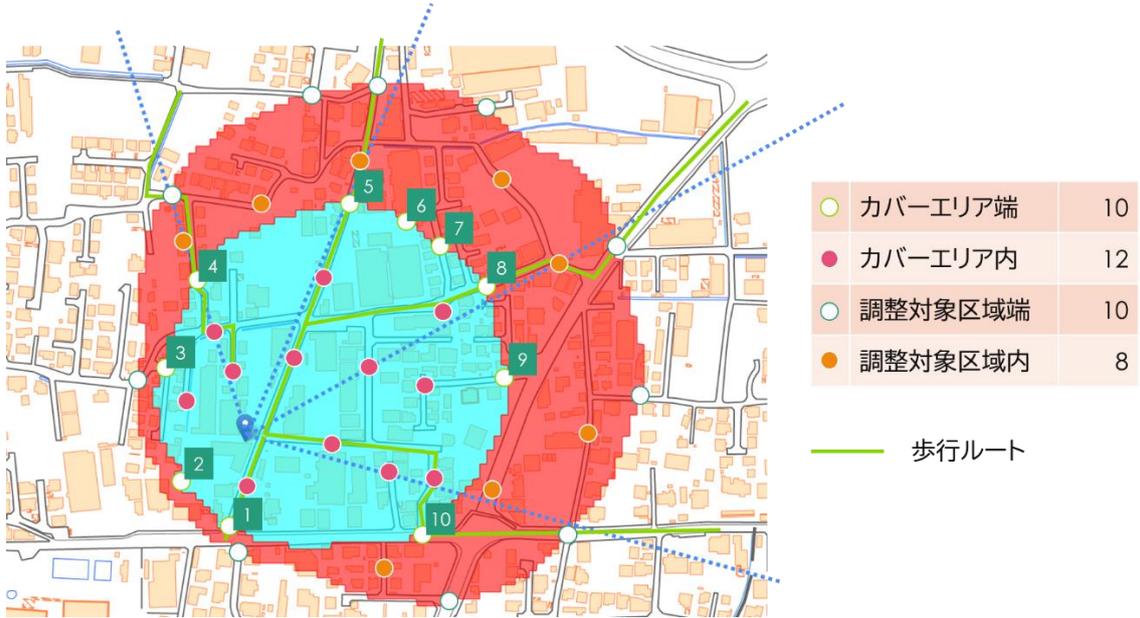


図 3-29 カバーエリア図

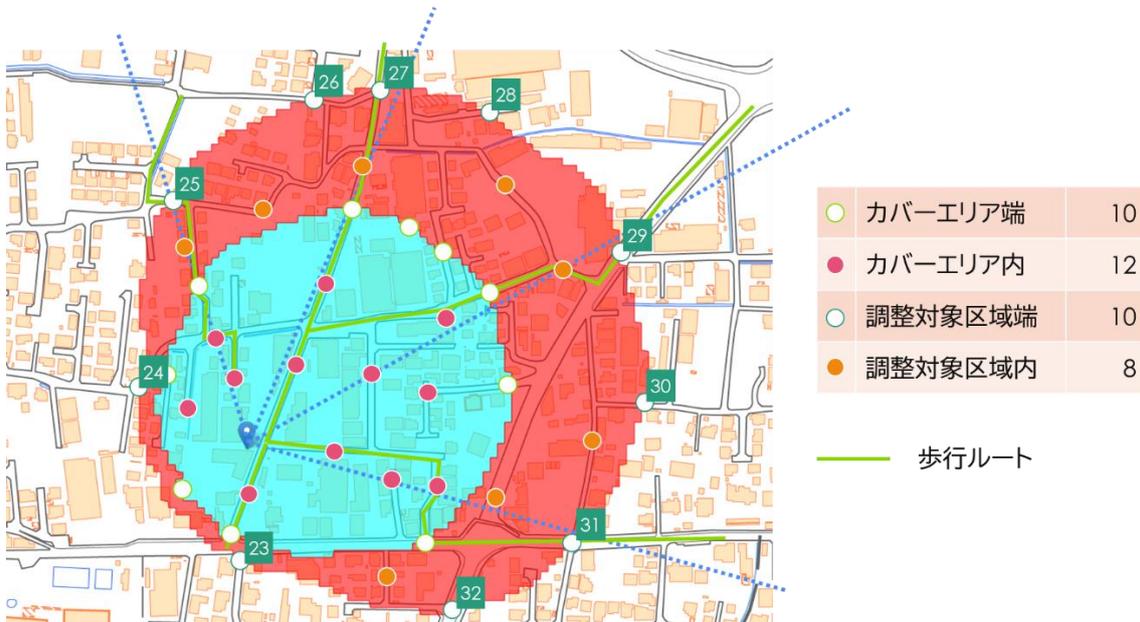
2) カバーエリアにおける受信電力及び伝送性能の測定結果

図 3-30 に示すエリア算出式によるカバーエリア端と、図 3-31 に示す調整対象区域端の実際の受信電力を測定し、算出式による受信電力と比較した。その結果を表 3-10 に示す。



出展：国土地理院ウェブサイト(<https://maps.gsi.go.jp/>)
・標準地図を加工して作成

図 3-30 カバリア端の位置



出展：国土地理院ウェブサイト(<https://maps.gsi.go.jp/>)
・標準地図を加工して作成

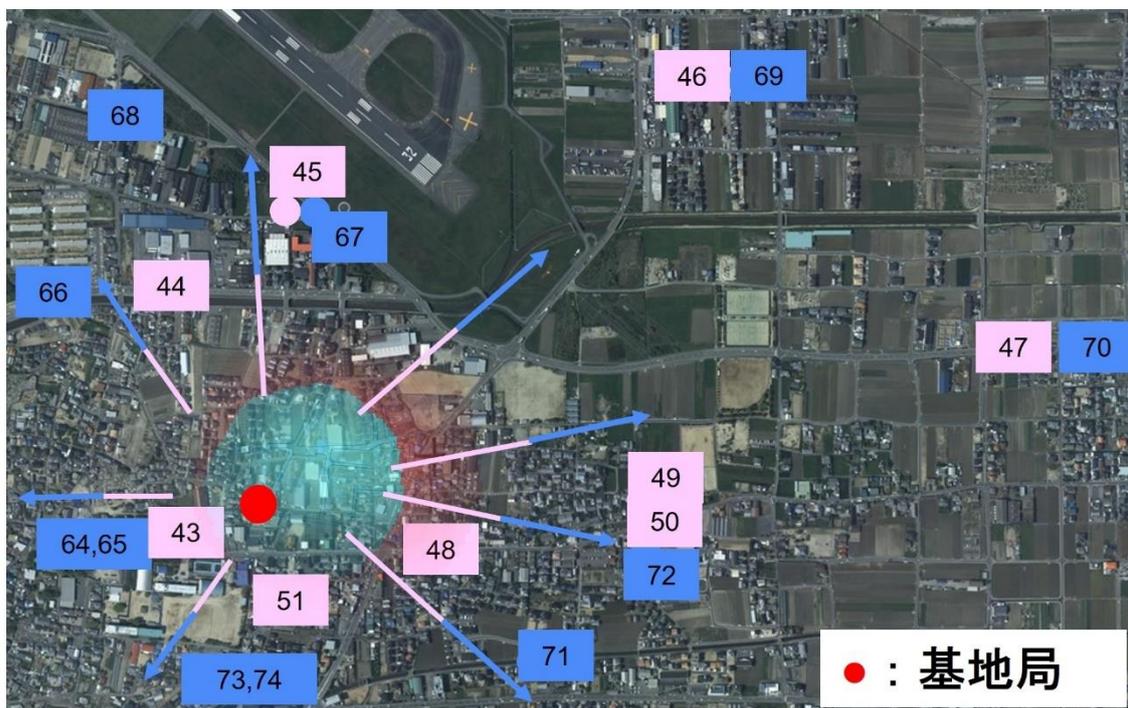
図 3-31 調整対象区域端の位置

表 3-10 実際のエリア端での測定結果

位置	測定点ID	基地局との 3D距離[m]	受信電力[dBm]		差異[dB]
			算出式	実測値	実測値-算出式
カバーエリア端	1	66.21	-86.33	-65.45	20.88
	2	48.31	-79.12	-73.15	5.97
	3	79.13	-83.29	-83.25	0.05
	4	121.27	-84.56	-58.05	26.51
	5	192.09	-85.21	-47.85	37.36
	6	193.63	-84.50	-71.75	12.75
	7	196.92	-84.79	-78.75	6.05
	8	204.64	-84.81	-72.75	12.07
	9	193.30	-84.81	-68.15	16.67
	10	141.11	-84.45	-77.95	6.50
調整対象区域端	23	78.50	-91.75	-59.35	32.41
	24	92.18	-93.09	-79.55	13.54
	25	184.88	-91.03	-76.25	14.79
	26	251.60	-90.90	-66.95	23.96
	27	266.62	-90.62	-64.95	25.68
	28	289.71	-90.87	-81.05	9.83
	29	298.46	-91.04	-73.75	17.29
	30	281.01	-91.17	-77.45	13.73
	31	239.77	-91.22	-83.15	8.07
	32	176.99	-91.01	-81.25	9.77

表 3-10 によると、ほとんどの地点で算出式の値よりも実測値の方が大きく上回っていることが分かる。そのため、実際のカバーエリアは算出式によるカバーエリアよりもかなり広いと考えられる。

基地局より遠ざかる方向へ探索することで得られた実際のカバーエリア端、調整対象区域端を図 3-32 に示す。



出典：国土地理院ウェブサイト
[\(https://www.gsi.go.jp/\)](https://www.gsi.go.jp/)
 ・写真地図を加工して作成

ポイントの目安と定義

- カバーエリア端(-119dBm ±3dB)
- 調整対象区域端(-126dBm ±3dB)

図 3-32 実際のカバーエリア端、調整対象区域端の位置

図 3-32 より全体的に算出式よりもかなり広いカバーエリアが広がっていることが分かる。特に北東の方角は建物や遮蔽物もほとんどなく、開放地のような環境である。したがって、北東の方角は算出式のカバーエリアより特に広がっていると考えられる。

表 3-11 に実際のエリア端での測定結果を示す。

表 3-11 実際のエリア端での測定結果

位置	測定点ID	基地局との 3D距離[m]	受信電力[dBm]		差異[dB]
			算出式	実測値	実測値-算出式
カバーエリア端	43	174.67	-116.41	-84.85	31.57
	44	377.45	-105.68	-86.45	19.23
	45	469.06	-101.88	-84.65	17.23
	46	972.85	-109.65	-81.25	28.41
	47	1177.19	-112.96	-86.75	26.21
	48	273.79	-93.13	-86.45	6.68
	49	575.12	-103.05	-77.35	25.70
	50	579.27	-103.45	-82.05	21.40
	51	171.75	-108.83	-84.15	24.69
	調整対象区域端	64	263.67	-122.13	-94.15
65		245.85	-121.51	-90.35	31.16
66		468.95	-115.26	-94.15	21.11
67		475.56	-101.45	-88.55	12.90
68		659.41	-111.66	-92.35	19.31
69		1001.71	-109.88	-91.05	18.83
70		1300.88	-114.50	-89.85	24.65
71		470.37	-103.65	-92.05	11.60
72		576.92	-103.63	-88.85	14.78
73		300.23	-118.32	-94.35	23.97
74	297.58	-118.14	-92.95	25.19	

3) カバーエリア内の測定点における、伝送性能および遅延

ユタカ工場において、各測定地点にて測定した伝送スループット、UEで取得した SS-RSRP 等 R F 情報、伝送遅延時間を以下に示す。

測定ができなかったポイントについては測定不可と記載している。

表 3-12 ユタカ 伝送性能試験結果

ポイント	DL					UL				
	平均 / NR PCell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR PCell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR PCell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR PCell PDSCH Tput (Mbps)	平均 / NR PCell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR PCell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR PCell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR PCell PUSCH Tput (Mbps)
1	-102.2	-10.6	20.9	263.5	282.5	-102.6	-10.6	21.2	3.6	2.3
2	-107.1	-10.4	14.9	123.0	133.6	-107.2	-10.4	15.3	1.5	1.2
3	通信不可									
4	-90.6	-10.4	27.6	155.5	164.6	-90.8	-10.4	28.5	13.0	9.3
5	-87.9	-10.3	29.4	255.0	272.3	-88.2	-10.3	29.6	32.0	15.7
6	通信不可									
7	-109.2	-10.7	13.4	119.5	129.6	-109.2	-10.7	13.9	0.4	0.4
8	-111.0	-10.9	11.6	153.0	161.5	-110.3	-10.8	11.6	0.5	0.5
9	-101.1	-10.4	15.9	200.5	206.4	-102.1	-10.4	15.7	0.5	0.5
10	-111.8	-10.7	9.8	78.7	87.8	-112.1	-10.8	10.1	0.6	0.6
11	-99.9	-10.2	19.0	116.5	129.5	-100.0	-10.2	19.2	2.0	1.6
12	-96.0	-10.2	26.1	373.0	393.9	-96.3	-10.2	25.2	4.0	2.5
13	-94.0	-10.4	27.9	454.0	474.7	-95.1	-10.4	28.8	13.7	8.2
14	-95.9	-10.2	26.8	233.0	243.8	-96.3	-10.2	26.9	3.3	5.1
15	-85.9	-10.4	32.4	580.5	610.6	-86.2	-10.4	33.1	63.2	35.7
16	-85.1	-10.4	33.9	465.0	496.2	-85.3	-10.4	36.3	60.7	19.0
17	-75.4	-10.3	35.6	714.5	753.9	-75.9	-10.3	38.7	11.0	9.1

18	-95.4	-10.5	25.7	403.0	431.7	-96.0	-10.5	25.6	8.3	4.9
19	-104.8	-10.7	17.2	207.5	223.6	-105.1	-10.7	17.1	1.6	1.3
20	-99.6	-10.3	22.0	208.5	225.7	-100.0	-10.3	22.1	2.8	2.0
21	通信不可									
22	通信不可									
23	-90.4	-10.1	26.2	300.0	313.8	-91.2	-10.1	26.1	18.0	10.5
24	通信不可									
25	通信不可									
26	通信不可									
27	通信不可									
28	通信不可									
29	通信不可									
30	通信不可									
31	通信不可									
32	通信不可									
33	-101.8	-10.4	19.8	114.0	126.7	-103.4	-10.4	18.9	2.7	2.0
34	-98.5	-10.4	23.5	276.0	290.0	-99.0	-10.5	23.9	4.2	2.7
35	-91.9	-10.4	27.2	301.0	322.0	-91.1	-10.4	28.8	26.3	15.1
36	通信不可									
37	通信不可									
38	通信不可									
39	通信不可									
40	通信不可									
43	通信不可									
44	通信不可									
45	通信不可									
46	通信不可									
47	通信不可									
48	通信不可									
49	通信不可									
50	通信不可									
51	通信不可									
64	通信不可									
65	通信不可									

66	通信不可									
67	通信不可									
68	通信不可									
69	通信不可									
70	通信不可									
71	通信不可									
72	通信不可									
73	通信不可									
74	通信不可									

表 3-13 ユタカ 伝送遅延測定結果

ホ スト	最 小 遅 延 / MIN(msec)	平 均 遅 延 / AVG(msec)	最 大 遅 延 / MAX(msec)	平 均 遅 延 / MDEV(msec)
1	23.0845	45.3455	72.4985	13.9705
2	24.096	48.9125	72.34	13.9335
3	通信不可			
4	24.215	44.008	71.897	12.4535
5	23.1335	46.723	77.7725	14.7585
6	通信不可			
7	37.54	58.9405	83.1545	12.7095
8	36.389	55.0305	78.5715	12.211
9	24.319	47.9525	72.076	13.064
10	27.1415	48.245	74.2905	13.1255
11	23.784	46.389	72.062	14.094
12	22.387	42.6875	71.1135	12.1875
13	21.6695	41.8815	71.013	13.3465
14	32.589	56.2535	94.6045	15.216
15	24.8445	40.692	72.2645	9.9025
16	21.653	44.2045	73.0205	13.9765
17	23.143	45.3705	86.3355	16.079
18	22.721	43.63	71.1835	12.5515

19	23. 71	45. 6125	72. 3215	14. 4345
20	23. 461	46. 34	71. 641	13. 959
21	通信不可			
22	通信不可			
23	22. 2355	43. 0305	70. 8165	12. 5005
24	通信不可			
25	通信不可			
26	通信不可			
27	通信不可			
28	通信不可			
29	通信不可			
30	通信不可			
31	通信不可			
32	通信不可			
33	23. 804	45. 487	71. 8345	13. 9515
34	22. 247	48. 2565	85. 054	16. 251
35	26. 6665	44. 796	72. 6145	12. 191
36	通信不可			
37	通信不可			
38	通信不可			
39	通信不可			
40	通信不可			
43	通信不可			
44	通信不可			
45	通信不可			
46	通信不可			
47	通信不可			
48	通信不可			
49	通信不可			
50	通信不可			
51	通信不可			
64	通信不可			
65	通信不可			
66	通信不可			

67	通信不可			
68	通信不可			
69	通信不可			
70	通信不可			
71	通信不可			
72	通信不可			
73	通信不可			
74	通信不可			

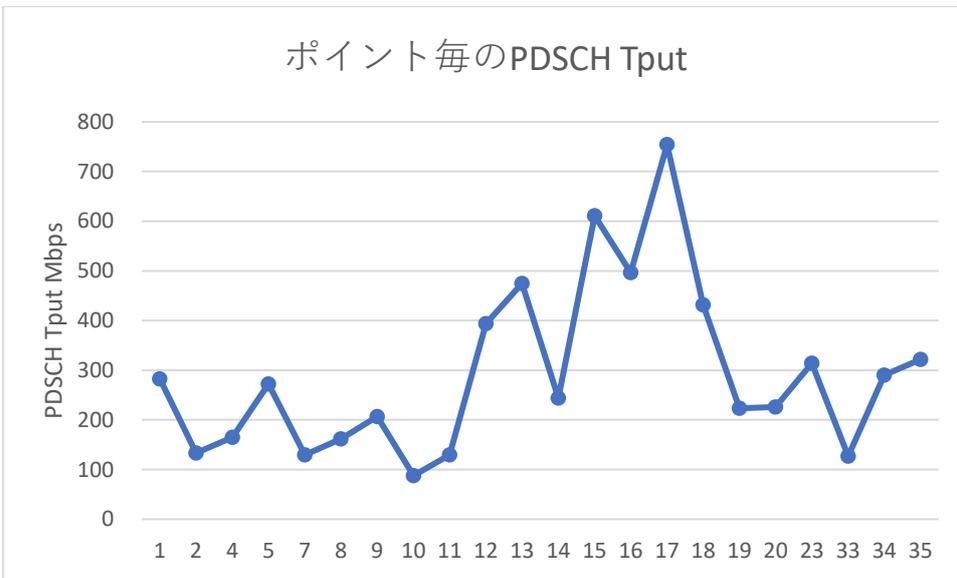


図 3-33 ユタカ PDSCH スループット

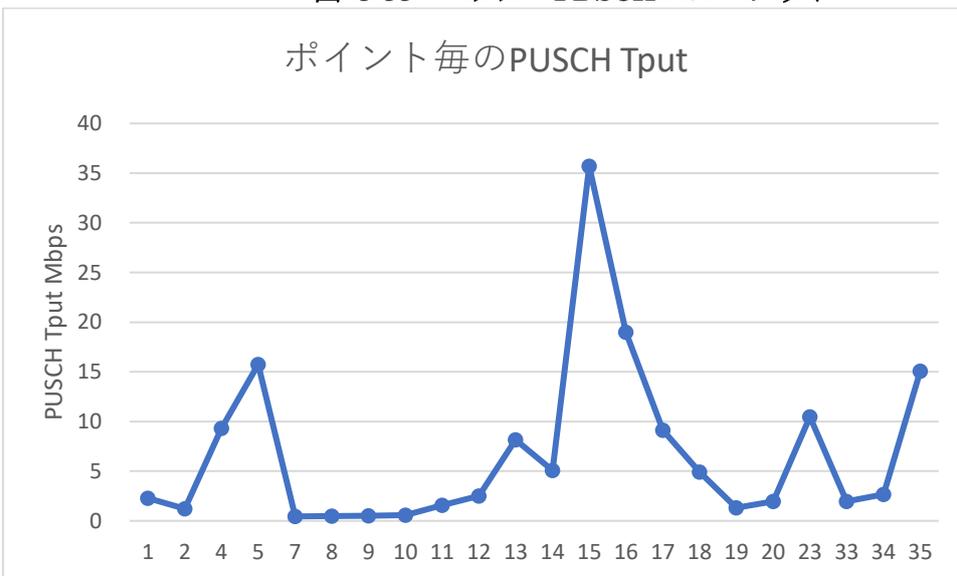


図 3-34 ユタカ PUSCH スループット

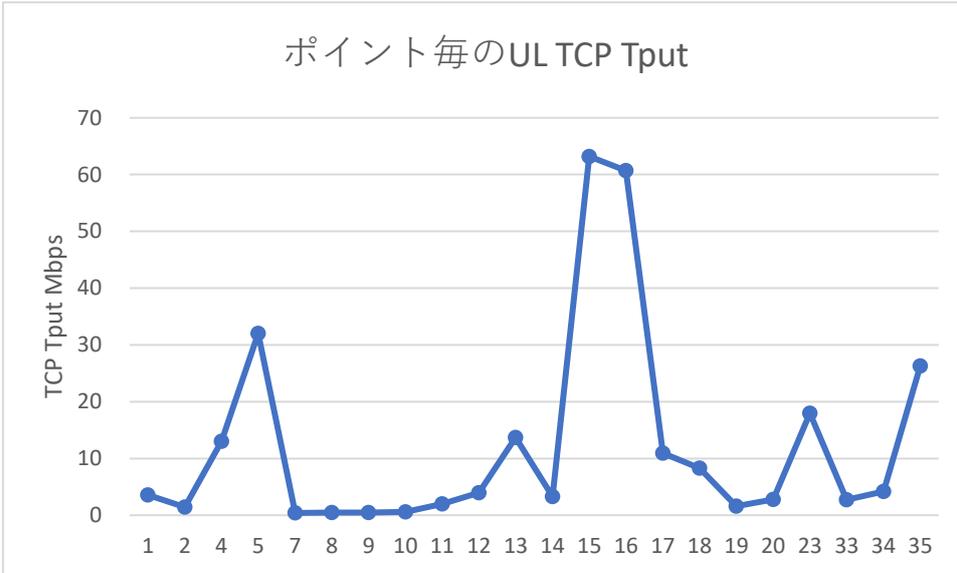


図 3-35 ユタカ Uplink TCP スループット

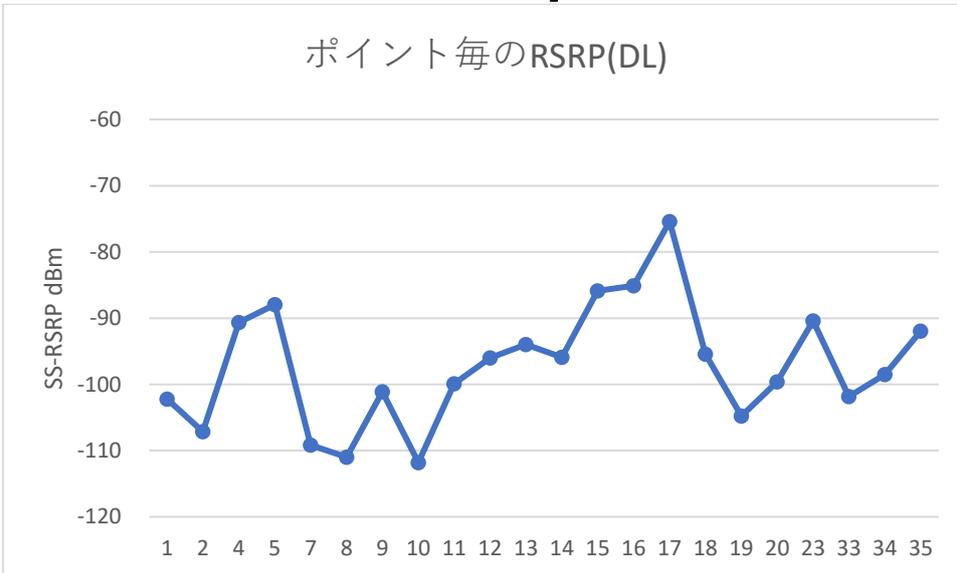


図 3-36 ユタカ SS-RSRP

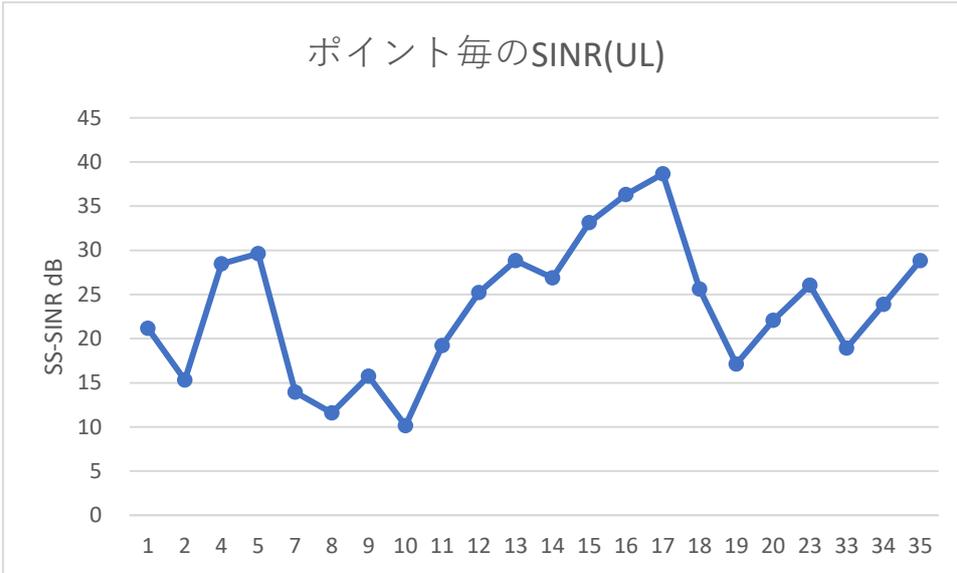


図 3-37 ユタカ SS-SINR

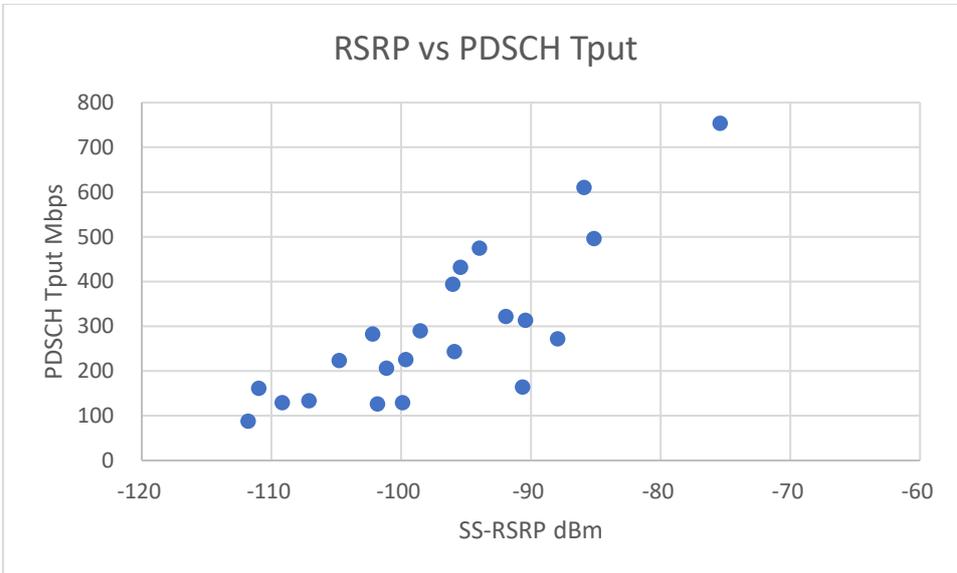


図 3-38 ユタカ SS-RSRP vs PDSCH スループット

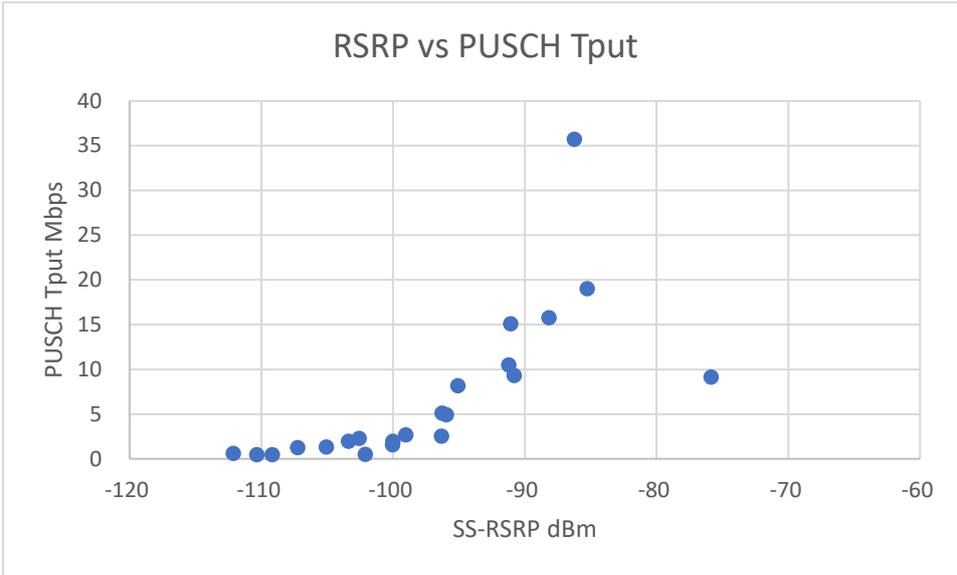


図 3-39 ユタカ SS-RSRP vs PUSCH スループット

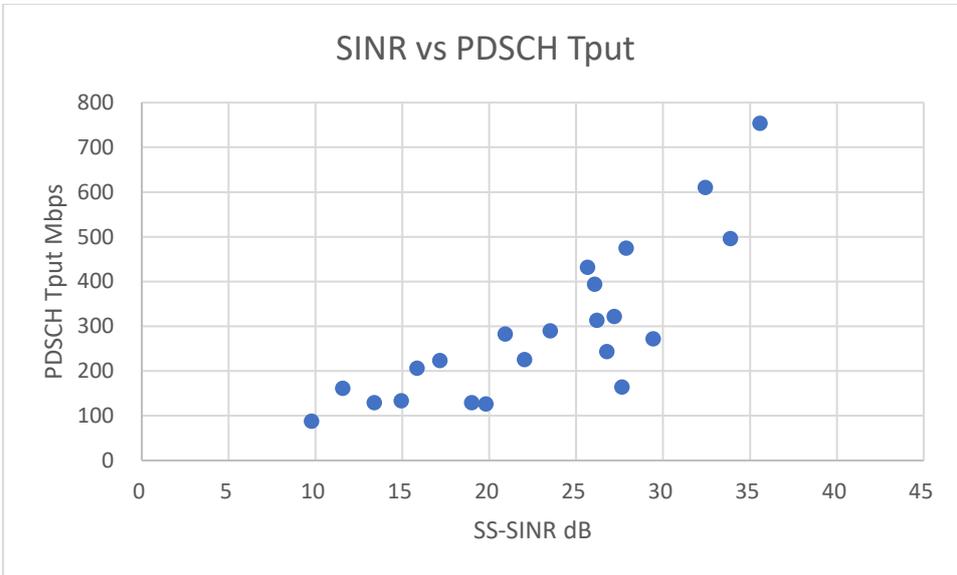


図 3-40 ユタカ SS-SINR vs PDSCH スループット

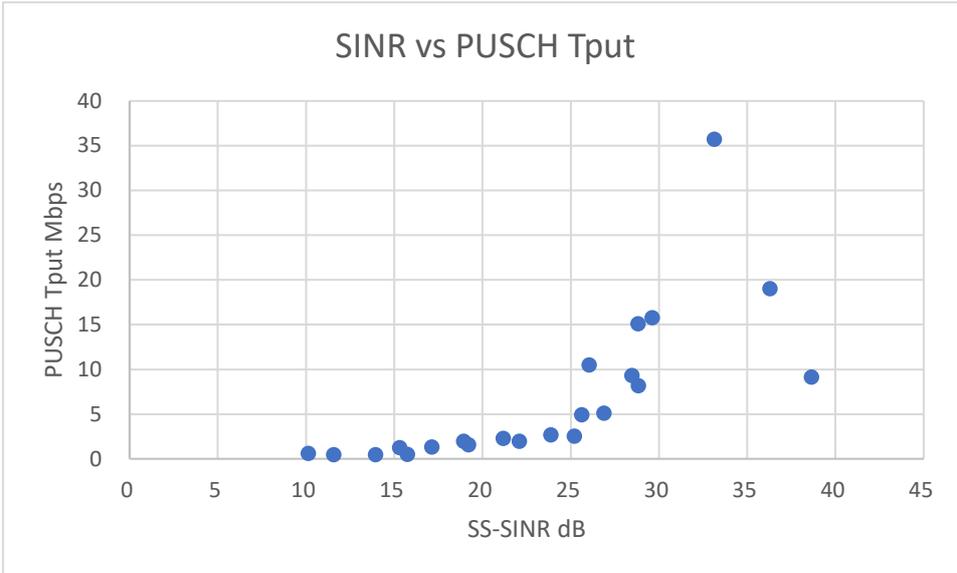


図 3-41 ユタカ SS-SINR vs PUSCH スループット

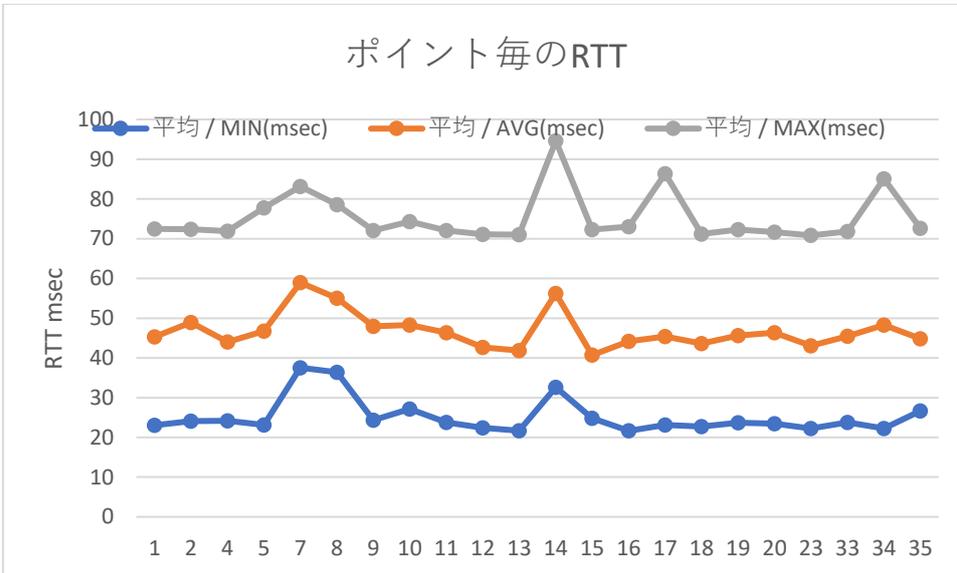


図 3-42 ユタカ 伝送遅延

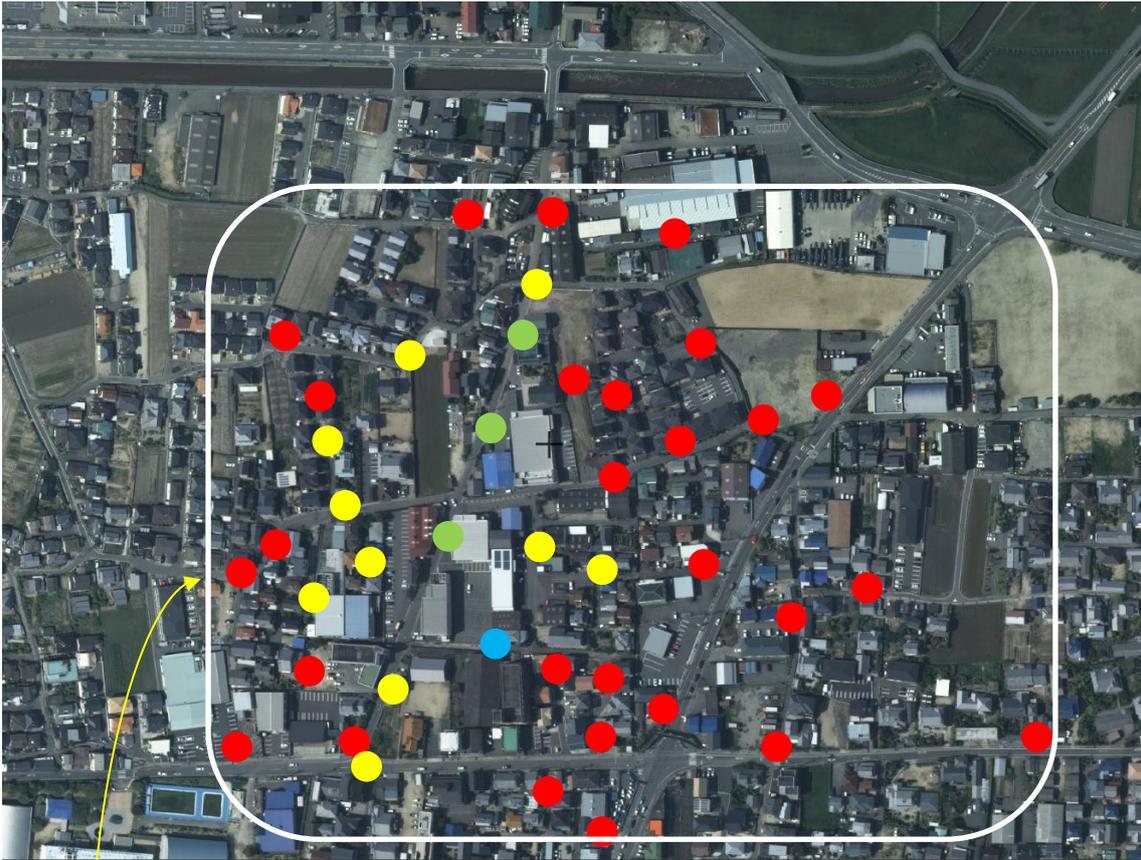


図 3-43 ユタカ SS-RSRP (UE) (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 $SS-RSRP \leq -100$: ● $-100 < SS-RSRP \leq -90$: ● $-90 < SS-RSRP \leq -80$: ● $-80 < SS-RSRP$ ●

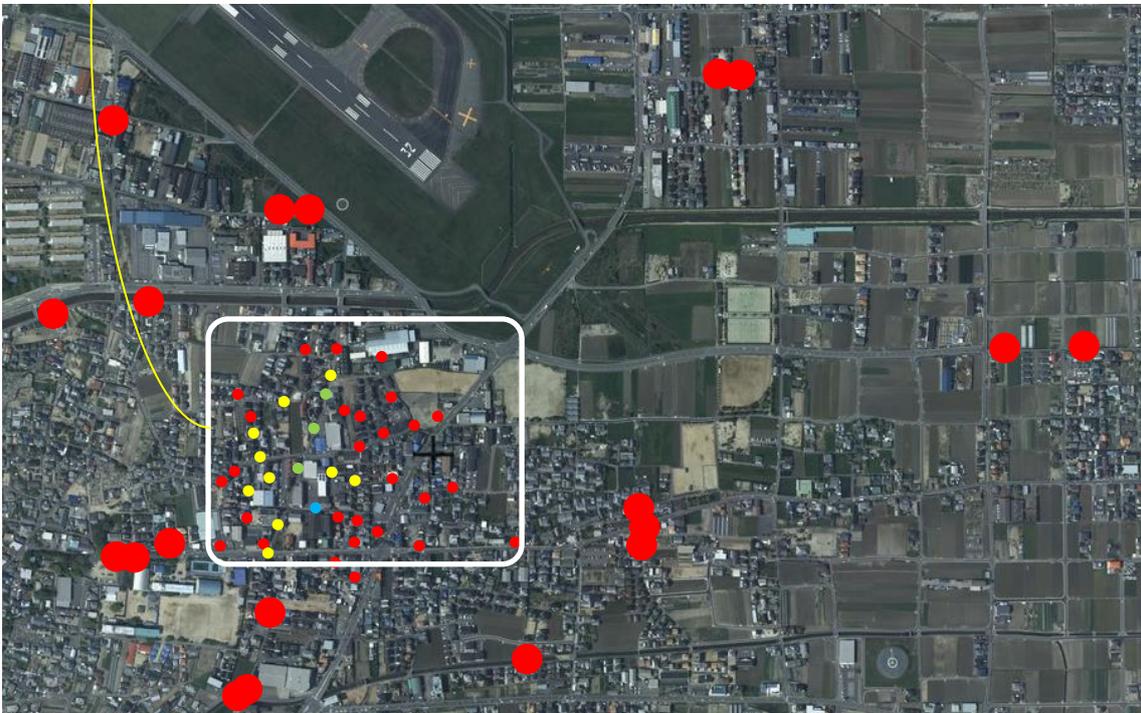


図 3-44 ユタカ SS-RSRP (UE) (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 $SS-RSRP \leq -100$: ● $-100 < SS-RSRP \leq -90$: ● $-90 < SS-RSRP \leq -80$: ● $-80 < SS-RSRP$ ●

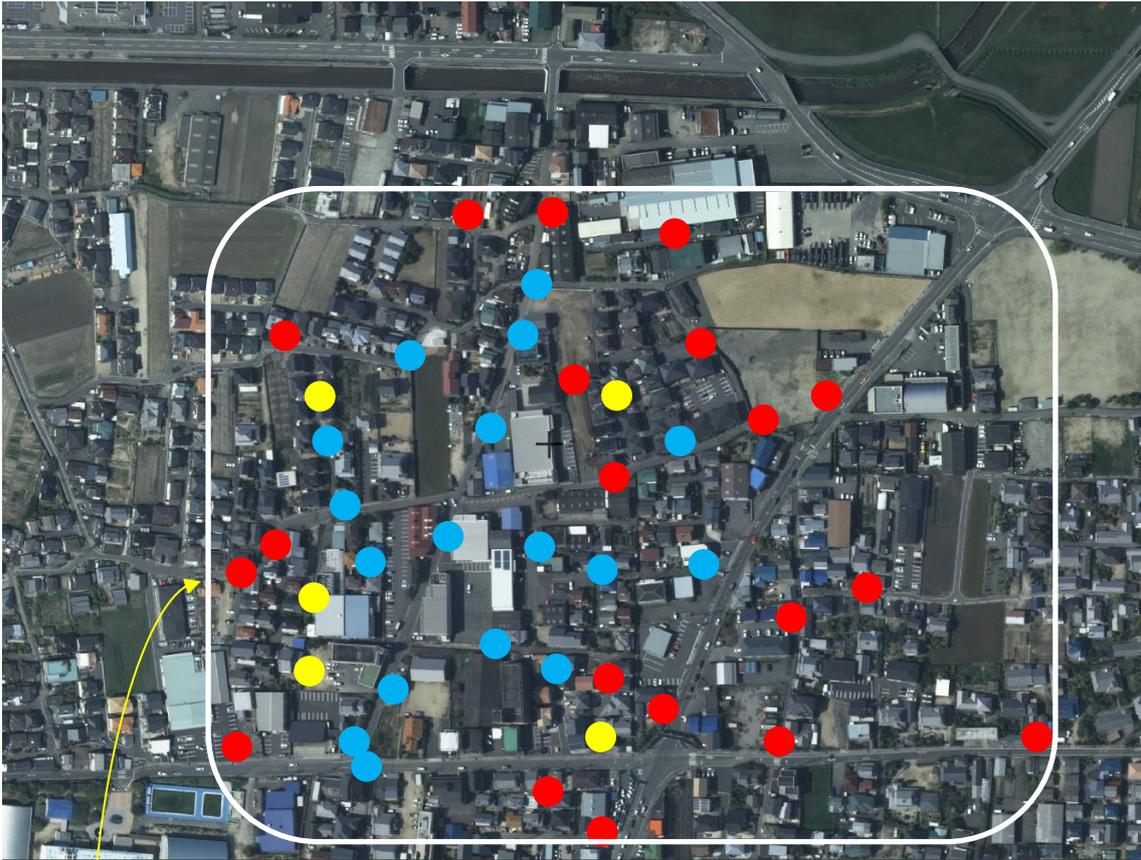


図 3-45 ユタカ PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PDSCH < 150 Mbps：● PDSCH ≤ 150 Mbps：●

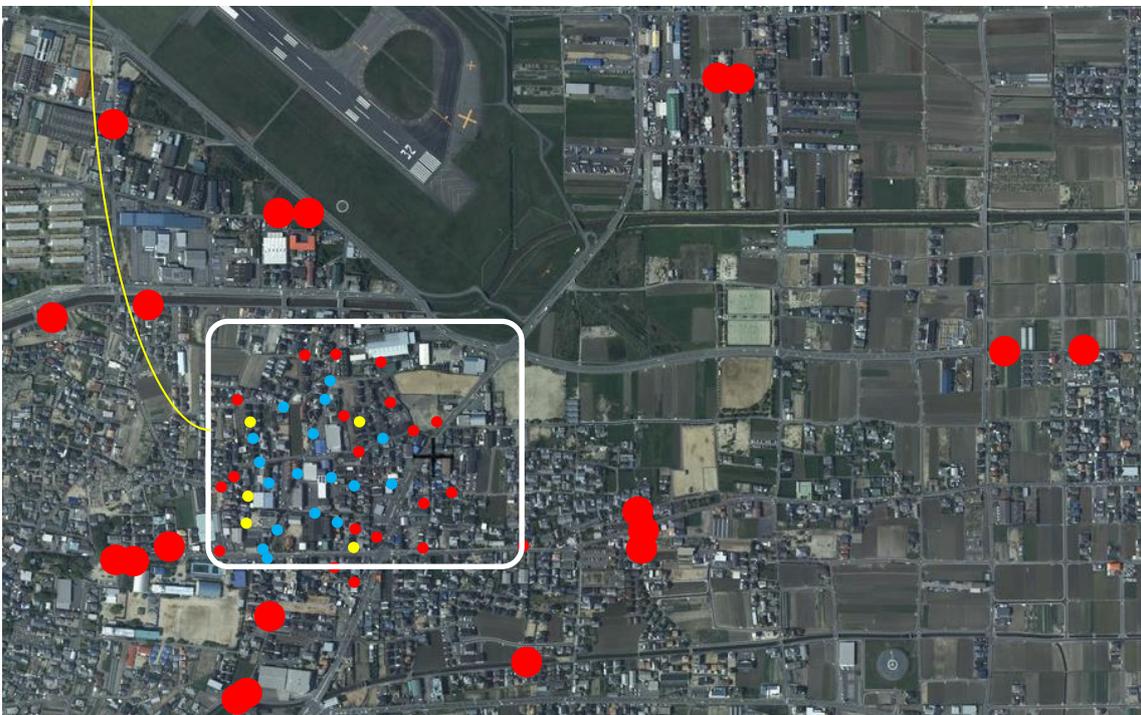


図 3-46 ユタカ PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PDSCH < 150 Mbps：● PDSCH ≤ 150 Mbps：●

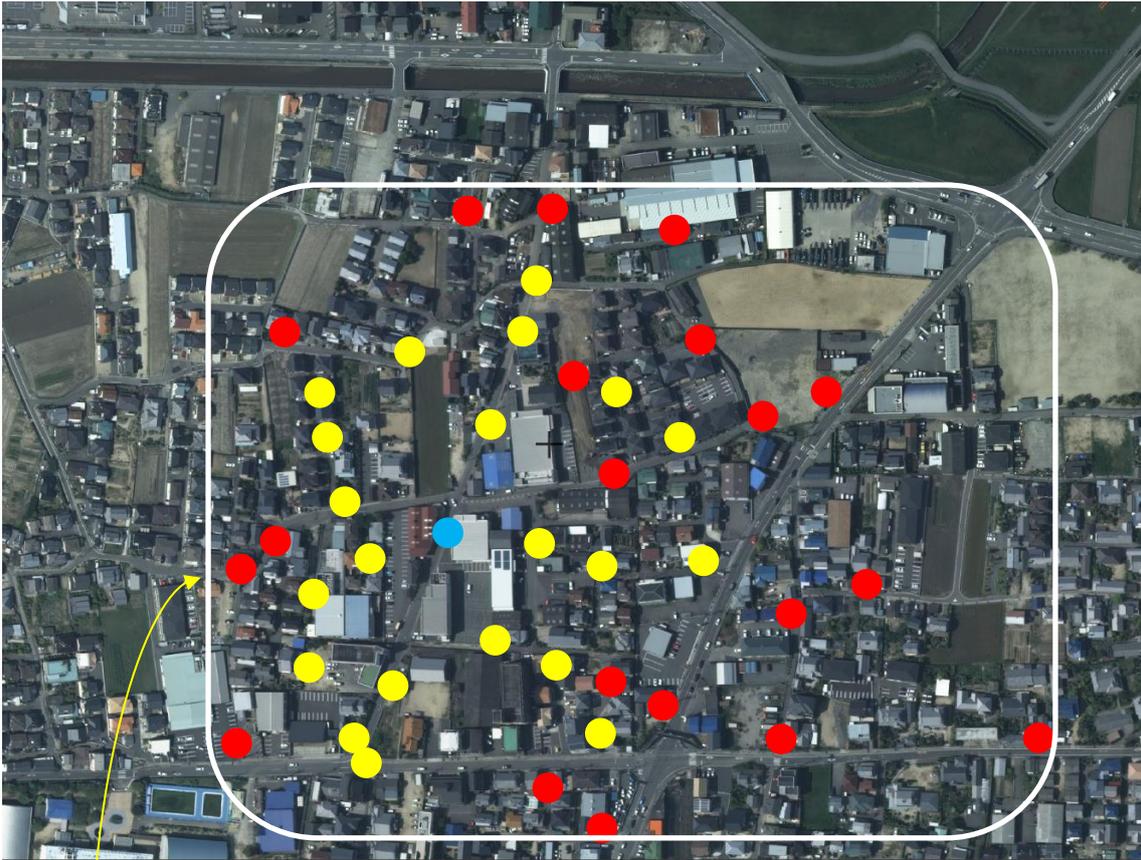


図 3-47 ユタカ PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PUSCH < 30 Mbps：● PUSCH ≤ 30 Mbps：●

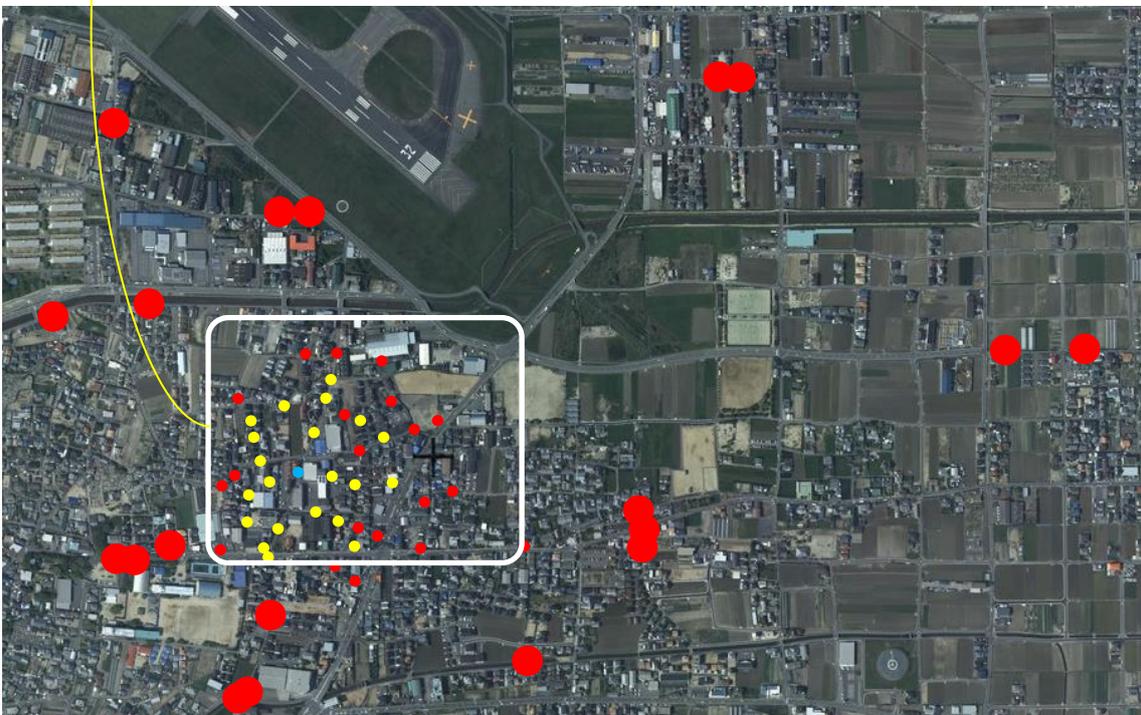


図 3-48 ユタカ PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PUSCH < 30 Mbps：● PUSCH ≤ 30 Mbps：●

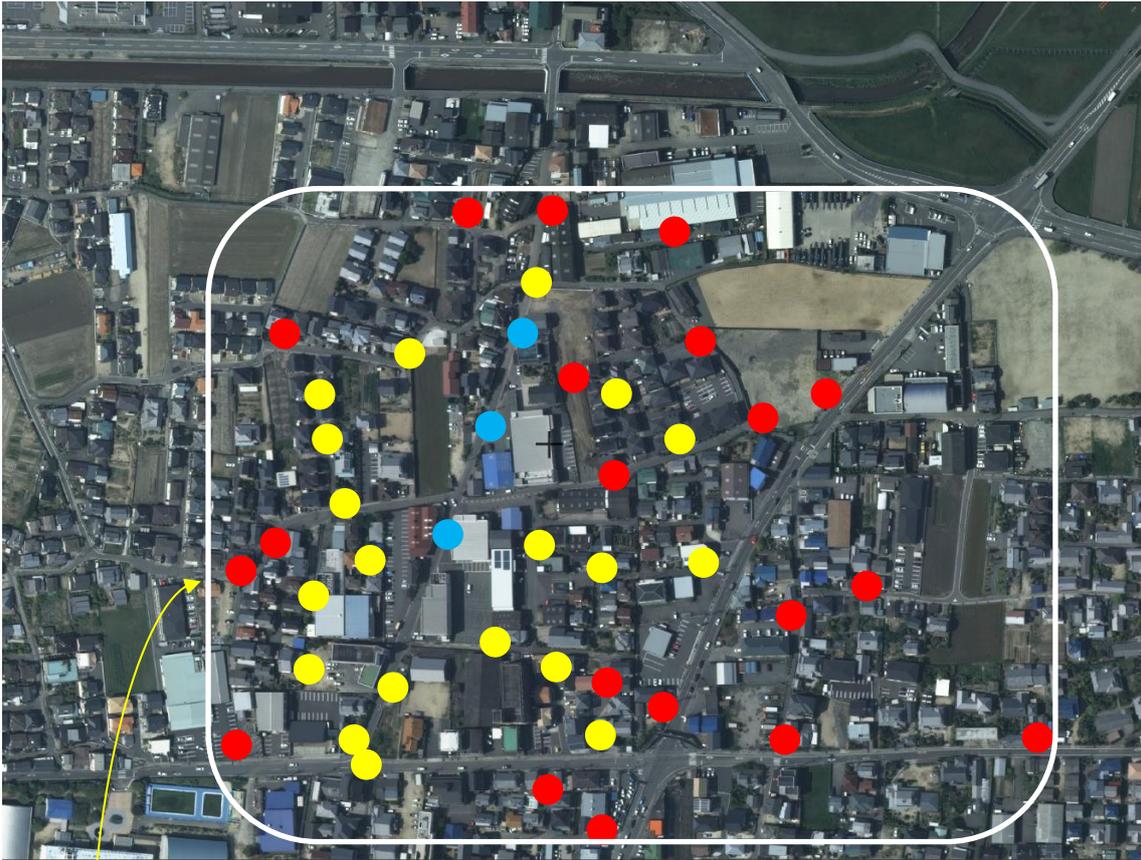


図 3-49 ユタカ UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30\text{Mbps}$: ● UL TCP Tput $\leq 30\text{Mbps}$: ●

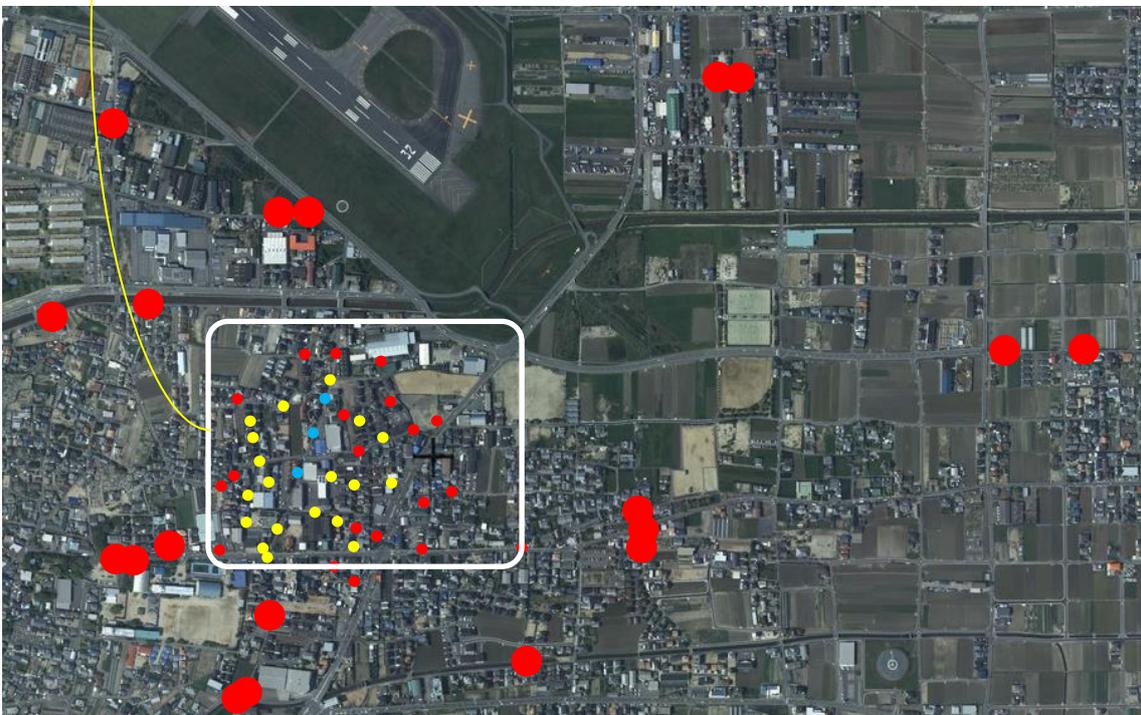


図 3-50 ユタカ UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30\text{Mbps}$: ● UL TCP Tput $\leq 30\text{Mbps}$: ●

地物による遮蔽があり、エリア算出式によるカバーエリア内であっても RSRP が-100dBm を下回るような測定ポイントも認められ、測定ポイント 6, 21, 22 では通信不可であった。エリア算出式による干渉調整区域端では通信不可となっており、実際のカバーエリア端においても通信不可であった。

・考察

ツウテック工場、ユタカ工場のいずれについても、カバーエリア端、干渉調整区域端がエリア算出式と比較すると実測値は距離が長くなる結果となった。ただしUEでの通信は不可であった。

両工場とも障害物のないエリア（ツウテック工場：南～南東側、ユタカ工場北東側）に対して距離が長くなる傾向が顕著であり、本実証で対象としている状況（ツウテック工場：敷地内に複数の工場建屋がある ユタカ工場：2階建て住居が密集する地域に道路を挟んで工場建屋が点在）とは異なり障害物がなく見通しが良い環境であることが要因で、一様な環境による計算を行うエリア算出式の結果との差異が発生したと考える。

3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

3.3.2.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

①サイトジェネラルな伝搬式を使うことにより、商用展開時における電波発射後に散見される遮蔽物等による弱電スポット等の発生懸念から 3.3.1 のエリア算出法による精度の課題を解決するため、3次元レイトレース法を導入し、当該実証環境での様々な反射波の影響も考慮したシミュレーションを行ったことで、より実態に近い精緻な伝搬モデルが追求できることを実証することを目的とした。

②一方で他者に対する与干渉計算という観点から、サイトジェネラルな伝搬式の精緻化を目的として本実証環境におけるパラメータ精緻化を実施した。

(2) 実証目標

【ツウテック株式会社】

①3次元レイトレース法を用いることにより、三方を山斜面に囲まれている工場敷地内において、屋外の基地局から複数工場建屋内に向けたローカル 5Gの実態に近い電波伝搬モデルを設計できることを実証した。

②屋内浸透モデルとして、電波法関係審査基準に規定するエリア算出法の R 値の最適値を検討した。

【株式会社ユタカ】

①3次元レイトレース法を用いることにより、市街地（住宅地）に囲まれ、道路をはさむ自己土地内に 7 つの工場建屋が存在する環境において屋外から各工場建屋間をローカル 5Gで接続する場合に、屋外の基地局から複数工場建屋内に向けたローカル 5Gの実態に近い電波伝搬モデルを設計できることを実証した。

②市街地での屋外モデルとして、電波法関係審査基準に規定するエリア算出法の S 値の最適値を検討した。

3.3.2.2 実証仮説

(1) 精緻な伝搬モデルの追及

3次元レイトレース法は、エリア算出法より実態に近いシミュレーションを行える。契約締結後に、現地調査を実施して、レイトレース法を用いたカバーエリア図および調整対象区域図を作図した。

RapLab は3次元レイトレース法(イメージング法)を使用した電波伝搬の解析ツールです

レイトレース法とは

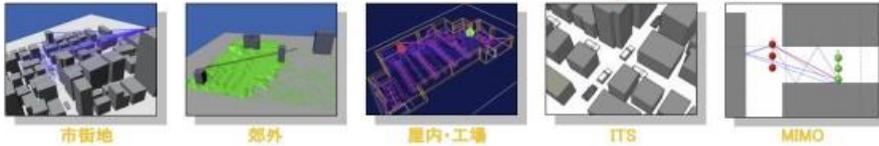
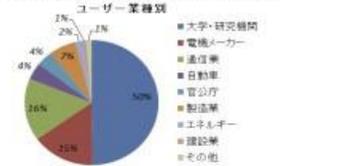
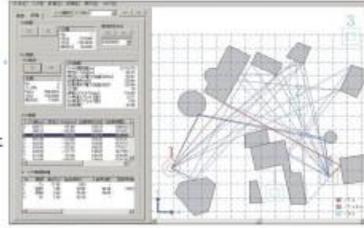
幾何光学理論に基づき、送信点から受信点へ到達する電波の経路を追跡することにより、伝搬損失、受信レベル、遅延時間、到来方向を推定します。電波の通り道を可視化できることから、電波伝搬解析にも広く使われています。

RapLab の目的

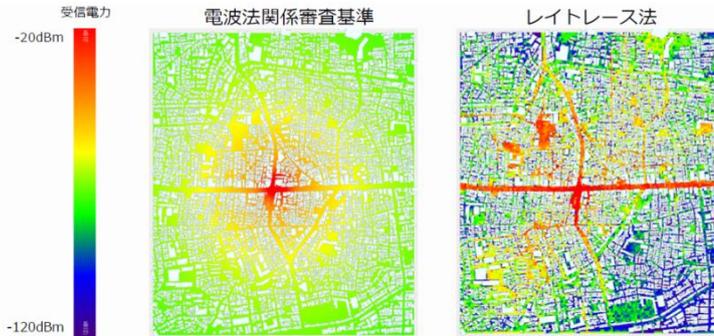
RapLabは無線研究者の研究をサポートすることを目的とし、正確な電波伝搬のシミュレーションを実現します。計算手法は基本的な電磁波理論に従っており、レイトレース法の基本要素である反射・回折・透過による伝搬損失計算を行います。反射係数および透過係数はフレネルの式を、回折係数はUTD(Uniform Geometric Theory of Diffraction)による式を用いています。入力された建物や地形モデルに対して、忠実にレイトレース計算を行うため、受信点への到達波を正確に把握することができます。

RapLab は以下のような分野で使われています。

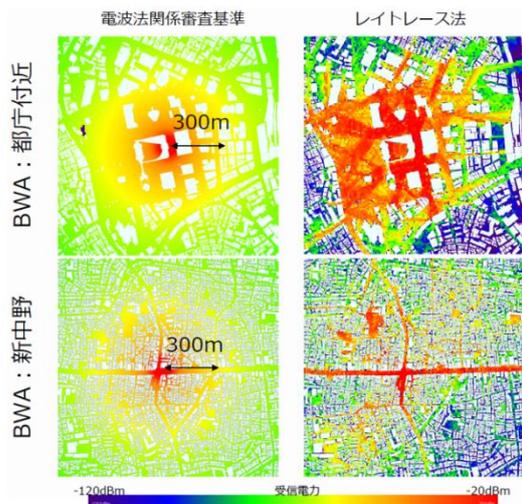
- 移動体通信、無線LAN、ITS、RFIDタグ、センサーネットワーク、IoT分野などの電波伝搬研究
- MIMOやアンテナ設計などの各種研究
- 測定データの基本的な検証(電波の到来方向や伝搬路の確認など)
- 学校教育や電波伝搬解説の教材として



電波法関係審査基準のような**推定式**は場所依存性のない評価(サイトジェネラルな評価)に適しており、**レイトレース法**は、建物や地形を考慮できるため、特定の場所での評価(サイトスペシフィックな評価)に適している。



- 電波法関係審査基準では、**受信電力は同心円状に広がり**基地局から離れても高い。
- レイトレース法では、受信電力は大きな道路沿いでは基地局から離れても高いが、**建物の影響により局所的に低い場所**もある。



- 電波法関係審査基準では、場所による違いが見られない。
⇒サイトジェネラルな評価
- レイトレース法では、場所による違いが見られる。
⇒サイトスペシフィックな評価

▼
どこまで電波が届くのかだけでなく、サービスエリア内のどこに電波が届かないかも評価可能

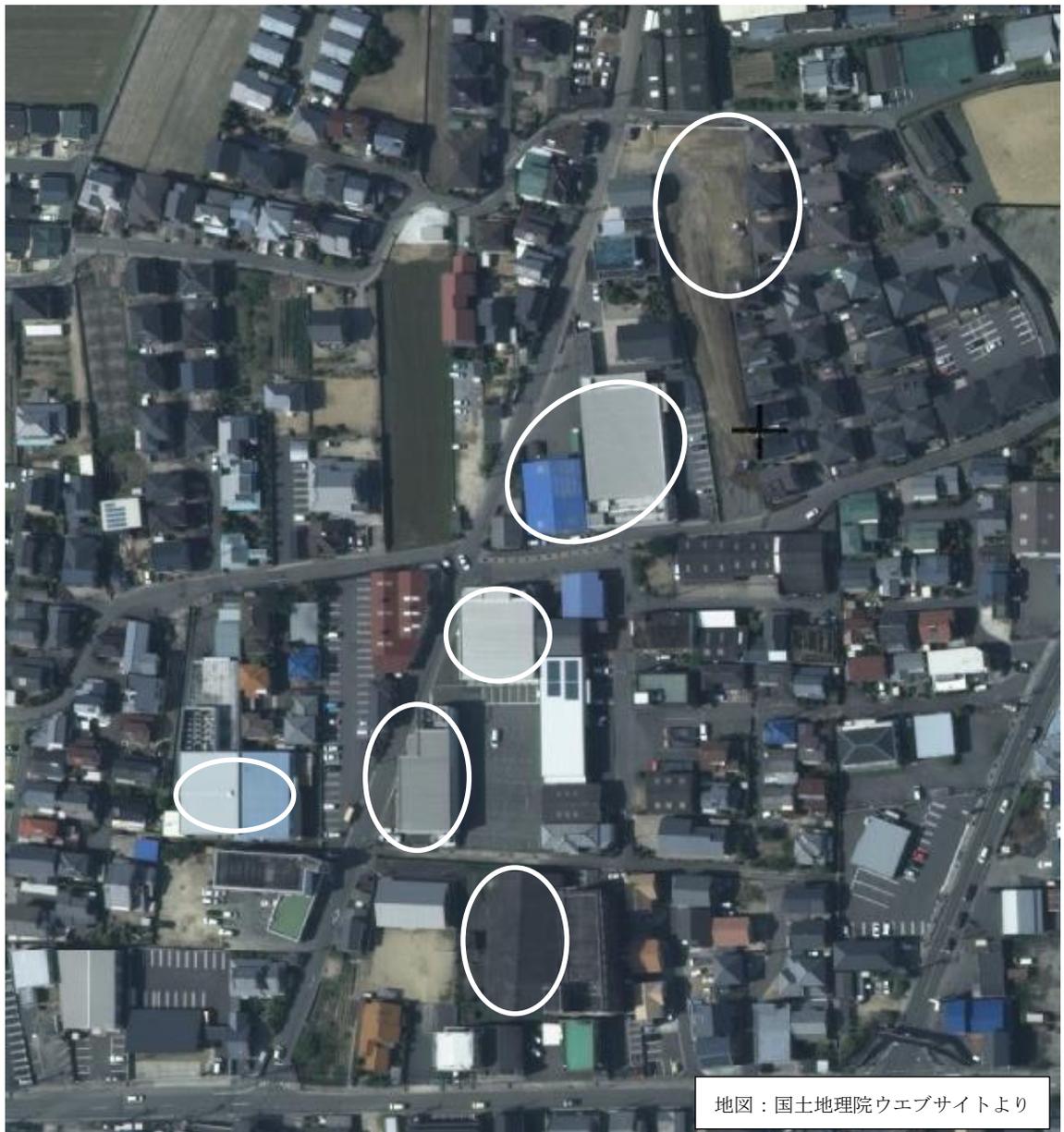
(2) 電波法関係審査基準に規定するエリア算出法の精緻化

【ツウテック株式会社】



一般的な住居などに比べてガラスが占める割合が少なく、電波法関係審査基準に規定するエリア算出法の R 値が 16.2 よりも大きいと想定した。

【株式会社ユタカ】



住宅が密集しているエリアであり、電波法関係審査基準に規定するエリア算出法による端末地上高では、ほぼ見通しが無いと思われる。S 値の調整を想定した。

3.3.2.3 評価・検証項目

(1) 精緻な伝搬モデルの追及

3次元レイトレース法が、今回のような実証環境においては、実態に即した精度の高いシミュレーションを行えることを検証した。

(2) 電波法関係審査基準に規定するエリア算出法の精緻化

電波法関係審査基準に規定するエリア算出法による受信電力と、実際に測定する受信電力の間にどの程度の誤差が生じるか検証した。

3.3.2.4 評価・検証方法

(1) 精緻な伝搬モデルの追及

【ツウテック株式会社】

屋外の基地局に対し、カバーエリア内の 20 測定点において、受信電力を測定し、3次元レイトレース法によるシミュレーション結果との誤差の量を確認した。

シミュレーションの受信点は屋外、屋内とも 5m 間隔にグリッド状に配置する（各棟内に 100 点程度、屋外に 10,000 点程度、調整可）。

※平面図から 3 次元モデルを作成し、材質設定などを行い計算モデルを作成。地形は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ)から工場周辺 1.3km×1.7km を作成した。

測定結果を踏まえ、3次元レイトレース法が精緻化されたエリア算出法より誤差の量が少ないことを検証した。

【株式会社ユタカ】

屋外の基地局に対し、カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力を測定し、3次元レイトレース法によるシミュレーション結果との誤差の量を確認した。

シミュレーションは受信点を屋外に 5m 間隔にグリッド状に配置した。

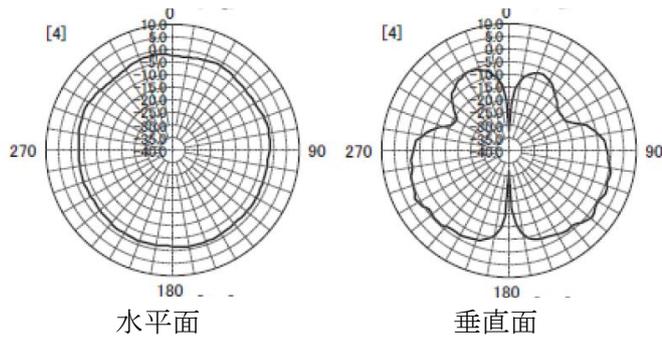
※商用化を見込んで作業工数を可能な限り削減するために市販の地図データベースから 3 次元モデルを作成し（材質はコンクリート）計算モデルを作成。地形は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)から工場周辺 2km 四方作成した。

測定結果を踏まえ、3次元レイトレース法が精緻化されたエリア算出法より誤差の量が少ないことを検証した。

(2) 電波法関係審査基準に規定するエリア算出法の精緻化

5G 端末と DM ツール（メリテック社製 Sigma-LA を想定）または測定器（アンリツ社製エリアテスタ ML8780A を想定）により RSRP を取得する。

アンリツ社製エリアテスタのアンテナは下図の通り水平面無指向性アンテナとなる。



カバーエリア内の任意 5 点（ツウテック株式会社は屋内、株式会社ユタカは屋外）でデータを取得し、電波法関係審査基準に規定するエリア算出式を用いたシミュレーション結果と比較し測定結果の妥当性を確認する。

1 測定点あたり 1000 サンプル：測定位置を 10λ の範囲でずらして測定し、すべての RSRP の値より中央値を算出する。

実測した中央値と電波法関係審査基準に規定するエリア算出法による計算値とを比較して補正値を導き出す。

導き出した補正値を適用して電波法関係審査基準に規定するエリア算出法によりカバーエリア図を再度作成する。

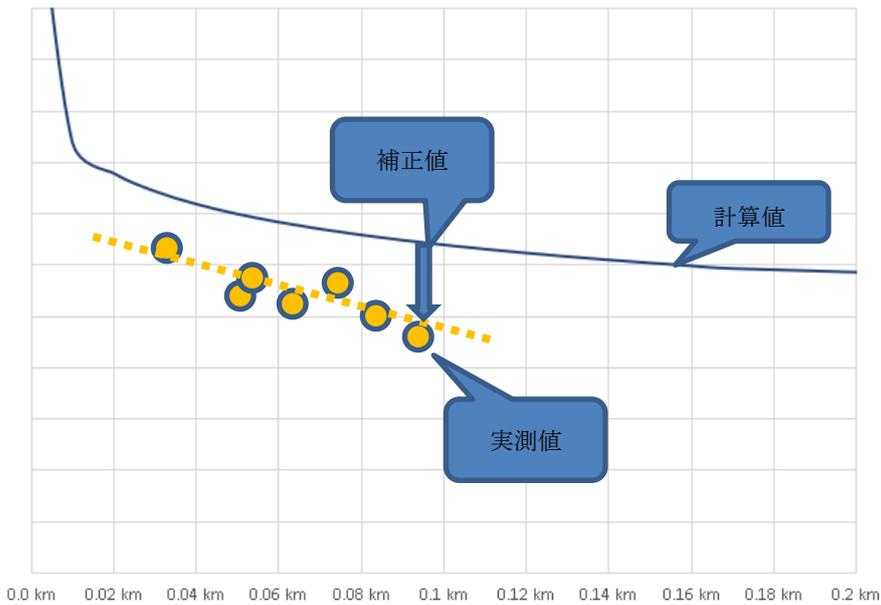


図 3-51 エリア算出法の補正イメージ

なお、分析に必要となる以下データを可能な限り収集する。

【ツウテック株式会社】

測定パラメータ：LOS/NLOS、測定点の建物内深さ、測定階、基地局から壁面までの距離、壁面に対する水平・垂直の角度

建物パラメータ：外壁/内壁の厚さ、床の厚さ、屋根、壁、床の材質、遮蔽物となる壁面の壁とガラスの比率、窓の構造(ガラスの枚数)、窓のコーティング、窓における金属断熱材の有無等

【株式会社ユタカ】

測定パラメータ : LOS/NLOS、測定点から半径 100m の建物状況、基地局から半径 100m の建物状況

3.3.2.5 実証結果及び考察

(1) 【ツウテック株式会社】

1) 3次元レイトレース

免許申請時の屋内浸透なしの場合の調整対象区域及びカバーエリア端探索の測定点を含む 1.3km×1.7km エリアを対象として、3次元レイトレースシミュレーションを実施した。



免許申請時のカバーエリア及び調整対象区域



図 3-4 ツウテック株式会社シミュレーション (屋内浸透なし)

出所：実施計画書

エリア端探索の測定点



出典：国土院測務ウェブサイト (https://www.mhl.go.jp/) 写真地図を加工して作成

ポイントの目安と距離
カバーエリア端(119dBm±3dB)
調整対象区域(126dBm±3dB)

© OpenStreetMap contributors

図 3-52 シミュレーション範囲

モデリングソフトのSketchUpを用いて手動で作成するモデルを使用した。

図 3-53 の赤枠のA～Dの4つの建物と橙枠の資材倉庫、青枠の①～④の4つの構造物、緑枠のB棟とD棟の渡り廊下の外形をモデル化した。図中のA棟、B棟、D棟については屋内もモデル化した。

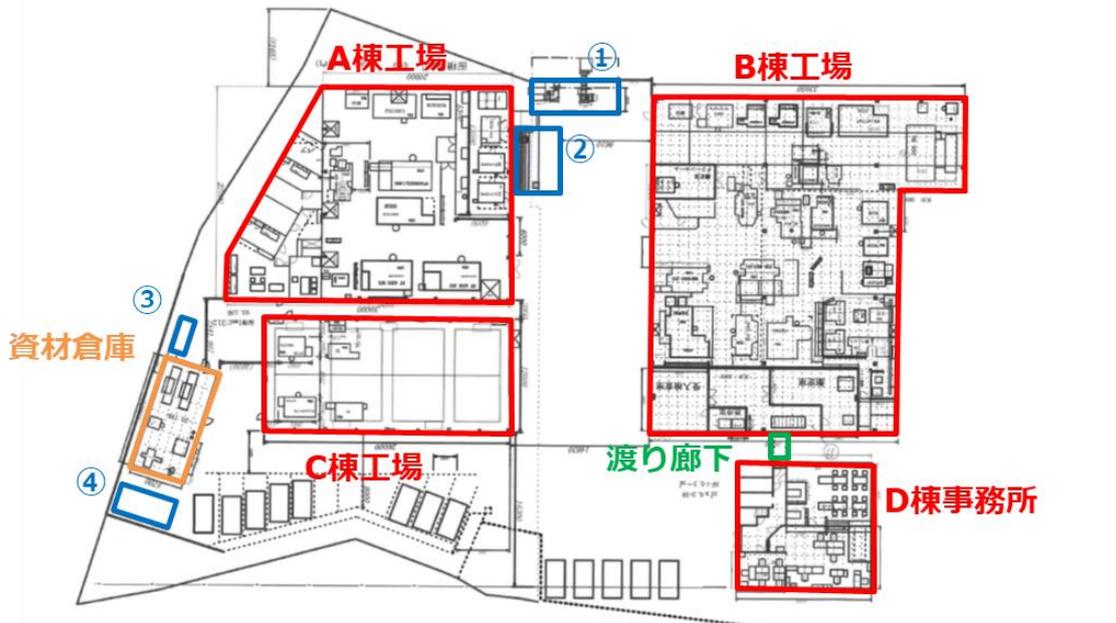


図 3-53 シミュレーションのモデル化建物

地形モデルは国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルの 10m メッシュ地形図の等高線データを使用した。ツウテック工場敷地内は平面としている。

算出式では地形モデルのみを使用し、レイトレースでは建物及び地形モデルを使用した。

屋外のシミュレーションモデルを図 3-54 に、屋内のシミュレーションモデルを図 3-55 に示す。

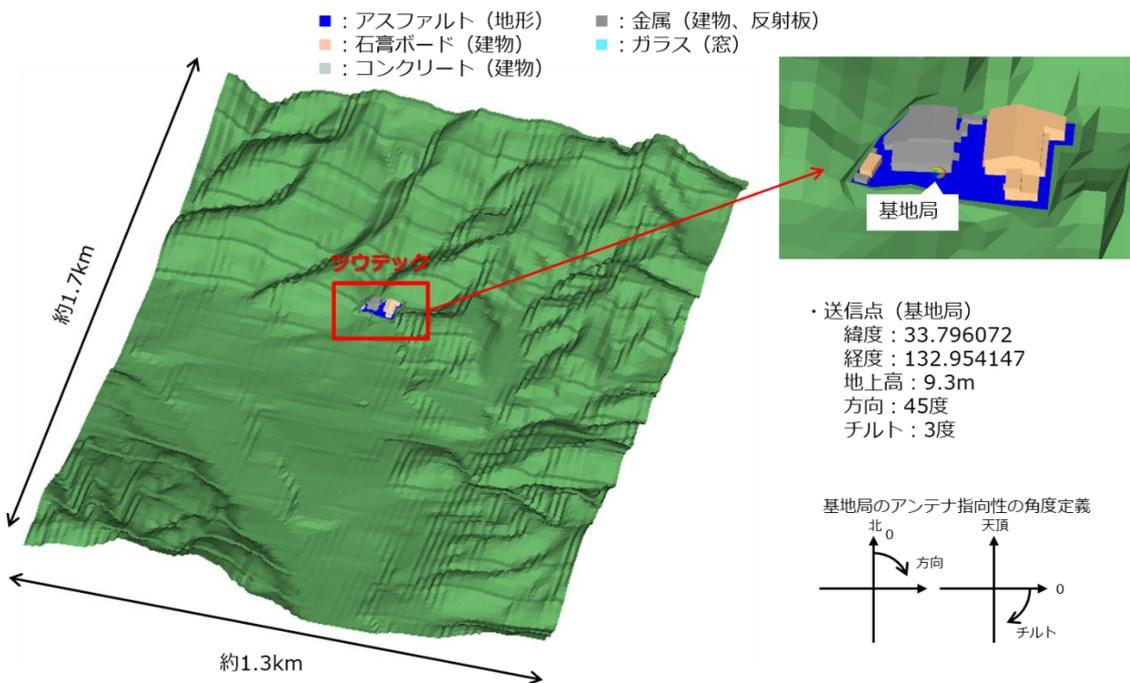
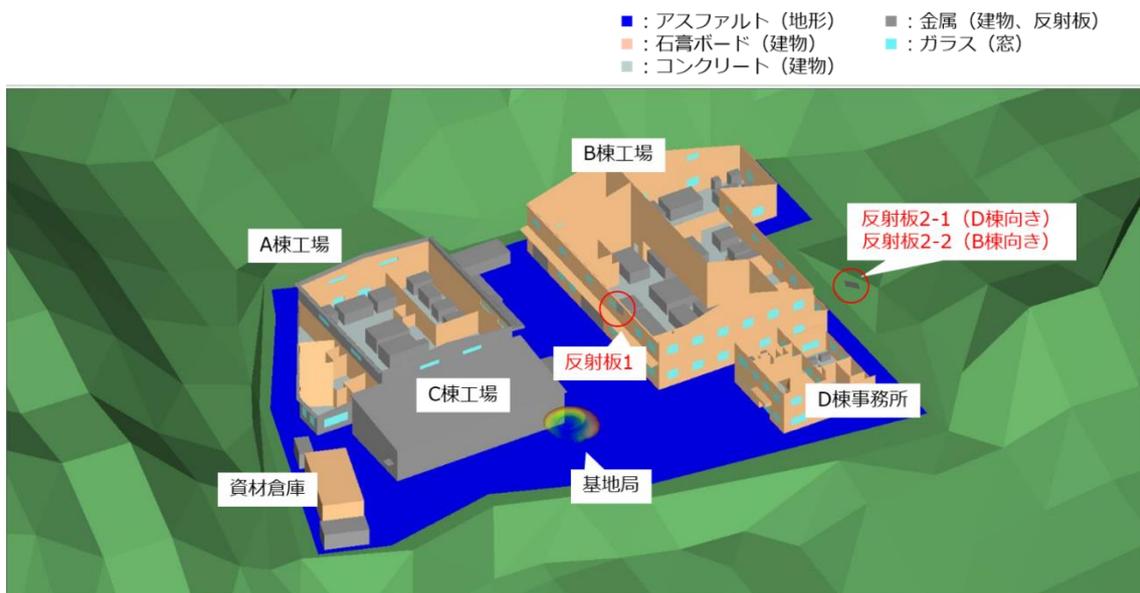


図 3-54 シミュレーションモデル (屋外)



※屋根・天井は非表示
 ※算出式では地形モデルだけを使用

図 3-55 シミュレーションモデル (屋内)

シミュレーションに使用したモデルの材質を表 3-14 に、材質特性を表 3-15 に示す。

表 3-14 モデル材質

モデル	材質
敷地内地面	アスファルト
敷地外地面	土
A棟工場	金属（天井、外壁） 石膏ボード（内壁） ガラス（窓） 床（コンクリート）
B棟工場	石膏ボード（天井、壁） ガラス（窓） 床（コンクリート） 金属（シャッター）
C棟工場	金属（外壁）
D棟事務所	石膏ボード（天井、壁） ガラス（窓） 床（コンクリート）
資材倉庫	石膏ボード
反射板	金属
その他の構造物	金属

表 3-15 材質特性

材質	特性※
アスファルト	比誘電率：5.72 導電率：0.0024S/m
土	比誘電率：15.95 導電率：1.1683S/m
石膏ボード	比誘電率：2.73 導電率：0.0375S/m 厚さ：0.2m
コンクリート	比誘電率：5.24 導電率：0.1589S/m 厚さ：0.2m
ガラス	比誘電率：6.31 導電率：0.0298S/m 厚さ：0.003m (D棟のみ厚さ0.006m)
金属	PEC

屋外の受信点配置を図 3-56 と図 3-57 に示す。屋外①の配置では、地上から高さ 1.5m の位置に、シミュレーション範囲全体にわたって 5m 間隔で受信点を配置した。この受信点は算出式でのシミュレーションでも使用している。屋外②の配置では、反射板の地表からの高さ（反射板 1 : 7.33m、反射板 2 : 9.3m）に、ツウテック建物周囲 200m×200m にわたって 2m 間隔で配置した。

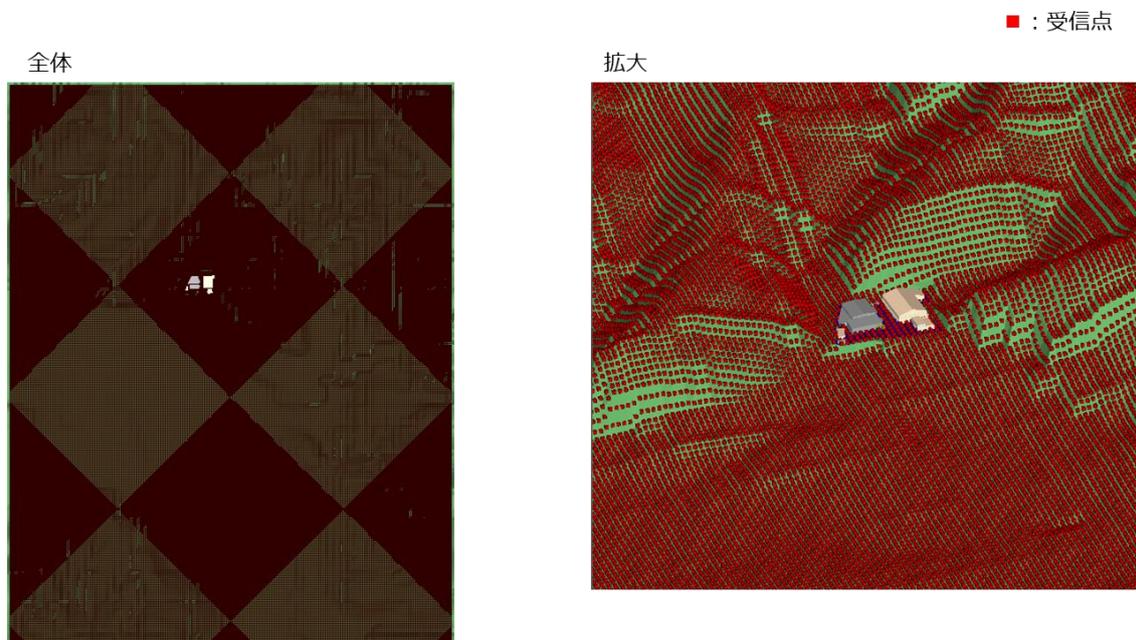
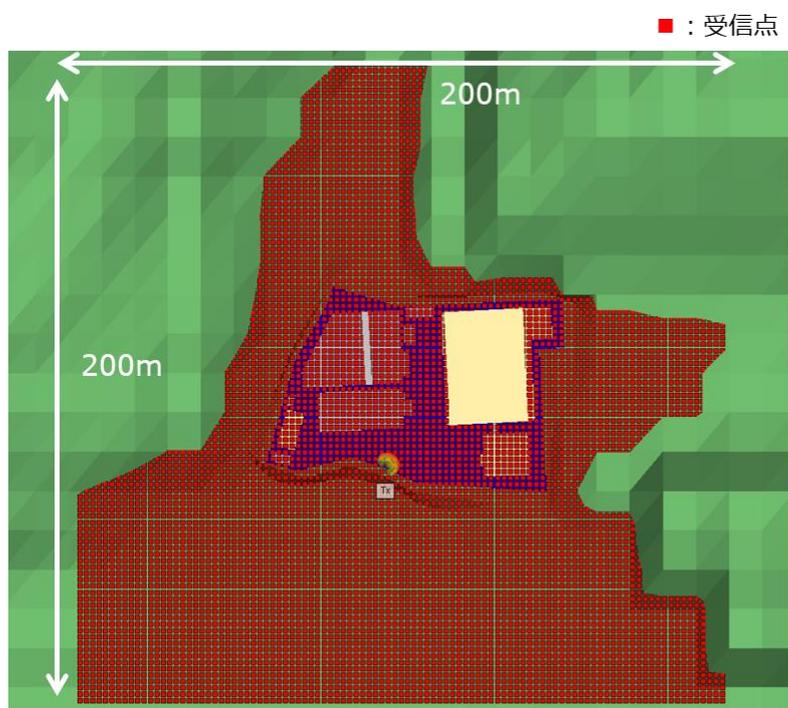


図 3-56 受信点配置 屋外①



※建物や地面に入り込んでいる受信点は計算不可

図 3-57 受信点配置 屋外②

屋内の受信点配置を図 3-58 と図 3-59 に示す。屋内①では、ツウテック敷地の地表から 1.5m に、ツウテック敷地を含む 100m×70m に 1m 間隔で配置した。この受信点はレイトレースのみで使用している。屋内②ではUE高さに、UE周辺 2m×2m に 0.5m 間隔で配置し、B棟 2F にフロアからの高さ 1.5m に、1.7m×3m に 0.5m 間隔で配置している。

■ : 受信点

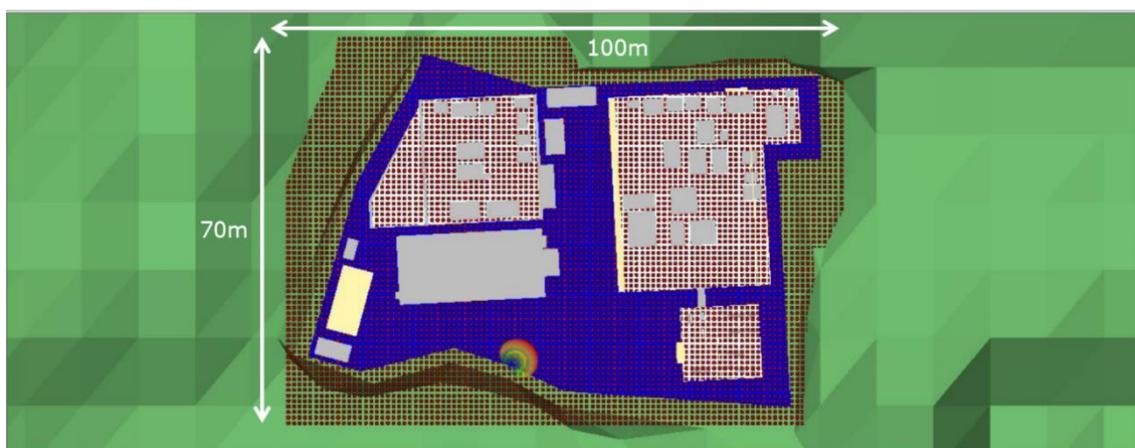


図 3-58 受信点配置 屋内①

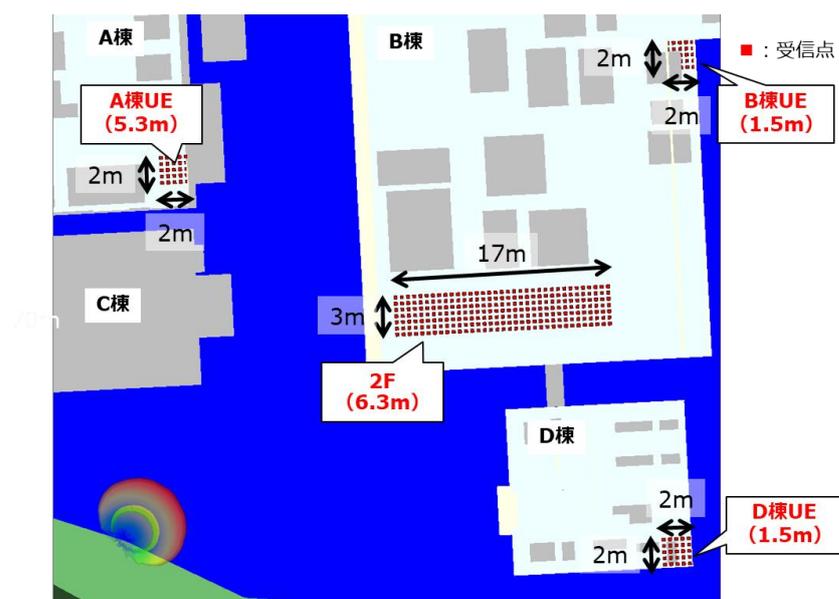


図 3-59 受信点配置 屋内②

シミュレーション条件を表 3-16 に示す。

表 3-16 シミュレーション条件

項目			値
周波数			4850MHz
アンテナ	送信	送信電力	2W (33dBm)
		種類	受領資料の2次元アンテナパターン (Rev2_AntPtr.csv) を3次元アンテナパターンに変換して使用 (下図参照)
		偏波	垂直偏波
	受信	種類	無指向性 (最大利得2.98dBi)
		偏波	垂直偏波
計算条件		算出式	郊外
		レイトレース	屋外 : R2D1T0 屋内 : R5D2T3 ※最大反射回数 (R)、最大回折回数 (D)、最大透過回数 (T)
出力			カバーエリア及び調整対象区域、RSSI、RSRP、伝搬損失等

屋外のシミュレーション結果を図 3-60 に示す。

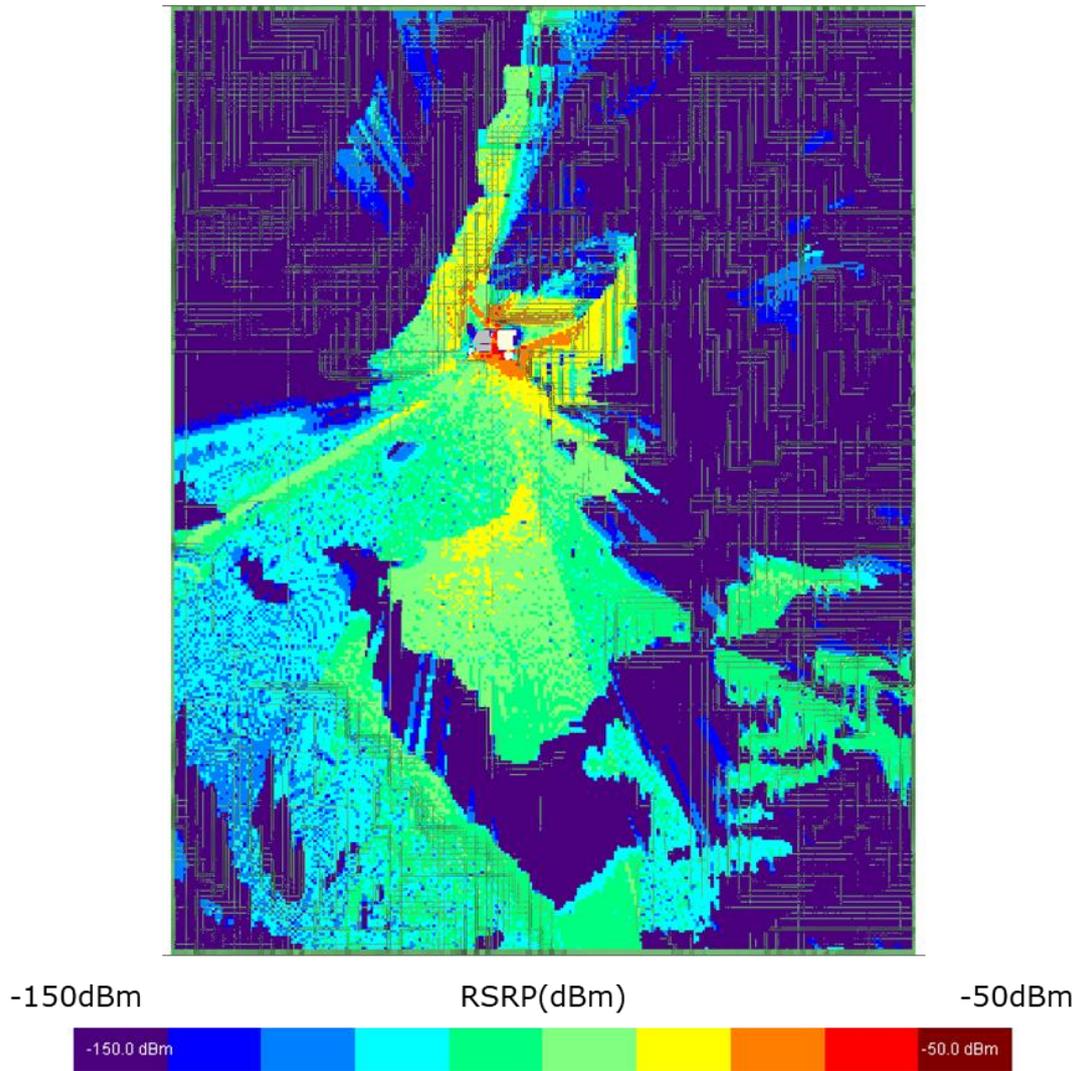


図 3-60 3次元レイトレースの結果 屋外①

敷地の南側はかなり遠くまで電波が飛んでいる結果となった。

屋内のシミュレーション結果を図 3-61 に示す。B棟、D棟については屋内でも十分な受信電力が得られていることが分かる。A棟では場所によっては十分な受信電力が得られない。これはC棟の遮蔽の影響が大きいと考えられる。

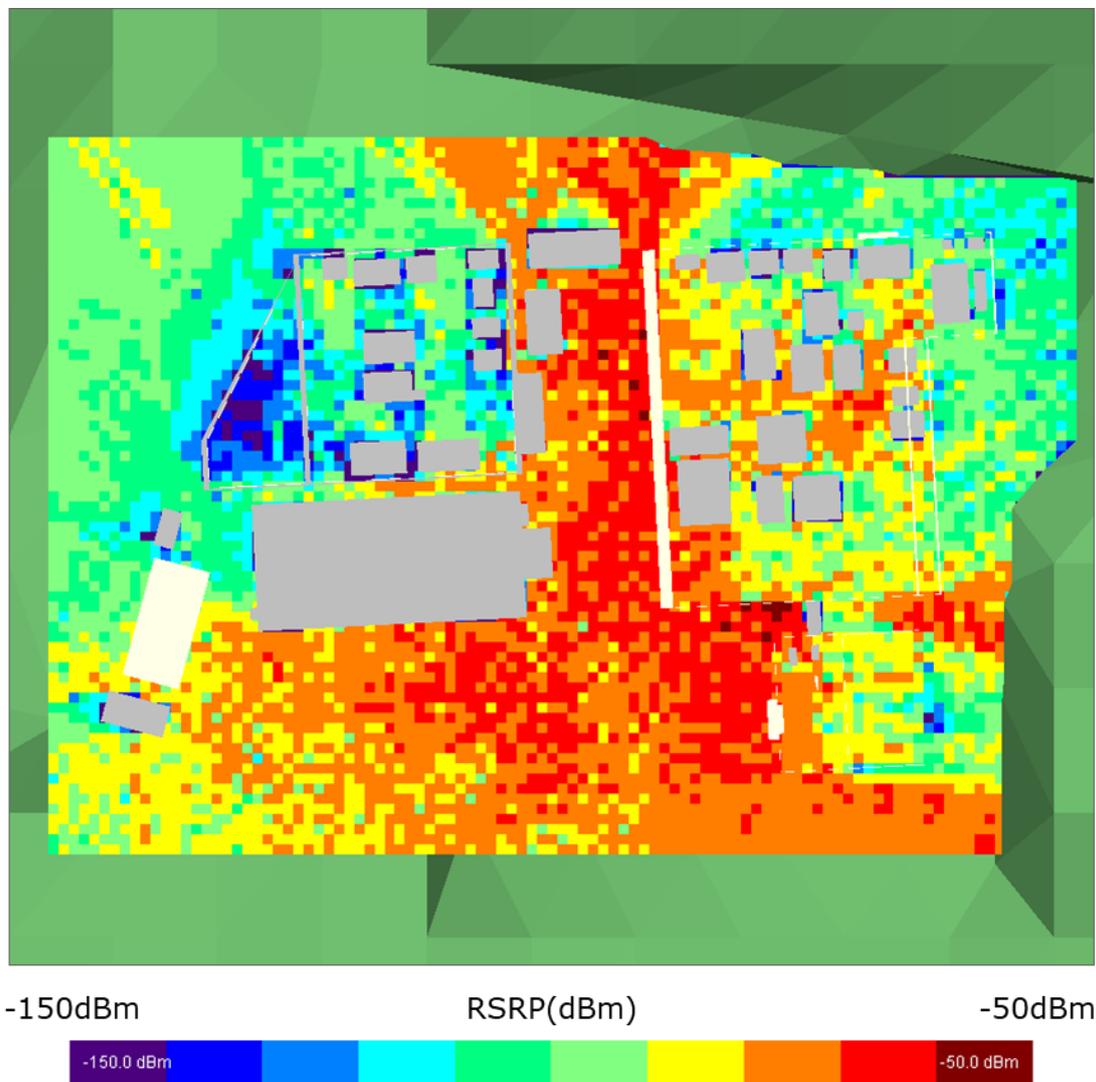


図 3-61 3次元レイトレースの結果 屋内①

2) R の精緻化

基地局からの電波が直接B棟へ透過してくるため、B棟の壁面に対する R 値を精緻化の対象とした。

【測定1】B棟1Fと【測定2】B棟2Fの2つの測定を実施し、それぞれの測定について R の精緻化を実施することとした。B棟1Fは工場内の大型機械の影響も受けるが、B棟2Fはその影響は少なく、結果に違いが出るのではないかと考え、測定を分けることとした。

各測定における測定点の位置を図 3-62 に示す。また、各測定点の情報を表 3-17 および表 3-18 に示す。



図 3-62 測定点の位置



図 3-63 測定点 30 から RU 方向の環境 (赤丸は RU 位置 : NLOS)



図 3-64 測定点 40 から RU 方向の環境 (赤丸は RU 位置 : NLOS)

表 3-17 測定点の情報【測定 1】

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf [dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定機)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)
30	51.38	50.78	245.70	9.30	33.00	11.01	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22
31	58.86	58.34	245.70	9.30	33.00	12.03	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22
32	39.56	38.79	245.70	9.30	33.00	10.80	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22
33	47.27	46.62	245.70	9.30	33.00	11.03	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22

表 3-18 測定点の情報【測定 2】

測定点 ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf [dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定機)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)
37	31.93	30.97	245.70	9.30	33.00	11.56	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22
38	35.29	34.41	245.70	9.30	33.00	11.46	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22
39	39.40	38.62	245.70	9.30	33.00	11.42	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22
40	42.57	41.84	245.70	9.30	33.00	11.43	0.00	0.00	0.00	245.70	1.50	1	2021/12/22

表 3-19 測定結果【測定 1】

測定点ID	算出式による 受信電力 [dB]	実測値 [dB]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
30	-49.09	-57.95	-57.90	3.77	-52.55	-62.85
31	-51.98	-62.25	-62.82	3.90	-58.05	-67.87
32	-42.26	-54.05	-54.15	3.25	-50.35	-58.35
33	-46.64	-57.55	-57.18	4.64	-50.25	-62.95

表 3-20 測定結果【測定 2】

測定点ID	算出式による 受信電力 [dB]	実測値 [dB]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
37	-39.41	-47.35	-47.43	3.46	-43.15	-51.45
38	-40.42	-50.75	-50.55	3.59	-45.75	-54.95
39	-41.45	-51.55	-52.33	4.30	-47.65	-58.35
40	-43.37	-52.85	-53.17	3.51	-48.85	-57.85

B棟 1F【測定 1】、B棟 2F【測定 2】に対して、それぞれ R の精緻化を行った。
各測定点 i の実測の伝搬損失 $L_{mes.}(i)$ と算出式の伝搬損失 $L_{pred.}(i)$ から計算できる以下の E が最小となる R を EXCEL のソルバーを用いて求めた。

$$E = \sum_i \{L_{pred.}(R) - L_{mes.}\}^2$$

$$L_{mes.} = -(P_r - G_t - G_r - P_t)$$

$$P_r = RSRP + 10 \log(12 \times 273)$$

$$L_{pred.} = -(P_r - G_t - G_r - P_t + 8)$$

Gt : 送信アンテナ利得[dBi] (=算出式計算のGt)

Gr : 受信アンテナ利得[dBi] (=0dBi)

Pt : 送信電力[dBm] (=33dBm)

※実測環境は人体損失 (8dB) が影響しない環境

精緻化の結果、推定された R の値を表 3-21 および表 3-22 に示す。

表 3-21 推定された R 値 【測定 1】

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	R [dB]
4.85 G Hz	代表値				16.200
	壁面 1	石膏ボード	200.0mm	76.58%	18.456
		鉄	2.0mm	13.82%	
		ガラス	3.0mm	9.6%	

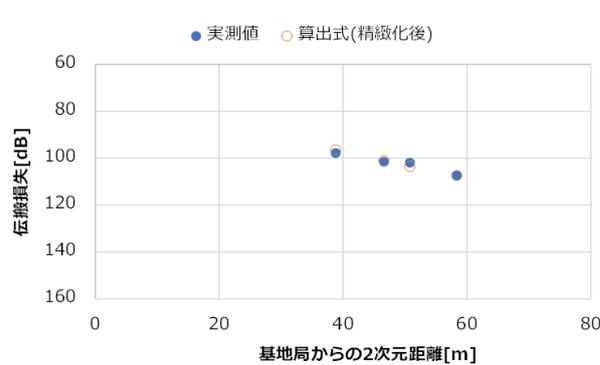
表 3-22 推定された R 値 【測定 2】

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	R [dB]
4.85 G Hz	代表値				16.200
	壁面 1	石膏ボード	200.0mm	76.58%	17.456
		鉄	2.0mm	13.82%	
		ガラス	3.0mm	9.6%	

精緻化の結果、推定される R 値は【測定 1】では 18.456、【測定 2】では 17.456 となった。違いがみられる可能性があるとして【測定 1】と【測定 2】に分けたが、結果的には大きく変わらない R 値となった。また電波法関係審査基準の R 値とも近い値となった。

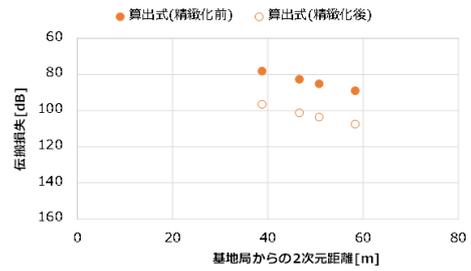
次に精緻化後の算出式と実測値の比較を行った。次の式で定義される RMSE を計算して精緻化後に実測値との差異がどれほど改善したかを図 3-65 および図 3-66 に示す。ただし、精緻化前は R=0 としている。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_{mes.}(i) - L_{pred.}(i))^2}{N}}$$



RMSE : 1.07dB
 (参考) 精緻化前のRMSE : 18.49dB

(参考) 精緻化前後での比較



(参考) 精緻化前後での比較 (実測値含む)

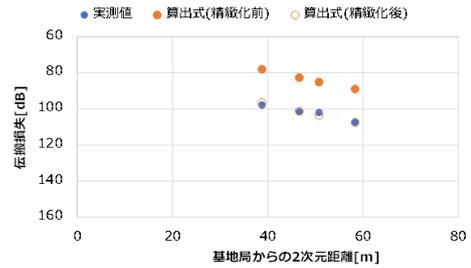
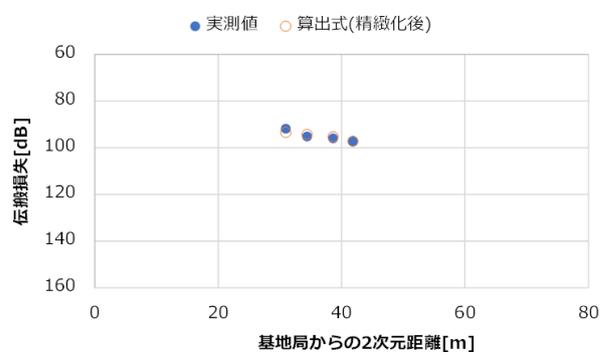
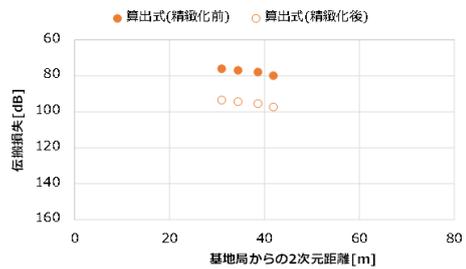


図 3-65 算出式と実測値の比較 【測定 1】



RMSE : 0.93dB
 (参考) 精緻化前のRMSE : 17.48dB

(参考) 精緻化前後での比較



(参考) 精緻化前後での比較 (実測値含む)

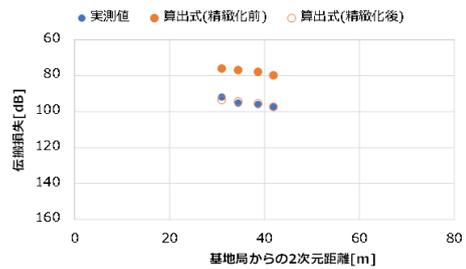


図 3-66 算出式と実測値の比較 【測定 2】

図 3-65 および図 3-66 より、精緻化前の RMSE よりも精緻化後の RMSE は大きく改善しており、より実測に近い結果となっていることが分かる。

推定された R 値を用いて、カバーエリアを計算した結果を図 3-67 および図 3-68 に示す。

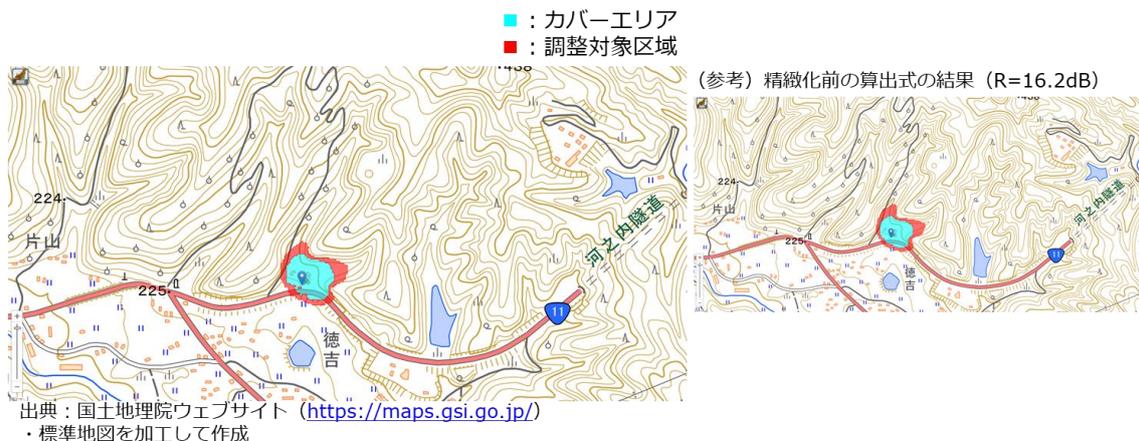


図 3-67 精緻化後の R=18.456【測定 1】を用いたカバーエリア

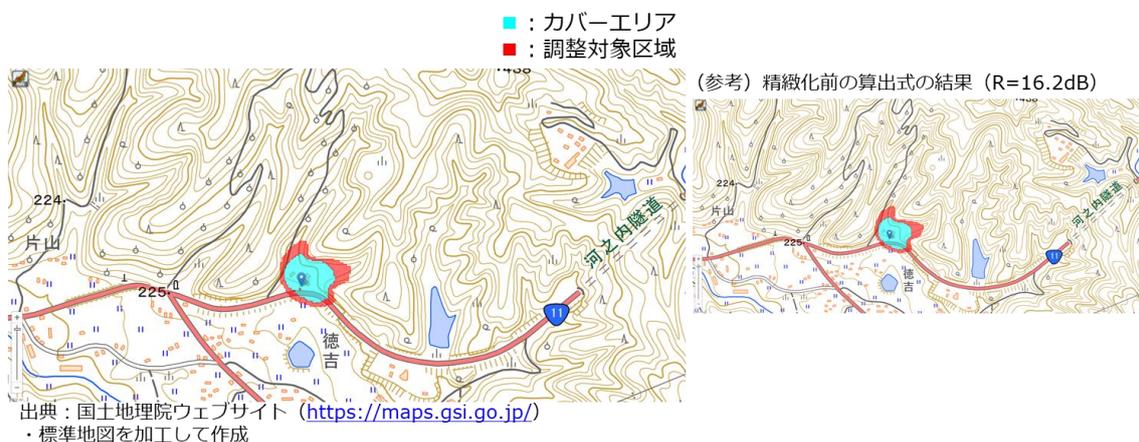


図 3-68 精緻化後の R=17.456【測定 2】を用いたカバーエリア

精緻化後の R 値も電波法関係審査基準にて定められている R 値に近いので、カバーエリアにそれほど大きな変化は現れない。

3) 3次元レイトレースと実測値の比較

3次元レイトレースの結果と実測値の比較を行った。図 3-69 に屋外の比較結果を、図 3-70 に【測定 1】の比較結果を、図 3-71 に【測定 2】の比較結果を示す。

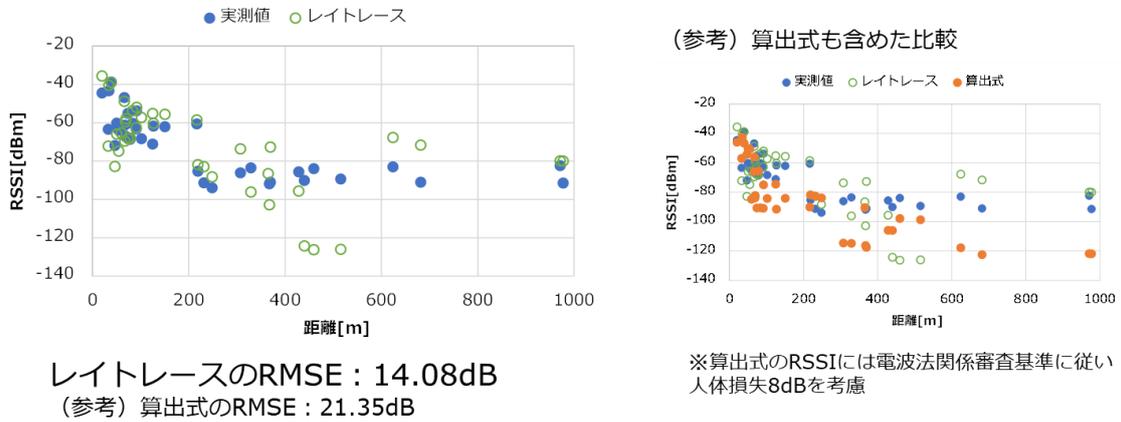


図 3-69 レイトレースと実測値の比較 (屋外)

屋外においては、400m~600m の間の区間で大きくずれている測定点があるが、これらの地点は山の尾根による遮蔽の影響がありそうな地点であるが、地形のモデルが正確でない可能性がある。それ以外の地点ではレイトレースの結果は実測値とよく合っており、算出式の値よりも差分が小さい。

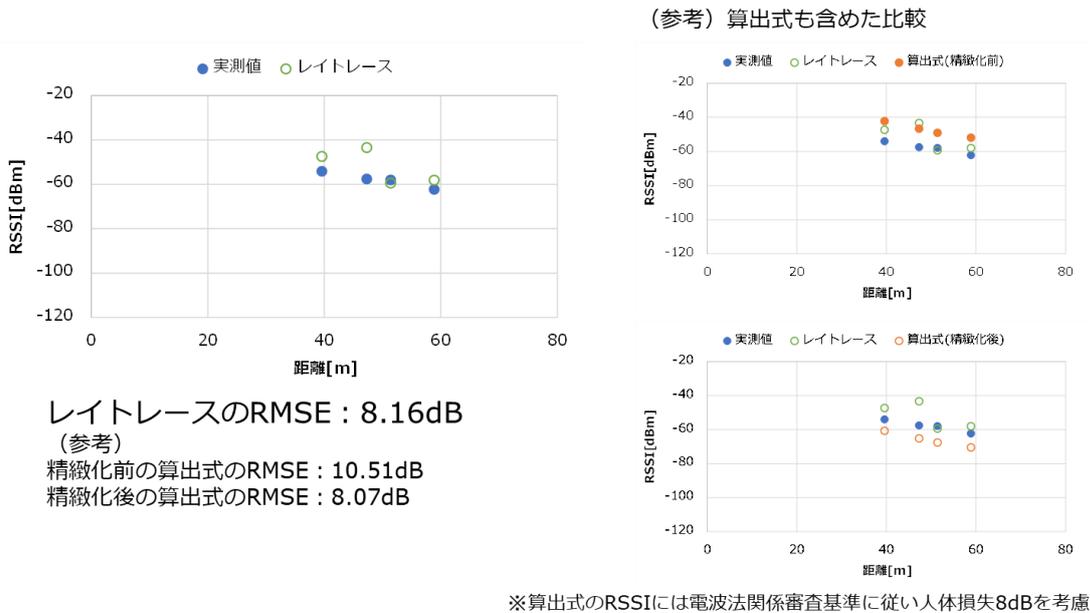
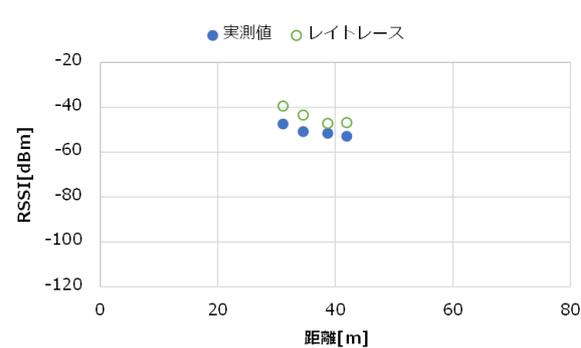


図 3-70 レイトレースと実測値の比較 【測定 1】



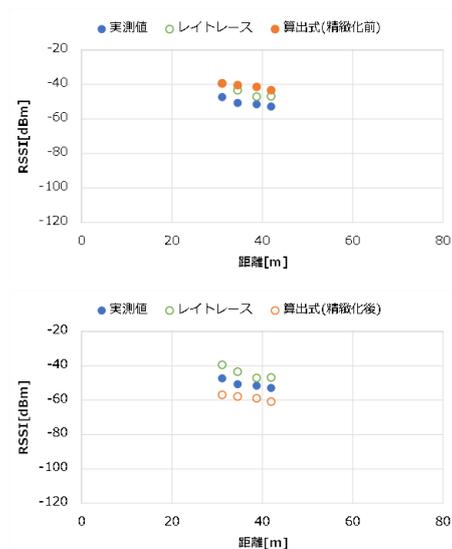
レイトレースのRMSE : 6.59dB

(参考)

精緻化前の算出式のRMSE : 9.50dB

精緻化後の算出式のRMSE : 8.05dB

(参考) 算出式も含めた比較



※算出式のRSSIには電波法関係審査基準に従い人体損失8dBを考慮

図 3-71 レイトレースと実測値の比較 【測定 2】

屋内においては【測定 1】も【測定 2】もレイトレースの結果は実測値とよく合っている。また、精緻化後の算出式よりも差分が小さいことが分かる。

4) 測定点における、伝送性能および遅延

ツウテック工場において、各測定地点にて測定した伝送スループット、UEで取得したSS-RSRP等RF情報、伝送遅延時間を以下に示す。

測定ができなかったポイントについては測定不可と記載している。

赤枠が測定1、青枠が測定2に該当する測定ポイントである。

表 3-23 ツウテック 伝送性能試験結果

ポイント	DL					UL				
	平均 / NR Pcell SS-RSRP (dbm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (db)	平均 / NR Pcell SS-SINR (db)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR Pcell PDSCH Tput (Mbps)	平均 / NR Pcell SS-RSRP (dbm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (db)	平均 / NR Pcell SS-SINR (db)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR Pcell PUSCH Tput (Mbps)
1	通信不可									
2	通信不可									
3	-104.0	-10.4	17.3	181.0	188.9	-106.2	-10.5	15.6	0.8	1.0
4	-102.9	-10.4	19.7	279.0	294.4	-103.5	-10.5	20.5	2.2	1.6
5	-100.2	-10.4	18.9	274.5	290.3	-99.3	-10.4	19.3	6.9	4.2
6	-90.2	-10.3	28.9	407.5	425.3	-90.7	-10.3	27.2	47.0	20.6
7	-93.4	-10.4	24.9	493.0	516.9	-92.5	-10.3	25.2	19.1	11.8
8	-86.4	-10.3	30.0	254.5	267.2	-86.2	-10.3	29.5	54.0	26.9
9	-99.5	-10.5	23.4	273.0	285.5	-97.9	-10.4	24.4	6.5	3.5
10	-100.7	-10.4	20.1	250.0	270.0	-102.1	-10.4	19.2	9.5	5.7
11	-81.6	-10.3	33.8	680.0	718.2	-81.6	-10.3	31.8	74.0	34.0
12	-90.1	-10.4	28.1	467.0	492.1	-91.0	-10.4	27.8	30.4	16.3
13	-98.5	-10.3	22.7	203.0	208.4	-98.6	-10.3	22.3	1.2	1.1
14	-94.3	-10.3	24.3	295.0	310.1	-94.7	-10.3	24.6	11.0	6.7
15	-102.2	-10.5	17.2	246.5	252.7	-102.5	-10.5	17.3	1.3	1.1
16	-98.1	-10.4	18.5	176.0	188.4	-98.1	-10.4	19.0	4.2	2.7
17	-102.2	-10.4	18.6	259.5	272.0	-99.8	-10.4	19.4	3.0	2.1
18	-94.8	-10.4	25.3	245.5	259.5	-94.9	-10.5	25.6	13.6	8.2

19	-73.8	-10.3	35.7	904.5	954.7	-73.7	-10.3	34.7	60.9	34.2
20	-74.8	-10.3	27.8	828.5	877.1	-75.4	-10.3	28.3	94.6	52.2
21	-99.7	-10.4	22.3	466.0	492.6	-99.2	-10.4	24.0	9.1	5.5
22	-95.2	-10.3	26.0	436.0	429.0	-95.7	-10.3	25.8	4.5	6.4
23	-95.7	-10.4	26.1	623.0	655.5	-93.0	-10.4	26.4	15.8	8.6
24	-77.1	-10.3	33.1	589.5	634.4	-76.3	-10.3	34.4	60.7	30.0
25	-96.7	-10.3	20.2	256.5	272.5	-96.8	-10.3	19.5	8.8	5.2
26	-95.1	-10.2	26.6	521.5	543.7	-95.5	-10.2	24.7	12.8	7.7
27	-94.7	-10.3	25.3	553.5	584.6	-94.1	-10.3	25.6	21.6	12.9
28	-98.7	-10.4	26.2	250.5	271.7	-97.5	-10.4	26.1	10.1	5.5
29	-87.6	-10.4	31.6	628.5	658.0	-89.0	-10.4	29.8	62.7	36.1
30	-86.8	-10.3	32.1	654.0	683.8	-85.8	-10.3	32.2	62.5	32.3
31	-90.7	-10.4	27.5	476.0	495.4	-90.1	-10.3	27.4	17.5	11.1
32	-88.1	-10.3	30.6	618.5	642.4	-88.8	-10.3	29.3	63.6	38.1
33	-92.0	-10.3	26.8	636.0	658.2	-91.3	-10.3	26.7	17.5	10.7
34	-89.0	-10.3	27.2	657.5	677.1	-89.8	-10.3	27.8	44.9	25.4
35	-76.2	-10.3	36.9	653.0	645.6	-76.4	-10.3	35.3	30.5	19.4
36	-81.4	-10.3	33.4	835.5	868.2	-81.8	-10.3	32.8	97.0	54.2
37	-86.2	-10.4	33.0	882.0	908.7	-86.4	-10.4	33.7	113.5	58.9
38	-82.5	-10.3	34.4	808.5	831.1	-82.8	-10.3	31.4	97.3	54.9
39	-83.5	-10.3	34.1	785.0	805.4	-83.9	-10.3	31.1	54.5	29.6
40	-83.9	-10.3	31.6	612.0	614.8	-82.7	-10.3	32.9	82.6	43.9
41	通信不可									
42	通信不可									
43	通信不可									
44	通信不可									
45	通信不可									
46	通信不可									
47	通信不可									
48	通信不可									
49	通信不可									
50	通信不可									
51	通信不可									
52	通信不可									

53	通信不可								
54	通信不可								

表 3-24 ツウテック 伝送遅延測定結果

ホスト名	平均 / MIN (msec)	平均 / AVG (msec)	平均 / MAX (msec)	平均 / MDEV (msec)
1	通信不可			
2	通信不可			
3	36.659	65.359	89.959	14.642
4	23.3635	43.598	71.6765	12.9255
5	22.901	42.386	71.3775	11.952
6	22.0225	41.2495	76.4545	12.7385
7	20.8	42.346	75.832	13.7205
8	21.39	41.337	72.025	15.0405
9	23.4425	46.9965	71.6895	13.631
10	22.6325	43.2365	71.4085	12.4525
11	18.922	47.943	81.26	15.836
12	23.2165	43.127	71.1655	12.357
13	26.481	47.0755	70.067	13.149
14	22.266	44.0365	71.1595	12.242
15	36.2485	52.6805	72.1745	10.567
16	23.7115	44.631	72.11	13.571
17	24.608	44.9195	72.567	12.2
18	22.3035	45.5385	74.047	13.5405
19	21.621	43.1255	89.0695	16.5815
20	22.2145	43.411	75.0655	13.1105
21	21.1145	42.3105	71.4955	12.6685
22	28.3135	55.3115	96.783	17.771
23	22.2245	41.9975	76.591	12.531
24	22.1985	45.9715	87.574	16.988
25	22.824	44.961	76.505	14.3725

26	21.6975	43.0225	71.1315	12.599
27	23.296	44.888	77.7145	13.0135
28	21.777	48.048	80.9815	11.4385
29	21.9455	42.778	81.038	13.2635
30	22.1855	48.703	196.6135	31.955
31	22.7225	46.037	135.0655	21.155
32	21.9065	41.9005	80.77	13.58
33	22.2305	46.842	76.887	16.023
34	22.5515	44.8215	78.819	14.095
35	22.3315	48.377	88.719	18.035
36	22.2975	45.823	81.734	15.2045
37	21.858	46.773	87.632	17.498
38	24.4545	42.722	79.7765	11.6885
39	23.216	47.111	79.9525	13.9555
40	22.0175	43.574	75.622	13.675
41	通信不可			
42	通信不可			
43	通信不可			
44	通信不可			
45	通信不可			
46	通信不可			
47	通信不可			
48	通信不可			
49	通信不可			
50	通信不可			
51	通信不可			
52	通信不可			
53	通信不可			
54	通信不可			

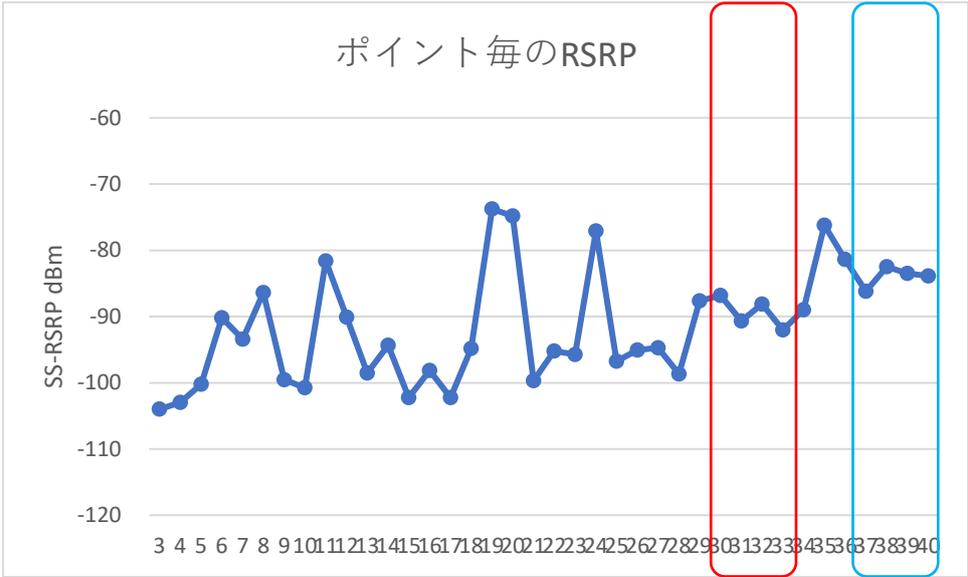


図 3-72 ツウテック SS-RSRP

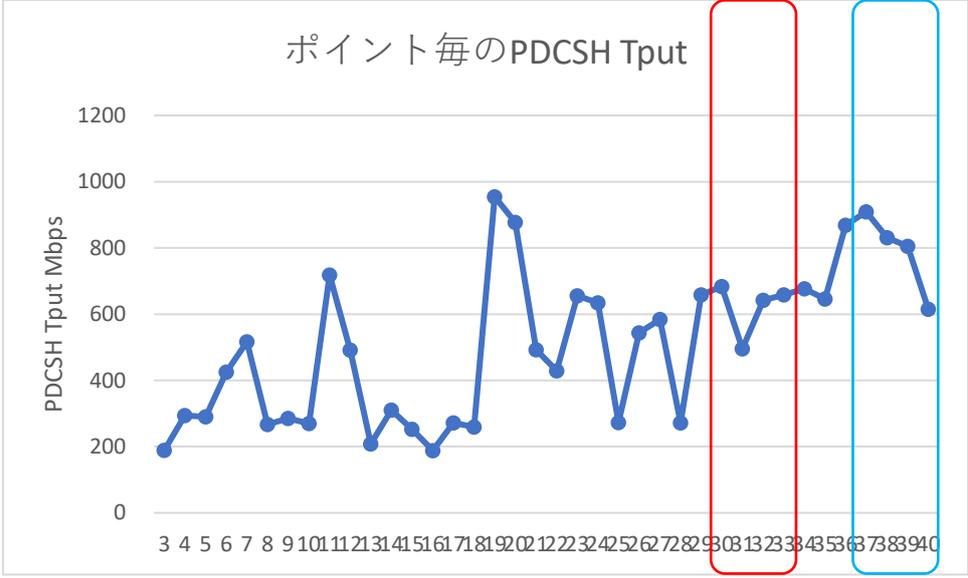


図 3-73 ツウテック PDCSH スループット

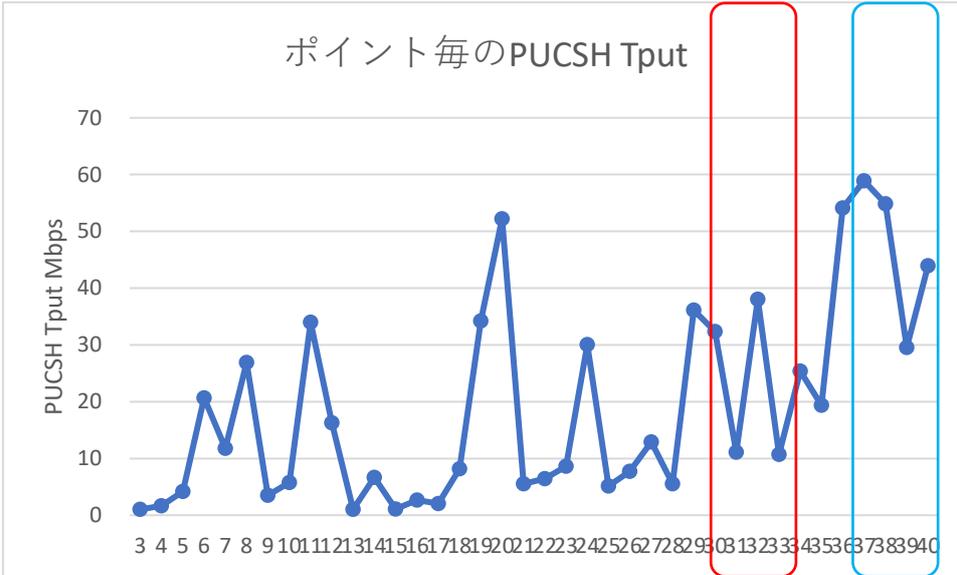


図 3-74 ツウテック PUSCH スループット

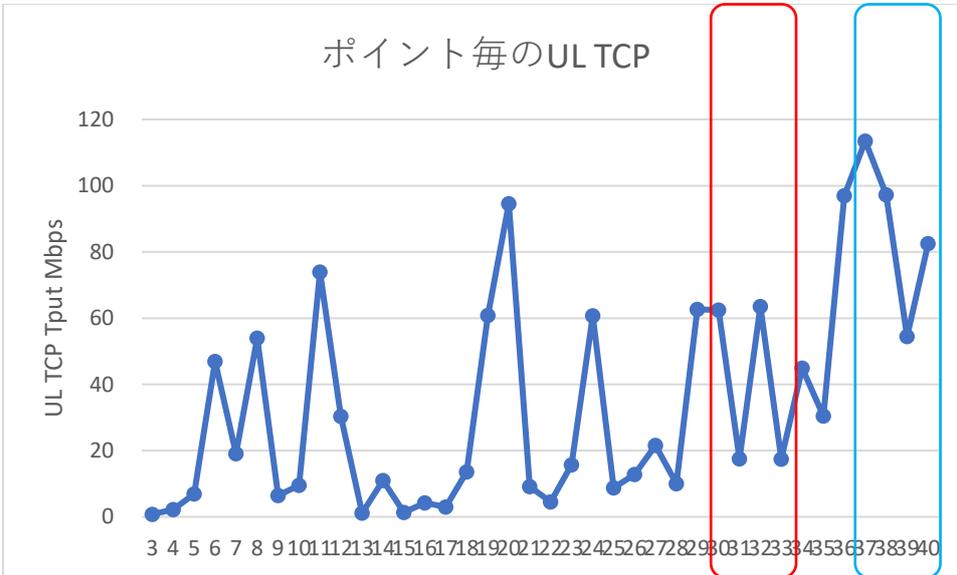


図 3-75 ツウテック Uplink TCP スループット

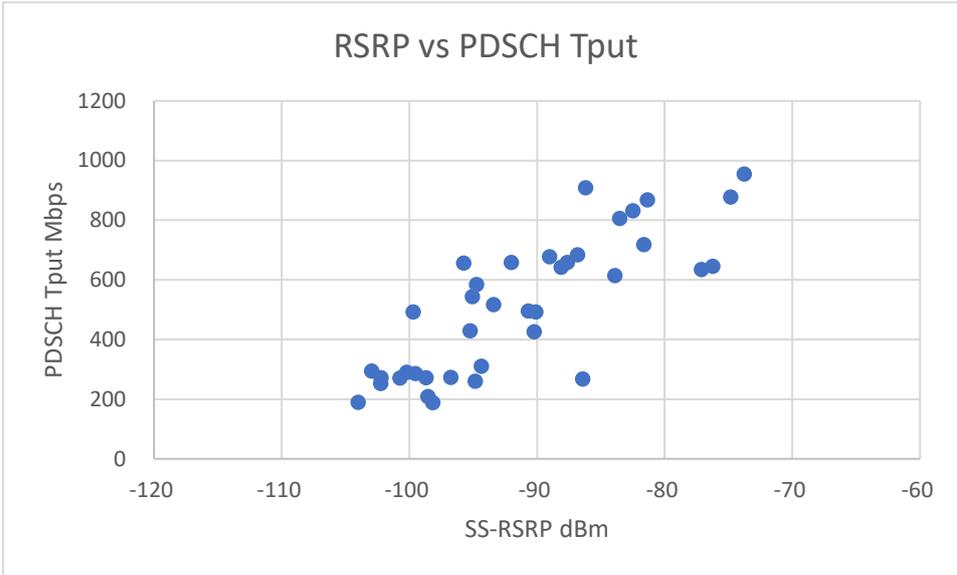


図 3-76 ツウテック SS-RSRP vs PDSCH スループット

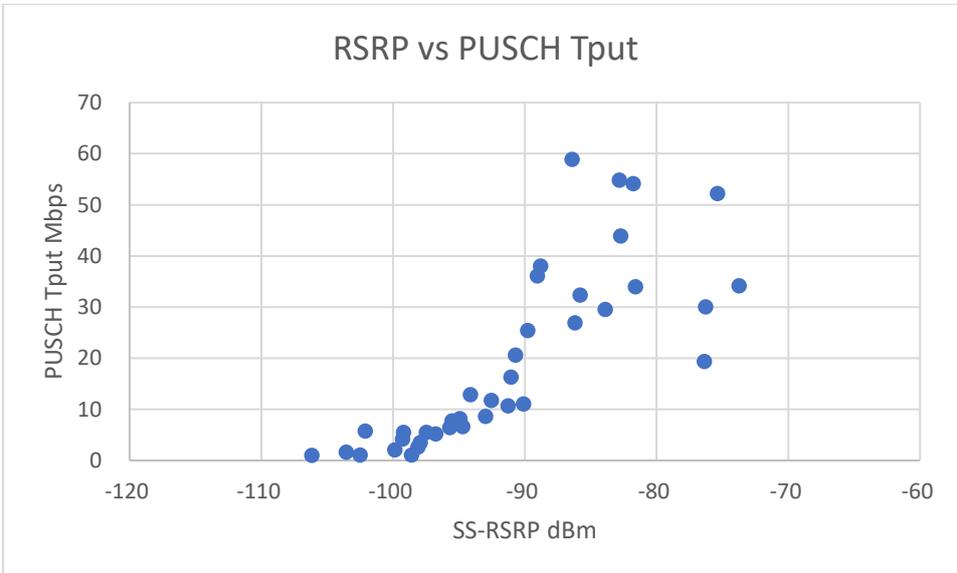


図 3-77 ツウテック SS-SINR vs PUSCH スループット

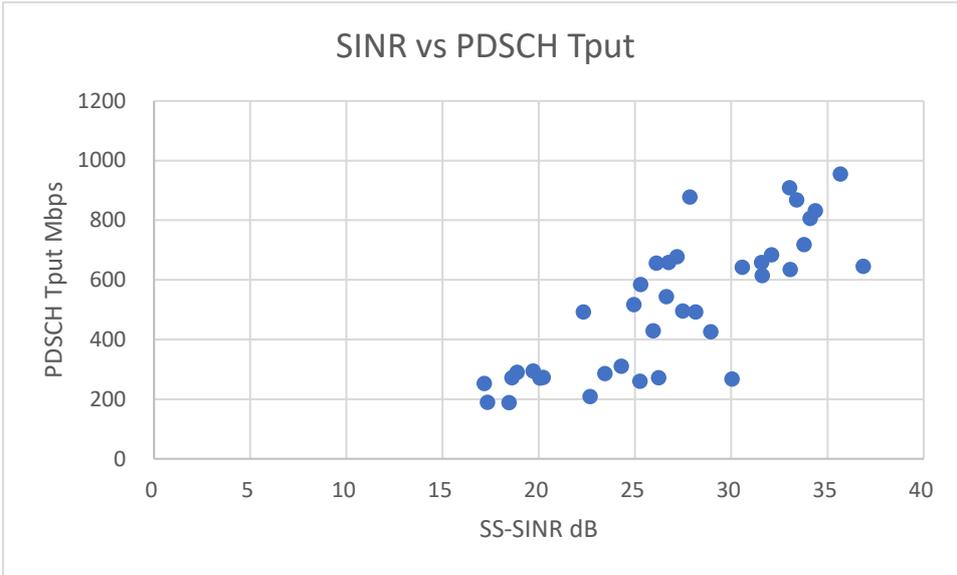


図 3-78 ツウテック SS-SINR vs PDSCH スループット

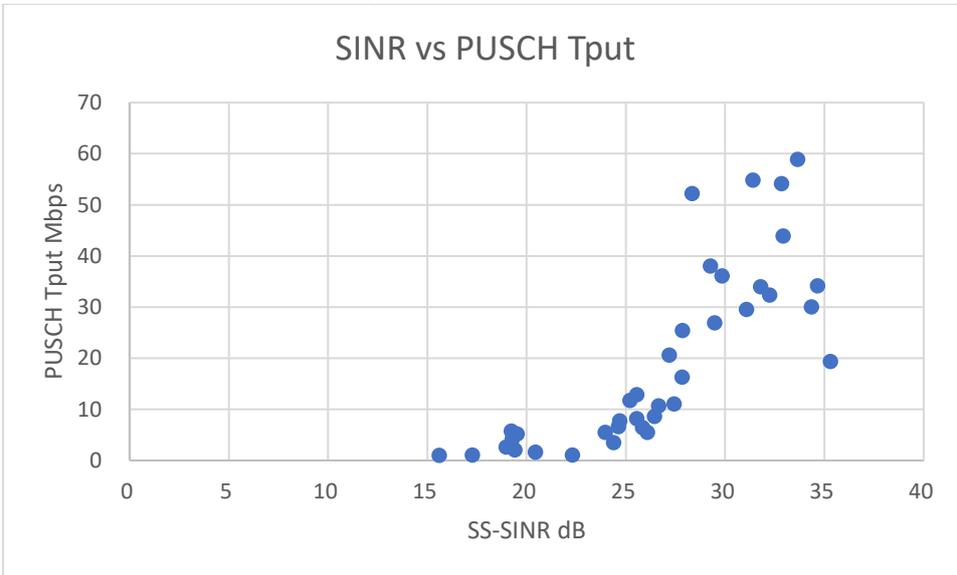


図 3-79 ツウテック SS-SINR vs PUSCH スループット

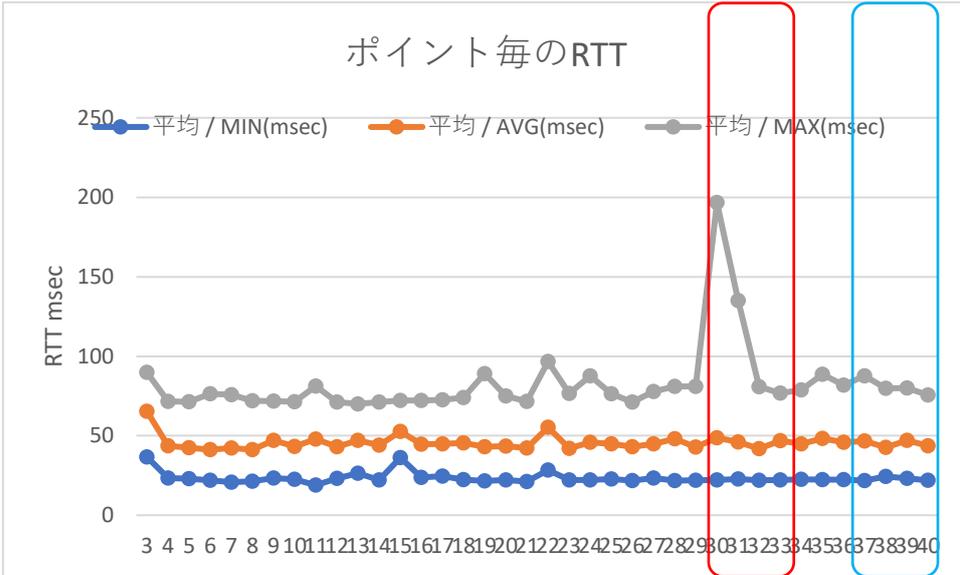


図 3-80 ツウテック 伝送遅延



図 3-81 ツウテック SS-RSRP (UE)

SS-RSRP \leq -100 : ● -100 < SS-RSRP \leq -90 : ● -90 < SS-RSRP \leq -80 : ● -80 < SS-RSRP : ●



図 3-82 ツウテック PDSCH スループット

通信不可 : ● $0 \leq \text{PDSCH} < 150 \text{Mbps}$: ● PDSCH $\leq 150 \text{Mbps}$: ●

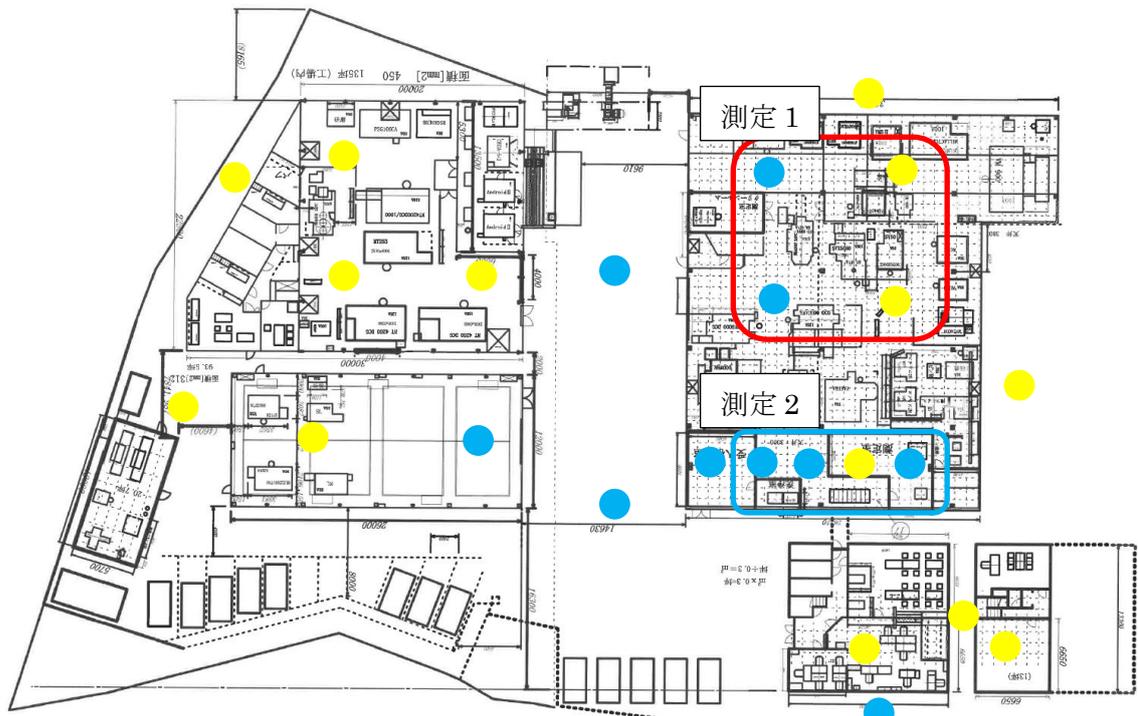


図 3-83 ツウテック PUSCH スループット

通信不可 : ● $0 \leq \text{PUSCH} < 30 \text{Mbps}$: ● PUSCH $\leq 30 \text{Mbps}$: ●

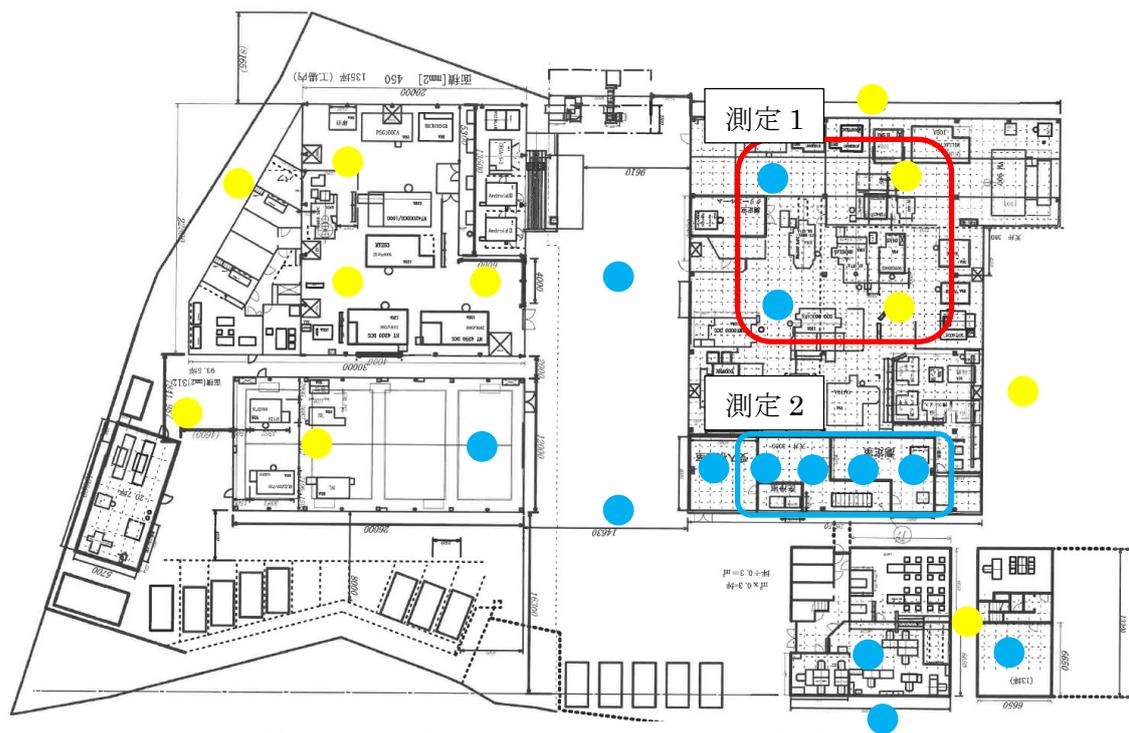


図 3-84 ツウテック UL TCP スループット

通信不可 : ● 0 ≤ UL TCP Tput < 30Mbps : ● UL TCP Tput ≤ 30Mbps : ●

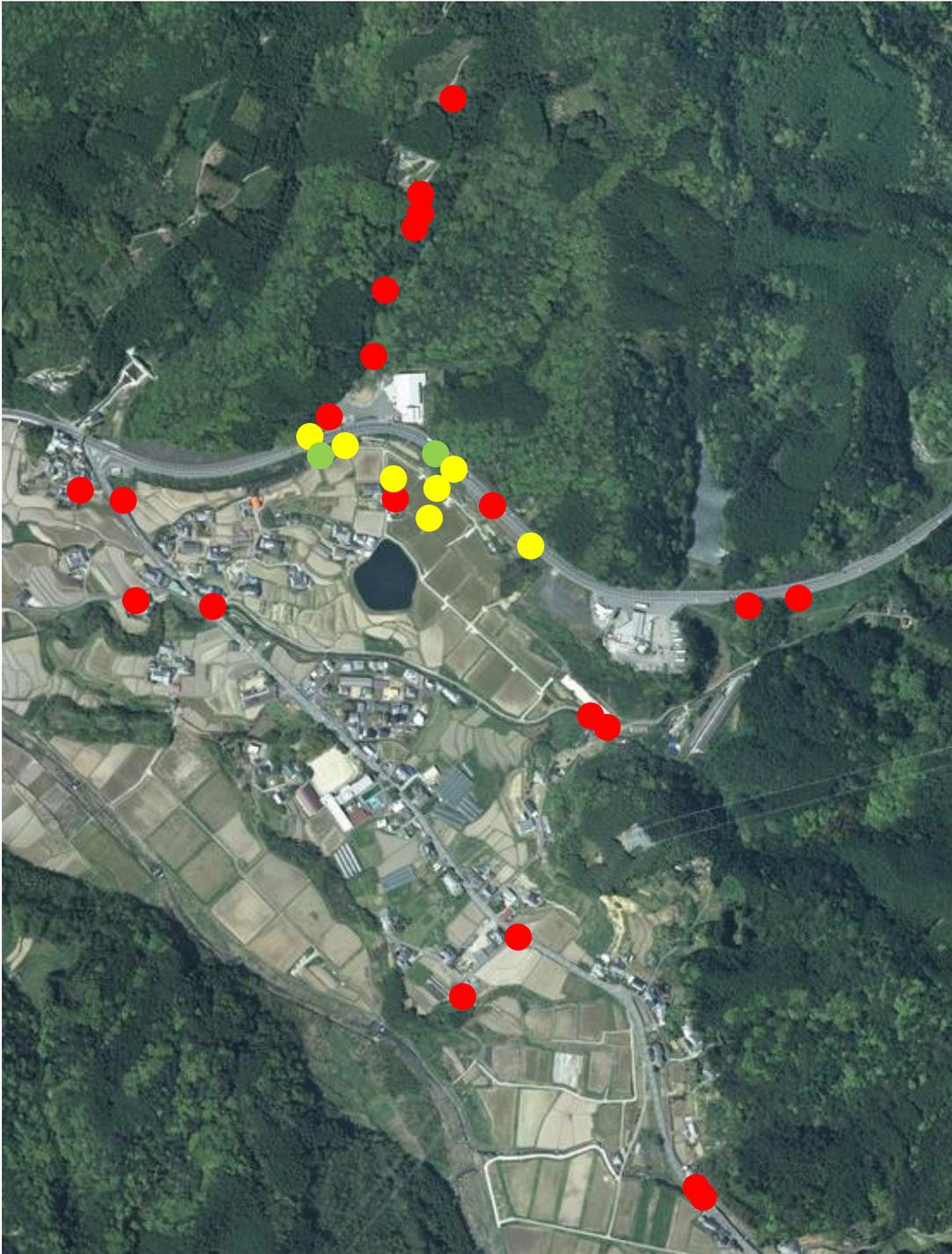


図 3-85 ツウテック SS-RSRP (UE) (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 SS-RSRP \leq -100 : ● -100 < SS-RSRP \leq -90 : ● -90 < SS-RSRP \leq -80 : ● -80 < SS-RSRP ●

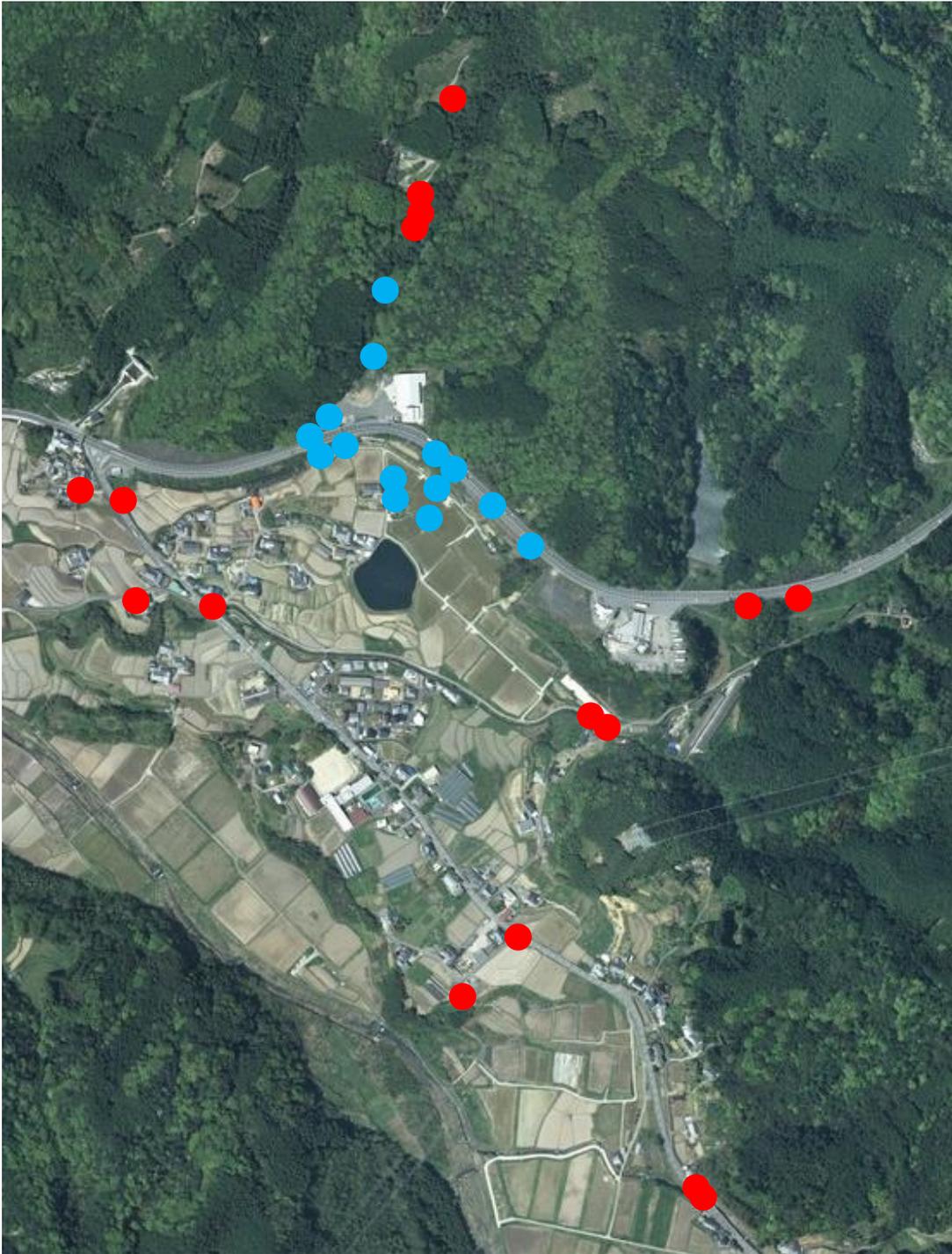


図 3-86 ツウテック PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0<=PDSCH<150Mbps：● PDSCH<=150Mbps：●

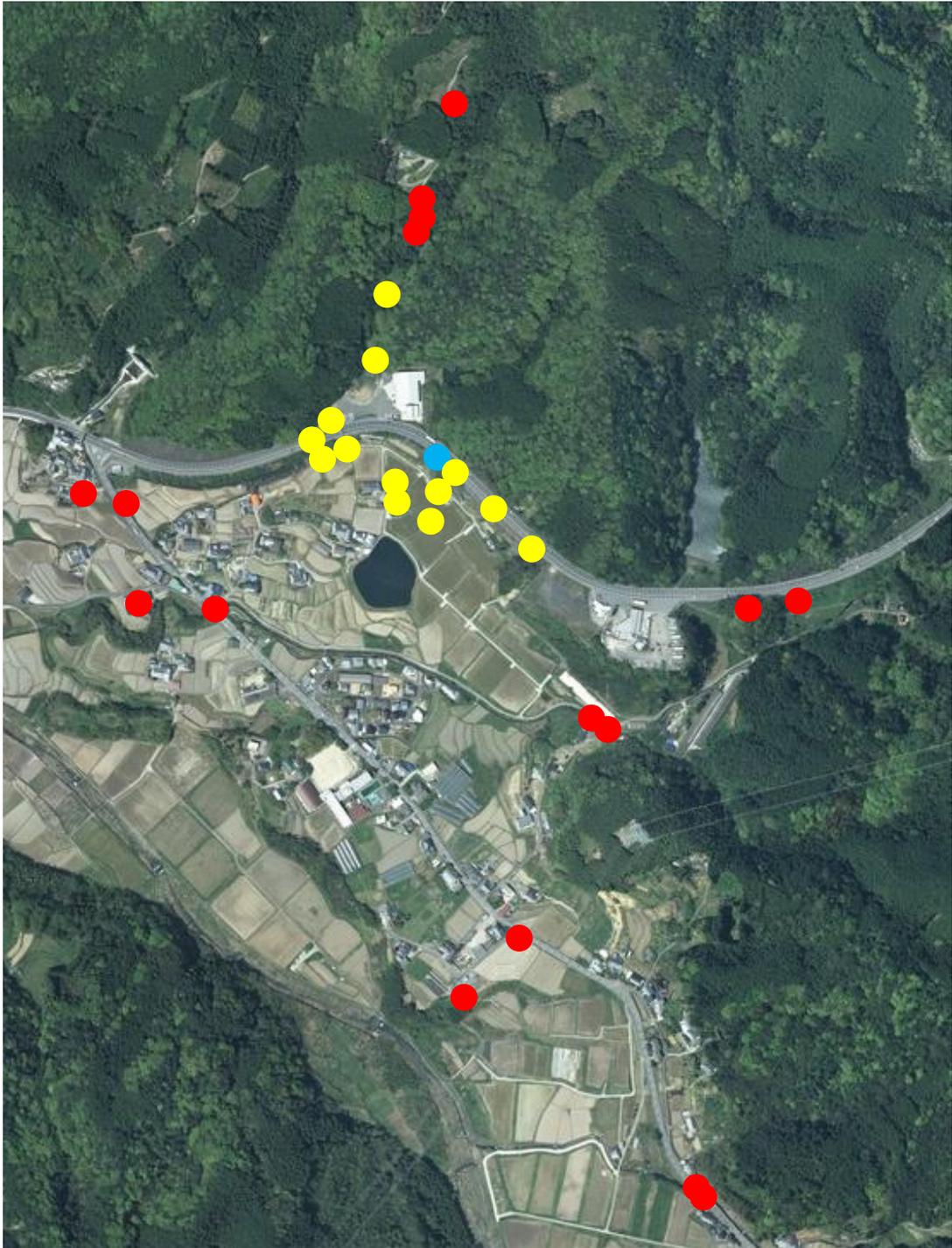


図 3-87 ツウテック PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PUSCH < 30Mbps：● PUSCH ≤ 30Mbps：●

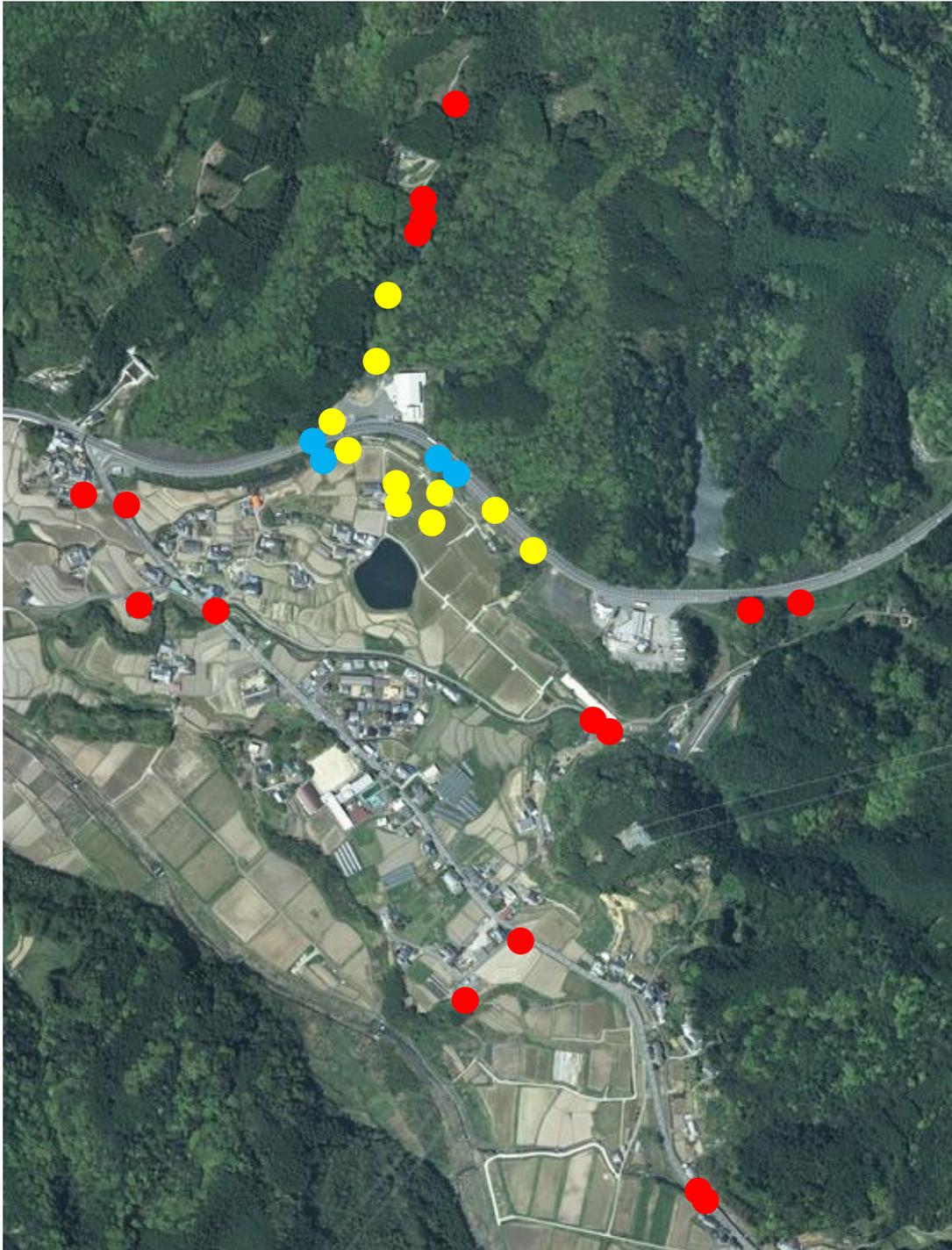


図 3-88 ツウテック UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ UL TCP Tput < 30Mbps：● UL TCP Tput ≤ 30Mbps：●

(2) 【株式会社ユタカ】

1) 3次元レイトレース

免許申請時の調整対象区域及びエリア端探索の測定点を含む2km×2kmエリアを対象として、3次元レイトレースシミュレーションを実施した。

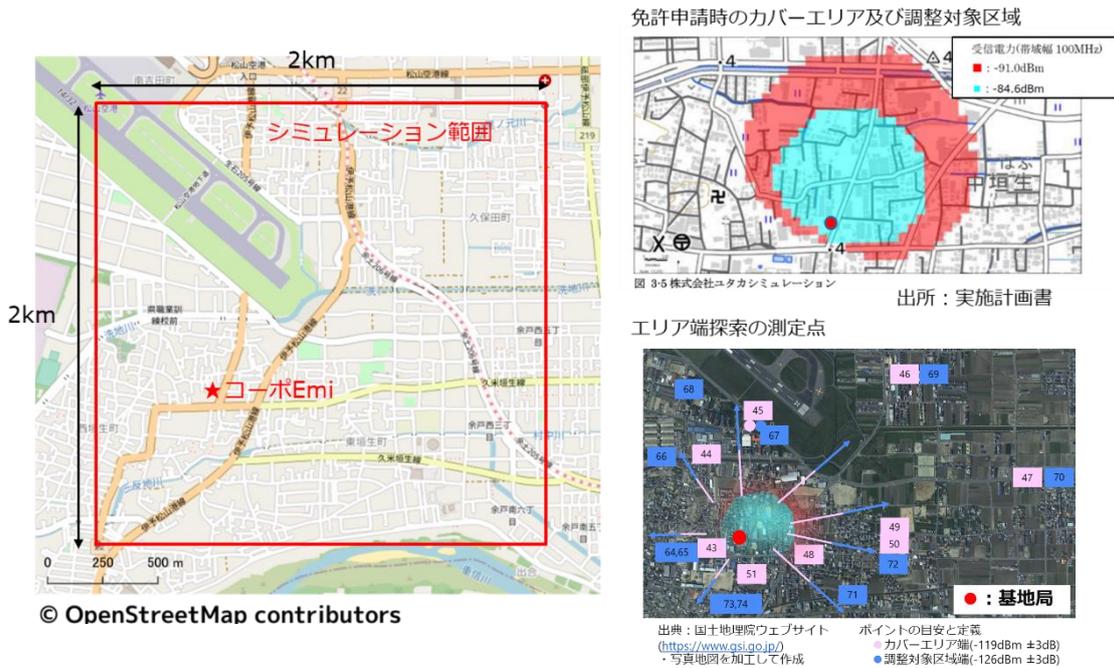


図 3-89 シミュレーション範囲

建物モデルはゼンリン社提供のZmap-AREA2を変換したデータを使用し、必要に応じて建物高を調整した。

地形モデルは国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルの10mメッシュ地形図の等高線データをDTED level 2に変換したデータを使用した。

算出式では地形モデルのみを使用し、レイトレースでは建物及び地形モデルを使用している。

シミュレーションモデルを図 3-90 に、基地局周辺を拡大したシミュレーションモデルを図 3-91 に示す。

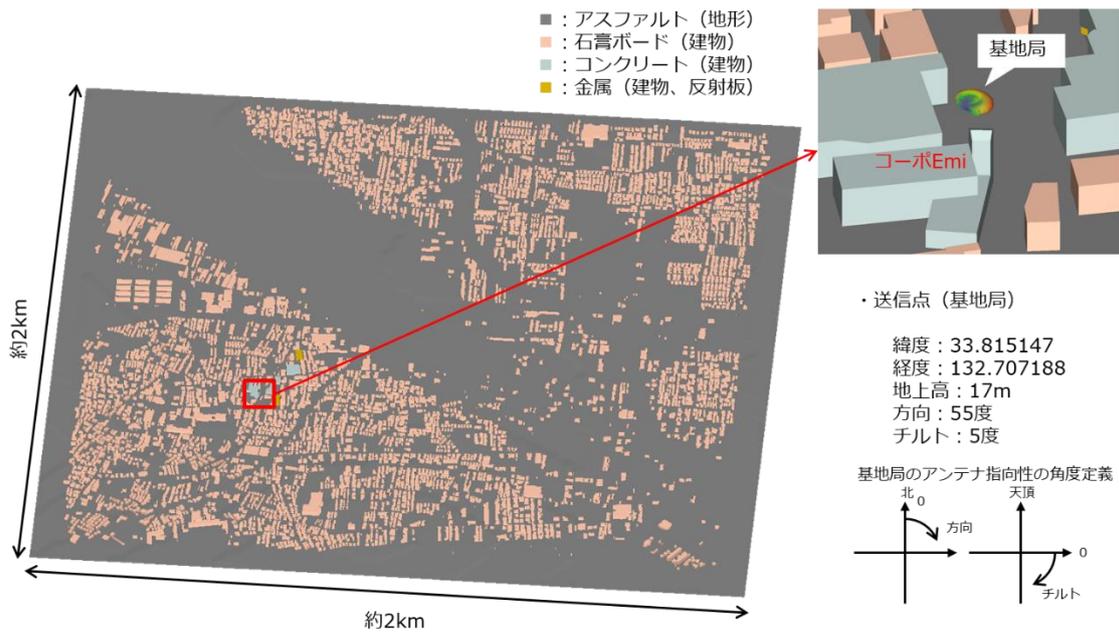
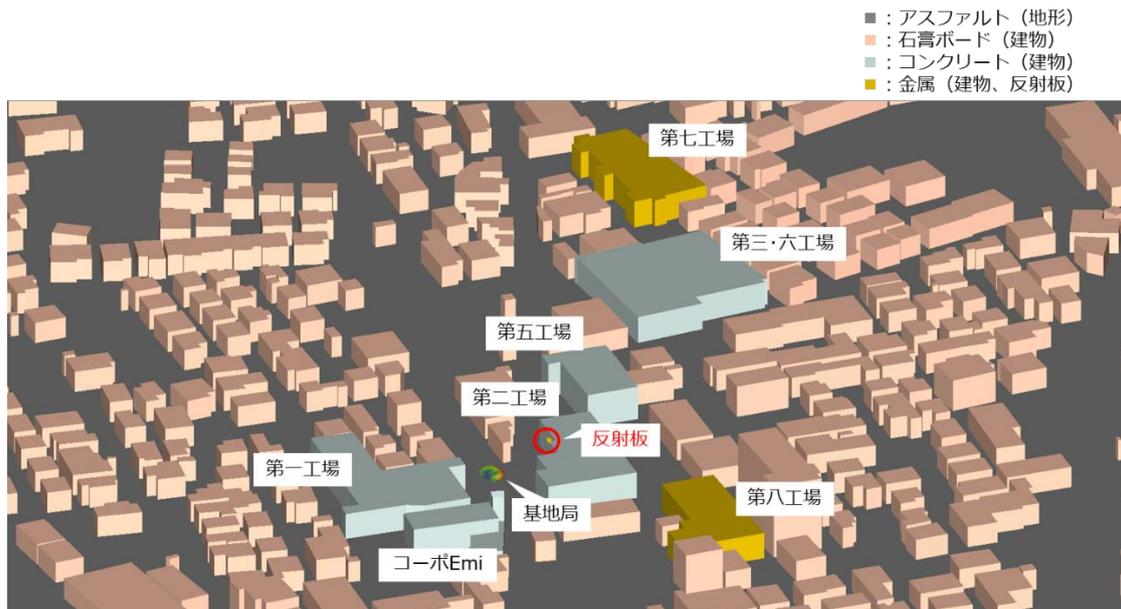


図 3-90 シミュレーションモデル



※算出式では地形モデルだけを使用

図 3-91 シミュレーションモデル (拡大)

シミュレーションに使用した材質を表 3-25 に、材質特性を表 3-26 に示す。

表 3-25 モデル材質

モデル	材質
地形	アスファルト
コーポEmi	コンクリート
第一工場～第六工場	コンクリート
第七工場、第八工場	金属
反射板	金属
その他の構造物	石膏ボード

表 3-26 材質特性

材質	特性※
アスファルト	比誘電率：5.72 導電率：0.0024S/m
コンクリート	比誘電率：5.24 導電率：0.1589S/m 厚さ：0.2m
石膏ボード	比誘電率：2.73 導電率：0.0375S/m 厚さ：0.2m
金属	PEC

※電気特性はITU-R勧告P.2040-2をもとに計算

受信点の配置を図 3-92 および図 3-93 および図 3-94 に示す。配置①は地上から高さ 1.5m の位置に、シミュレーション範囲全体にわたって 5m 間隔で配置した。この受信点は算出式でのシミュレーションでも使用している。配置②は地上から高さ 9.45m の位置（反射板高さ）に、シミュレーション範囲全体にわたって 5m 間隔で配置した。配置③は UE 高さの位置に、UE 設置場所周囲 2m×2m に 0.5m 間隔で配置した。

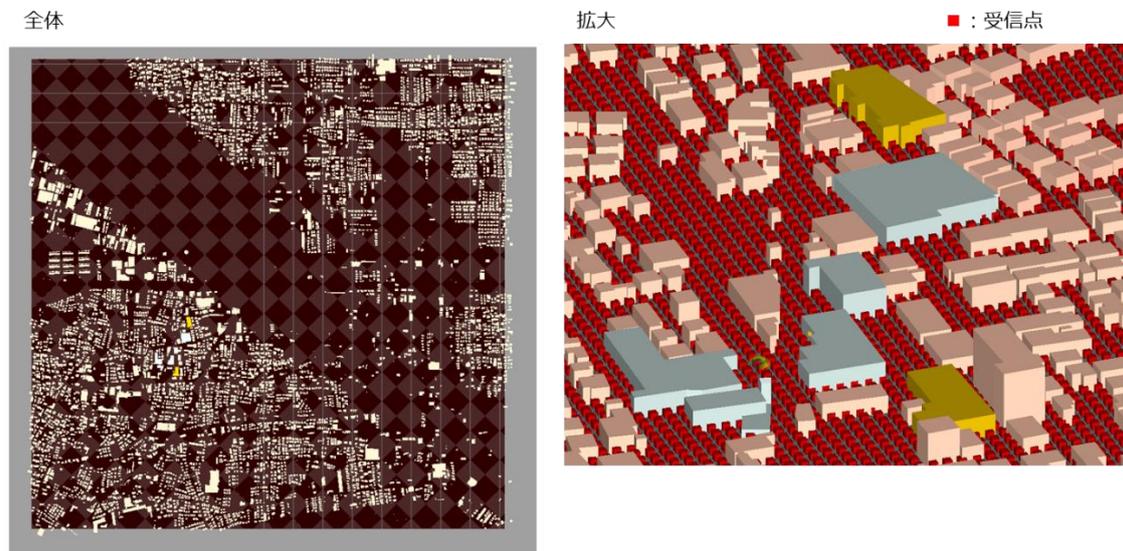


図 3-92 受信点配置①

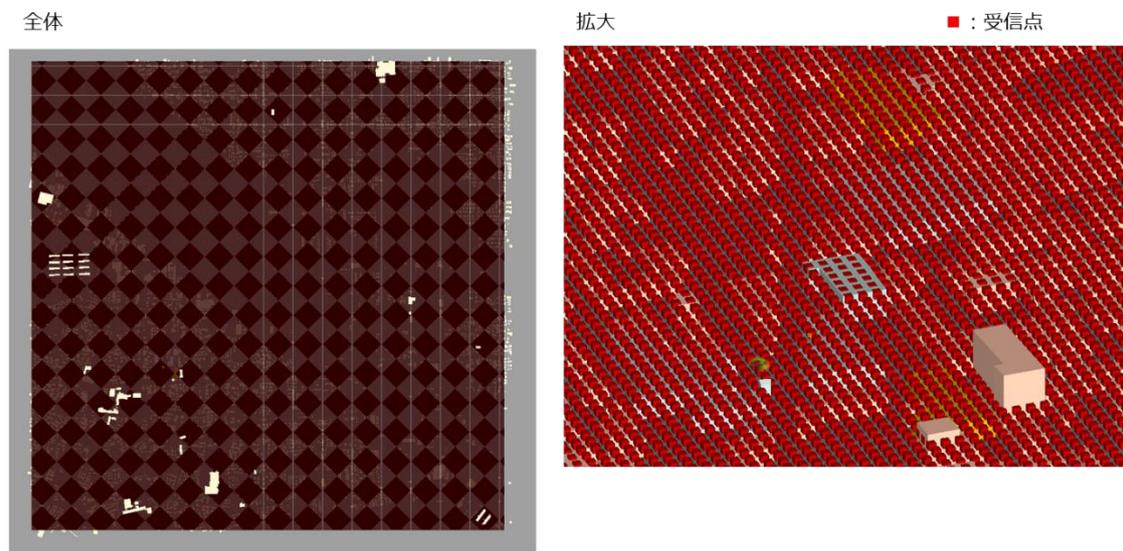
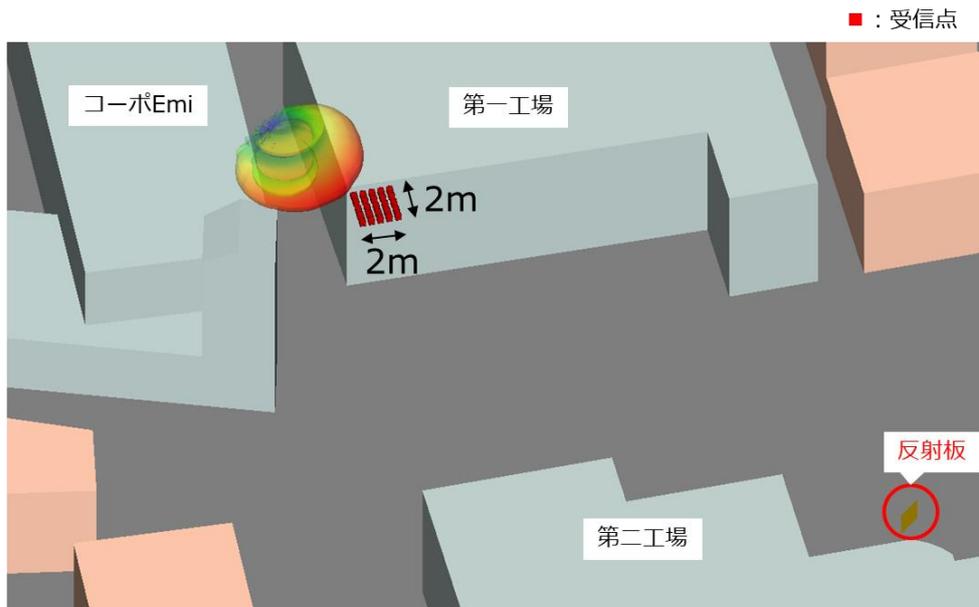


図 3-93 受信点配置②



※実機のアンテナ条件より真上真下の利得は小さいと考えられることから、UE高さのシミュレーションでは、受信点のアンテナにダイポールアンテナを使用する。

図 3-94 受信点配置③

シミュレーション条件を表 3-27 に示す。

表 3-27 シミュレーション条件

項目		値	
周波数		4850MHz	
アンテナ	送信	送信電力	2W (33dBm)
		種類	受領資料の2次元アンテナパターン (Rev2_AntPtr.csv) を3次元アンテナパターンに変換して使用 (下図参照)
	偏波	垂直偏波	
	受信	種類	算出式: 無指向性 (最大利得0dBi) レイトレース: 無指向性、ダイポール (最大利得2.98dBi)
偏波		垂直偏波	
計算条件		算出式	市街地 (中小都市)
		レイトレース	R2D1T0 ※最大反射回数 (R)、最大回折回数 (D)、最大透過回数 (T)
出力		カバーエリア及び調整対象区域、RSSI、RSRP、伝搬損失等	

シミュレーション結果を図 3-95 に示す。

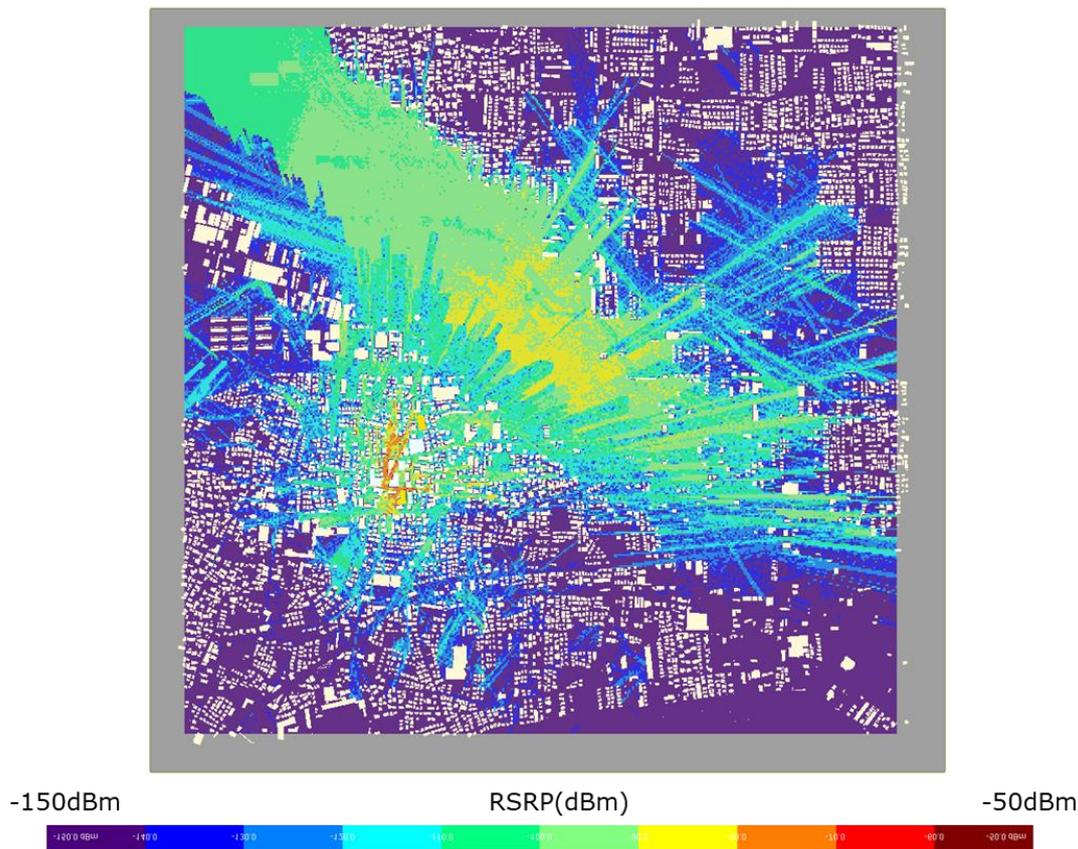


図 3-95 3次元レイトレースの結果

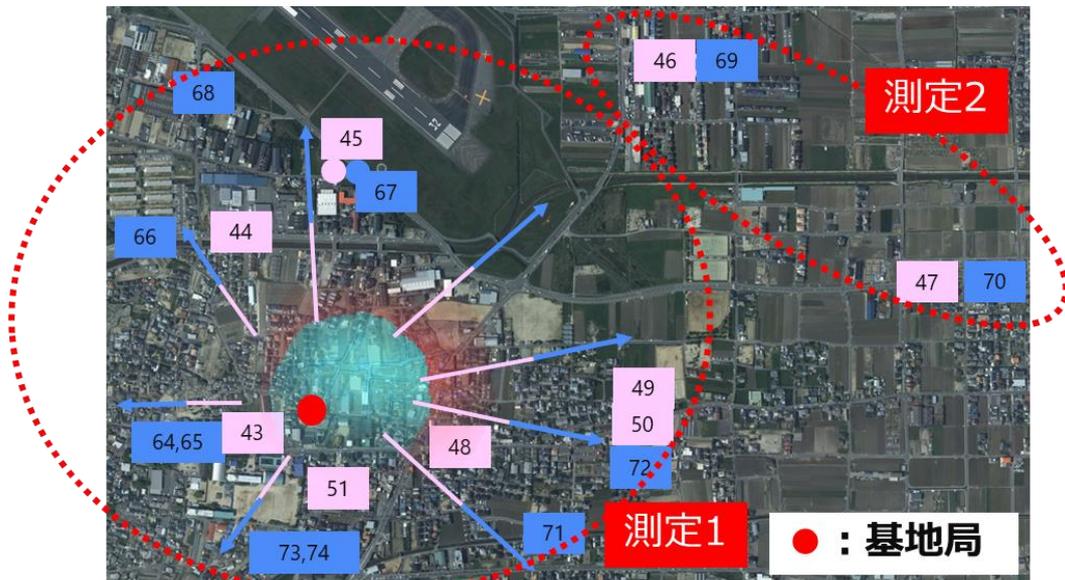
建物や障害物がほとんどない北東方向と空港の滑走路方向には遠くまで電波が飛んでいる結果となった。

2) S の精緻化

S を精緻化の対象とした。

【測定 1】800m 以内と【測定 2】北東方向 800m 以上の 2 つの測定を実施し、それぞれの測定について S の精緻化を実施することとした。伝搬特性の測定で北東方向にはかなりの距離まで電波が飛んでいるようだったので、北東方向の 800m 以上の地点とそれ以外の住宅地の地点では結果に違いが出るのではないかと考え、測定を分けることとした。

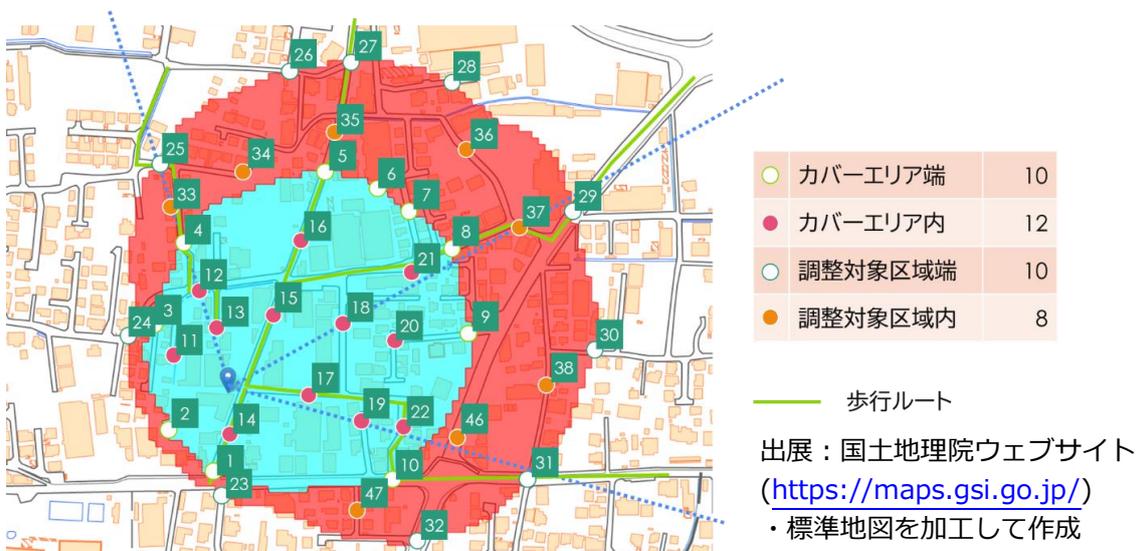
各測定における測定点の位置を図 3-96 に示す。また、各測定点の情報を表 3-28 および表 3-29 に示す。



出典：国土地理院ウェブサイト
(<https://www.gsi.go.jp/>)
・写真地図を加工して作成

ポイントの目安と定義

- カバーエリア端(-119dBm ±3dB)
- 調整対象区域端(-126dBm ±3dB)



○ カバーエリア端	10
● カバーエリア内	12
○ 調整対象区域端	10
● 調整対象区域内	8

歩行ルート

出典：国土地理院ウェブサイト
(<https://maps.gsi.go.jp/>)
・標準地図を加工して作成

図 3-96 測定点の位置



図 3-97 測定点 15 から RU 方向の環境（白丸は RU 位置：LOS）

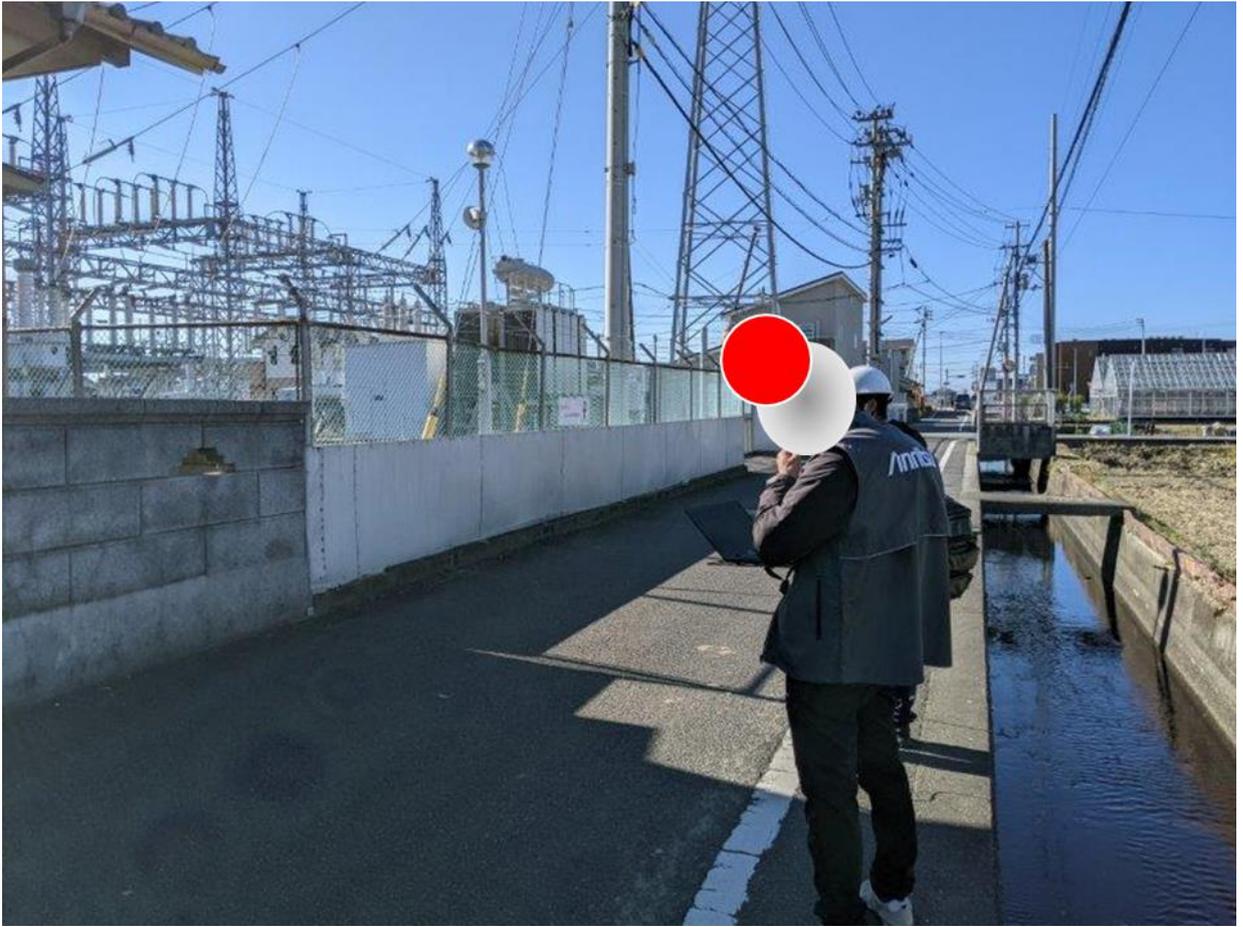


図 3-98 測定点 70 から RU 方向の環境 (赤丸は RU 位置 : NLOS)

表 3-30 測定結果 【測定 1】

測定点ID	算出式による 受信電力 [dB]	実測値 [dB]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	-86.33	-65.45	-65.48	2.21	-68.35	-62.75
2	-79.12	-73.15	-73.19	2.22	-76.05	-70.45
3	-83.29	-83.25	-83.30	3.02	-87.15	-79.65
4	-84.56	-58.05	-59.02	4.16	-64.75	-54.55
5	-85.21	-47.85	-48.36	2.91	-53.05	-45.15
6	-84.50	-71.75	-72.05	3.21	-76.35	-68.15
7	-84.79	-78.75	-72.05	3.04	-82.85	-74.95
8	-84.81	-72.75	-72.76	4.85	-79.15	-66.35
9	-84.81	-68.15	-68.58	3.52	-73.35	-64.25
10	-84.45	-77.95	-78.42	3.18	-82.95	-74.65
11	-72.91	-69.75	-70.22	2.67	-73.65	-67.45
12	-76.52	-62.15	-62.78	3.85	-68.55	-58.55
13	-57.36	-60.65	-60.79	3.72	-65.65	-55.85
14	-69.18	-55.55	-55.95	2.55	-59.55	-52.95
15	-63.17	-46.35	-46.83	2.78	-50.35	-43.85
16	-79.82	-44.75	-44.78	1.25	-46.25	-43.25
17	-63.27	-45.30	-45.59	2.85	-49.25	-42.35
18	-75.10	-62.15	-62.53	2.66	-65.85	-59.45
19	-77.99	-70.25	-70.50	2.82	-74.45	-67.05
20	-79.20	-68.65	-69.00	2.65	-72.83	-65.85
21	-81.61	-74.85	-74.73	3.22	-78.95	-70.35
22	-82.30	-76.45	-76.64	3.70	-81.55	-72.15
23	-91.75	-59.35	-59.66	2.47	-63.15	-56.95
24	-93.09	-79.55	-79.60	3.26	-83.95	-75.65
25	-91.03	-76.25	-76.59	2.54	-80.05	-73.55
26	-90.90	-66.95	-73.02	2.33	-69.85	-63.99
27	-90.62	-64.95	-66.29	3.84	-72.45	-62.65
28	-90.87	-81.05	-81.23	2.74	-85.05	-77.65
29	-91.04	-73.75	-73.96	2.30	-76.95	-71.35
30	-91.17	-77.45	-78.28	3.59	-83.15	-74.35
31	-91.22	-83.15	-83.10	2.79	-86.75	-79.35
32	-91.01	-81.25	-81.29	2.78	-84.85	-77.65
33	-86.91	-59.45	-60.02	3.30	-63.65	-56.55
34	-85.54	-62.15	-62.86	3.12	-67.05	-59.35
35	-87.77	-56.55	-57.08	3.50	-61.45	-53.15
36	-88.78	-72.45	-72.56	2.26	-75.55	-69.55
37	-88.24	-69.95	-70.24	2.90	-74.15	-66.85
38	-89.03	-69.95	-70.29	3.82	-75.45	-65.55
39	-85.92	-75.05	-75.34	2.41	-78.75	-72.45
40	-88.94	-78.15	-78.38	3.59	-83.35	-73.85
41	-105.39	-73.45	-73.53	2.51	-76.85	-70.25
42	-97.97	-88.15	-88.16	2.37	-91.15	-84.95
43	-116.41	-84.85	-85.04	2.34	-87.95	-82.25
44	-105.68	-86.45	-86.44	2.46	-89.65	-83.25
45	-101.88	-84.65	-84.89	2.83	-88.85	-81.55
48	-93.13	-86.45	-86.38	2.60	-89.55	-82.95
49	-103.05	-77.35	-78.06	3.45	-82.85	-74.25
50	-103.45	-82.05	-82.70	3.21	-87.65	-78.95
51	-108.83	-84.15	-84.41	1.91	-86.95	-82.15
64	-122.13	-94.15	-94.35	2.86	-97.95	-90.95
65	-121.51	-90.35	-90.53	3.23	-94.65	-86.45
66	-115.26	-94.15	-94.43	3.24	-98.65	-90.65
67	-101.45	-88.55	-88.86	3.51	-93.45	-84.75
68	-111.66	-92.35	-92.81	2.39	-95.65	-90.45
71	-103.65	-92.05	-92.41	3.68	-97.25	-88.05
72	-103.63	-88.85	-88.91	1.70	-91.05	-86.85
73	-118.32	-94.35	-93.68	4.75	-99.35	-86.35
74	-118.14	-92.95	-93.18	4.65	-99.45	-87.05

表 3-31 測定結果 【測定 2】

測定点ID	算出式による 受信電力 [dB]	実測値 [dB]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
46	-109.65	-81.25	-81.59	1.96	-83.95	-79.55
47	-112.96	-86.75	-86.37	3.46	-90.55	-81.05
69	-109.88	-91.05	-91.53	3.03	-95.55	-88.05
70	-114.50	-89.85	-90.05	2.43	-93.15	-87.15

【測定1】および【測定2】に対して、それぞれSの精緻化を行った。
各測定点iの実測の伝搬損失 $L_{mes.}(i)$ と算出式の伝搬損失 $L_{pred.}(i)$ から計算できる以下のEが最小となるSを最小二乗法により求める。

$$E = \sum_i \{L_{pred.}(S) - L_{mes.}\}^2$$

$$L_{mes.} = -(P_r - G_t - G_r - P_t)$$

$$P_r = RSRP + 10 \log(12 \times 273)$$

$$L_{pred.} = -(P_r - G_t - G_r - P_t + 8)$$

Gt : 送信アンテナ利得[dBi] (=算出式計算のGt)

Gr : 受信アンテナ利得[dBi] (=0dBi)

Pt : 送信電力[dBm] (=33dBm)

※実測環境は人体損失 (8dB) が影響しない環境

精緻化の結果、推定されたSの値を表3-32に示す。

表 3-32 推定されたS値

測定	影響要因	条件	S [dB]
1	市街地	基地局から800m以内で2階建て程度の家屋が密集するエリア たまに5階建て程度のマンション等が散在する地域 建物占有面積率 22.7% 平均建物高 6.61m	10.2
2	市街地	基地局から800m以内は2階建て程度の家屋が集中するが それ以遠は電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域 建物占有面積率 7.7% 平均建物高 6.55m	16.5

精緻化の結果、推定されるS値は【測定1】ではS=10.2、【測定2】ではS=16.5となった。

【測定1】のエリアは2階建て程度の家屋が集中するエリアだが、市街地の場合に選択す

る $S=0$ よりも大きな値となり、 $S=12.3$ である郊外地の値に近くなった。市街地ではあるが、この程度の建物密集度合いでは郊外地に近い S を使用したほうが実測とよく合うようである。

【測定 2】のエリアは建物など電波を遮るものがほとんどないエリアで、推定された S の値は郊外地の S よりもさらに大きな値であり、開放地に近づく値となった。途中までは住宅が密集しているため完全な開放地の値までにはならなかったものと考えられる。

次に精緻化後の算出式と実測値の比較を行った。次の式で定義される RMSE を計算して精緻化後に実測値との差異がどれほど改善したかを図 3-99 に示す。ただし、精緻化前は $S=0$ としている。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_{mes.}(i) - L_{pred.}(i))^2}{N}}$$

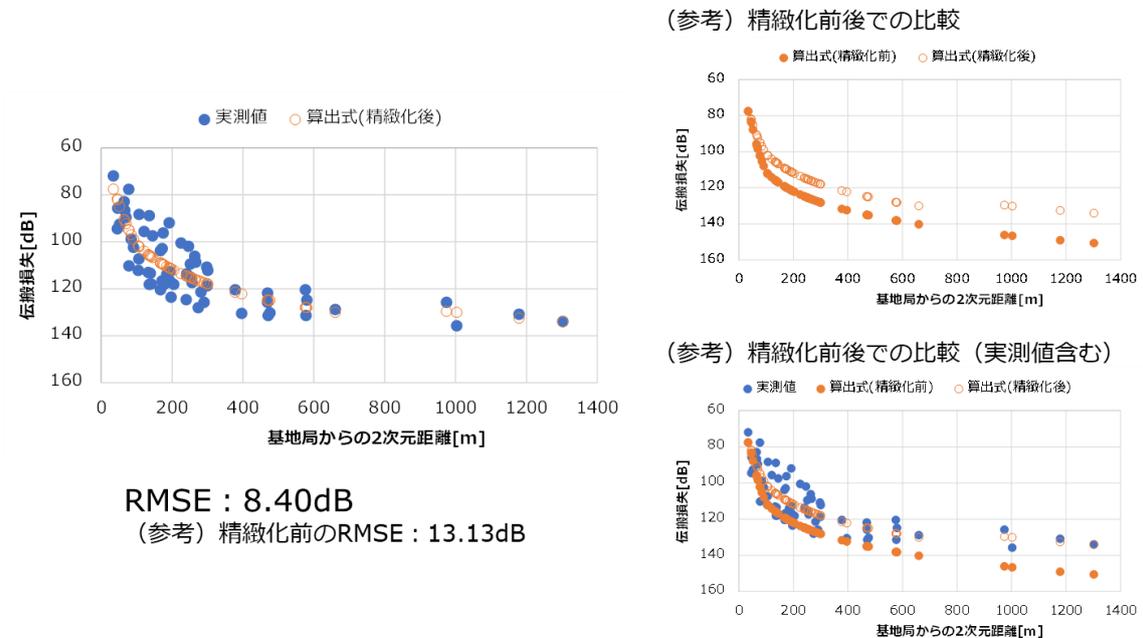


図 3-99 算出式と実測値の比較

図 3-99 より、精緻化前の RMSE よりも精緻化後の RMSE は大きく改善しており、より実測に近い結果となっていることが分かる。

推定されたS値を用いて、カバーエリアを計算した結果を図 3-100 および図 3-101 に示す。

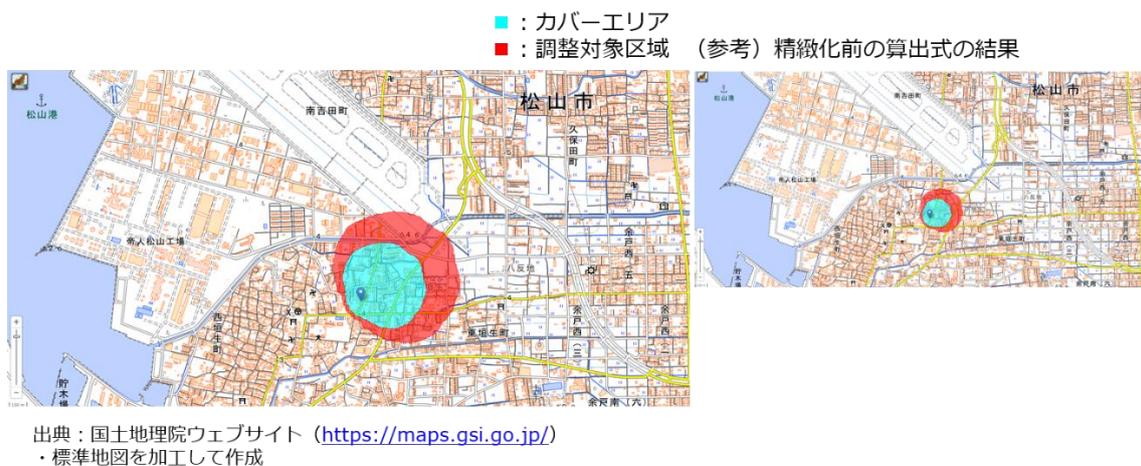


図 3-100 精緻化後の $S=10.2$ 【測定 1】を用いたカバーエリア

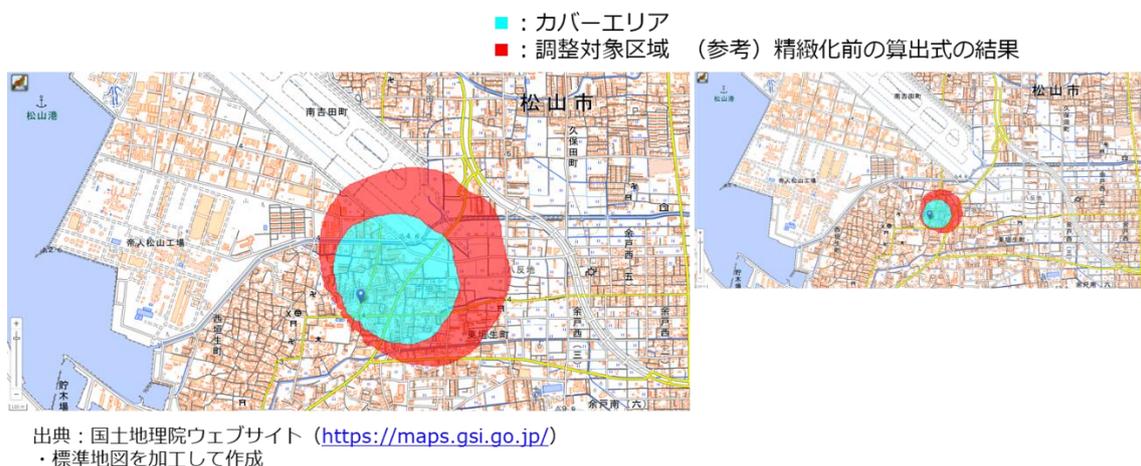
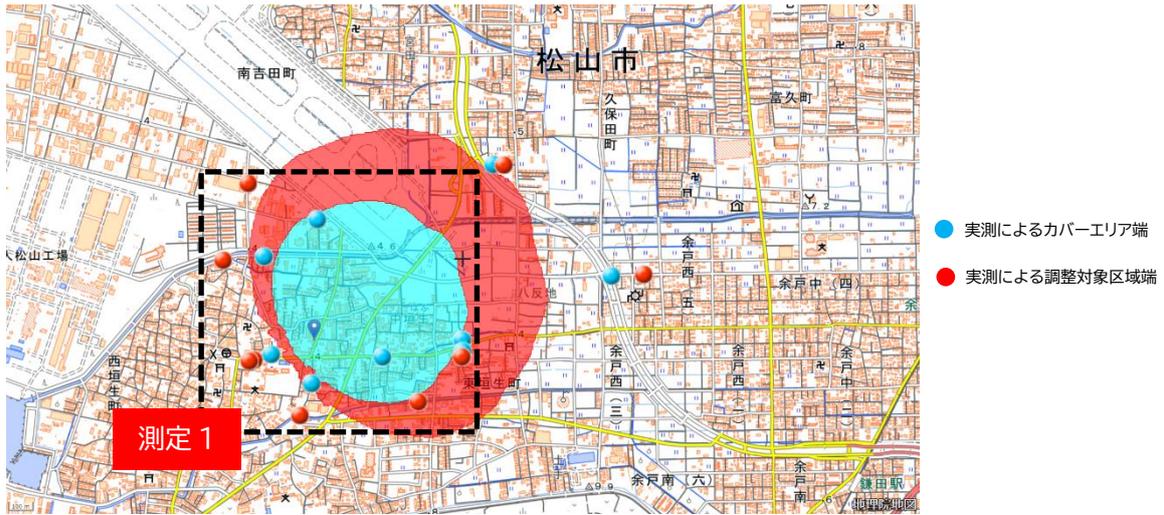


図 3-101 精緻化後の $S=16.5$ 【測定 2】を用いたカバーエリア

いずれの S を用いるかでカバーエリアは大きく異なる。可能であれば、北東方向にだけ $S=16.5$ を用いて、それ以外には $S=10.2$ を用いるなどしてカバーエリアを描画すると、より現実に近いカバーエリアになることが期待される。

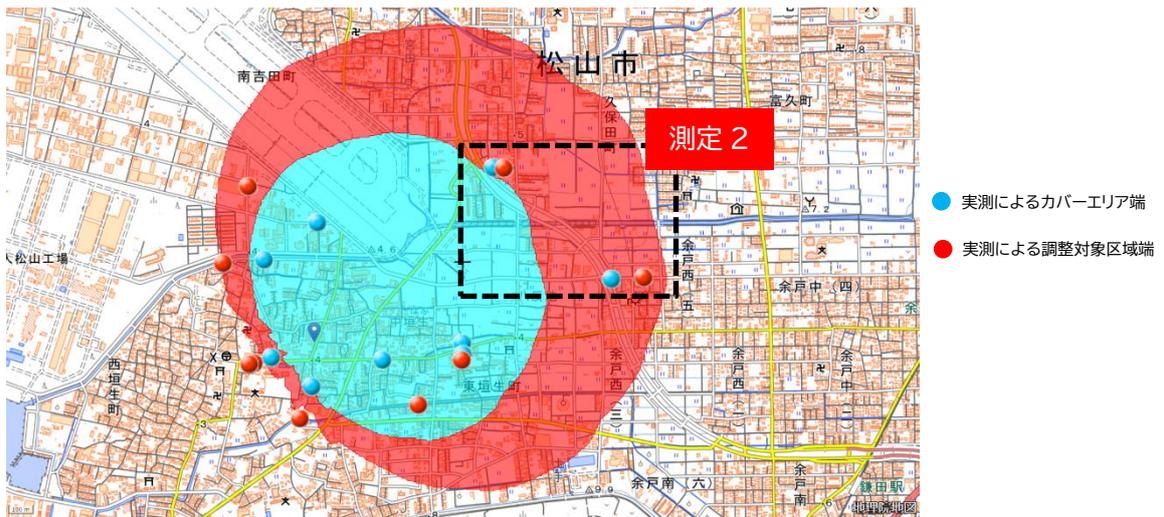
また、図 3-102 および図 3-103 に人体損失 8dB を含めないカバーエリアと実測によるエリア端の比較を示す。図 3-102 は $S=10.2$ 【測定 1】、図 3-103 は $S=16.5$ 【測定 2】を使用してカバーエリアを描いたものである。図 3-102 では算出式によるエリア端と測定 1 におけるエリア端とがよく合っている。図 3-103 では算出式によるエリア端と測定 2 におけるエリア端とが図 3-102 よりは合っている。



出展：国土地理院ウェブサイト(<https://maps.gsi.go.jp/>)

・標準地図を加工して作成

図 3-102 精緻化後 $S=10.2$ のカバーエリアと実測によるエリア端



出展：国土地理院ウェブサイト(<https://maps.gsi.go.jp/>)

・標準地図を加工して作成

図 3-103 精緻化後 $S=16.5$ のカバーエリアと実測によるエリア端

3) 3次元レイトレースと実測値の比較

3次元レイトレースの結果と実測値の比較を行った。図 3-104 に比較結果を示す。

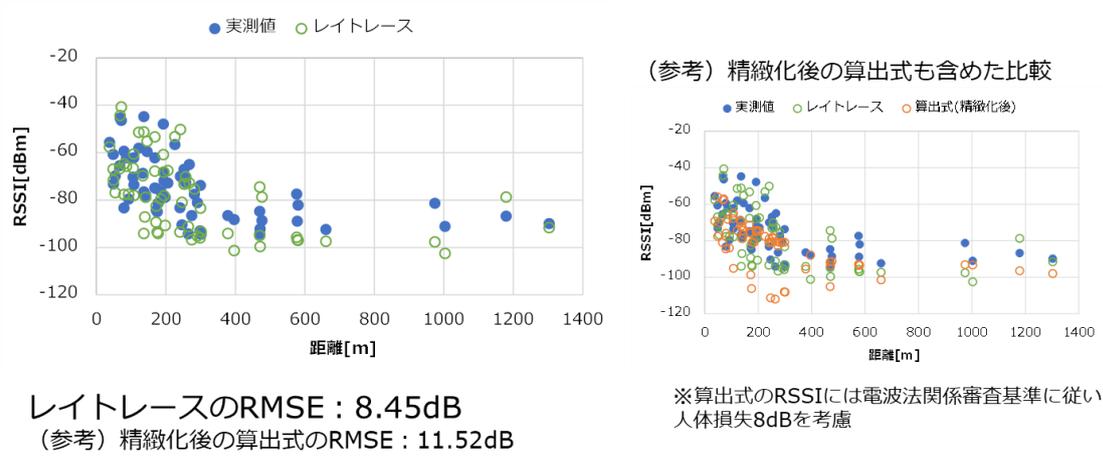


図 3-104 レイトレースと実測値の比較

レイトレースの結果は実測値とよく合っており、精緻化後の算出式の値よりも差分が小さいことが分かる。

4) 測定点における、伝送性能および遅延

ユタカ工場において、各測定地点にて測定した伝送スループット、UEで取得したSS-RSRP等RF情報、伝送遅延時間を以下に示す。

測定ができなかったポイントについては測定不可と記載している。

赤枠は測定2に該当する測定ポイントである。

表 3-33 ユタカ 伝送性能試験結果

ポイント	DL					UL				
	平均 / NR PCell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR PCell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR PCell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR PCell PDSCH Tput (Mbps)	平均 / NR PCell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR PCell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR PCell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR PCell PUSCH Tput (Mbps)
1	-102.2	-10.6	20.9	263.5	282.5	-102.6	-10.6	21.2	3.6	2.3

2	-107.1	-10.4	14.9	123.0	133.6	-107.2	-10.4	15.3	1.5	1.2
3	通信不可									
4	-90.6	-10.4	27.6	155.5	164.6	-90.8	-10.4	28.5	13.0	9.3
5	-87.9	-10.3	29.4	255.0	272.3	-88.2	-10.3	29.6	32.0	15.7
6	通信不可									
7	-109.2	-10.7	13.4	119.5	129.6	-109.2	-10.7	13.9	0.4	0.4
8	-111.0	-10.9	11.6	153.0	161.5	-110.3	-10.8	11.6	0.5	0.5
9	-101.1	-10.4	15.9	200.5	206.4	-102.1	-10.4	15.7	0.5	0.5
10	-111.8	-10.7	9.8	78.7	87.8	-112.1	-10.8	10.1	0.6	0.6
11	-99.9	-10.2	19.0	116.5	129.5	-100.0	-10.2	19.2	2.0	1.6
12	-96.0	-10.2	26.1	373.0	393.9	-96.3	-10.2	25.2	4.0	2.5
13	-94.0	-10.4	27.9	454.0	474.7	-95.1	-10.4	28.8	13.7	8.2
14	-95.9	-10.2	26.8	233.0	243.8	-96.3	-10.2	26.9	3.3	5.1
15	-85.9	-10.4	32.4	580.5	610.6	-86.2	-10.4	33.1	63.2	35.7
16	-85.1	-10.4	33.9	465.0	496.2	-85.3	-10.4	36.3	60.7	19.0
17	-75.4	-10.3	35.6	714.5	753.9	-75.9	-10.3	38.7	11.0	9.1
18	-95.4	-10.5	25.7	403.0	431.7	-96.0	-10.5	25.6	8.3	4.9
19	-104.8	-10.7	17.2	207.5	223.6	-105.1	-10.7	17.1	1.6	1.3
20	-99.6	-10.3	22.0	208.5	225.7	-100.0	-10.3	22.1	2.8	2.0
21	通信不可									
22	通信不可									
23	-90.4	-10.1	26.2	300.0	313.8	-91.2	-10.1	26.1	18.0	10.5
24	通信不可									
25	通信不可									
26	通信不可									
27	通信不可									
28	通信不可									
29	通信不可									
30	通信不可									
31	通信不可									
32	通信不可									
33	-101.8	-10.4	19.8	114.0	126.7	-103.4	-10.4	18.9	2.7	2.0
34	-98.5	-10.4	23.5	276.0	290.0	-99.0	-10.5	23.9	4.2	2.7
35	-91.9	-10.4	27.2	301.0	322.0	-91.1	-10.4	28.8	26.3	15.1

36	通信不可									
37	通信不可									
38	通信不可									
39	通信不可									
40	通信不可									
41	通信不可									
42	通信不可									
43	通信不可									
44	通信不可									
45	通信不可									
46	通信不可									
47	通信不可									
48	通信不可									
49	通信不可									
50	通信不可									
51	通信不可									
64	通信不可									
65	通信不可									
66	通信不可									
67	通信不可									
68	通信不可									
69	通信不可									
70	通信不可									
71	通信不可									
72	通信不可									
73	通信不可									
74	通信不可									

表 3-34 ユタカ 伝送遅延測定結果

測定項目	単位 / MIN (msec)	単位 / AVG (msec)	単位 / MAX (msec)	単位 / MDEV (msec)

1	23.0845	45.3455	72.4985	13.9705
2	24.096	48.9125	72.34	13.9335
3	通信不可			
4	24.215	44.008	71.897	12.4535
5	23.1335	46.723	77.7725	14.7585
6	通信不可			
7	37.54	58.9405	83.1545	12.7095
8	36.389	55.0305	78.5715	12.211
9	24.319	47.9525	72.076	13.064
10	27.1415	48.245	74.2905	13.1255
11	23.784	46.389	72.062	14.094
12	22.387	42.6875	71.1135	12.1875
13	21.6695	41.8815	71.013	13.3465
14	32.589	56.2535	94.6045	15.216
15	24.8445	40.692	72.2645	9.9025
16	21.653	44.2045	73.0205	13.9765
17	23.143	45.3705	86.3355	16.079
18	22.721	43.63	71.1835	12.5515
19	23.71	45.6125	72.3215	14.4345
20	23.461	46.34	71.641	13.959
21	通信不可			
22	通信不可			
23	22.2355	43.0305	70.8165	12.5005
24	通信不可			
25	通信不可			
26	通信不可			
27	通信不可			
28	通信不可			
29	通信不可			
30	通信不可			
31	通信不可			
32	通信不可			
33	23.804	45.487	71.8345	13.9515
34	22.247	48.2565	85.054	16.251

35	26.6665	44.796	72.6145	12.191
36	通信不可			
37	通信不可			
38	通信不可			
39	通信不可			
40	通信不可			
41	通信不可			
42	通信不可			
43	通信不可			
44	通信不可			
45	通信不可			
46	通信不可			
47	通信不可			
48	通信不可			
49	通信不可			
50	通信不可			
51	通信不可			
64	通信不可			
65	通信不可			
66	通信不可			
67	通信不可			
68	通信不可			
69	通信不可			
70	通信不可			
71	通信不可			
72	通信不可			
73	通信不可			
74	通信不可			

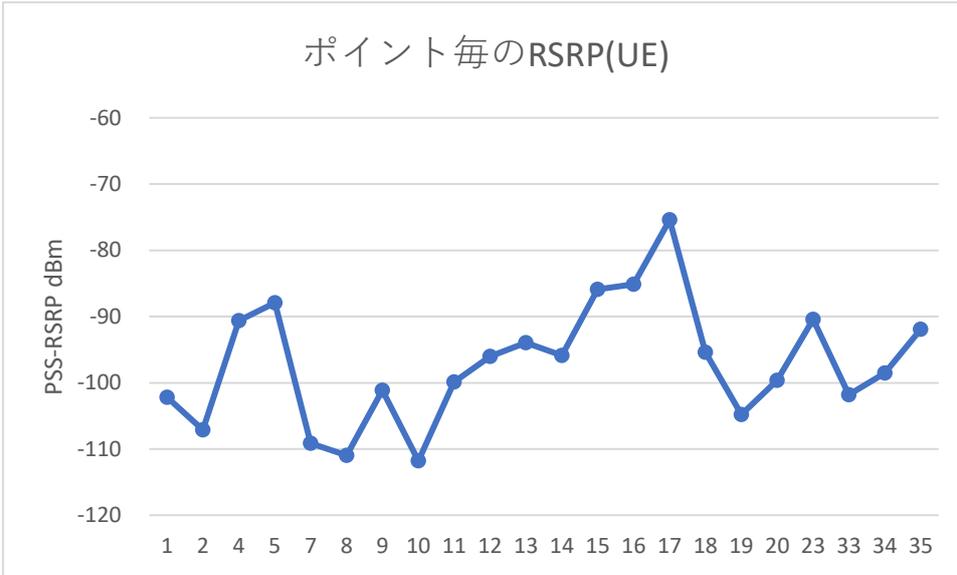


図 3-105 ユタカ SS-RSRP

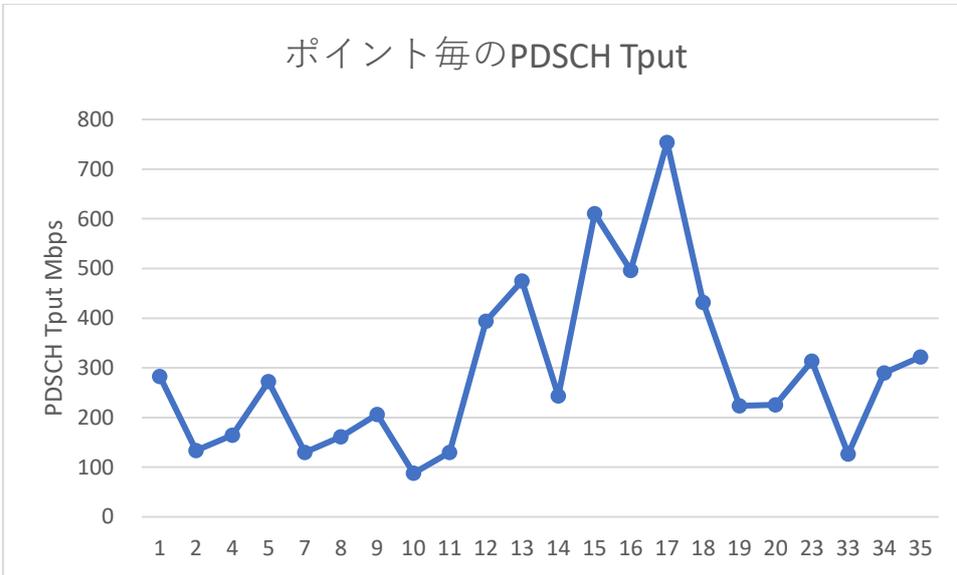


図 3-106 ユタカ PDSCH スループット

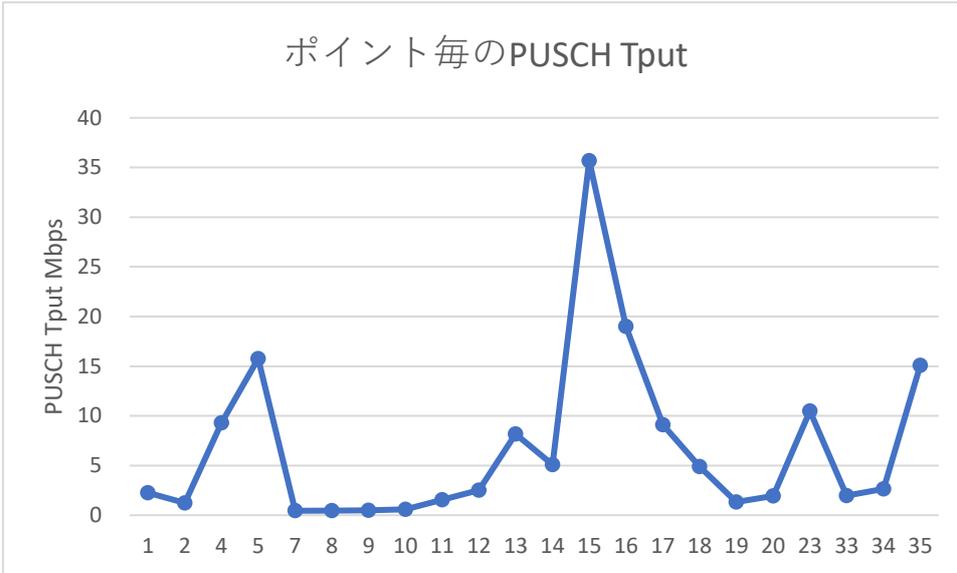


図 3-107 ユタカ PUSCH スループット

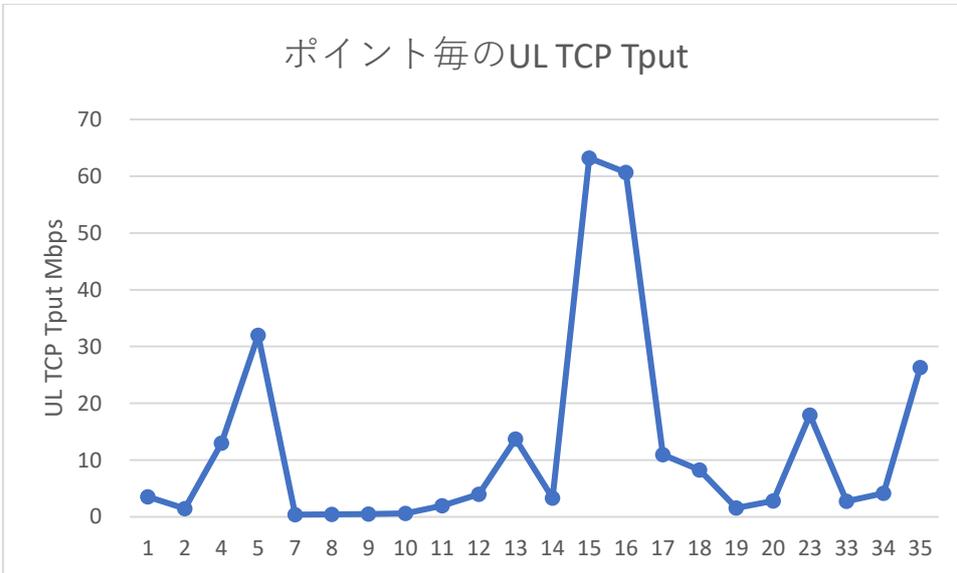


図 3-108 ユタカ Uplink TCP スループット

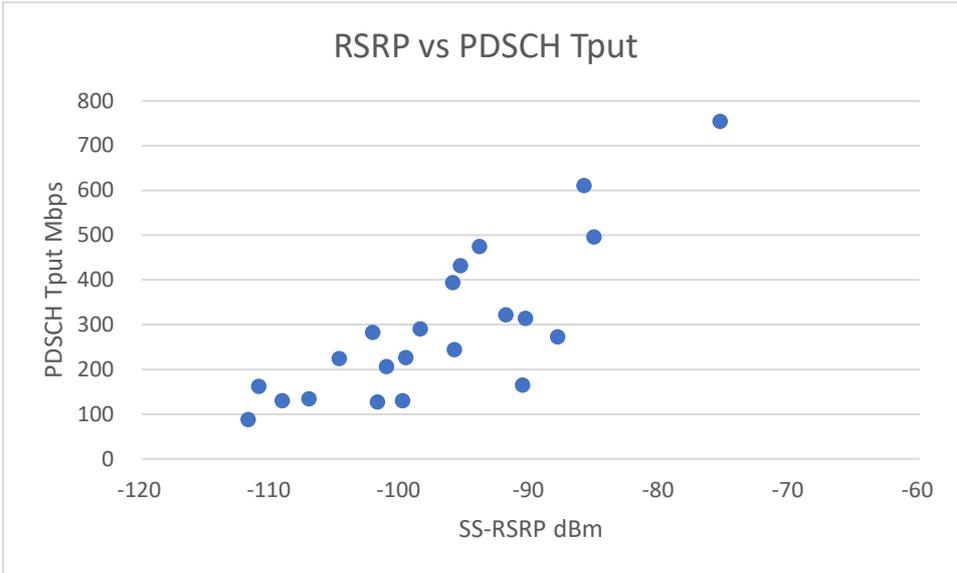


図 3-109 ユタカ SS-RSRP vs PDSCH スループット

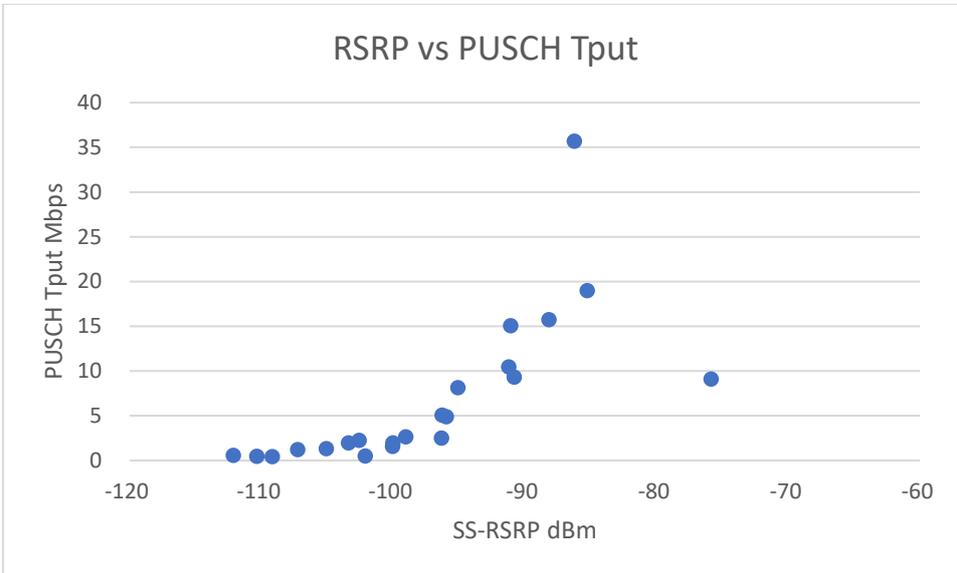


図 3-110 ユタカ SS-RSRP vs PUSCH スループット

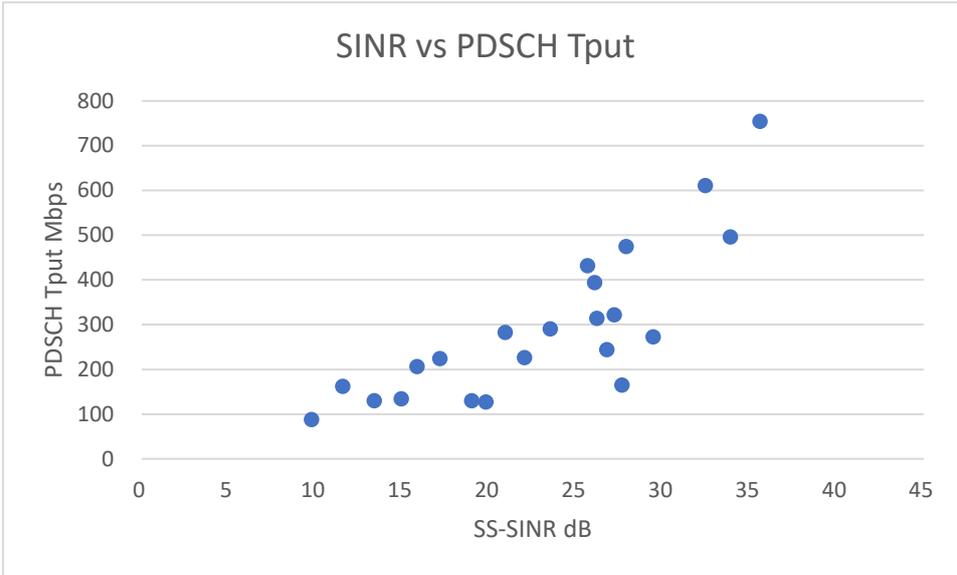


図 3-111 ユタカ SS-SINR vs PDSCH スループット

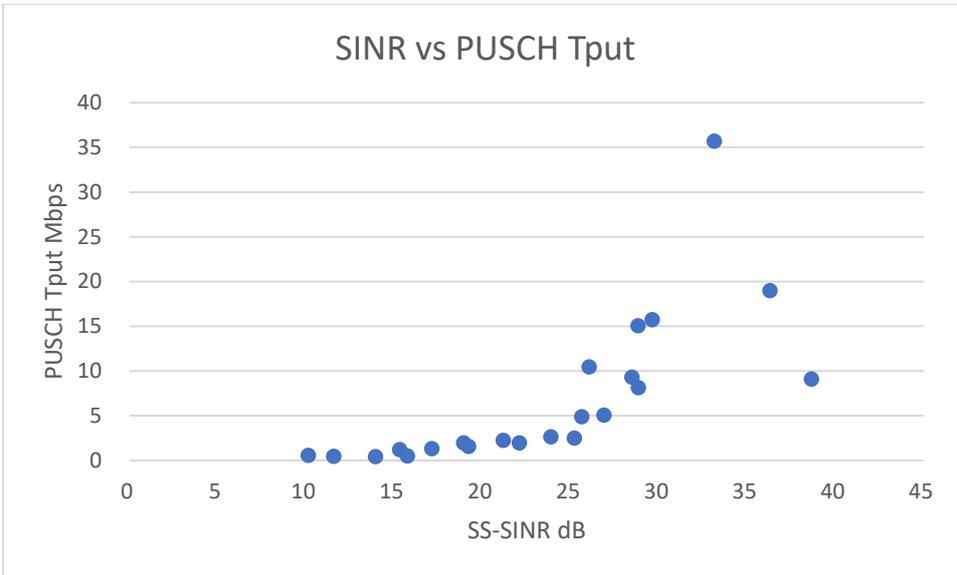


図 3-112 ユタカ SS-SINR vs PUSCH スループット

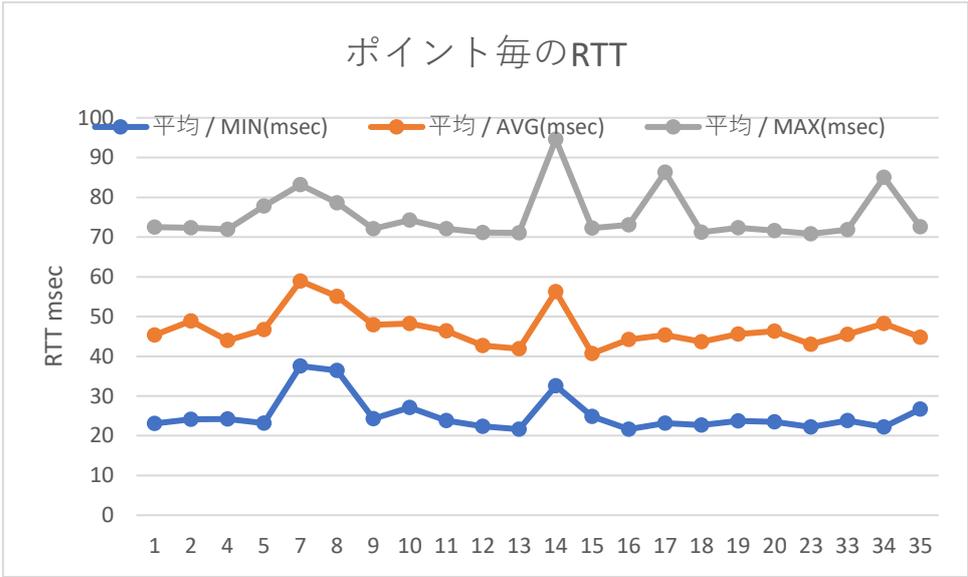


図 3-113 ユタカ 伝送遅延

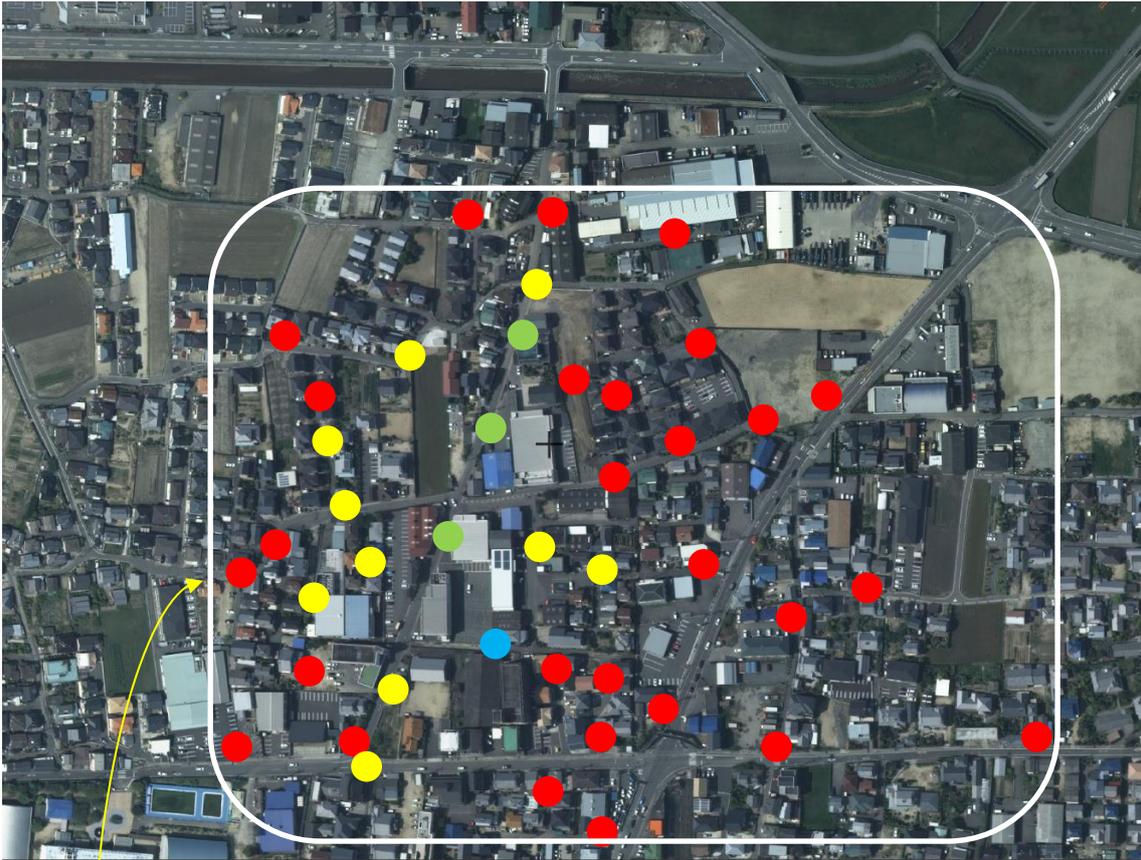


図 3-114 ユタカ SS-RSRP (UE) (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 $SS-RSRP \leq -100$: ● $-100 < SS-RSRP \leq -90$: ● $-90 < SS-RSRP \leq -80$: ● $-80 < SS-RSRP$ ●

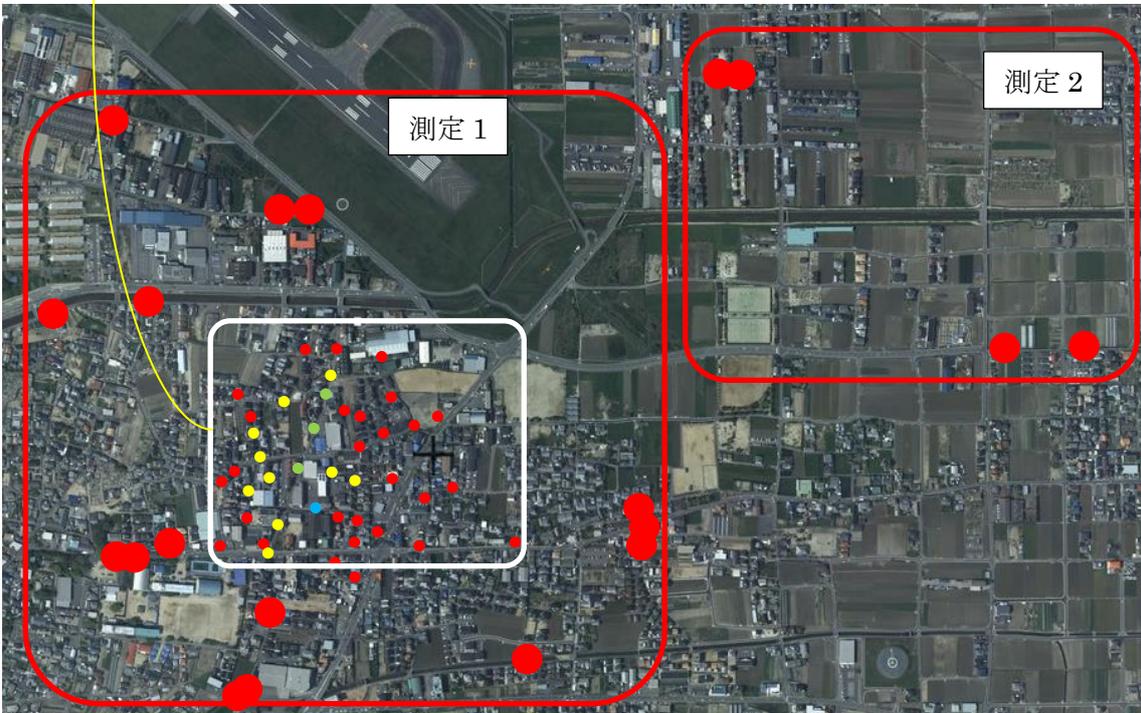


図 3-115 ユタカ SS-RSRP (UE) (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 $SS-RSRP \leq -100$: ● $-100 < SS-RSRP \leq -90$: ● $-90 < SS-RSRP \leq -80$: ● $-80 < SS-RSRP$ ●

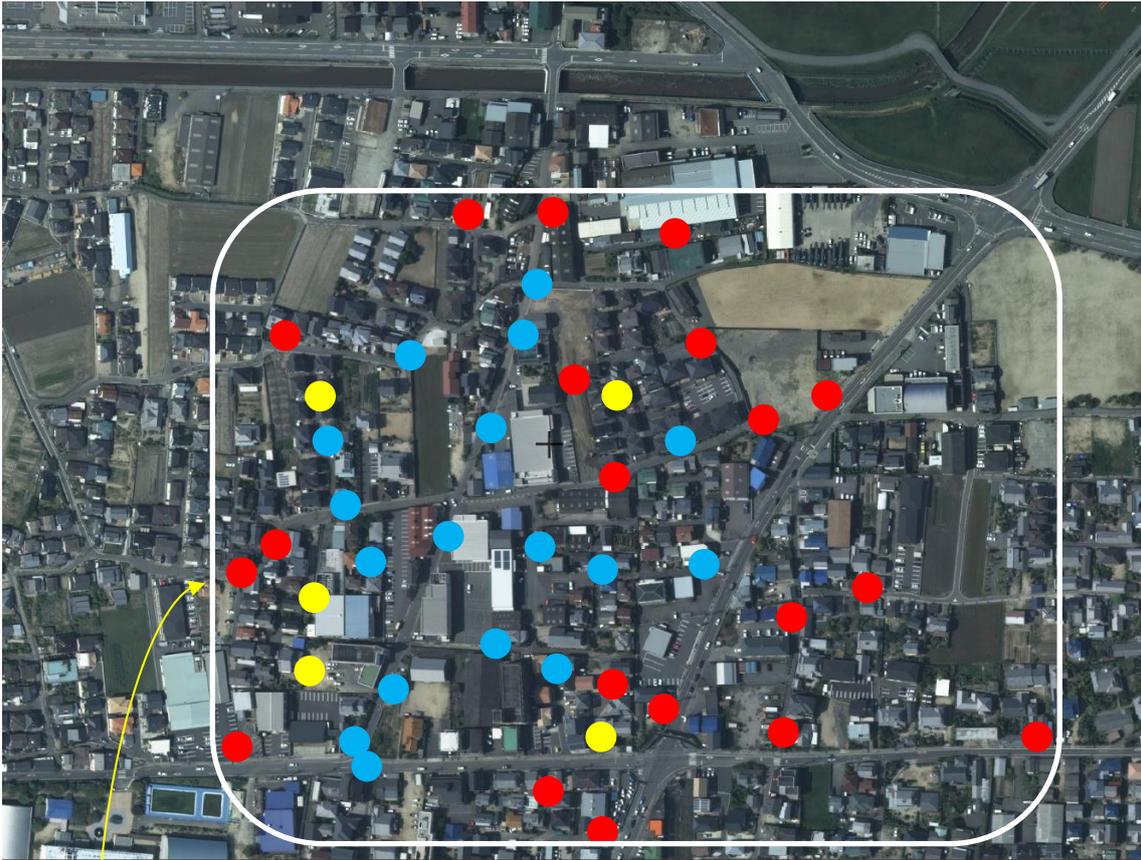


図 3-116 ユタカ PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PDSCH < 150 Mbps：● PDSCH ≤ 150 Mbps：●

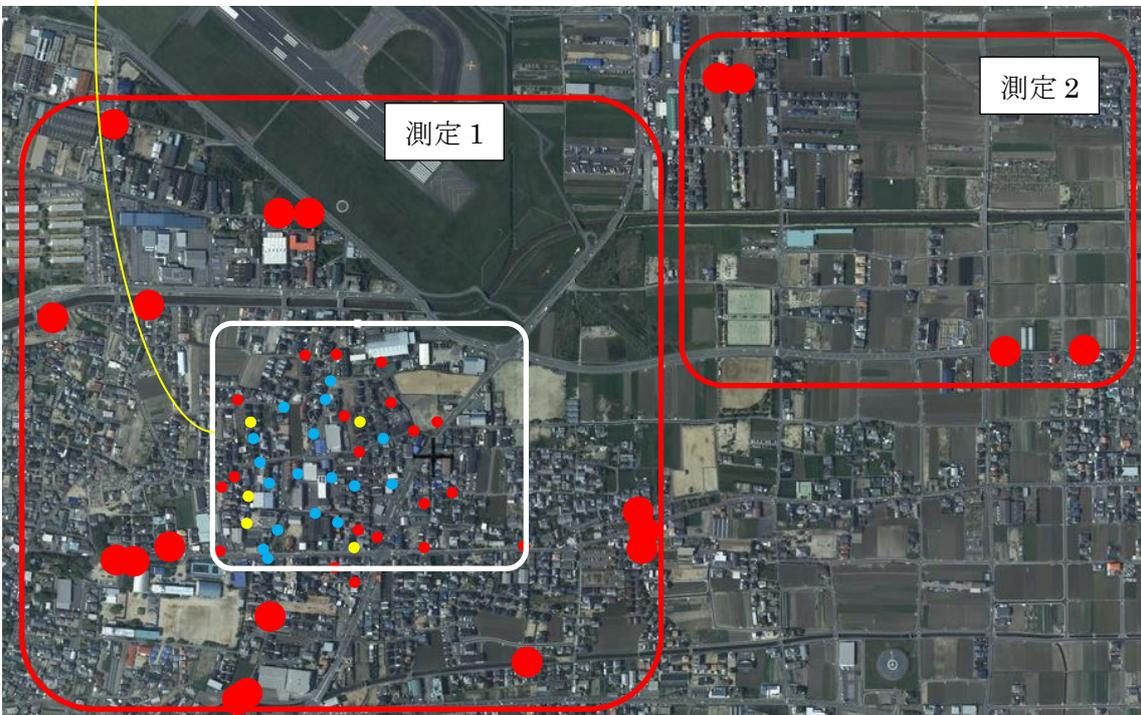


図 3-117 ユタカ PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ PDSCH < 150 Mbps：● PDSCH ≤ 150 Mbps：●

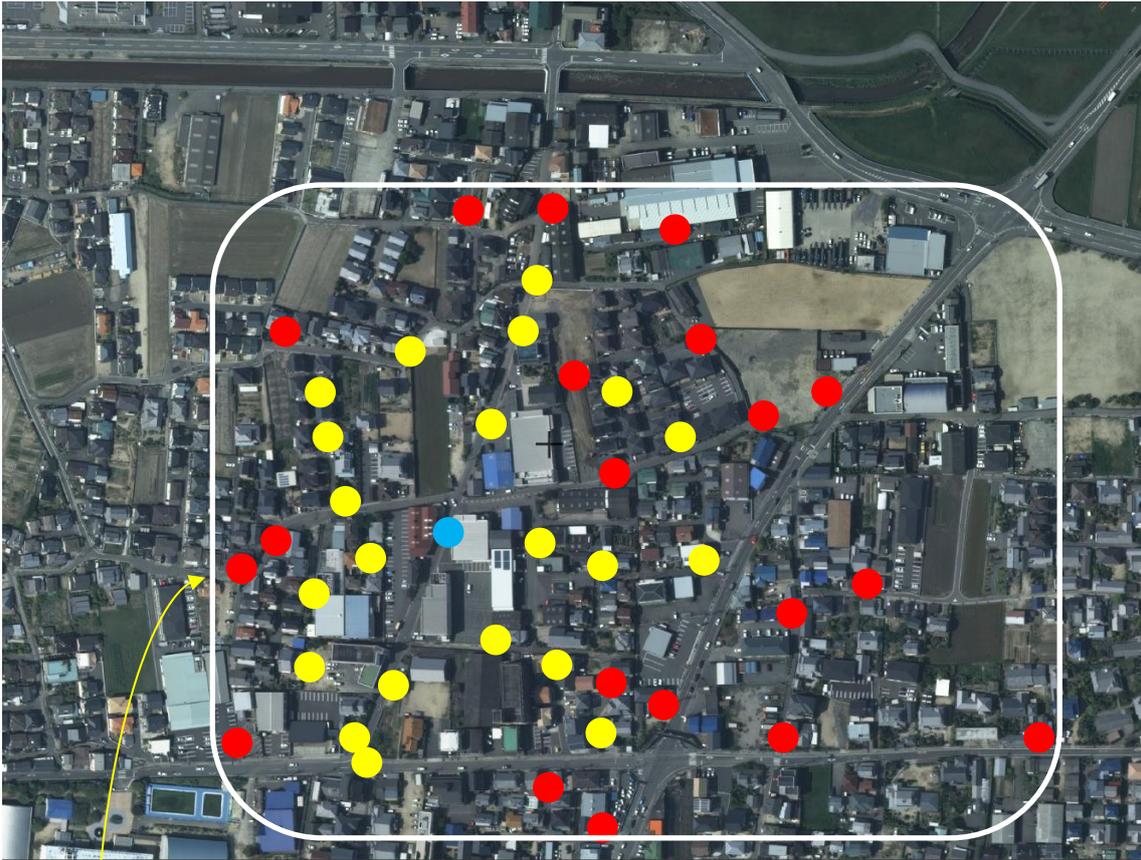


図 3-118 ユタカ PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● $0 \leq \text{PUSCH} < 30 \text{Mbps}$ ：● $\text{PUSCH} \leq 30 \text{Mbps}$ ：●

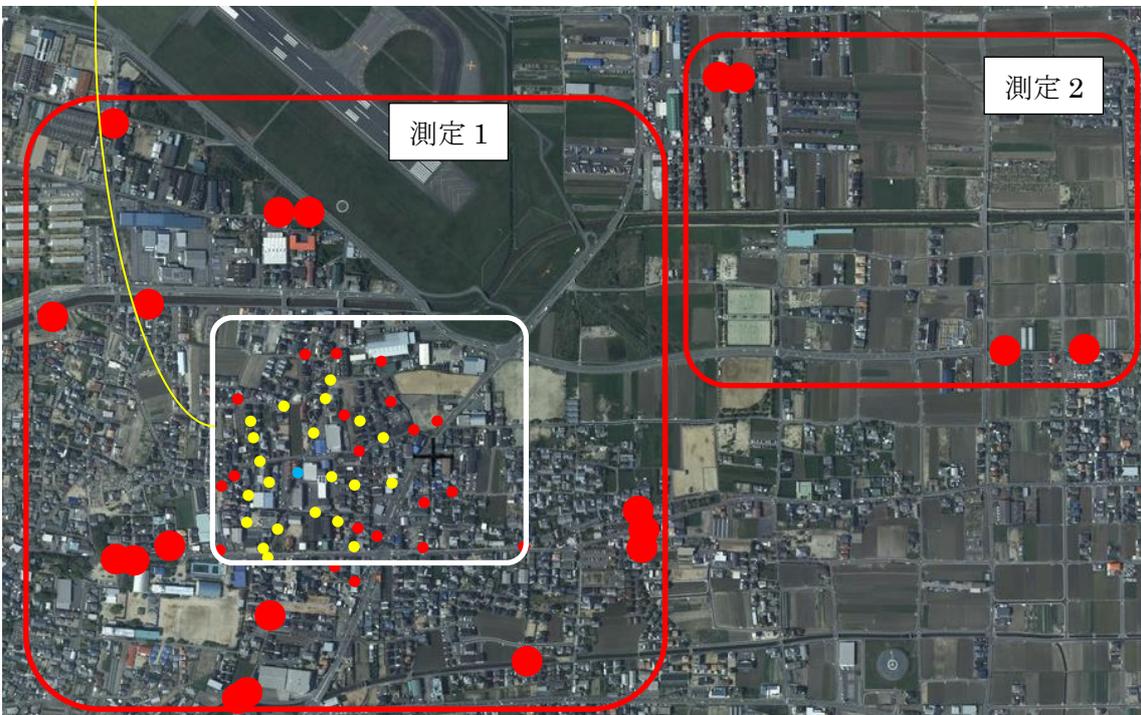


図 3-119 ユタカ PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● $0 \leq \text{PUSCH} < 30 \text{Mbps}$ ：● $\text{PUSCH} \leq 30 \text{Mbps}$ ：●

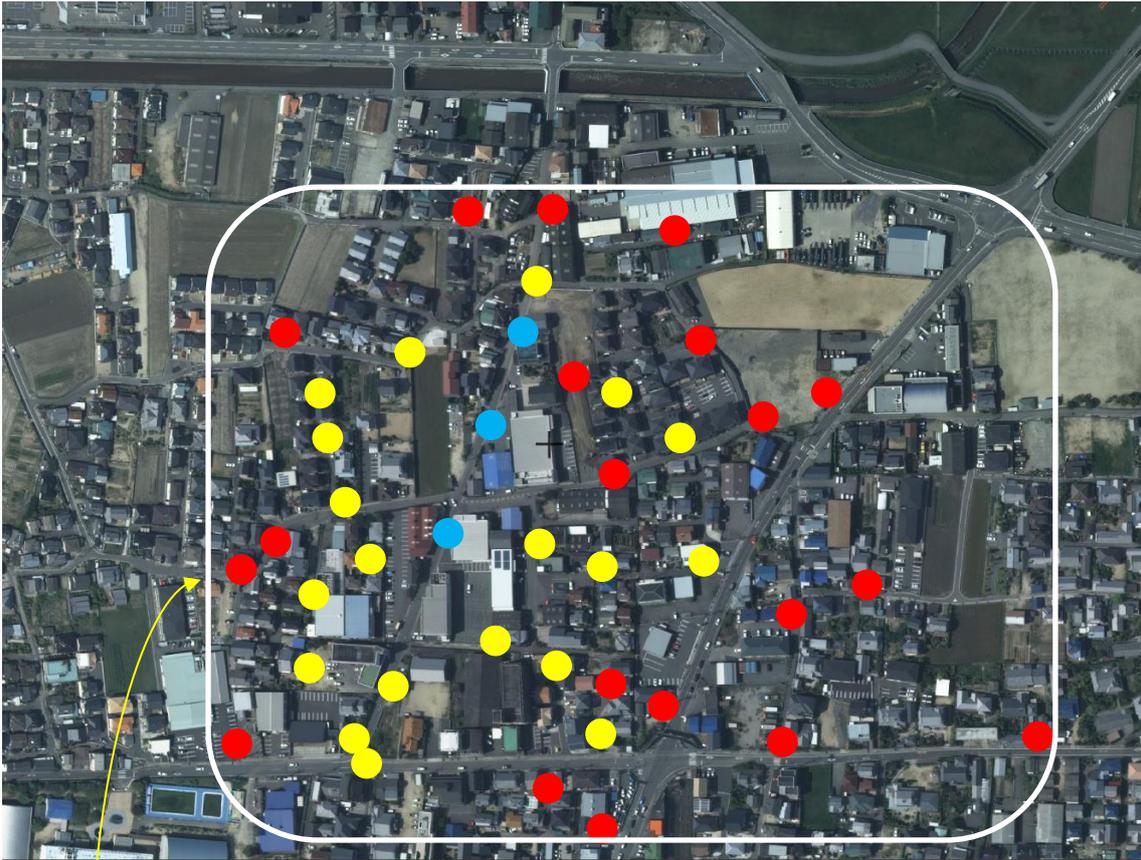


図 3-120 ユタカ UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ UL TCP Tput < 30Mbps：● UL TCP Tput ≤ 30Mbps：●

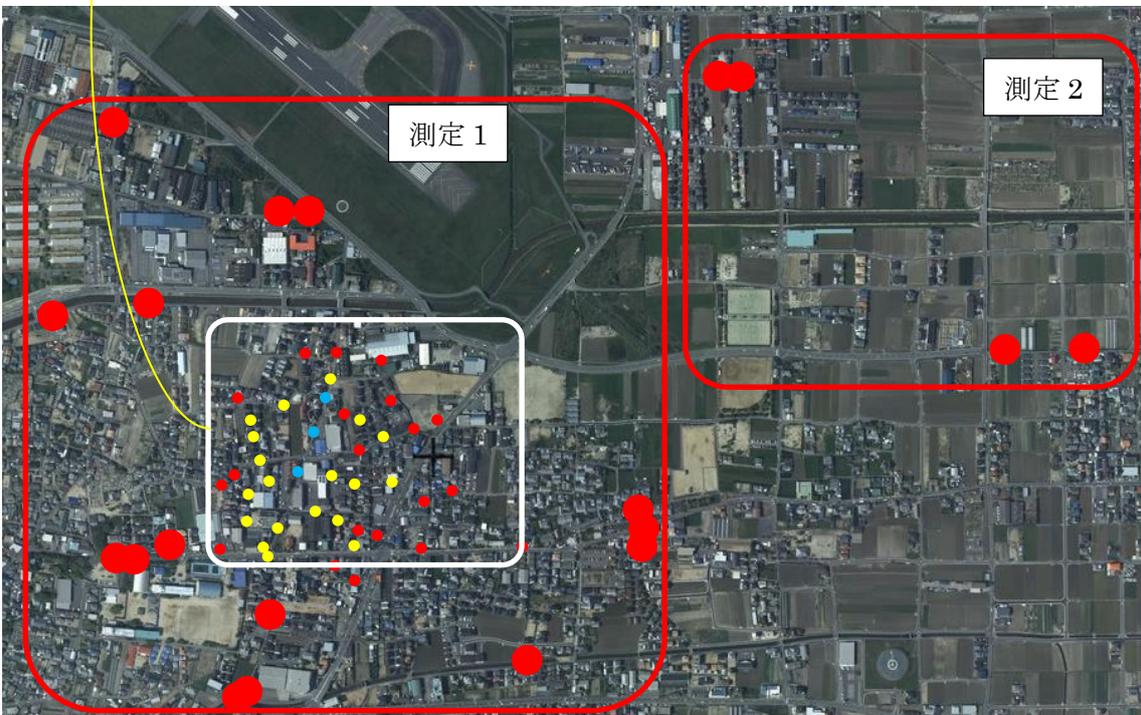


図 3-121 ユタカ UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)
 通信不可：● 0 ≤ UL TCP Tput < 30Mbps：● UL TCP Tput ≤ 30Mbps：●

3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

3.3.3.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

電波法関係審査基準に規定するエリア算出法は見通しの有無を考慮した計算となっており、建物等による遮蔽・反射・回折を考慮した計算をしていない。

ローカル 5Gの実運用時に電波法関係審査基準に規定するエリア算出法ではカバーエリア内であったとしても、実際に電波発射後に建物の遮蔽による弱電スポットや建物の反射が原因となる干渉によるスループットの低下等が発見されることがある。

本実証では、3次元レイトレース法によるシミュレーションが実測値に近く弱電スポットの発見等に活用できること、また建物等の遮蔽による弱電スポット等があった場合に金属反射板により対策可能であることを実証することを目的とした。

【ツウテック株式会社】

今回の実証環境は、

- ・三方を山斜面に囲まれた中に複数の工場建屋が存在する複雑な環境であること
- ・屋外の基地局から工場建屋内部へ5Gの電波を送るためには、電波の唯一の侵入口となる窓を利用しなければならないが、工場の性質上、これらの窓は、特定の場所にしか設けられておらず、その数も少ない。また、建屋同士が重なり、基地局から見通せず、直接電波を送ることのできない建屋もあることなど、様々な制約の中で、目的の場所へ電波を正確に届けなければならない。

予測される不感地帯および反射板によるターゲットポイントを以下に示す。

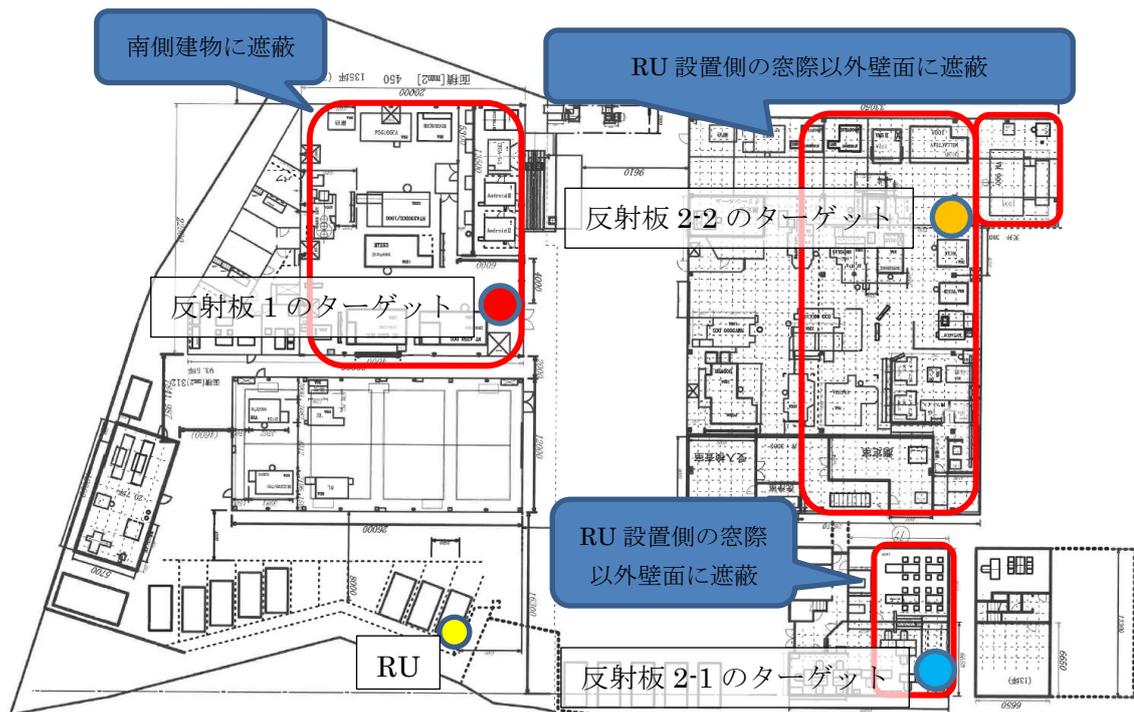


図 3-122 ツウテック 事前に想定した不感地帯

【株式会社ユタカ】

今回の実証環境は、

- ・市街地（住宅地）に囲まれ、道路をはさむ自己土地内に 7 つの工場建屋が存在する環境であること
- ・（現在は）建屋間を結ぶ LAN 環境もないことから、それぞれの建屋にローカル 5G（基地局 1）を効率活用した通信回線を活用する必要があること

などの制約の中で、目的の場所へ電波を正確に届けなければならない。

このため、本実証では、電波反射板を活用することにより、このような環境においても効率的に目的の場所へ電波を届けられることを実証した。

併せて、電波反射板の設置に当たっては、どの位置にどんな角度で設置すればよいか様々なパターンでシミュレーションを行わなければならない、時間と手間もかかる。

このような課題に対しても、3次元レイトレース法を活用することで、電波反射板の設置位置や角度などを自由に変えながら柔軟にシミュレーションが行え、短時間で効率的に最適解を求められることを実証した。

予測される不感地帯および反射板によるターゲットポイントを以下に示す。



図 3-123 ユタカ 事前に想定した不感地帯

(2) 実証目標

RSRP-90dBm 以上、下りスループット 150Mbps、上りスループット 30Mbps (スループットはセルスループットであり、上り下りとも複数台の端末が同時に通信する場合には案分される) を目標値として、特定の場所に向けて 5G の電波を効率的に届けるために必要となる電波反射板の設置位置、角度、サイズなどを導出する。なお、商用実装に向けては、可能な限り人やトラックなどの動体物の影響を受けない設置場所の選定が望ましい。

また、3次元レイトレース法が、電波反射板の設置位置の決定にも有効なツールであることを検証する。

3.3.3.2 実証仮説

(1) 【ツウテック株式会社】

周波数は異なるが、2019年に28GHz帯の反射および透過特性を調べるために、ミリ波ローカル5G基地局を用いて電波暗室内で実施した各種素材の反射および透過試験結果から、アルミ板による反射損失は0dB、金属材質の透過損失は-68.1~-76.0dBと測定されている。

本実証における建物AおよびCは外壁が金属であり、おそらく壁面からの屋内浸透はないと想定され且つ建物AはRUとの間を建物Cが遮蔽しており、直接波の到来は無いものと考えられる。従って、ガラス部分への反射波による受信電力改善が見込まれる。

一方、建物Bと建物Cの壁面は一般的な建築素材ではあるが、一部直接波の透過があるかもしれないが建物奥まで電波到来するとは言えない。そのために建物裏側からの反射波により受信電力改善を見込む。

今回の実証では、工場敷地内に電波反射板を3式設置することにより、屋外の一つの基地局から、3つの工場建屋や事務所に対して、5Gの電波を効率よく届けることができる。

想定する基地局と電波反射板の設置箇所は下図のとおり。

屋外型基地局の複数建屋内での効率的共有に向けた有効性検証

■本件における立地等の背景

敷地の3方向が山に囲まれ自己土地に隣接する土地がない。
敷地内に3つの利用想定建屋が存在しており効率よく置局がしたい。



国土地理院 空中写真を加工

①他社土地への影響を鑑みる必要がない立地条件を活かして出力、角度を最適化することで屋内での電波利用の有効性を検証

②反射板を利用して電波到来方向の逆面からの屋内へのアプローチの有効性の検証

③建物、斜面等の反射により開放面への電波漏洩と他電波利用に対する影響の検証、考察



図 3-124 ツウテック 反射板設置



図 3-125 ツウテック 反射板設置 (地図：国土地理院ウェブサイトより)

なお、反射板の大きさについてはRU～反射板 33m、反射板～RU 16m と仮定した場合のフレネル半径が 0.8m であることから 2m 四方のアルミ板を想定した。

建物壁面に平行に反射板を設置した場合、反射板への入射角度が 40 度。この状態で 2m 四方の反射板を用いると入射角度 40 度相当とした場合の反射板の有効寸法が ($\cos 40 = 0.766 = x / 2m$) 1.54m となり、フレネルゾーンを確保できる。

しかし現地調査の結果、西側反射板については取付ける建物の強度不足から 1.5m 四方の

反射板とした。この状態でも入射角度 40 度相当とした場合の反射板の有効寸法が
 $(\cos 40 = 0.766 = x / 1.5\text{m})$ 1.15m となり、フレネルゾーンを確保できる。

東側反射板については、反射板を取付けるための強度を保持する構造物が無くまた支持柱の建柱についても地盤の関係で困難なことから、バケット車により一時的に反射板を取付けることとし、参考データとする。

また、表 3-35、表 3-36、表 3-37 にそれぞれの反射板のなし/ありの場合のリンクバジェットを示す。いずれの場合も反射板を設置することで所要受信電力以上の受信電力値が期待できる。

表 3-35 反射板 1 なし/ありのリンクバジェット

	反射板なし		反射板あり	
送信電力	33 dBm	2W/局	33 dBm	2W/局
送信アンテナ利得	10.18 dBi		12.57 dBi	
伝搬損失	-75.58 dB	29.58m	-78.57 dB	41.73m
建物侵入損失	-60 dB	金属壁の建物による遮蔽	-1.6 dB	ガラスによる損失
反射損失	0 dB		-31 dB	
受信アンテナ利得	2.98 dBi		2.98 dBi	
雑音指数	-3 dB		-3 dB	
所要受信電力	-84.6 dBm		-84.6 dBm	
許容伝搬損失	-7.82 dB		18.98 dB	

表 3-36 反射板 2-1 なし/ありのリンクバジェット

	反射板なし		反射板あり	
送信電力	33 dBm	2W/局	33 dBm	2W/局
送信アンテナ利得	7.62 dBi		12.57 dBi	
伝搬損失	-79.16 dB	44.65m	-82.50 dB	65.56m
建物侵入損失	-48 dB	壁、床を3回透過	-1.6 dB	ガラスによる損失
反射損失	0 dB		-20.7 dB	
受信アンテナ利得	2.98 dBi		2.98 dBi	
雑音指数	-3 dB		-3 dB	
所要受信電力	-84.6 dBm		-84.6 dBm	
許容伝搬損失	-1.96 dB		25.35 dB	

表 3-37 反射板 2-2 なし/ありのリンクバジェット

	反射板なし		反射板あり	
送信電力	33 dBm	2W/局	33 dBm	2W/局
送信アンテナ利得	11.91 dBi		12.57 dBi	
伝搬損失	-81.54 dB	58.74m	-84.12 dB	79m
建物侵入損失	-48 dB	壁、床を2回透過 什器や人の遮蔽	-1.6 dB	ガラスによる損失
反射損失	0 dB		-23.8 dB	
受信アンテナ利得	2.98 dBi		2.98 dBi	
雑音指数	-3 dB		-3 dB	
所要受信電力	-84.6 dBm		-84.6 dBm	
許容伝搬損失	-0.05 dB		20.63 dB	

(2) 【株式会社ユタカ】

今回の実証では、敷地内に電波反射板を1式設置することにより、基地局から死角（不感エリア）となる1工場（第8工場）でローカル5Gの電波が利用できるようになると仮定したが現地調査の結果、反射板の第5工場設置ではフレネル半径の確保に課題があり、第2工場方向にRUを向け、第2工場に反射板を設置、第1工場をカバーすることを検証することとした。基地局と電波反射板の設置箇所は下図のとおり。

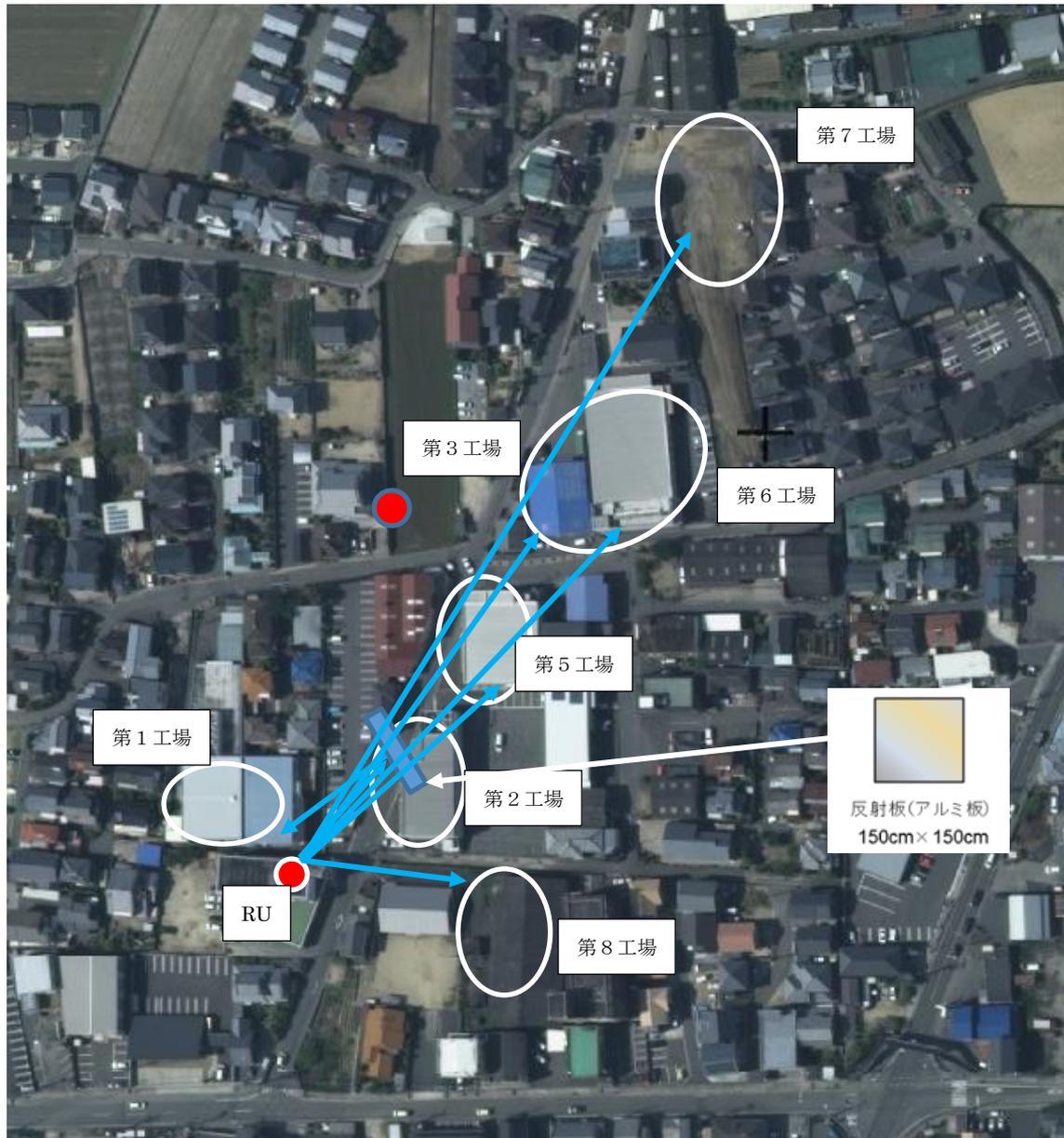


図 3-126 ユタカ 反射板設置 (地図：国土地理院ウェブサイトより)

なお、反射板の大きさについてはRU～反射板 44m、反射板～UE42m と仮定した場合のフレネル半径が 1.15m であることから 1.5m 四方のアルミ板を想定した。

基地局と端末の位置関係から計算上の入射角度は 5 度である。ツウテック同様に計算すると、1.5m 四方の反射板で有効寸法が 1.49m となり、フレネルゾーンを確保できると考える。

また、表 3--38 に反射板なし／ありの場合のリンクバジェットを示す。反射板を設置することで受信電力値の増大が期待できる。

表 3-38 反射板なし/ありのリンクバジェット

	反射板なし		反射板あり	
送信電力	33 dBm	2W/局	33 dBm	2W/局
送信アンテナ利得	-9.63 dBi		12.57 dBi	
伝搬損失	-67.25 dB	11.33m	-86.45 dB	103.32m
建物侵入損失	0 dB		0 dB	
反射損失	0 dB		-29.02 dB	
受信アンテナ利得	-40 dBi	ほぼ直上の利得	2.98 dBi	
雑音指数	-3 dB		-3 dB	
所要受信電力	-84.6 dBm		-84.6 dBm	
許容伝搬損失	-2.28 dB		14.68 dB	

3.3.3.3 評価・検証項目

基地局から発出されたローカル 5G の電波が、電波反射板により基地局からの死角（不感エリア）となっている建屋内部へ届き、所要の受信電力やスループットを得られることを検証するために反射板設置前後の、目的としている場所（端末設置場所）の受信電力、通信品質、伝送性能を測定し評価した。

また、レイトレースによるシミュレーションが実運用上有効であることを実測値の受信電力と比較し検証した。

3.3.3.4 評価・検証方法

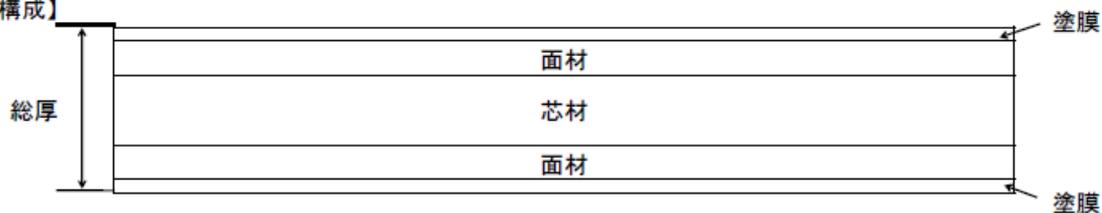
本実証で反射板として使用したアルミ板の製品仕様は以下の通り。

■製品特性

品番： F S V - 3 2 1 S

総厚： 3mm

【構成】



【原材料仕様】

面材： アルミニウム 0.12mm

芯材： 発泡ポリエチレン樹脂

【面材表面仕様】

塗料表面： ポリエステル系樹脂塗装・ホワイト艶有り

塗料裏面： プライマー塗装・グレー

塗装方法： 高温焼き付け型コイル塗装

表面保護フィルム：片面

【面材表面処理規格】

塗膜厚：17 μ m以上

色調：目視色見本と大差なきこと色差 $\Delta E \leq 1.0$

光沢度：規定値 $\pm 10\%$

密着性：塗膜剥離なきこと（デュポン式耐衝撃試験）

【製品寸法・計上規格】

厚さ：規格値 $\pm 10\%$ （マイクロメーター）

巾： $\pm 1.0\text{mm}$ （JIS 1級スケール）

長さ： $\pm 1.0\text{mm}$ ／製品1m（JIS 1級スケール）

対角差：(P-Q) $\leq 2\text{mm}$ （JIS 1級スケール）

【一般性能】

比重：0.7（計算値）

引張強さ：27MPa（JIS Z 2241）

線膨張係数：2.4~3.0 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ （JIS A 1325 20~60 $^{\circ}\text{C}$ ）

【塗膜性能】

鉛筆硬度：H以上（JIS K 5600）

耐沸騰水性：膨れ剥がれ無し（沸騰水浸漬1Hr）

耐酸性：膨れ剥がれ無し（5% H_2SO_4 24Hrs）

耐アルカリ性：膨れ剥がれ無し（1% NaOH 24Hrs）

耐候性： $\Delta E \leq 5$ 剥がれ無し（サンシャインウエザーメーター1000Hrs）

2m 四方の場合の重量：約 8.4 kg

1.5m 四方の場合の重量：約 4.752 kg

不感地帯の改善を評価するために以下ポイントで測定を実施した。

- ① UE設置場所
- ② 反射板~UE間
- ③ 反射板設置ポイント
- ④ 反射板~RU間

事前にレイトレースによるシミュレーションを実施し、実測値の受信電力をシミュレーション結果と比較、またメーカーや愛媛CATV実フィールドにて事前測定したスループット値と比較（受信電力が同値になっているデータと比較）して評価した。受信電力やスループットが想定値と異なる場合は、要因と解決方策を検討する。

2021年12月に、現地調査を実施して、レイトレース法を用いたカバーエリア図および調整対象区域図を作図し、測定点20カ所以上も合わせ記載する（上記の不感地帯の改善を評価する4ポイントも含む）。

なお、基地局からの距離測定時には、図面やGPS（屋外の見通し良い状態で水平方向2~3m、垂直方向3~10mの誤差）、レーザー距離計（誤差数mm）などを必要に応じて利用した。



図 3-127 エリアテスト測定



図 3-128 5G端末+DM ツール測定

また、以下の構成によりエリアテストおよび5G端末+DMツール（メリテック社製Sigma-LAを想定）によりデータ収集を行った。測定時は測定器を背負うまたは一脚／三脚にアンテナ部分を設置してRUと測定機アンテナの間に人間による遮蔽が発生しないように測定した。

受信電力および通信品質に関してはエリアテストで取得したが、スループット試験時の受信電力、通信品質に関してはDMツールでも取得した。

エリアテストの測定データについては、受信電力としてSS-RSRPを測定し、1測定点あたり1000サンプル、測定位置を10λの範囲でずらして測定し、測定点あたり合計1000サンプルの測定結果に対し、中央値、 σ 、上位10%値、下位10%値を算出した。

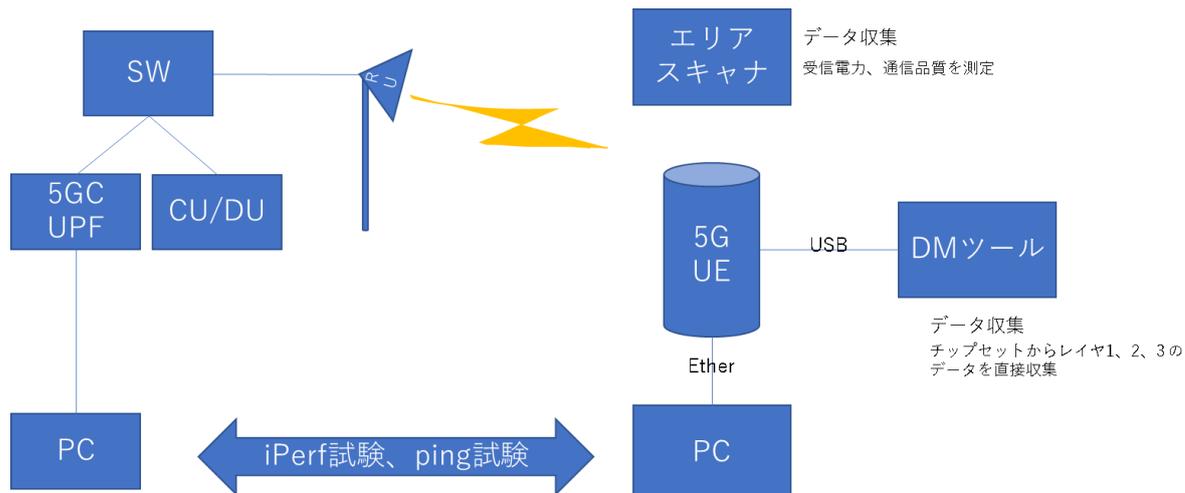


図 3-129 伝送性能試験構成

(1) 【ツウテック株式会社】

エリアテスタおよび 5G 端末+DMツール（メリテック社製 Sigma-LA を想定）により、26 ポイントでデータを取得した。

3 次元レイトレース法により導出した電波反射板の設置場所への設置時と未設置時における建屋内での受信電力（RSRP 値）、通信品質（エリアテスタの場合 SIR または DM ツールの場合 SINR）、及び現地から 5G C までの伝送性能（アップリンク/ダウンリンク別の伝送スループット、伝送遅延等）を測定した。

電波反射板については、以下のデータも取得した。

- ・電波反射板設置場所の諸元：基地局から電波発射板への到来波の入射角、反射板の位置、高さ、角度
- ・電気特性は ITU-R 勧告 P.2040-2 を元に計算した。

電波反射板の配置は屋外基地局からの 5G の直接波が届かない工場建屋 A の正面 2 階窓、工場建屋 B の裏側 1 階窓、事務所 D の裏側 1 階窓に対して、次のとおり、3 枚の電波反射板を使用して、反射波を各建屋の窓から建屋内 5G 端末に届けるものとする。ただし工場建屋 B、事務所 D への反射板は常設が困難なことから、バケット車を用いた仮設し、参考データも取得した。

【想定する反射板の設置場所】

基地局→電波反射板 1（工場建屋 B の壁面に高さ 6.8m で設置）→工場建屋 A の正面 2 階窓→窓際の屋内 5G 端末

基地局→電波反射板 2（工場建屋 B 事務所 D の裏側敷地内に高さ 7.4m で設置）→工場建屋 B の裏側 1 階窓→窓際の屋内 5G 端末

基地局→電波反射板 3（工場建屋 B 事務所 D の裏側敷地内に高さ 7.4m で設置）→事務所 D の裏側 1 階窓→窓際の屋内 5G 端末

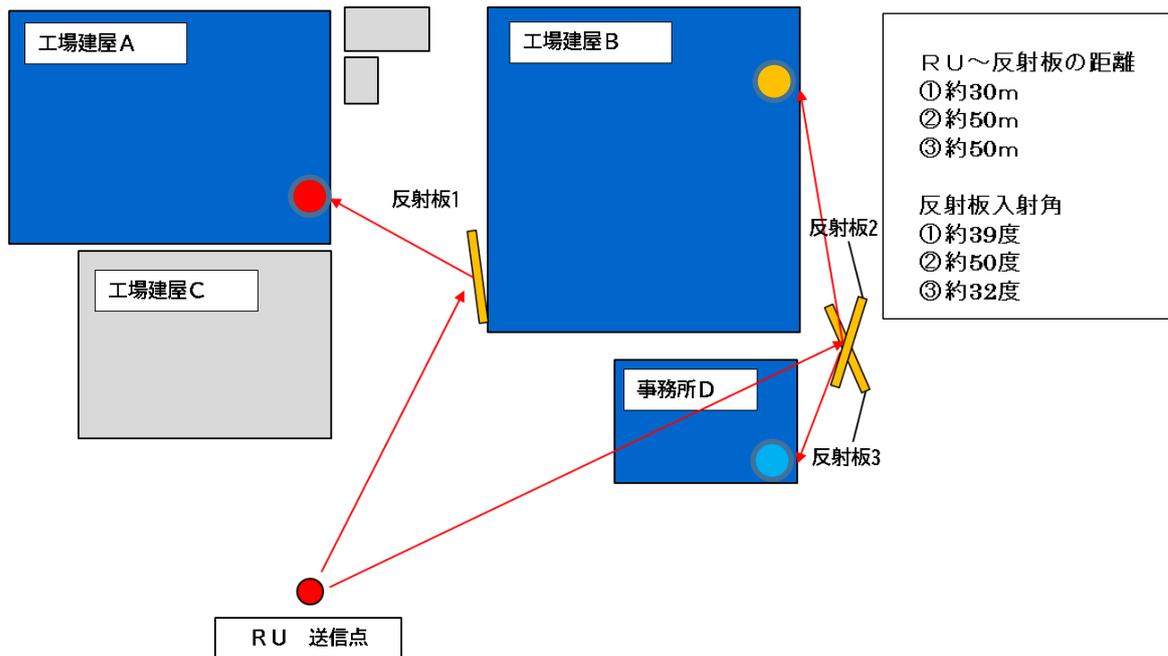


図 3-130 ツウテック 反射板設置場所

また、それぞれの反射板がない時とある時の基地局とターゲットとなるUEの位置関係を図 3-131 および図 3-132 および図 3-133 に示す。

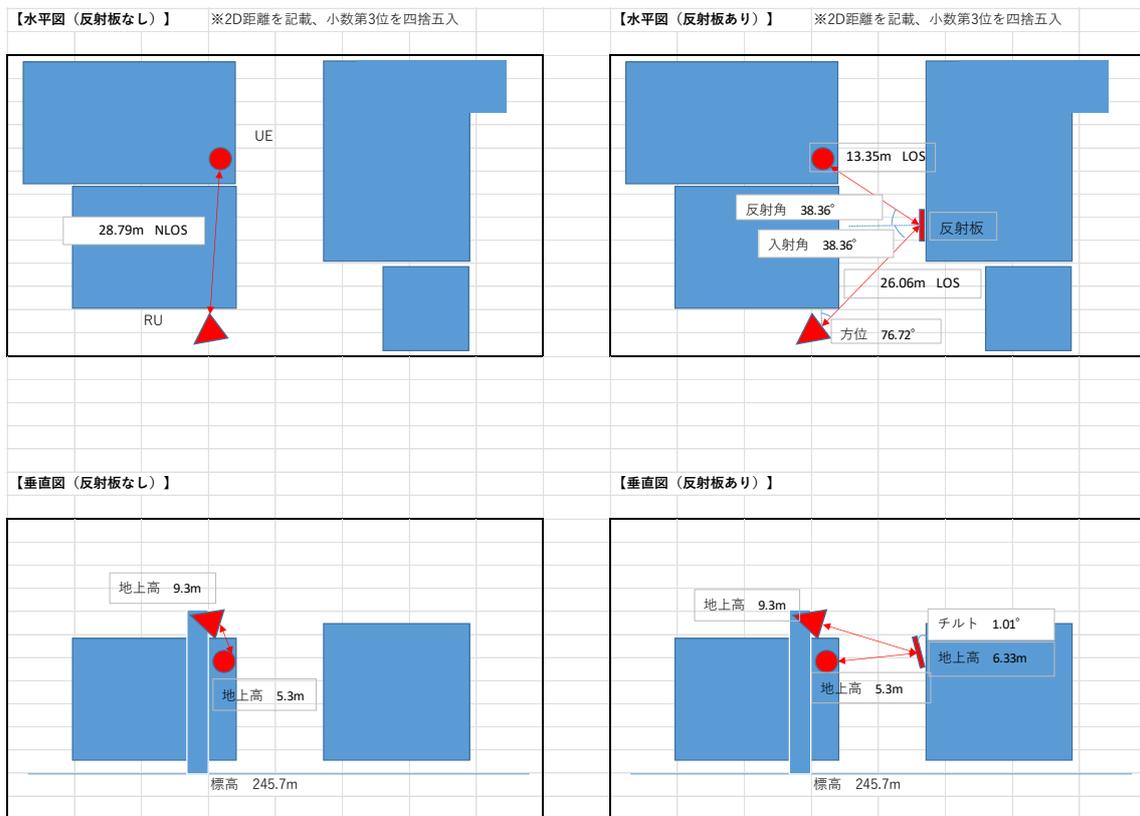


図 3-131 反射板1なし/ありの位置関係

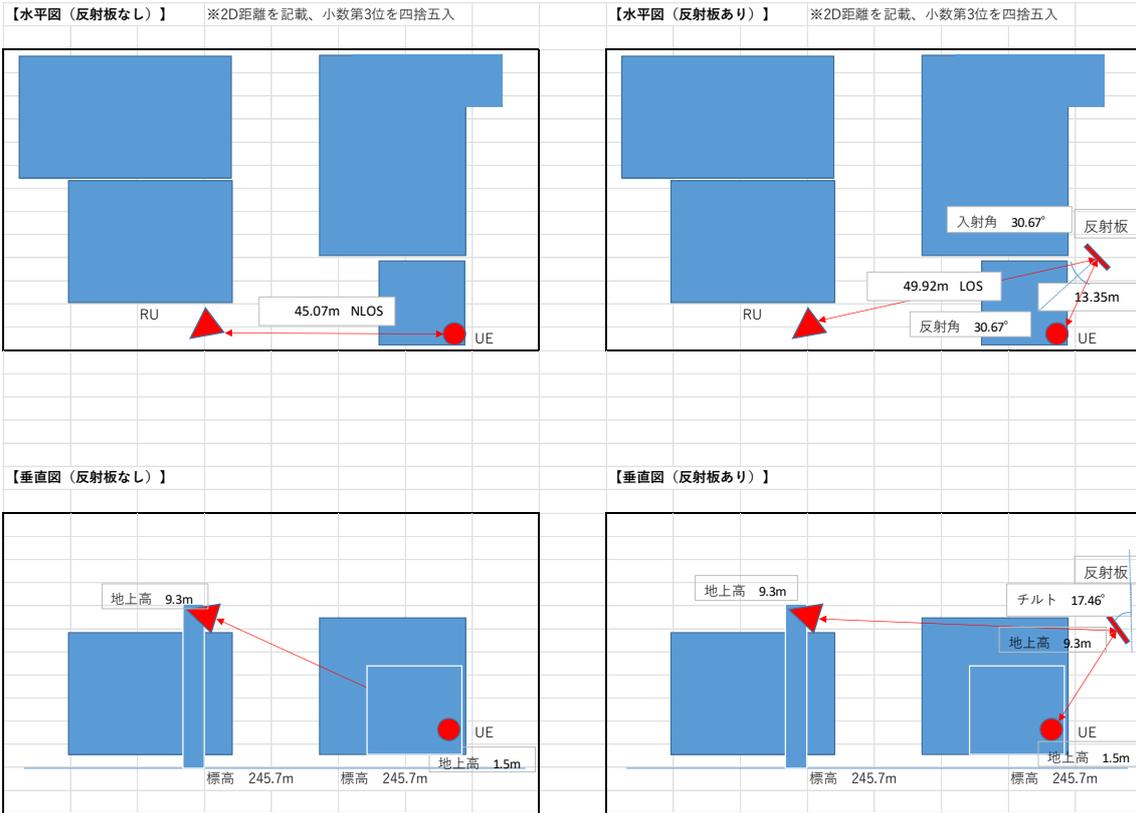


図 3-132 反射板 2-1 なし/ありの位置関係

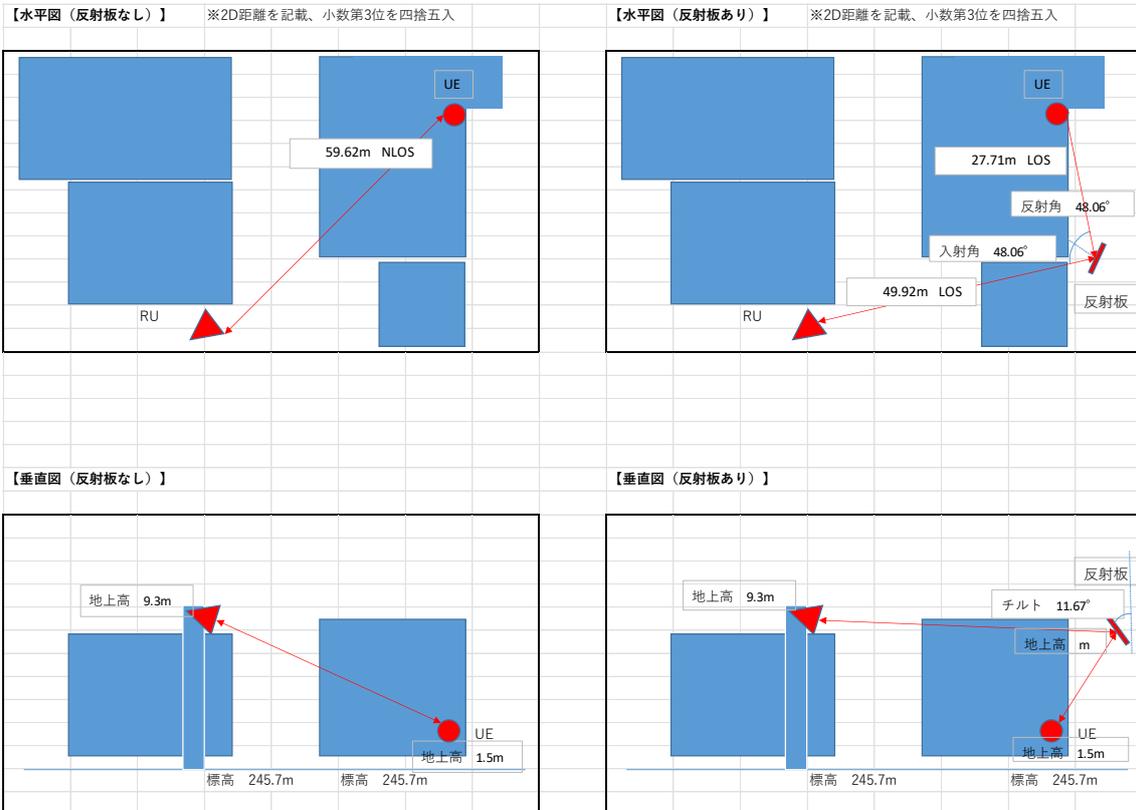


図 3-133 反射板 2-2 なし/ありの位置関係



図 3-134 反射板 1 設置位置から RU の見通し



図 3-135 反射板 2 設置位置から RU の見通し

上記測定結果から電波反射板の諸元と設置方法などの効果的な組み合わせを分析し、本実証環境における最適な使用モデルを検証した。

(2) 【株式会社ユタカ】

エリアテストおよび 5G 端末+DM ツール (メリテック社製 Sigma-LA を想定) により、22 ポイントでデータを取得した。3 次元レイトレース法により導出した電波反射板の設置場所への設置時と未設置時における第 1 工場建屋側での受信電力 (RSRP 値)、通信品質 (エリアテストの場合 SIR または DM ツールの場合 SINR)、及び現地から 5G C までの伝送性能 (アップリンク/ダウンリンク別の伝送スループット、伝送遅延等) を測定した。

電波反射板については、設置場所の諸元: 基地局から電波発射板への到来波の入射角、反射板の位置、高さ、角度を取得し、電気特性は ITU-R 勧告 P.2040-2 を元に計算した。

電波反射板の配置は第2工場方向にRUを向け、第2工場に反射板を設置、反射波を第1工場建屋の屋外5G端末に届けるものとした。
また、反射板がない時とある時の基地局とターゲットとなるUEの位置関係を図3-137に示す。

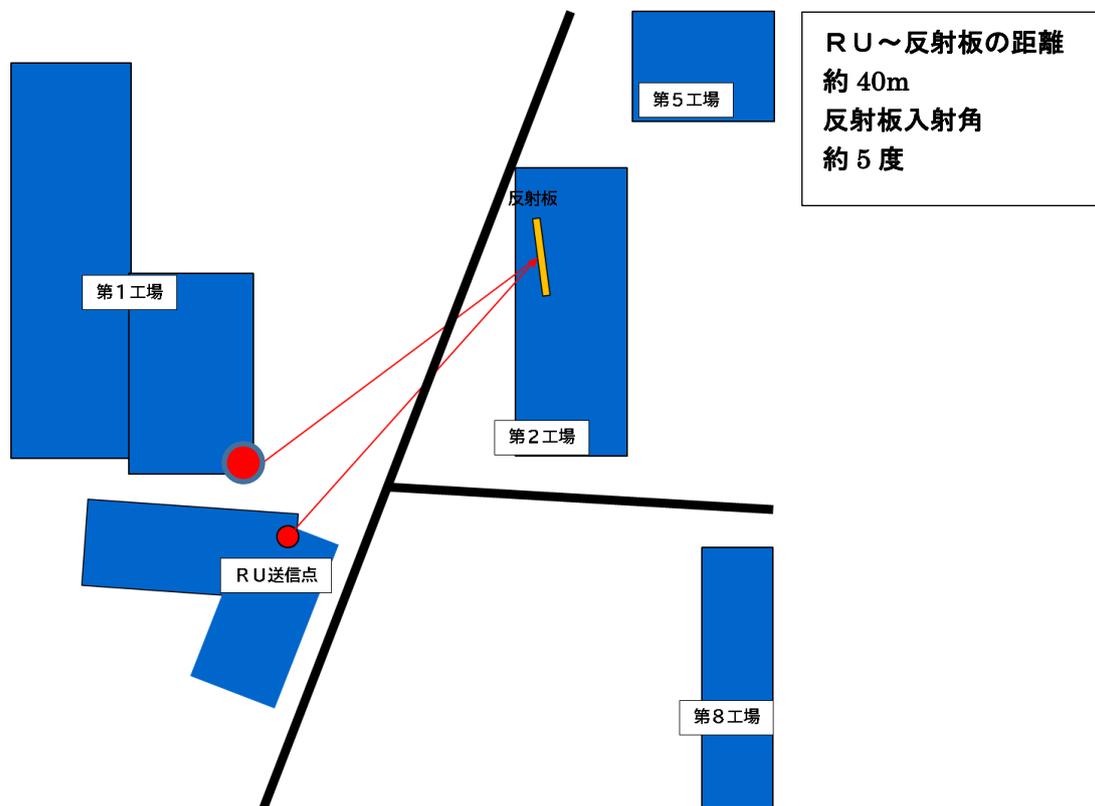


図 3-136 ヌタカ 反射板設置場所

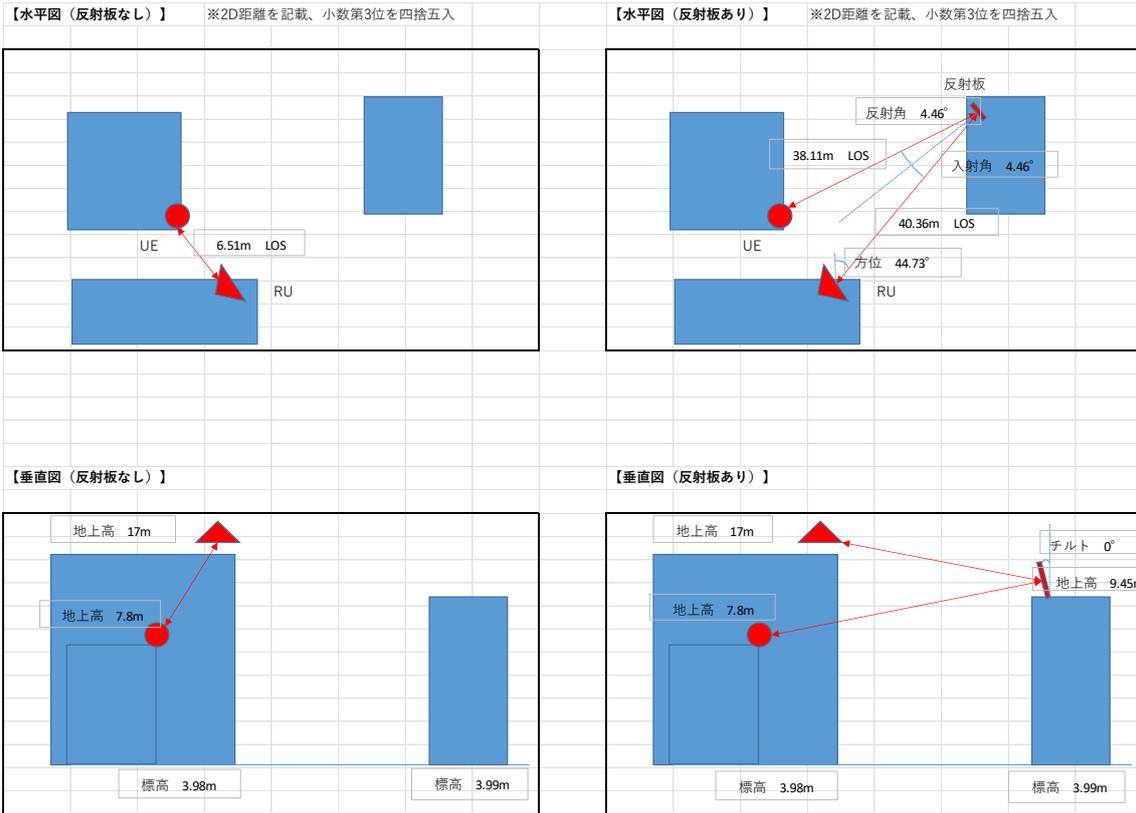


図 3-137 反射板なし/あり位置関係



図 3-138 反射板設置位置から RU の見通し

3.3.3.5 実証結果及び考察

(1) 【ツウテック】

図 3-139 に示すように、A棟のUEはC棟で遮蔽された位置にあり、十分な受信電力が得られない不感エリアになるのではないかと想定される。

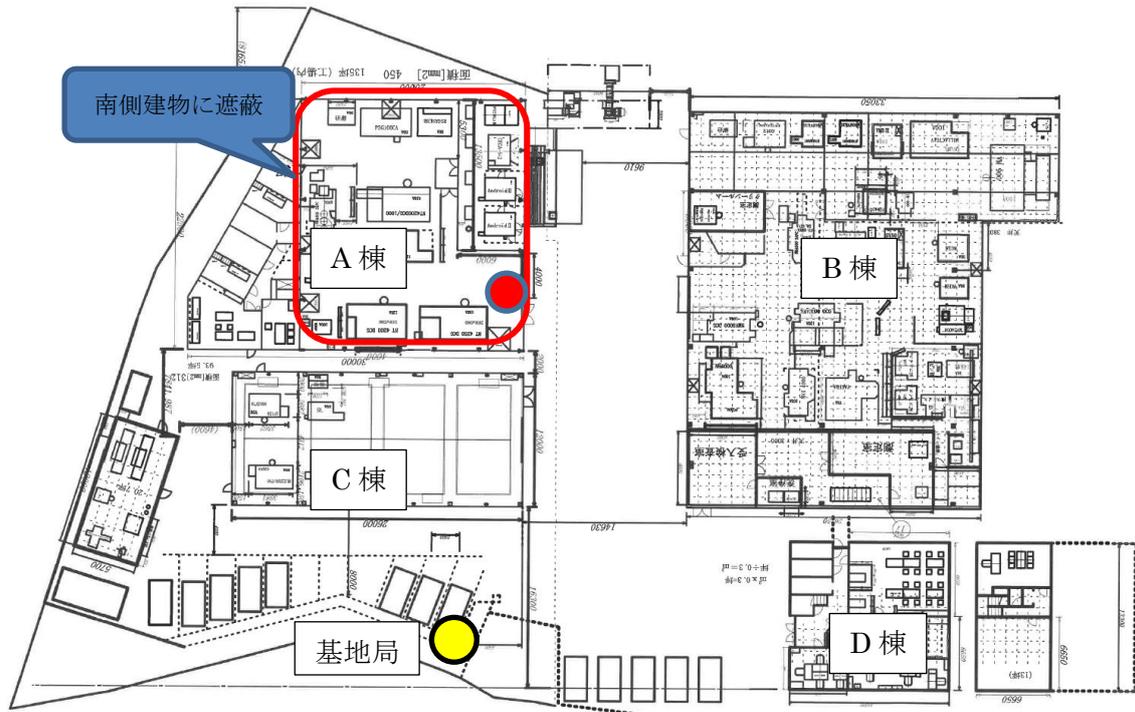


図 3-139 A棟の不感エリアの想定

このエリアにおいて十分な受信電力が得られるように、基地局の最大アンテナ利得方向にこのエリア向けの反射板を設置することで、エリア設計を拡張することを計画した。

また、図 3-140 に示すように、B棟、D棟のUEは基地局に対して建物の裏側にあり、十分な受信電力が得られない不感エリアになるのではないかと想定される。

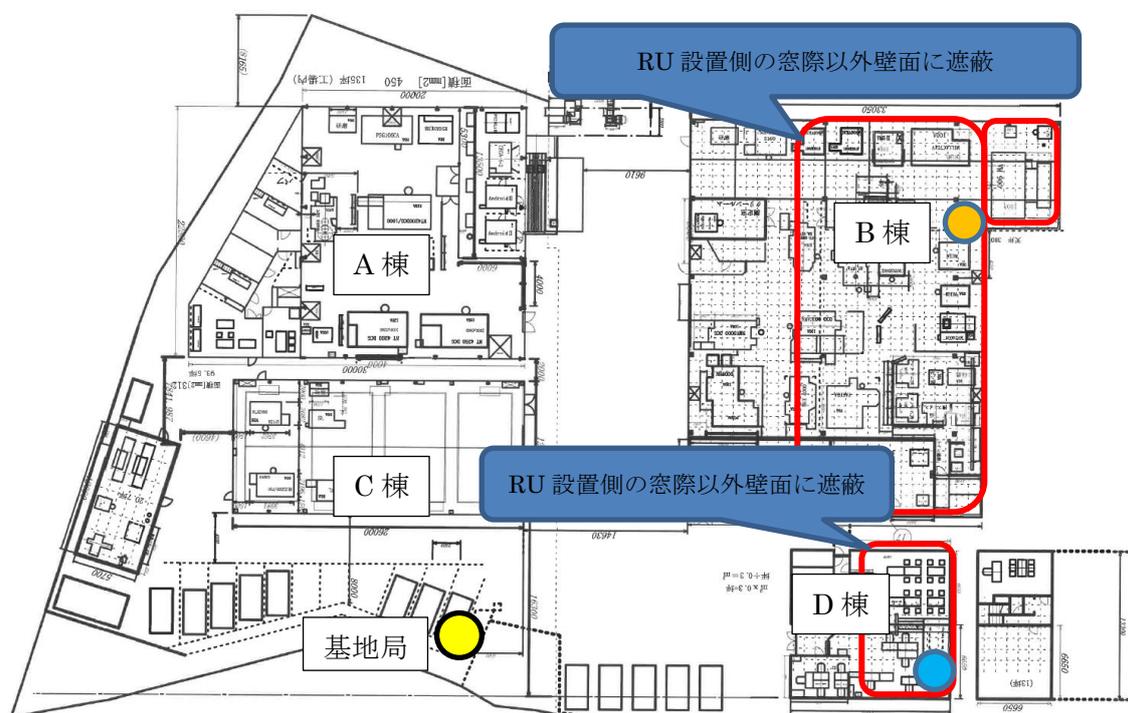


図 3-140 B棟、C棟の不感エリアの想定

このエリアにおいて十分な受信電力が得られるように、建物と建物との間の高い位置で十分な受信電力が得られる地点にこのエリア向けの反射板を設置することで、エリア設計を拡張することを計画した。

1) 算出式によるエリアシミュレーション（反射板なし、反射板あり）

算出式によるエリアシミュレーションの結果を図 3-141（屋内浸透なし）および図 3-142（屋内浸透あり）に示す。算出式によるカバーエリアは反射板の存在は考慮されないため、反射板なし、反射波ありとも同様のカバーエリアとなる。

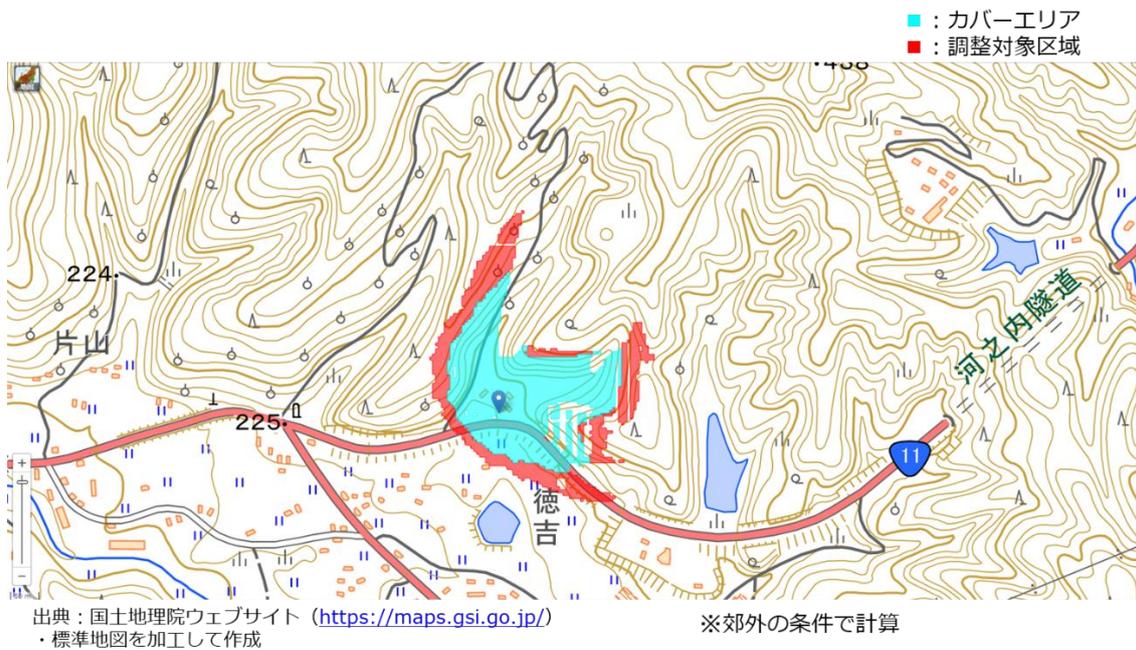


図 3-141 カバーエリア図（屋内浸透なし）

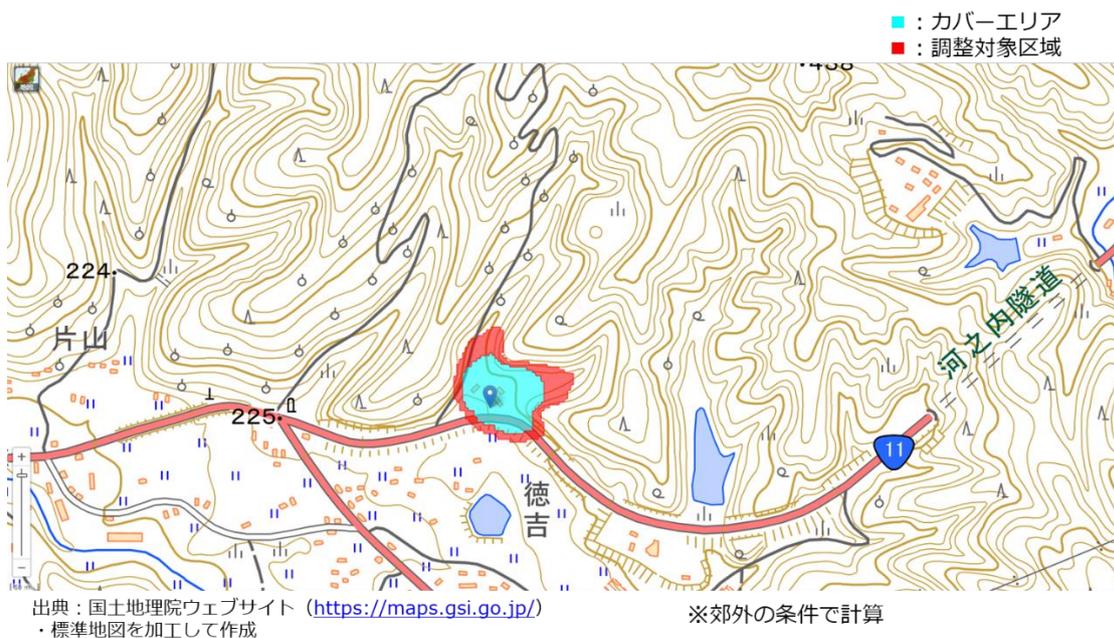


図 3-142 カバーエリア図（屋内浸透あり）

算出式によるカバーエリアにおいては、対象のエリアが不感地帯とはなっていない。これは、特別な遮蔽等がなければ十分な受信電力が得られることを示している。

2) 3次元レイトレースによるシミュレーション結果（反射板なし）

反射板なしの場合のレイトレースによる屋外のエリアシミュレーションの結果を図 3-143 および図 3-144 および図 3-145 に示す。

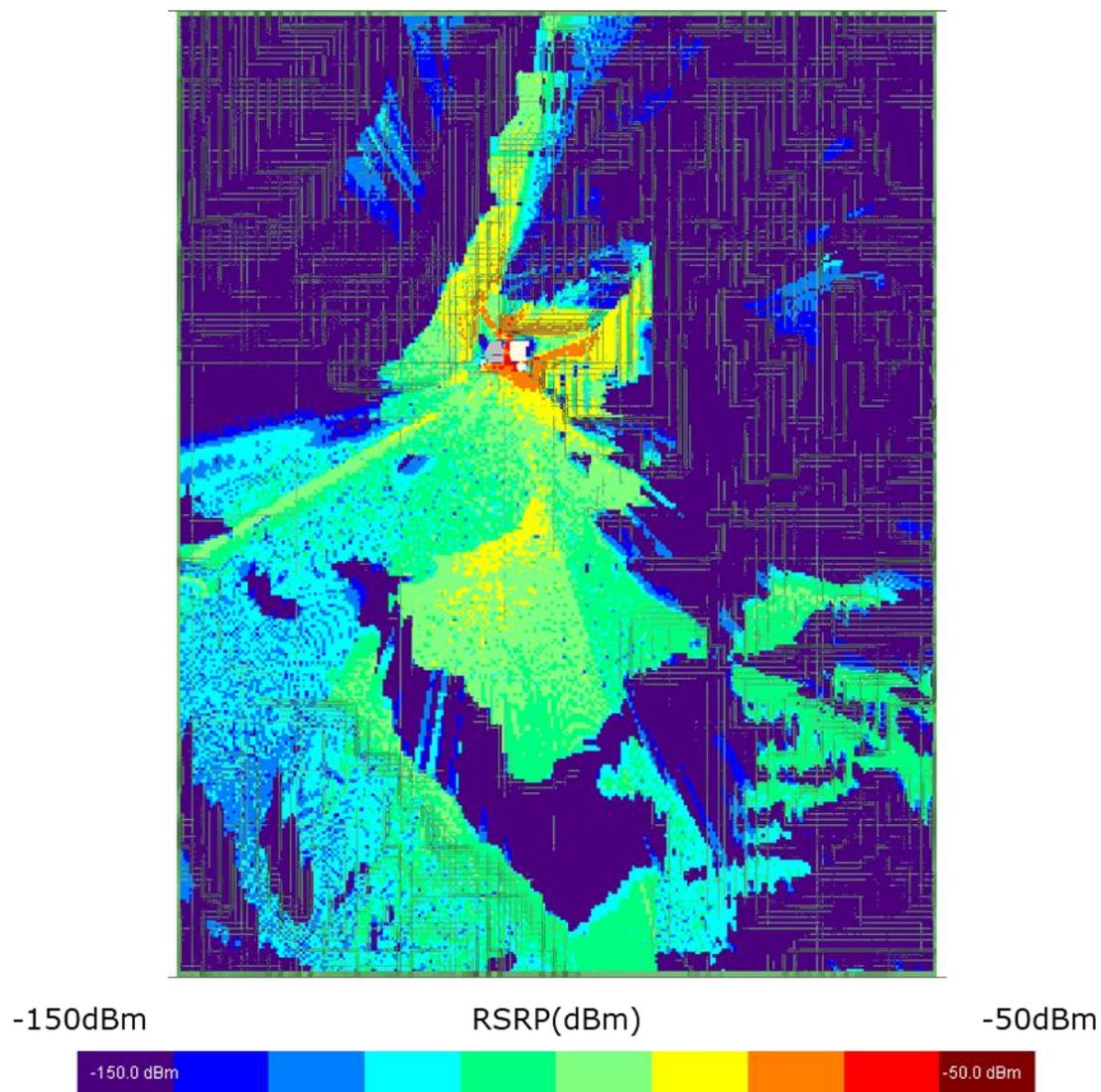


図 3-143 反射板なし 屋外① 地上高 1.5m

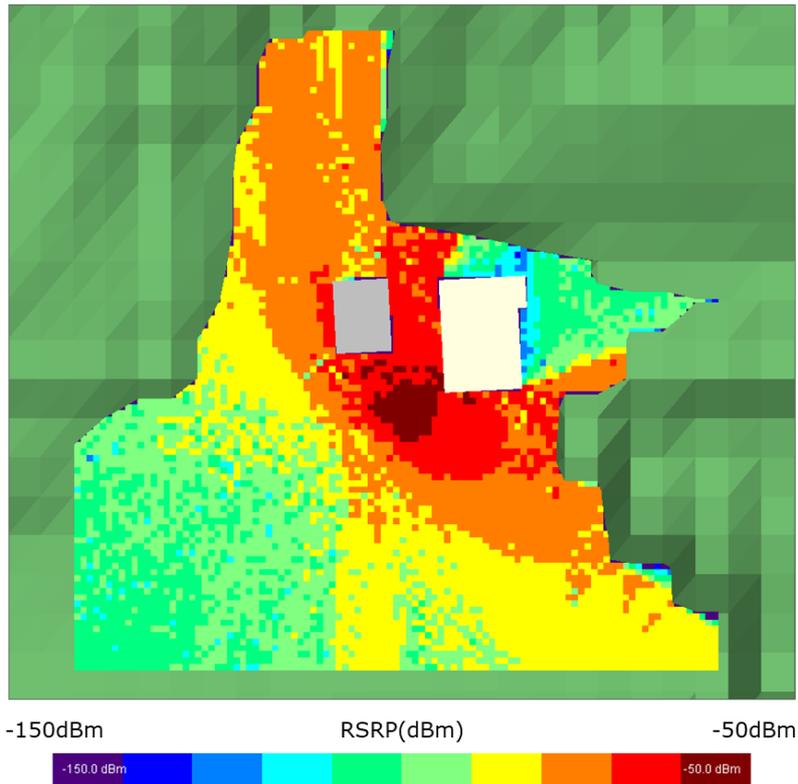


図 3-144 反射板なし 屋外② 地上高 7.33m

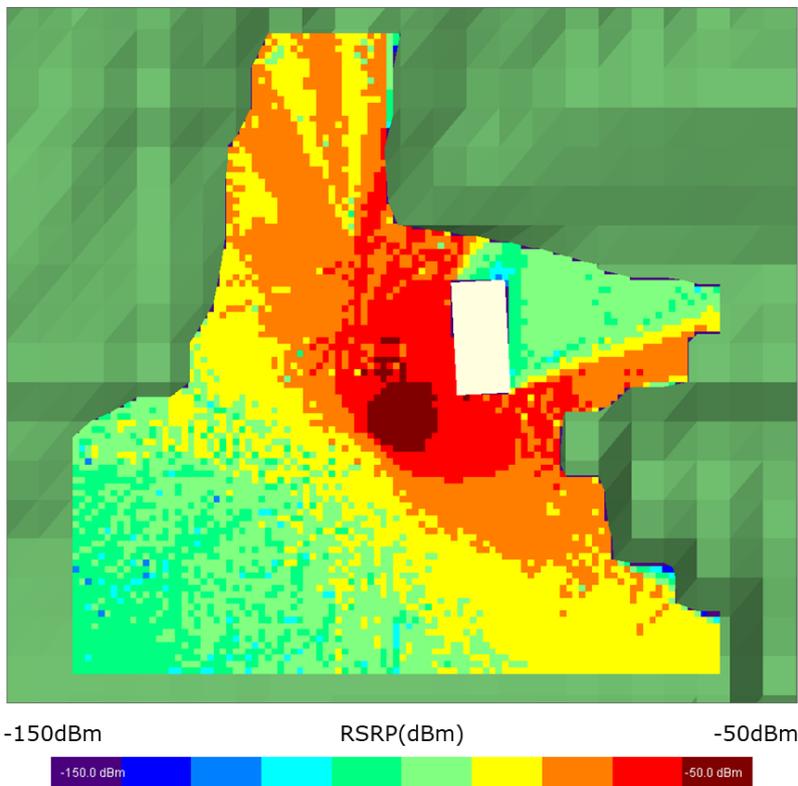


図 3-145 反射板なし 屋外② 地上高 9.3m

3) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション (反射板あり)

反射板1ありの場合のレイトレースによる屋外のエリアシミュレーションの結果を図 3-146 および図 3-147 および図 3-148 に示す。

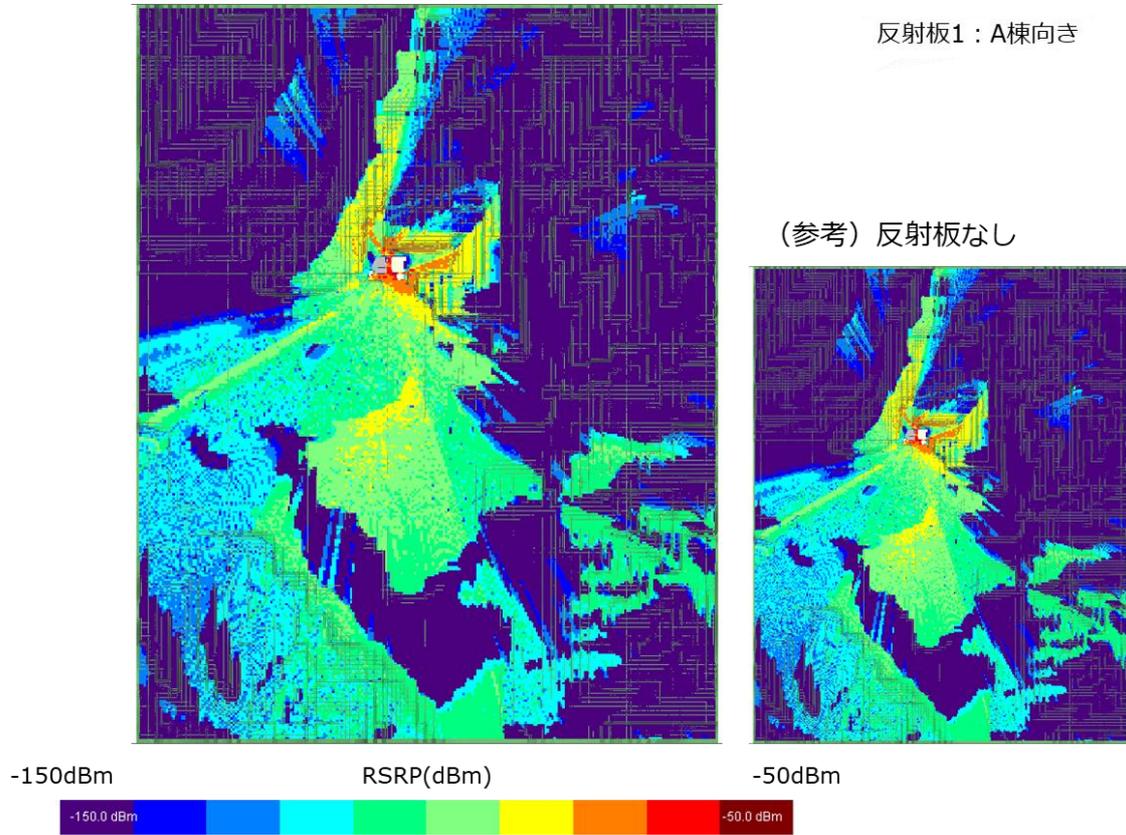
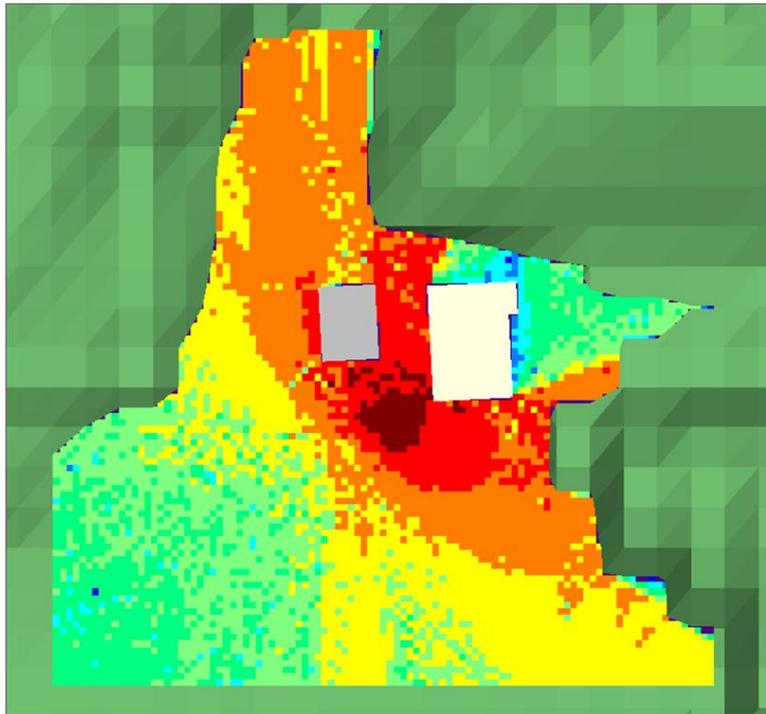


図 3-146 反射板1あり 屋外① 地上高 1.5m



反射板1：A棟向き

(参考) 反射板なし

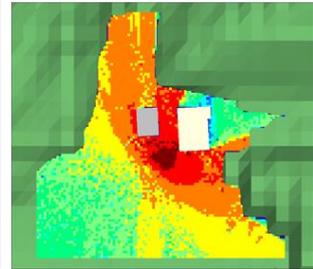
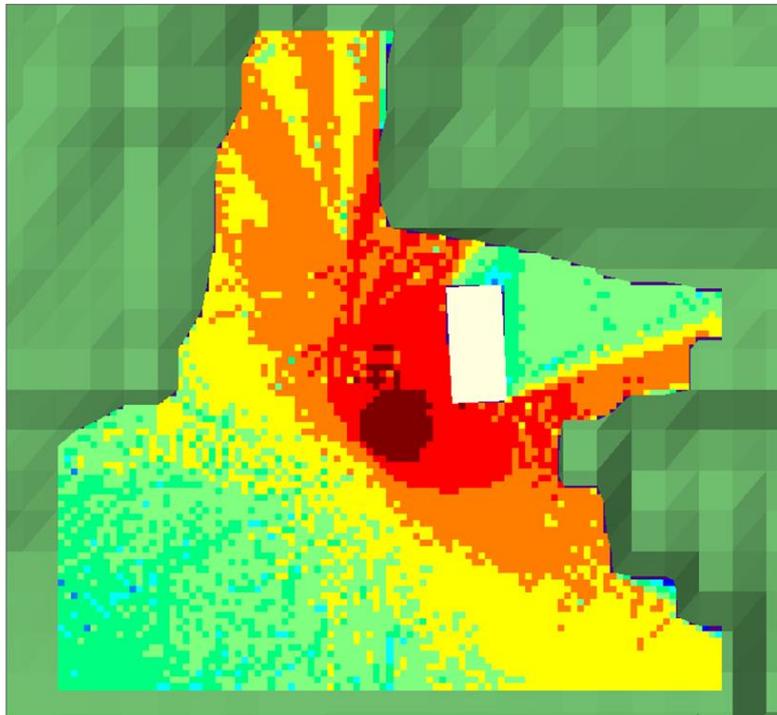


図 3-147 反射板 1 あり 屋外② 地上高 7.33m



反射板1：A棟向き

(参考) 反射板なし

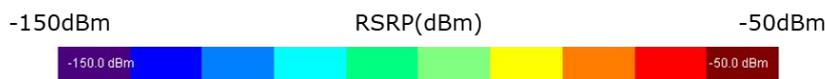
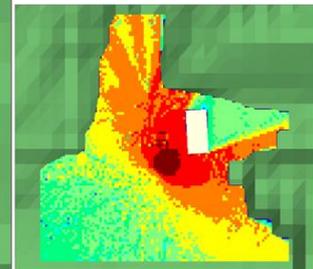


図 3-148 反射板 1 あり 屋外② 地上高 9.3m

反射板 2-1 ありの場合のレイトレースによる屋外のエリアシミュレーションの結果を
図 3-149 および図 3-150 および図 3-151 に示す。

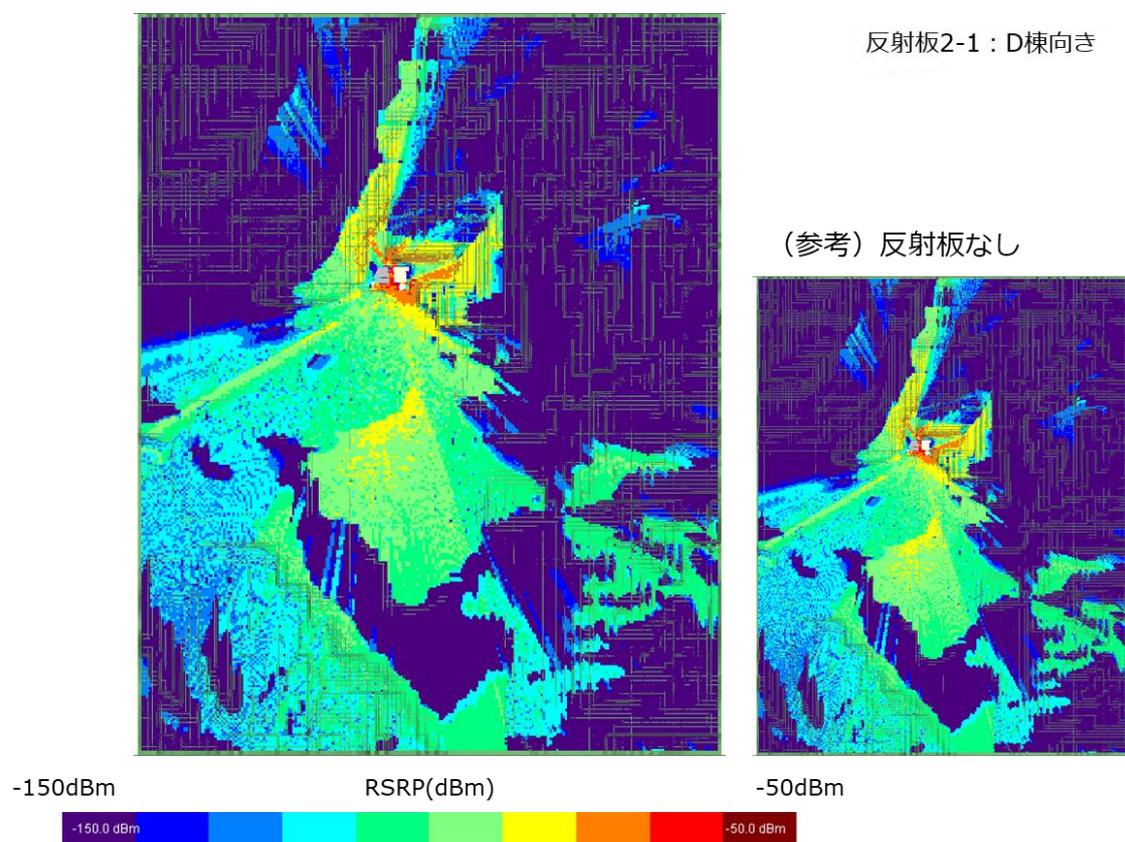


図 3-149 反射板 2-1 あり 屋外① 地上高 1.5m

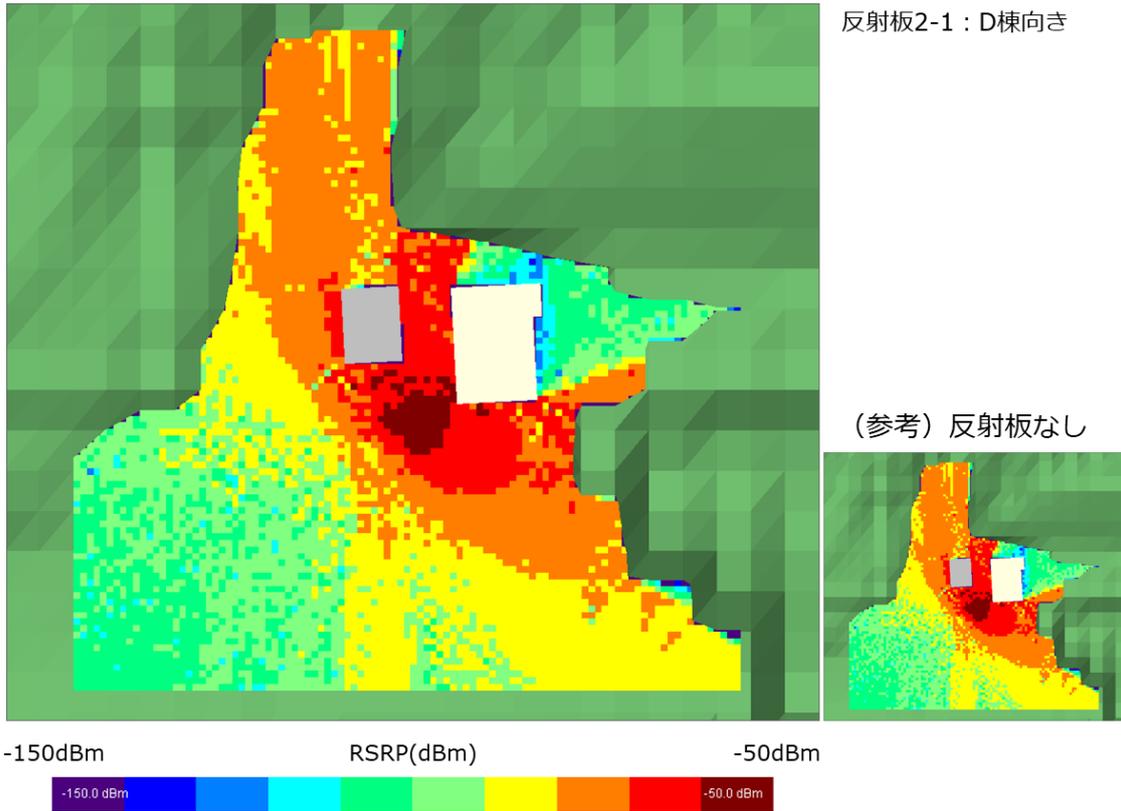


図 3-150 反射板 2-1 あり 屋外② 地上高 7.33m

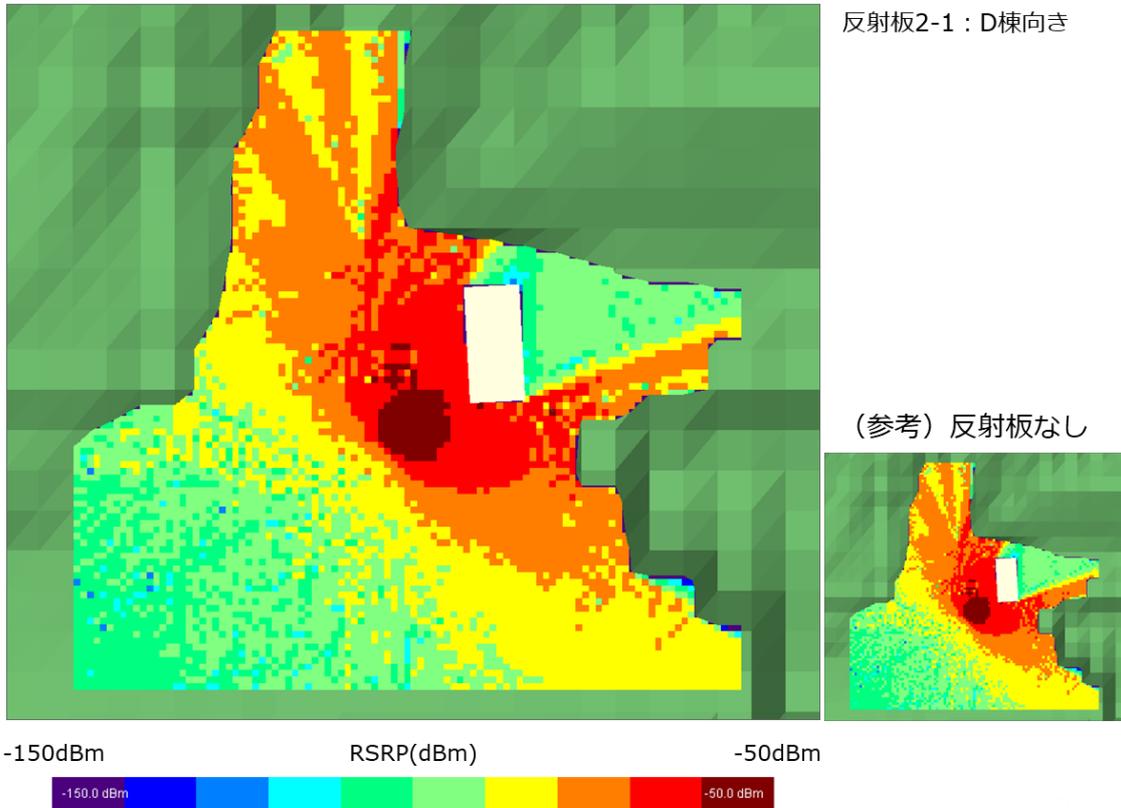


図 3-151 反射板 2-1 あり 屋外② 地上高 9.3m

反射板 2-2 ありの場合のレイトレースによる屋外のエリアシミュレーションの結果を
図 3-152 および図 3-153 および図 3-154 に示す。

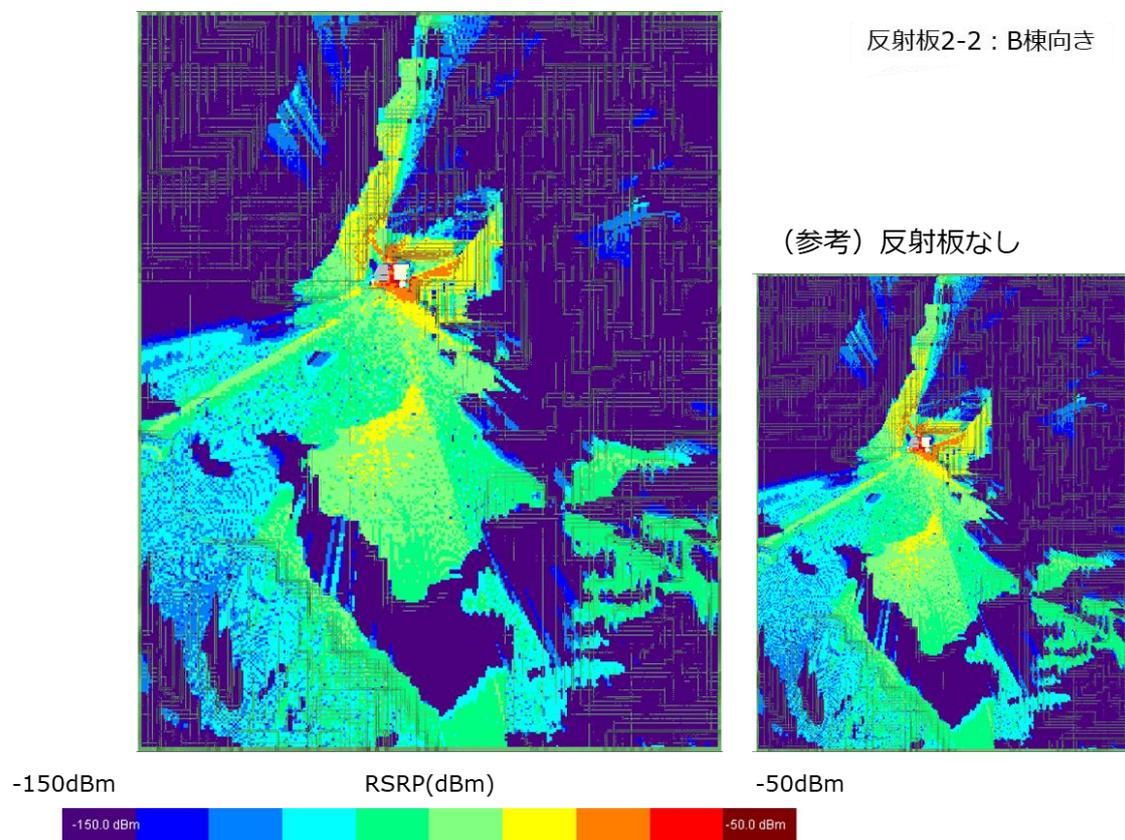


図 3-152 反射板 2-2 あり 屋外① 地上高 1.5m

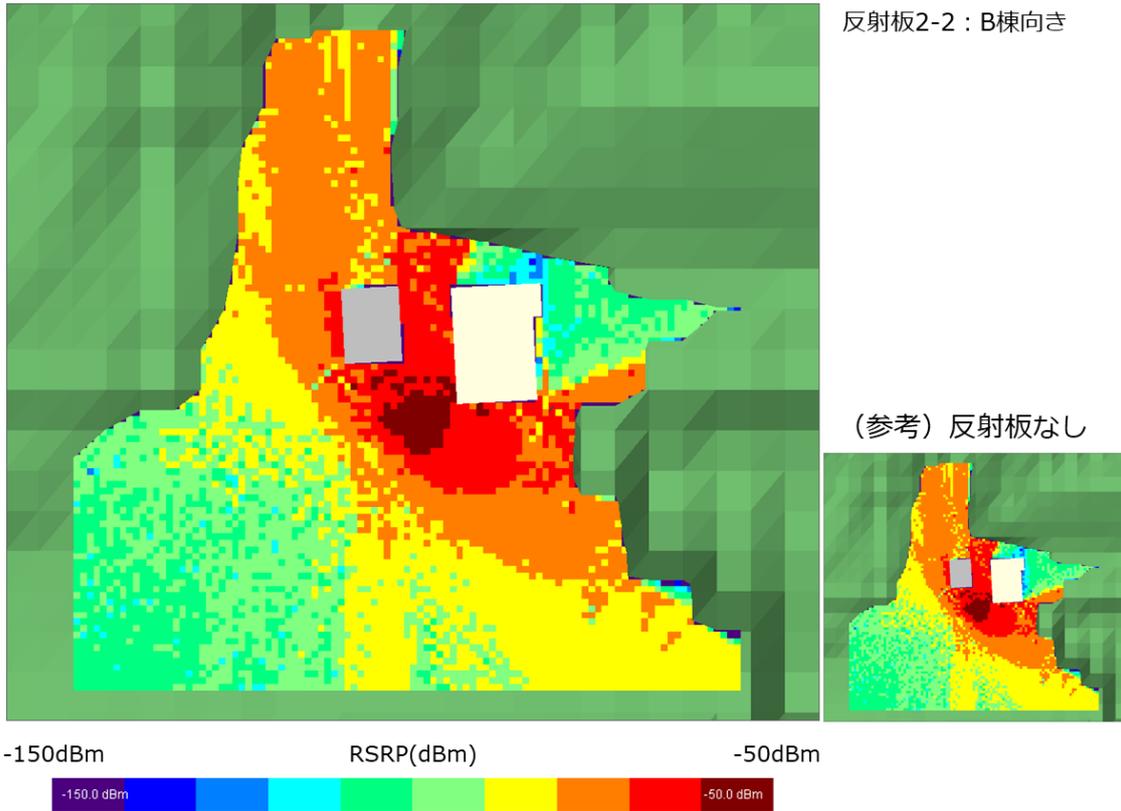


図 3-153 反射板 2-2 あり 屋外② 地上高 7.33m

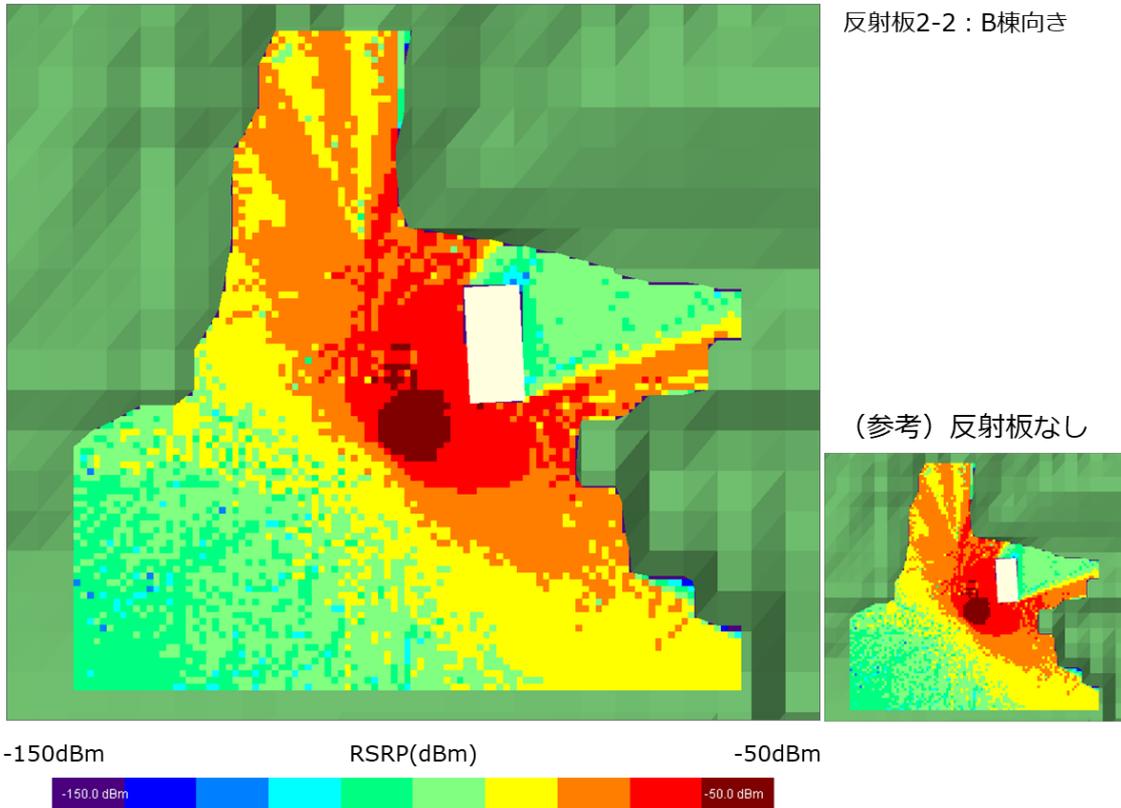


図 3-154 反射板 2-2 あり 屋外② 地上高 9.3m

4) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション（反射板なし）【屋内】

反射板なしの場合のレイトレースによる屋内のエリアシミュレーションの結果を図 3-155 および図 3-156 に示す。

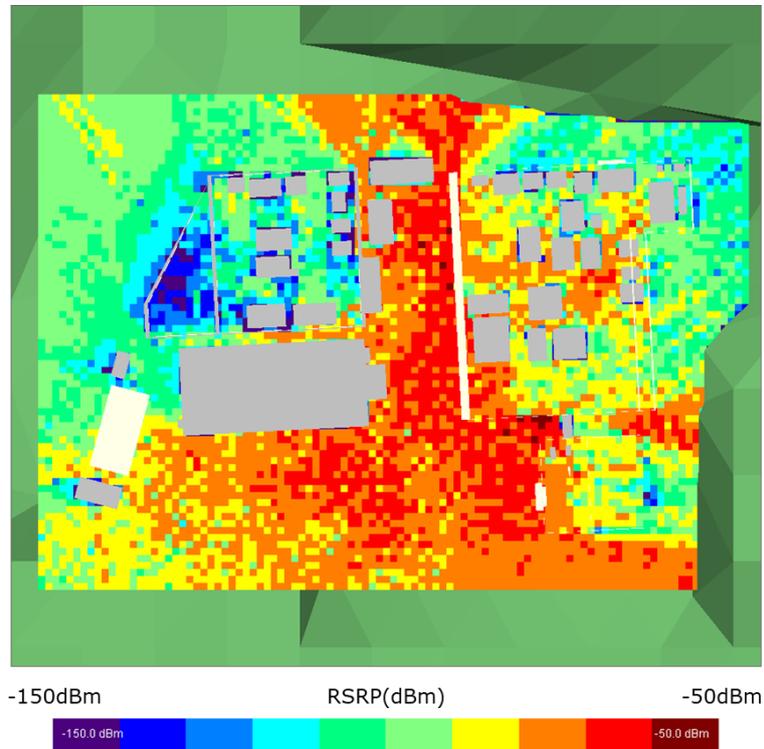


図 3-155 反射板なし 屋内①

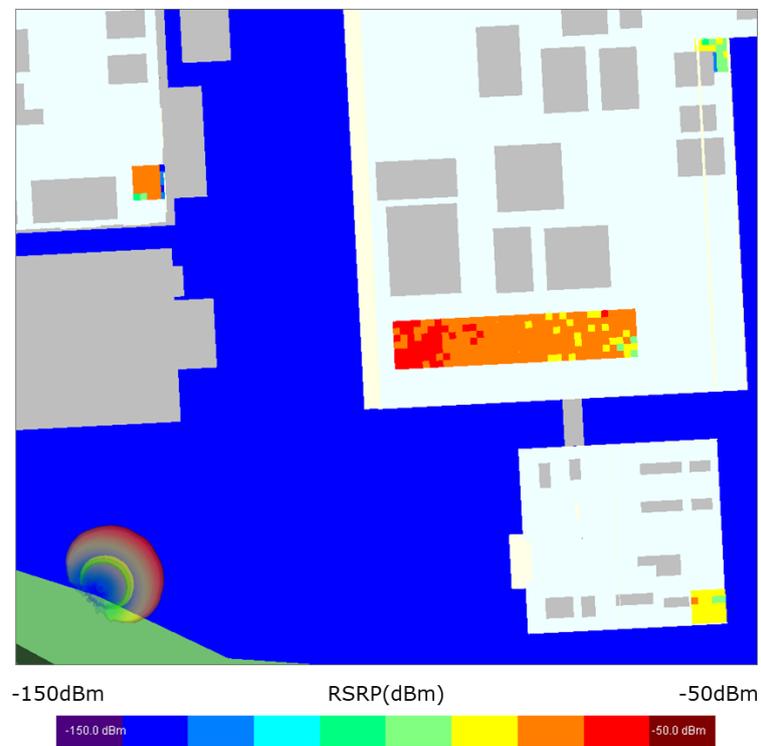


図 3-156 反射板なし 置屋内②

レイトレースの結果から、A棟のUE付近では **RSRP-80dBm** 以上、B棟のUE付近では **RSRP-100dBm** 以上、D等のUE付近では **RSRP-90dBm** 以上の十分な受信電力が得られており、不感地帯とはなっていないことが分かる。

したがって、以後の考察は反射板で不感地帯をカバーすることよりも、反射板を利用した電波伝搬の経路を作ること、通信品質の向上が図れるかという観点で反射板なし／ありの比較を行う。

5) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション（反射板あり）【屋内】

反射板1ありの場合のレイトレースによる屋内のエリアシミュレーションの結果を図 3-157 および図 3-158 に示す。

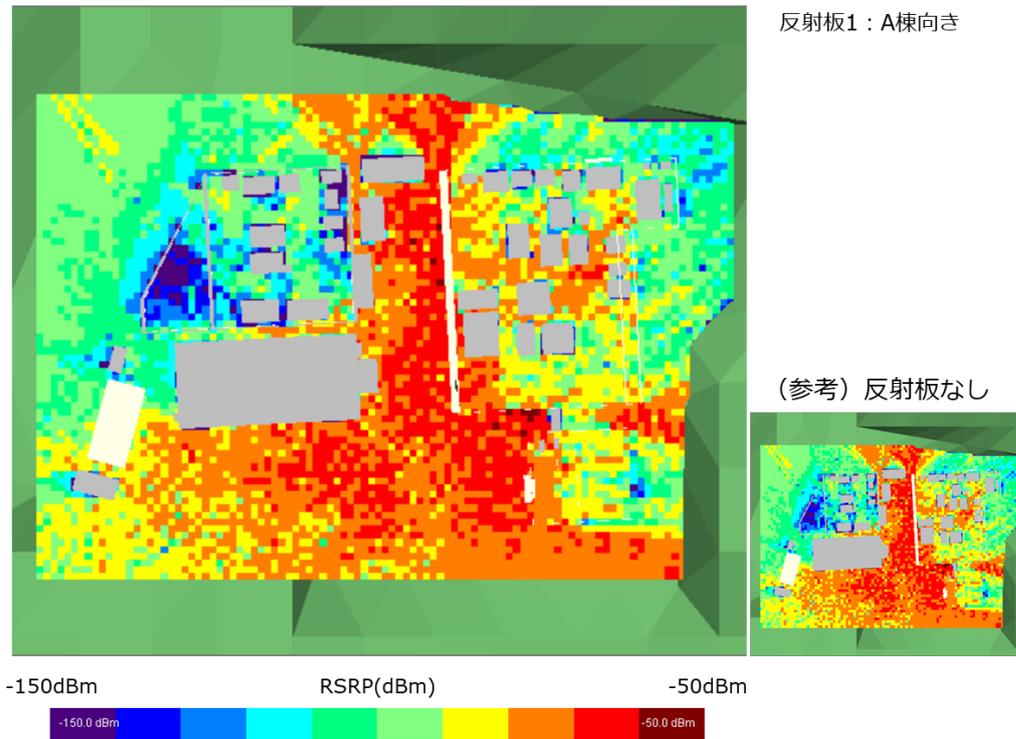


図 3-157 反射板1あり 屋内①

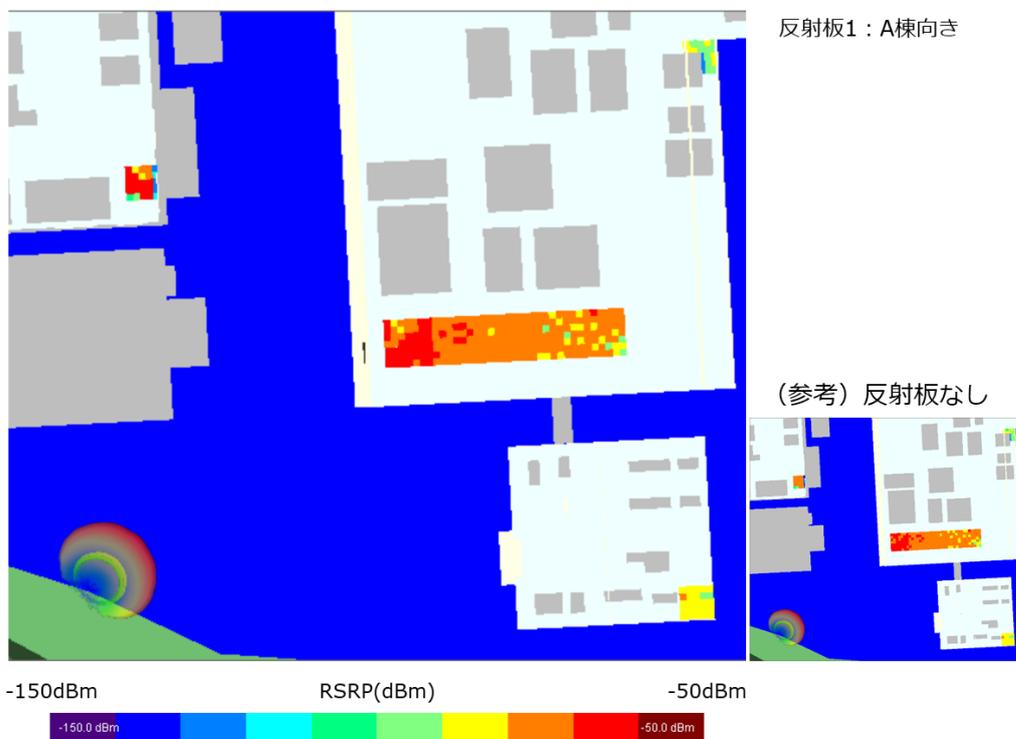


図 3-158 反射板1あり 置屋内②

反射板 2-1 ありの場合のレイトレースによる屋内のエリアシミュレーションの結果を
 図 3-159 および図 3-160 に示す。

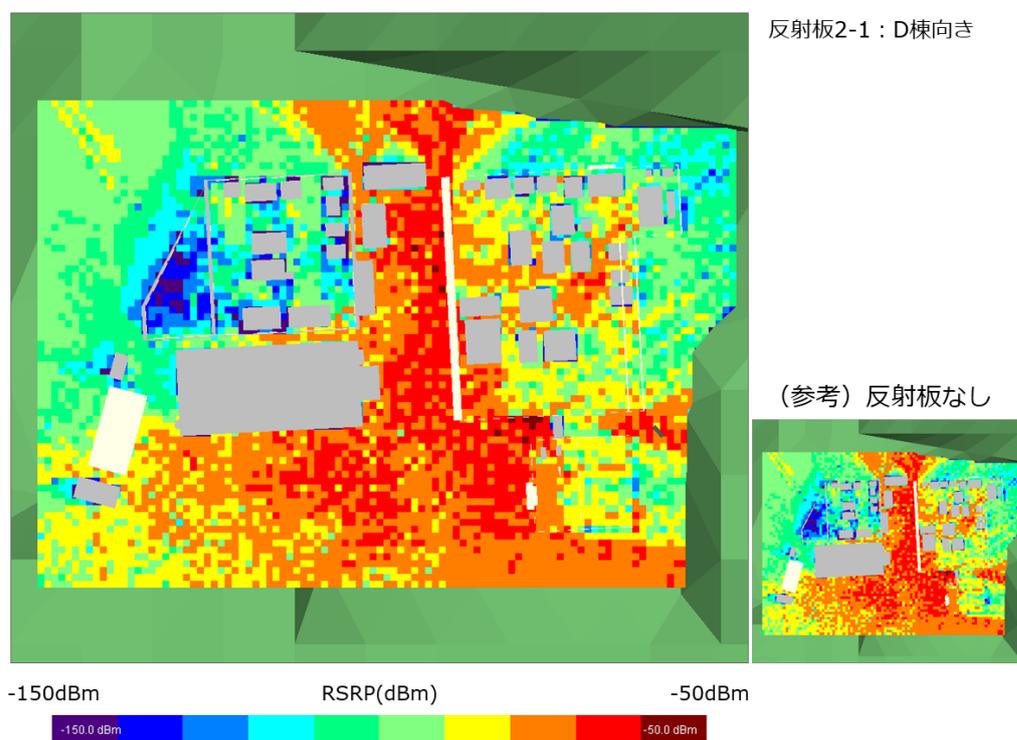


図 3-159 反射板 2-1 あり 屋内①

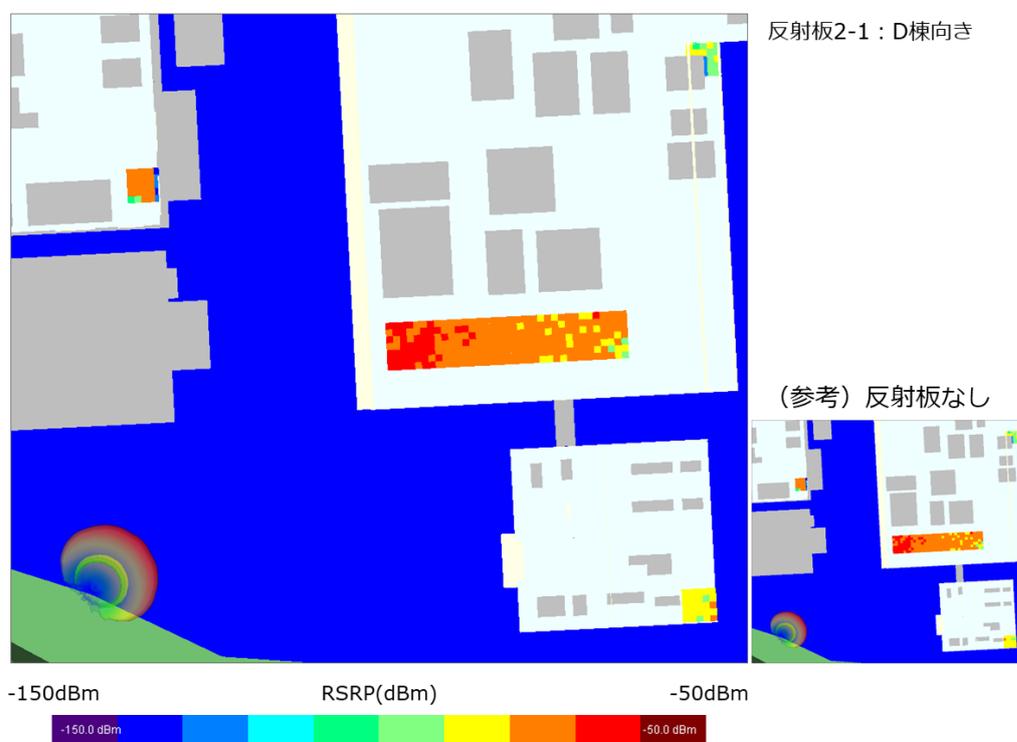


図 3-160 反射板 2-1 あり 屋内②

反射板 2-2 ありの場合のレイトレースによる屋内のエリアシミュレーションの結果を
 図 3-161 および図 3-162 に示す。

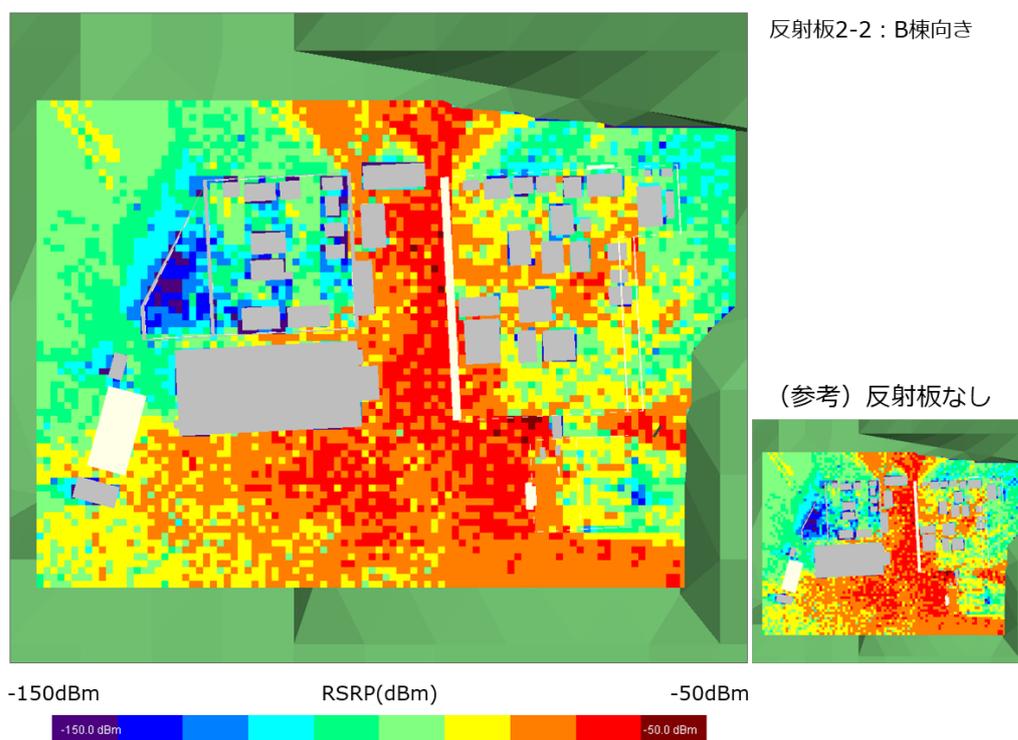


図 3-161 反射板 2-2 あり 屋内①

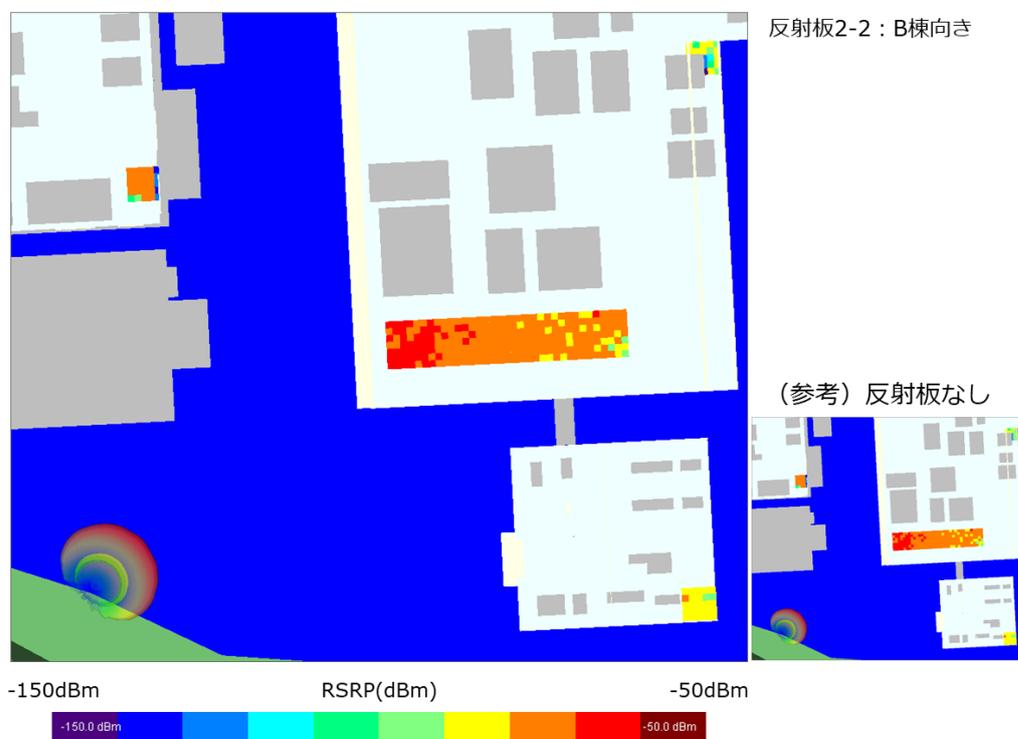


図 3-162 反射板 2-2 あり 屋内②

6) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション 反射板なし/あり 比較

レイトレースによるエリアシミュレーションの結果について、反射板1なし/ありの比較を行い、得られた差分について図 3-163 に示す。

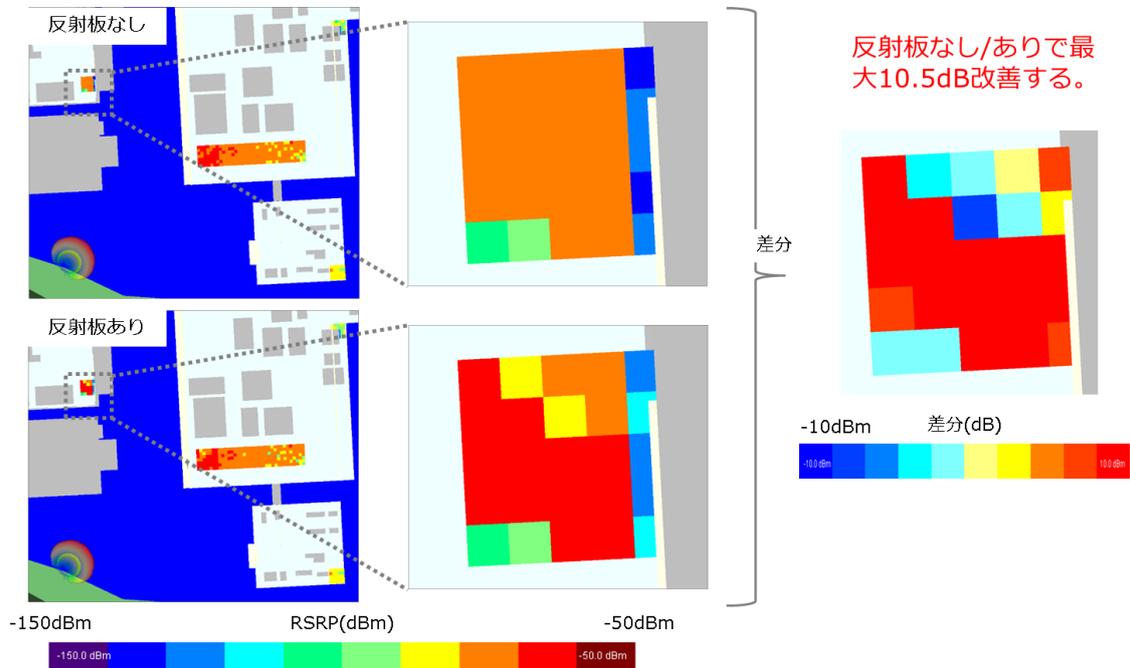


図 3-163 A棟UE付近 RSRP 比較

比較の結果、最大で 10.5dB ほど受信電力が増加することが期待できる。

レイトレースのパスの比較を行った結果を図 3-164 に示す。

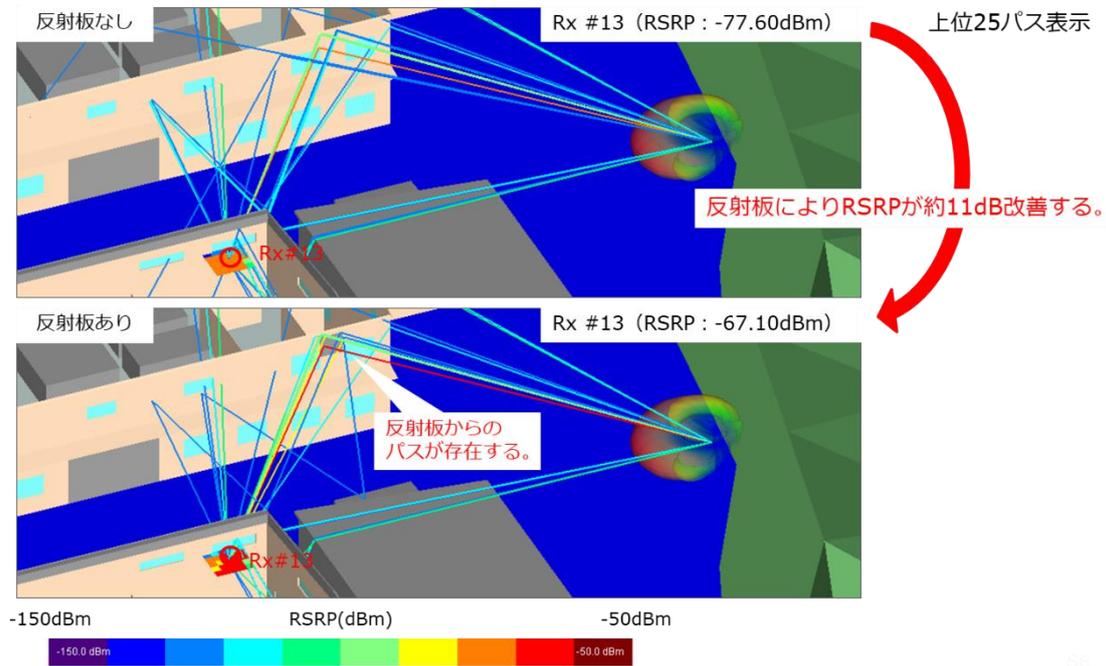


図 3-164 A棟UE付近 パス比較

反射板 1 ありの場合は、反射板による反射波や回折波のパスが存在していて、受信電力が増大している。なかでも反射波のパスの効果が大きいことが分かる。

レイトレースによるエリアシミュレーションの結果について、反射板 2—1 なし/ありの比較を行い、得られた差分について図 3-165 に示す。

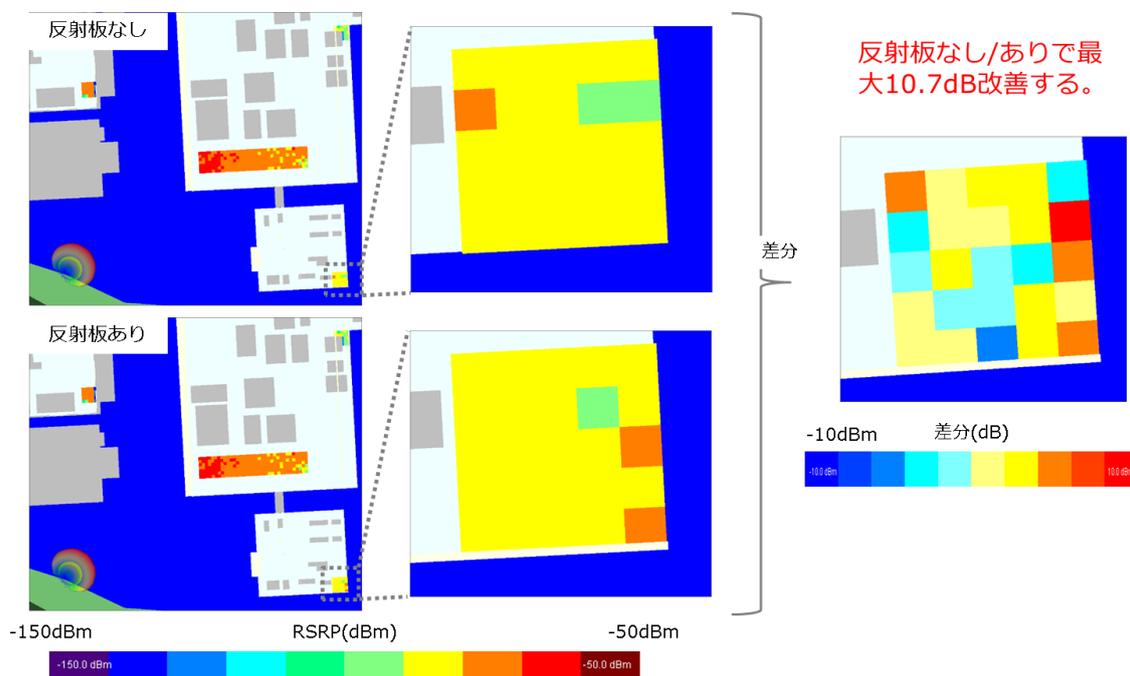


図 3-165 D棟 UE 付近 RSRP 比較

比較の結果、最大で 10.7dB ほど受信電力が増加することが期待できる。

レイトレースのパスの比較を行った結果を図 3-166 に示す。

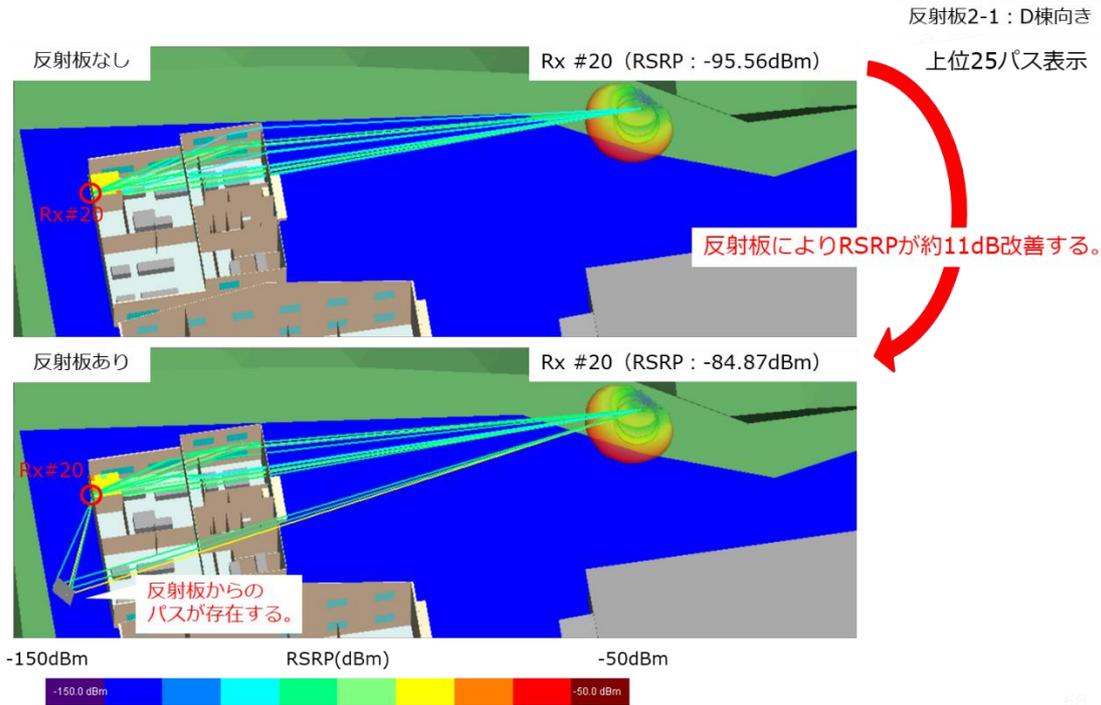


図 3-166 D棟UE付近 パス比較

反射板 2-1 ありの場合は、反射板による反射波や回折波のパスが存在していて、受信電力が増大している。なかでも反射波のパスの効果が大きいことが分かる。

レイトレースによるエリアシミュレーションの結果について、反射板 2—2 なし/ありの比較を行い、得られた差分について図 3-167 に示す。

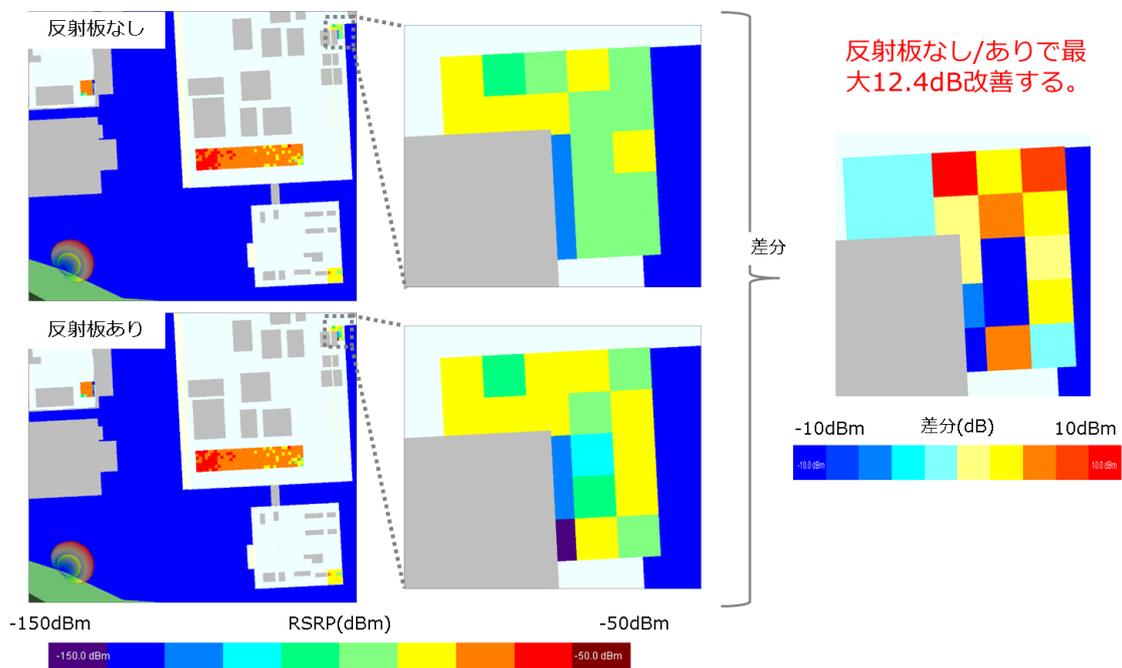


図 3-167 B棟 UE 付近 RSRP 比較

比較の結果、最大で 12.4dB ほど受信電力が増加することが期待できる。

レイトレースのパスの比較を行った結果を図 3-168 に示す。

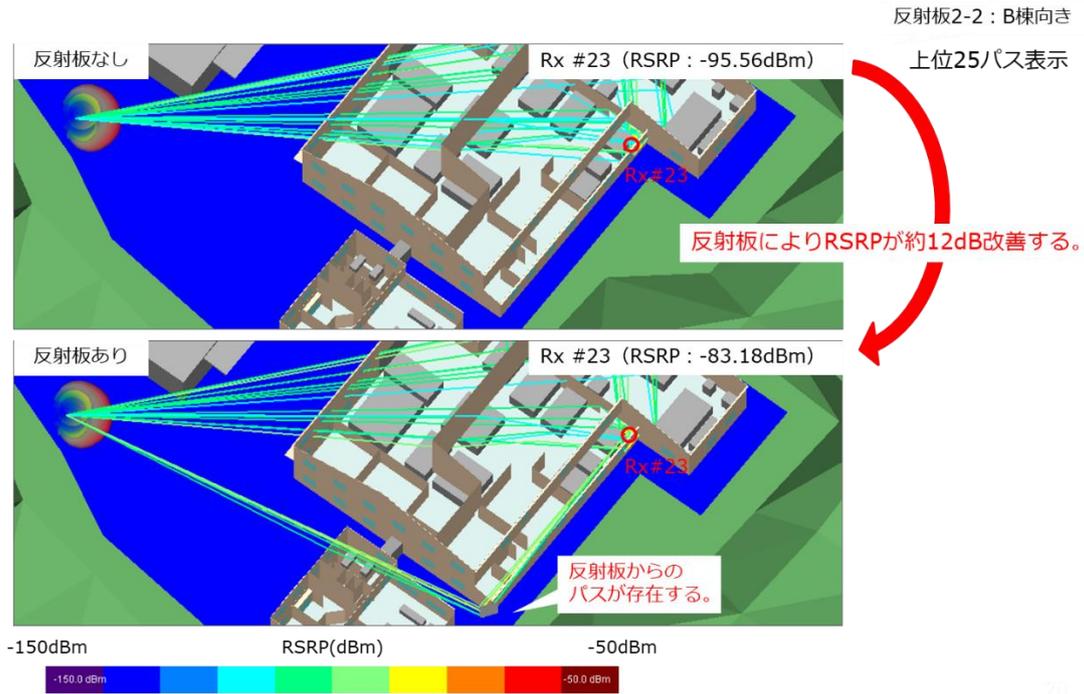
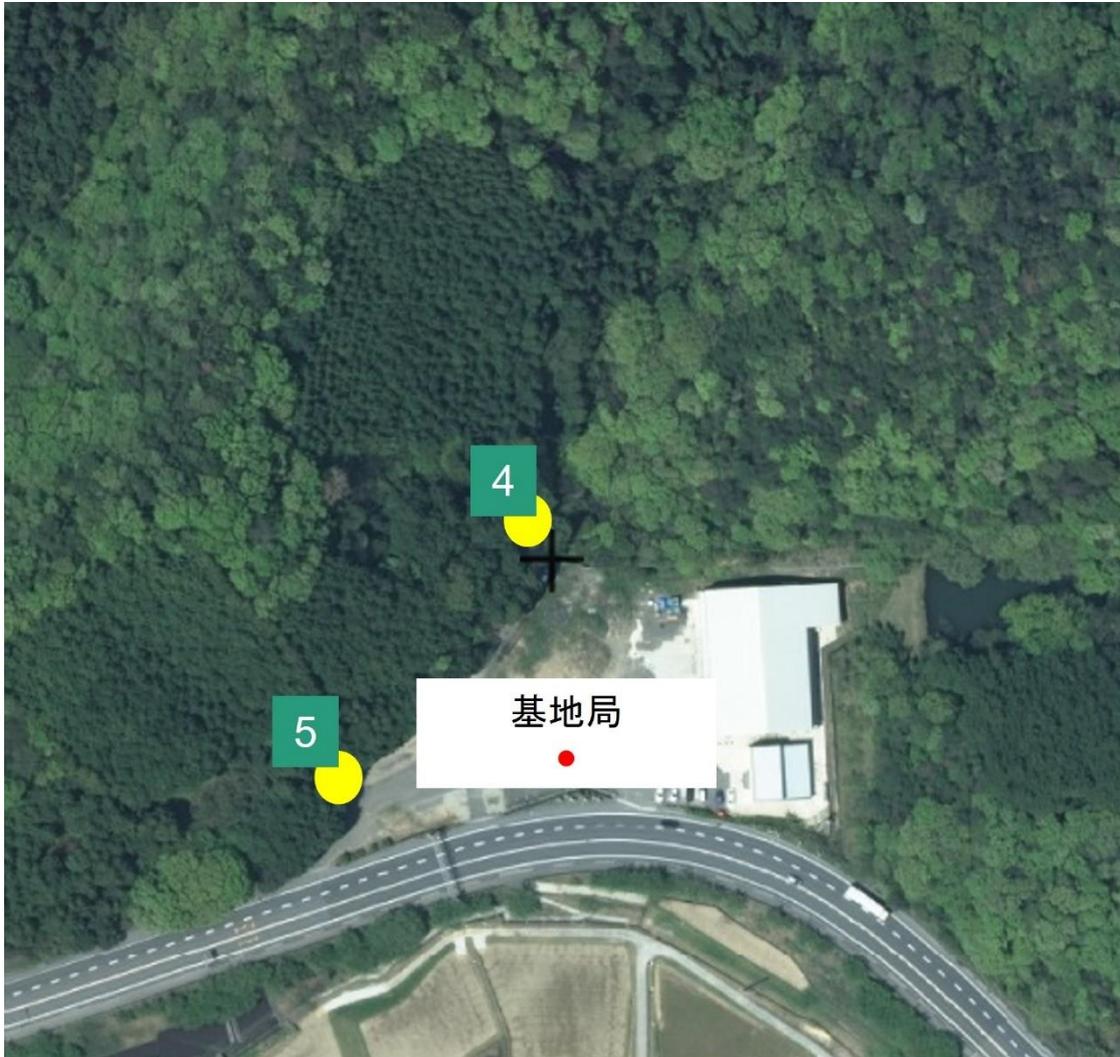


図 3-168 B棟 UE 付近 パス比較

反射板 2—2 ありの場合は、反射板による反射波や回折波のパスが存在していて、受信電力が増大している。なかでも反射波のパスの効果が大きいことが分かる。

7) 測定点の情報

反射板なし／ありの状況で実際の受信電力を測定した。測定点の位置について図 3-169 および図 3-170 に示す。



出典：国土地理院ウェブサイト
(<https://www.gsi.go.jp/>)
・写真地図を加工して作成

図 3-169 測定点の図 (敷地外)

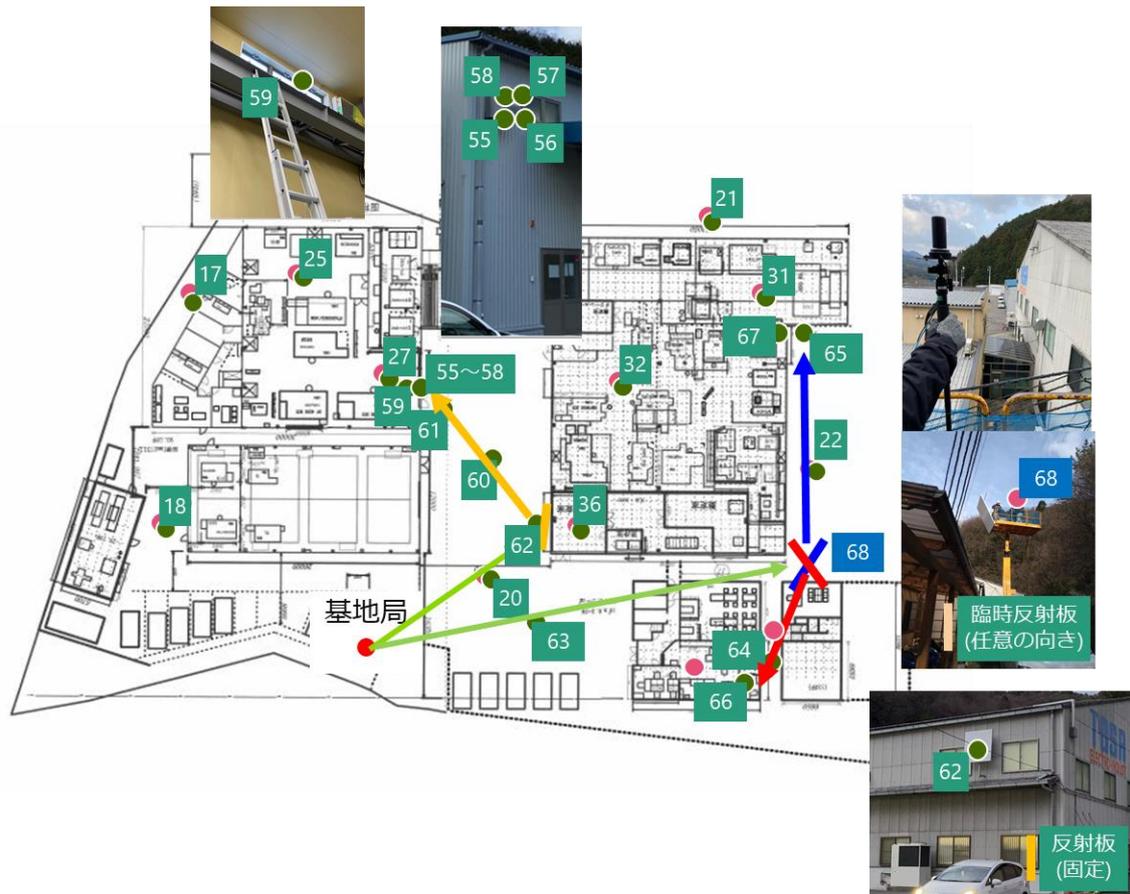


図 3-170 測定点の図 (敷地内)

表 3-39 測定点の情報

カテゴリ	測定点 ID	概要	高さ
周辺	4,5	反射板 1 による反射方向	地表 1.5m
	17,18,21	建物周辺	地表 1.5m
	25,27	A 棟内	1F フロアから 1.5m
	31,32	B 棟内	1F フロアから 1.5m
	36	B 棟内	2F フロアから 1.5m
	20	基地局と反射板 1 の間	地表 1.5m
	60,61	反射板 1 と A 棟 UE の間	地表 1.5m
	63	基地局と反射板 2 の間	地表 1.5m
	22	反射板 2 と B 棟 UE の間	地表 1.5m
	64	反射板 2 と D 棟 UE の間	地表 1.5m
反射板 1	62	反射板 1 付近	反射板 1 高さ
反射板 1 ターゲット	55,56,57,58	A 棟 UE 付近 屋外	A 棟 UE 高さ付近
	59	A 棟 UE 付近 屋内	A 棟 UE 高さ付近
反射板 2	68	反射板 2 付近	反射板 2 高さ
反射板 2-1 ターゲット	66	D 棟 UE 付近 屋内	D 棟 UE 高さ付近
反射板 2-2 ターゲット	65	B 棟 UE 付近 屋外	B 棟 UE 高さ付近
	67	B 棟 UE 付近 屋内	B 棟 UE 高さ付近

表 3-40 基地局と反射板 1 と測定点のそれぞれの距離

カテゴリ	測定点ID	基地局と測定点の3D距離 [m]	基地局と反射板の3D距離 [m]	反射板と測定点の3D距離 [m]	基地局と測定点の3D距離 (反射板経由) [m]
周辺	4	77.40	24.89	69.60	94.49
	5	68.69	24.89	88.18	113.08
	17	45.81	24.89	46.37	71.27
	18	31.63	24.89	43.28	68.18
	21	66.39	24.89	42.48	67.37
	25	41.43	24.89	35.35	60.25
	27	31.19	24.89	20.36	45.25
	31	57.36	24.89	32.63	57.52
	32	39.90	24.89	15.32	40.21
	36	27.25	24.89	6.34	31.23
	20	18.49	24.89	7.66	32.55
	60	26.16	24.89	9.62	34.51
	61	26.68	24.89	15.85	40.74
	63	18.60	24.89	11.09	35.99
	22	53.84	24.89	30.78	55.67
64	47.24	24.89	31.37	56.26	
反射板1	62	24.89	24.89	2.00	26.89
反射板1 ターゲット	55	29.47	24.89	16.77	41.66
	56	29.58	24.89	16.85	41.74
	57	29.48	24.89	16.79	41.69
	58	29.59	24.89	16.87	41.76
	59	29.78	24.89	29.78	54.68
反射板2	68	50.35	24.89	31.79	56.69
反射板2-1 ターゲット	66	44.77	24.89	32.72	57.62
	65	60.14	24.89	35.53	60.43
反射板2-2 ターゲット	67	58.79	24.89	34.52	59.41

表 3-41 基地局と反射板 2 と測定点のそれぞれの距離

カテゴリ	測定点ID	基地局と測定点の3D距離 [m]	基地局と反射板の3D距離 [m]	反射板と測定点の3D距離 [m]	基地局と測定点の3D距離 (反射板経由) [m]
周辺	4	77.40	50.35	94.70	145.06
	5	68.69	50.35	117.96	168.31
	17	45.81	50.35	76.89	127.24
	18	31.63	50.35	74.58	124.93
	21	66.39	50.35	45.22	95.57
	25	41.43	50.35	23.52	73.88
	27	31.19	50.35	20.53	70.88
	31	57.36	50.35	30.24	80.59
	32	39.90	50.35	26.68	77.03
	36	27.25	50.35	35.70	86.06
	20	18.49	50.35	34.81	85.16
	60	26.16	50.35	39.61	89.96
	61	26.68	50.35	46.26	96.61
	63	18.60	50.35	32.35	82.70
	22	53.84	50.35	14.31	64.66
	64	47.24	50.35	7.05	57.41
反射板1	62	24.89	50.35	31.61	81.96
反射板1 ターゲット	55	29.47	50.35	46.44	96.79
	56	29.58	50.35	46.48	96.83
	57	29.48	50.35	46.44	96.80
	58	29.59	50.35	46.49	96.84
	59	29.78	50.35	29.78	80.14
反射板2	68	50.35	50.35	4.00	54.35
反射板2-1 ターゲット	66	44.77	50.35	58.91	109.27
	65	60.14	50.35	26.90	77.26
反射板2-2 ターゲット	67	58.79	50.35	37.66	88.01

測定点には表 3-39 に示すような属性の地点を選定し、カテゴリを「周辺」「反射板 1」「反射板 1 ターゲット」「反射板 2」「反射板 2 - 1 ターゲット」「反射板 2 - 2 ターゲット」の 6 つに分けた。

「周辺」の測定点は反射板なし／ありによってターゲット以外のエリアの受信電力に変化が現れるかを調べるための地表 1.5m 高さの測定点である。反射板の裏側方向や反射方向の位置を含んでいる。また、基地局と反射板の間の地点、反射板とターゲットエリアの間の地点も含まれる。

「反射板 1」の測定点は反射板 1 設置位置の測定点である。

「反射板 1 ターゲット」は反射板 1 の設置により受信電力や通信性能を向上させたい A 棟 UE 付近の測定点である。

「反射板 2」の測定点は反射板 2 設置位置の測定点である。

「反射板 2 - 1 ターゲット」は反射板 2 の設置により受信電力や通信性能を向上させたい D 棟 UE の測定点である。

「反射板 2 - 2 ターゲット」は反射板 2 の設置により受信電力や通信性能を向上させたい B 棟 UE の測定点である。

8) 測定結果（反射板なし／あり比較）

反射板なし／ありの場合の設計値および、反射板なし／ありの場合の測定結果とその差

分を表 3-42 に、その結果をグラフにしたものを図 3-171 示す。

表 3-42 測定結果

カテゴリ	測定点ID	設計値 [dBm]		実測値 [dBm]		実測値差分 [dB]	差分平均 [dB]
		反射板なし	反射板あり	反射板なし	反射板あり	反射板あり-反射板なし	
周辺	4			-68.7	-70.6	-1.9	0.7
	5			-67.4	-70.0	-2.6	
	17			-72.0	-72.6	-0.6	
	18			-63.5	-62.4	1.1	
	21			-61.3	-63.4	-2.1	
	25			-66.9	-63.9	3.0	
	27			-59.4	-62.1	-2.7	
	31			-62.3	-59.3	3.0	
	32			-54.1	-53.5	0.6	
	36			-51.0	-47.7	3.3	
	20			-44.6	-45.1	-0.5	
	60			-43.3	-42.8	0.5	
	61			-42.5	-42.4	0.1	
	63			-44.6	-45.2	-0.6	
22			-63.9	-56.1	7.8		
64			-60.4	-57.2	3.2		
反射板1	62			-28.7	-28.0	0.7	0.7
反射板1 ターゲット	55			-40.5	-40.8	-0.3	0.3
	56	-42.45	-31.95	-35.3	-32.0	3.3	
	57			-36.4	-36.2	0.2	
	58			-37.7	-40.2	-2.5	
59			-50.0	-49.1	0.9		
反射板2	68			-35.8	-	-	-
反射板2-1 ターゲット	66	-60.41	-49.72	-59.1	-56.6	2.5	2.5
反射板2-2 ターゲット	65			-65.5	-60.6	4.9	2.3
	67	-60.41	-48.03	-61.0	-61.2	-0.2	

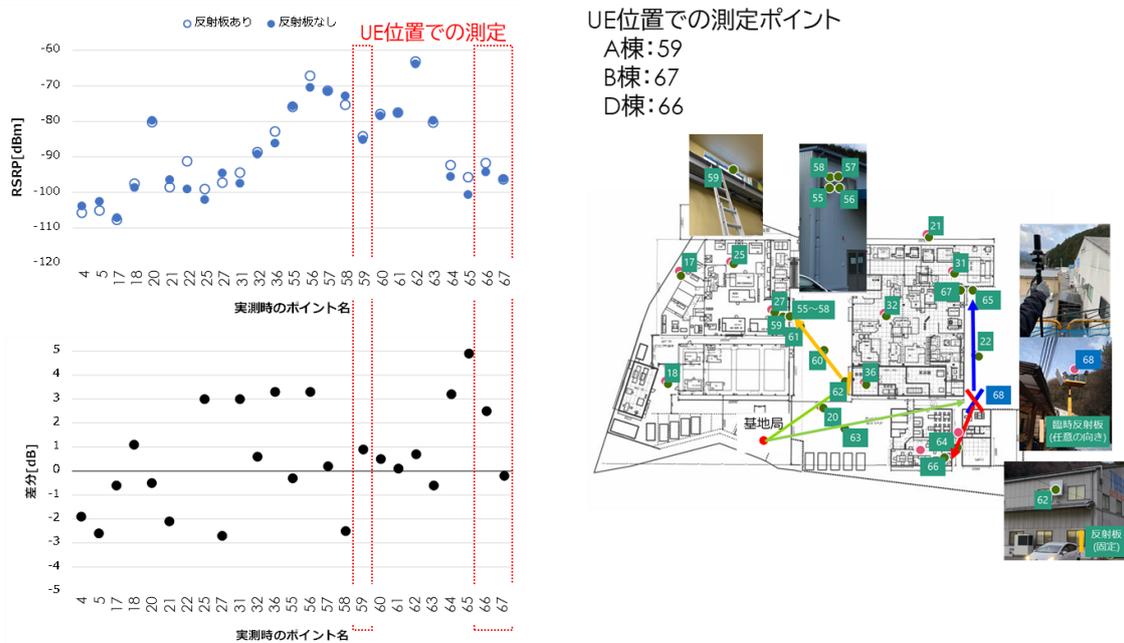


図 3-171 測定結果 反射板なし/あり 比較

「反射板1ターゲット」カテゴリのほとんどの測定点では受信電力に変化がなかったが、最大 3.3dB 向上した測定点があった。また、反射板設置後のレイトレースによる設計値ともよく合っている。「反射板1ターゲット」カテゴリの5つの測定点のうち3つの測定点(全体の60%)で反射板設置後の受信電力が向上した。「反射板2-1ターゲット」カテゴリの測定点では受信電力が 2.5dB 向上した。「反射板2-1ターゲット」カテゴリの1つの測定点のうち1つの測定点(全体の100%)で反射板設置後の受信電力が向上した。「反射板2-2ターゲット」カテゴリの測定点では屋内の測定点はほとんど変化がなかったが、屋外の測定点では受信電力が 4.9dB 向上した。「反射板2-2ターゲット」カテゴリの2つの測定点のうち1つの測定点(全体の50%)で反射板設置後の受信電力が向上した。「反射板2-1ターゲット」「反射板2-2ターゲット」において3次元レイトレースシミュレーションで期待できるほどの実測値の向上は見られなかった。これは、実際には反射板の大きさが有限であったり、反射板の角度が理想的な角度からずれていたりすることが原因だと考えられる。また、「反射板2-2ターゲット」については、反射板とターゲットエリアの間に大きな金属タンクが存在しており、その遮蔽の影響があったものと考えられる。

「周辺」カテゴリの測定点ではほとんどの測定点であまり変化が見られなかったが、±3dB 程度の差があった測定点もあった。特に ID22 の測定点では 7.8dB の向上が見られた。

「周辺」カテゴリの測定点は地表 1.5m 高さの測定点であり、ターゲットエリアよりもかなり低い位置にあるため、本来ならば反射板なし/ありの影響はあまり受けないはずであるが、反射板による反射波のサイドローブの電波が届いた可能性がある。

9) 反射板の有無による伝送性能への影響

ツウテック工場において、各測定地点にて測定した伝送スループット、UEで取得した SS-RSRP 等 RF 情報、伝送遅延時間を以下に示す。

赤枠は反射板1、青枠は反射板2-1、橙枠は反射板2-2のターゲットである。

表 3-43 ツウテック 伝送性能試験結果

ポイント	反射板	DL					UL				
		平均 / NR Pcell SS-RSRP (dbm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (db)	平均 / NR Pcell SS-SINR (db)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR Pcell PDSCH Tput (Mbps)	平均 / NR Pcell SS-RSRP (dbm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (db)	平均 / NR Pcell SS-SINR (db)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR Pcell PUSCH Tput (Mbps)
4	なし	-102.9	-10.4	19.7	279.0	294.4	-103.5	-10.5	20.5	2.2	1.6
5	なし	-100.2	-10.4	18.9	274.5	290.3	-99.3	-10.4	19.3	6.9	4.2
17	なし	-102.2	-10.4	18.6	259.5	272.0	-99.8	-10.4	19.4	3.0	2.1
18	なし	-94.8	-10.4	25.3	245.5	259.5	-94.9	-10.5	25.6	13.6	8.2
20	なし	-74.8	-10.3	27.8	828.5	877.1	-75.4	-10.3	28.3	94.6	52.2
21	なし	-99.7	-10.4	22.3	466.0	492.6	-99.2	-10.4	24.0	9.1	5.5
22	なし	-95.2	-10.3	26.0	436.0	429.0	-95.7	-10.3	25.8	4.5	6.4
25	なし	-96.7	-10.3	20.2	256.5	272.5	-96.8	-10.3	19.5	8.8	5.2
27	なし	-94.7	-10.3	25.3	553.5	584.6	-94.1	-10.3	25.6	21.6	12.9
31	なし	-90.7	-10.4	27.5	476.0	495.4	-90.1	-10.3	27.4	17.5	11.1
32	なし	-88.1	-10.3	30.6	618.5	642.4	-88.8	-10.3	29.3	63.6	38.1
36	なし	-81.4	-10.3	33.4	835.5	868.2	-81.8	-10.3	32.8	97.0	54.2
55	なし	-76.4	-10.4	35.3	913.5	957.7	-75.7	-10.4	35.3	83.5	47.5
56	なし	-74.4	-10.4	35.0	808.0	851.2	-71.7	-10.3	35.3	62.1	36.6
57	なし	-76.0	-10.3	35.3	909.0	955.5	-72.3	-10.3	35.0	60.2	33.3
58	なし	-74.1	-10.3	35.1	845.0	881.9	-73.7	-10.4	33.3	69.9	41.2
59	なし	-90.6	-10.3	32.7	589.0	622.6	-91.6	-10.5	30.2	15.9	12.5
60	なし	-77.2	-10.3	32.1	861.0	880.8	-78.0	-10.4	31.1	102.5	29.8
61	なし	-75.9	-10.3	33.6	843.5	873.5	-76.2	-10.4	33.3	77.7	44.1
62	なし	-63.5	-10.3	35.1	682.0	725.5	-68.4	-10.3	36.3	62.9	32.5
63	なし	-74.7	-10.4	26.0	761.0	790.3	-75.1	-10.4	28.2	81.7	44.6
64	なし	-90.8	-10.4	28.5	613.0	642.8	-92.0	-10.4	27.8	29.6	17.9
65	なし	-98.0	-10.4	23.6	407.0	427.2	-97.3	-10.3	24.2	2.5	1.7

66	なし	-88.9	-10.3	28.4	501.5	517.0	-90.5	-10.4	28.2	34.0	18.9
67	なし	-94.5	-10.3	26.1	290.5	299.0	-95.9	-10.3	25.5	4.9	3.0
68	なし	-73.5	-10.3	37.3	742.5	757.2	-72.7	-10.4	32.1	64.4	34.4
4	あり	-100.3	-10.3	19.7	288.0	304.2	-99.6	-10.3	21.2	4.3	2.7
5	あり	-98.7	-10.4	19.3	272.5	288.2	-98.0	-10.4	20.1	8.5	5.2
17	あり	-105.2	-10.5	17.7	281.5	300.4	-104.3	-10.4	18.3	1.4	1.2
18	あり	-98.7	-10.3	23.8	393.5	411.7	-98.4	-10.3	23.3	1.4	1.2
20	あり	-72.8	-10.3	25.6	863.5	855.3	-76.3	-10.4	27.7	84.9	55.2
21	あり	-94.7	-10.4	26.5	431.0	431.5	-93.9	-10.4	26.9	1.6	3.6
22	あり	-85.1	-10.3	31.9	639.5	649.1	-86.0	-10.4	31.3	31.1	21.8
25	あり	-91.2	-10.3	26.8	349.0	372.0	-91.5	-10.3	26.2	18.0	10.4
27	あり	-98.5	-10.5	26.7	486.0	513.1	-97.9	-10.3	25.7	10.9	6.5
31	あり	-93.2	-10.4	25.2	497.0	527.0	-93.1	-10.3	25.4	16.9	10.1
32	あり	-86.2	-10.2	29.3	690.5	720.0	-87.3	-10.3	29.0	69.3	38.6
36	あり	-78.5	-10.3	33.5	894.0	922.9	-81.3	-10.2	32.1	98.4	53.4
55	あり	-72.2	-10.3	34.0	859.0	882.0	-75.3	-10.3	33.5	74.5	37.9
56	あり	-70.3	-10.3	35.4	884.5	928.7	-70.5	-10.3	36.2	62.6	35.8
57	あり	-72.5	-10.3	37.1	893.5	935.6	-73.8	-10.4	34.9	68.4	38.0
58	あり	-68.6	-10.3	35.9	858.5	875.6	-66.9	-10.4	34.8	53.3	28.9
59	あり	-82.4	-10.3	32.5	631.5	659.9	-82.4	-10.3	33.7	65.4	35.7
60	あり	-77.2	-10.4	32.6	855.0	903.9	-76.9	-10.4	33.1	83.4	44.8
61	あり	-73.1	-10.2	34.1	915.5	944.1	-78.4	-10.4	36.3	88.9	43.1
62	あり	-67.3	-10.3	37.1	798.5	829.5	-66.4	-10.3	37.2	55.7	30.4
63	あり	-79.9	-10.3	23.4	770.0	805.5	-79.6	-10.3	24.2	33.5	26.8
64	あり	-86.8	-10.4	30.3	658.5	678.7	-88.4	-10.4	28.8	28.6	17.4
65	あり	-90.5	-10.3	27.1	490.5	521.9	-92.8	-10.4	27.1	17.4	10.6
66	あり	-91.6	-10.4	26.4	473.5	504.5	-91.6	-10.4	26.9	22.2	13.5
67	あり	-94.3	-10.3	24.8	277.5	246.9	-95.2	-10.4	24.5	13.6	5.1

表 3-44 ツウテック 伝送遅延試験結果

ポイント	反射板	平均 / MIN(msec)	平均 / AVG(msec)	平均 / MAX(msec)	平均 / MDEV(msec)
4	なし	23.3635	43.598	71.6765	12.9255
5	なし	22.901	42.386	71.3775	11.952
17	なし	24.608	44.9195	72.567	12.2
18	なし	22.3035	45.5385	74.047	13.5405
20	なし	22.2145	43.411	75.0655	13.1105
21	なし	21.1145	42.3105	71.4955	12.6685
22	なし	28.3135	55.3115	96.783	17.771
25	なし	22.824	44.961	76.505	14.3725
27	なし	23.296	44.888	77.7145	13.0135
31	なし	22.7225	46.037	135.0655	21.155
32	なし	21.9065	41.9005	80.77	13.58
36	なし	22.2975	45.823	81.734	15.2045
55	なし	21.793	47.7325	84.7685	15.339
56	なし	22.265	44.665	81.1165	15.8055
57	なし	22.183	45.0935	81.3475	15.212
58	なし	23.2675	50.4645	203.3345	33.0215
59	なし	22.0015	48.6005	80.7015	15.628
60	なし	23.2935	43.624	71.755	12.511
61	なし	22.928	44.3075	85.985	15.4355
62	なし	22.802	46.588	87.517	16.0075
63	なし	22.4755	49.7605	213.933	34.565
64	なし	27.6365	44.658	69.9645	10.181
65	なし	22.5325	42.2995	71.3355	13.0015
66	なし	22.332	45.451	74.3215	14.843
67	なし	22.8195	43.796	71.592	13.08
68	なし	22.19	43.1675	74.1095	12.956
4	あり	23.2285	45.413	72.3345	12.6765
5	あり	25.4715	42.9245	74.3045	12.299

17	あり	25.7025	46.596	72.731	13.0365
18	あり	24.0785	44.048	72.3065	12.802
20	あり	22.942	43.86	86.721	13.3515
21	あり	22.8495	55.262	82.415	16.0485
22	あり	33.758	57.962	88.8535	15.676
25	あり	22.2375	43.965	72.8485	13.756
27	あり	23.3455	45.329	70.661	12.58
31	あり	22.3605	44.0785	75.73	13.0245
32	あり	22.166	44.2415	75.984	13.7525
36	あり	22.0675	42.604	81.9255	13.229
55	あり	18.1835	46.896	80.9975	15.0225
56	あり	23.227	46.429	81.1615	14.273
57	あり	24.1595	46.9235	86.3415	14.5275
58	あり	22.4755	46.5205	82.7295	15.501
59	あり	22.1745	40.55	75.6665	12.6555
60	あり	32.428	46.2335	68.8985	8.9675
61	あり	28.163	54.531	142.1265	26.3685
62	あり	22.7185	48.002	84.2665	16.329
63	あり	33.0655	58.1455	95.206	17.3315
64	あり	21.8795	44.95	71.0315	12.648
65	あり	22.4325	45.1425	80.5485	13.4365
66	あり	22.5055	43.257	76.3135	13.2595
67	あり	22.6735	43.0655	73.0555	12.9115

反射板なし／ありによる伝送性能差分を以下に示す。

表 3-45 反射板 1 ターゲットの反射板なし／あり差分

ポイント	DL TCPスループット差分(Mbps)	PDSCH Tput差分(Mbps)	UL TCPスループット差分(Mbps)	PUSCH Tput差分(Mbps)	RTT MIN差異(msec)	RTT AVG差異(msec)	RTT MAX差異(msec)	RTT MDEV差異(msec)
55	-54.5	-75.7	-9.0	-9.6	-3.6095	-0.8365	-3.771	-0.3165
56	76.5	77.5	0.4	-0.8	0.962	1.764	0.045	-1.5325
57	-15.5	-19.8	8.2	4.7	1.9765	1.83	4.994	-0.6845
58	13.5	-6.3	-16.6	-12.3	-0.792	-3.944	-120.605	-17.5205
59	42.5	37.3	49.5	23.1	0.173	-8.0505	-5.035	-2.9725
改善率	60%	40%	60%	40%	40%	60%	60%	100%

表 3-46 反射板 2-1 ターゲットの反射板なし／あり差分

ポイント	DL TCPスループット差分(Mbps)	PDSCH Tput差分(Mbps)	UL TCPスループット差分(Mbps)	PUSCH Tput差分(Mbps)	RTT MIN差異(msec)	RTT AVG差異(msec)	RTT MAX差異(msec)	RTT MDEV差異(msec)
66	-28.0	-12.5	-11.8	-5.4	0.1735	-2.194	1.992	-1.5835
改善率	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%

表 3-47 反射板 2-2 ターゲットの反射板なし/あり差分

ポイント	DL TCPスループット差分(Mbps)	PDSCH Tput差分(Mbps)	UL TCPスループット差分(Mbps)	PUSCH Tput差分(Mbps)	RTT MIN差異(msec)	RTT AVG差異(msec)	RTT MAX差異(msec)	RTT MDEV差異(msec)
65	83.5	94.7	14.8	8.9	-0.1	2.843	9.213	0.435
67	-13.0	-52.1	8.7	2.0	-0.146	-0.7305	1.4635	-0.1685
改善率	50%	50%	100%	100%	100%	50%	0%	50%

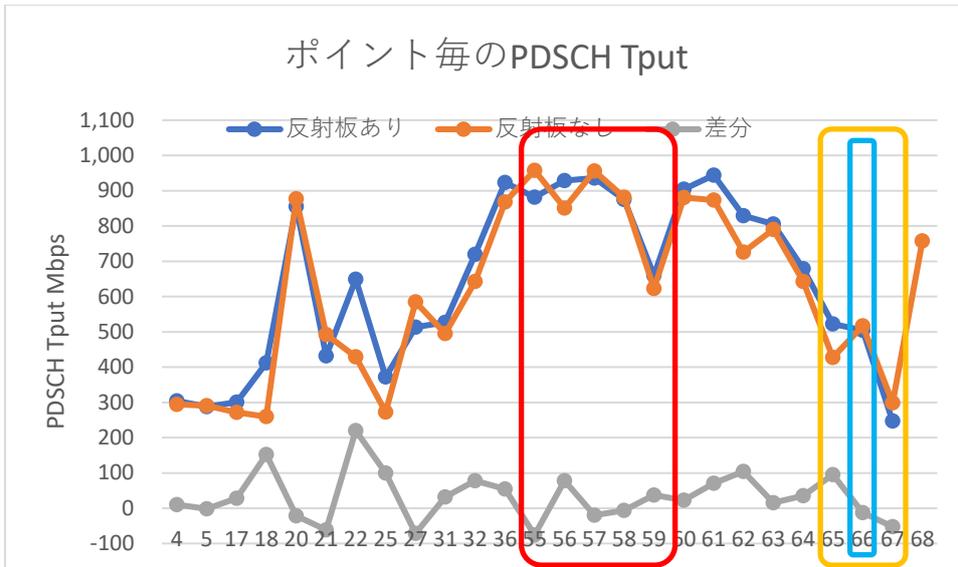


図 3-172 ツウテック PDSCH スループット

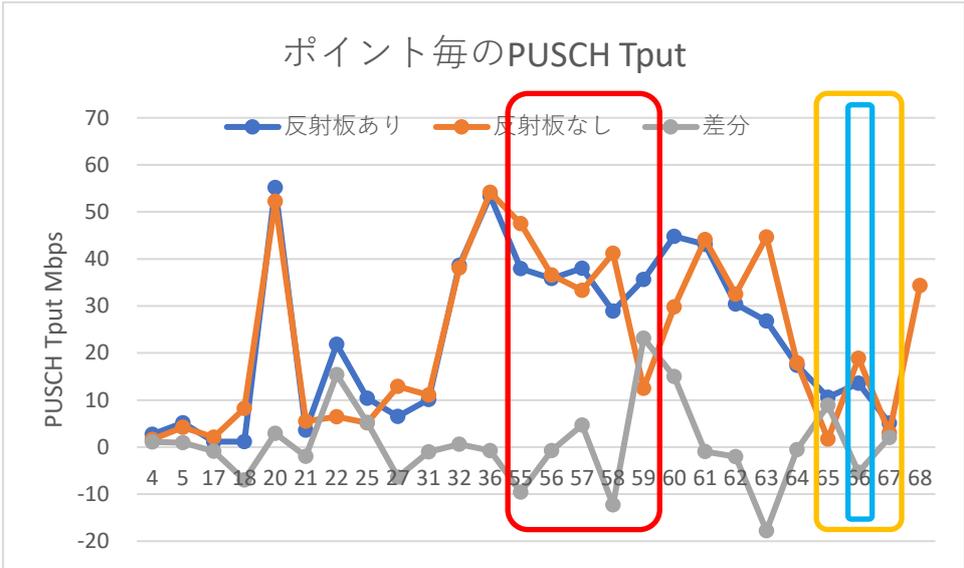


図 3-173 ツウテック PUSCH スループット

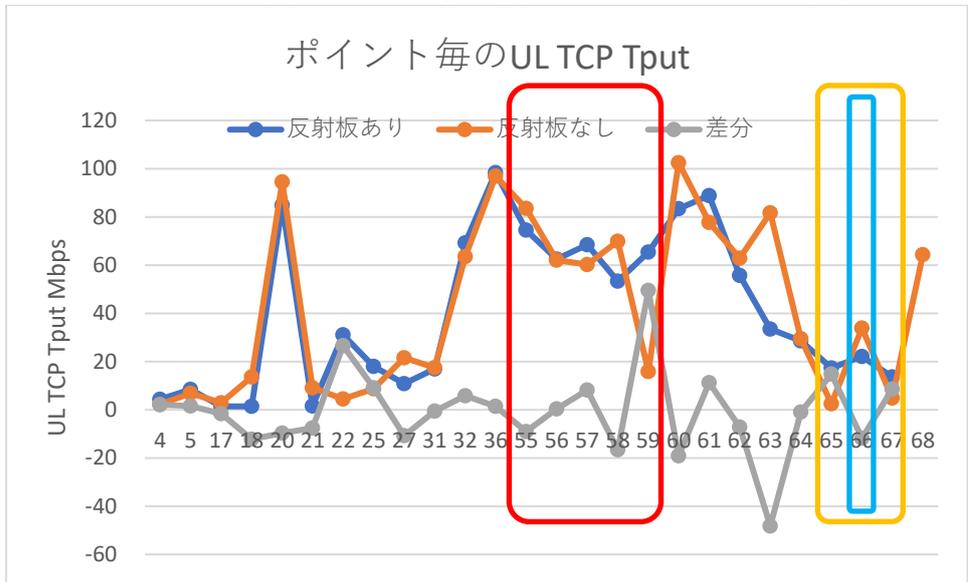


図 3-174 ツウテック Uplink TCP スループット

反射板設置の有無による PDSCH Tput および PUSCH Tput、UL TCP Tput は測定ポイントによってばらつきがある。

[反射板1]ポイント 55、58 については、下図の赤塗り部分であり、反射板方向に換気扇フードがあることから反射波が一部遮蔽されたと考えられる。

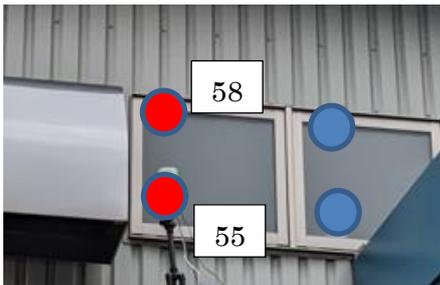


図 3-175 ツウテック 測定ポイント 55.58



図 3-176 ツウテック 測定ポイント 55~58 の地上部分から反射板方向

[反射板 1]ポイント 59 については工場棟内の窓際ポイントとなっており、反射板の設置により R U との間に明確なパスができたことにより Uplink のスループットが改善したものと考える。

表 3-48 ポイント 59 測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-90.6	-82.4	+8.2
SS-SINR(UL)	30.2	33.7	+3.5
PDSCH Tput	622.6	659.9	+37.3
PUSCH Tput	12.5	35.7	+23.2
UL TCP Tput	15.9	65.4	+49.5

[反射板 2]ポイント 63 については、B 棟/D 棟向けの反射板と R U との間での測定ポイントとなるが、反射板設置後は RSRP/SINR の劣化が確認されており PUSCH Tput が劣化したと考えられる。

表 3-49 ポイント 63 測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-74.7	-79.9	-5.2
SS-SINR(UL)	28.2	24.2	-4
PDSCH Tput	790.3	805.5	+15.2
PUSCH Tput	44.6	26.8	-17.8
UL TCP Tput	81.7	33.5	-48.2

[反射板 2 B 棟]ポイント 22 については、B 棟向けの反射板と U E との間での測定ポイントであるが、反射の影響で R F が改善した結果スループットも改善した。

表 3-50 ポイント 22 測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-95.2	-85.1	+10.1
SS-SINR(UL)	25.8	31.3	+5.5
PDSCH Tput	429.0	649.1	+220.1
PUSCH Tput	6.4	21.8	+15.4
UL TCP Tput	4.5	31.1	26.6

表 3-51 ポイント 65 測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-98.0	-90.5	+7.5
SS-SINR(UL)	24.2	27.1	+2.9
PDSCH Tput	427.2	521.9	+94.7
PUSCH Tput	1.7	10.6	+8.9
UL TCP Tput	2.5	17.4	+14.8

表 3-52 ポイント 67 測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-94.5	-94.3	+0.2
SS-SINR(UL)	25.5	24.5	-1.0
PDSCH Tput	299.0	246.9	-52.1
PUSCH Tput	3.0	5.1	+2.0
UL TCP Tput	4.9	13.6	+8.7

B棟向けの反射波を測定しているポイント 65、67 については反射板との中間ポイントとなる 22 ほどの改善は見られない。これは 22 には影響しない地物が 65、67 には影響していることが要因である。

ポイント 67 での所要性能を達成するためには、地物を避けることが可能な高さへ反射板を設置することで、ポイント 22 のように性能向上が可能と考える。ただし反射板との LOS を確保するためには反射板を 16.62m（遮蔽地物高 3m：UE との相対的な高さ 1.5m、遮蔽地物と UE 間 2.5m）以上の高さへ設置する必要がある。



図 3-177 ポイント 22 から反射板方向



図 3-178 ポイント 65 から反射板方向

【反射板2 D棟】D棟向けの反射波を測定しているポイント 64, 66 についてはほかのポイントほどの改善は見られない。

ポイント 66 についてはR Uから直接D棟屋内に浸透する電波が強く、シミュレーション結果では限られた少数のメッシュで改善するものの改善しないメッシュも多数存在しており適切なパスを掴むことができなかったと考える。

表 3-53 ポイント 66 測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-88.9	-91.5	-2.7
SS-SINR(UL)	28.2	26.9	-1.3
PDSCH Tput	517.0	504.5	-12.5
PUSCH Tput	18.9	13.5	-5.4
UL TCP Tput	34.0	22.2	-11.8



図 3-179 ポイント 64 から反射板方向

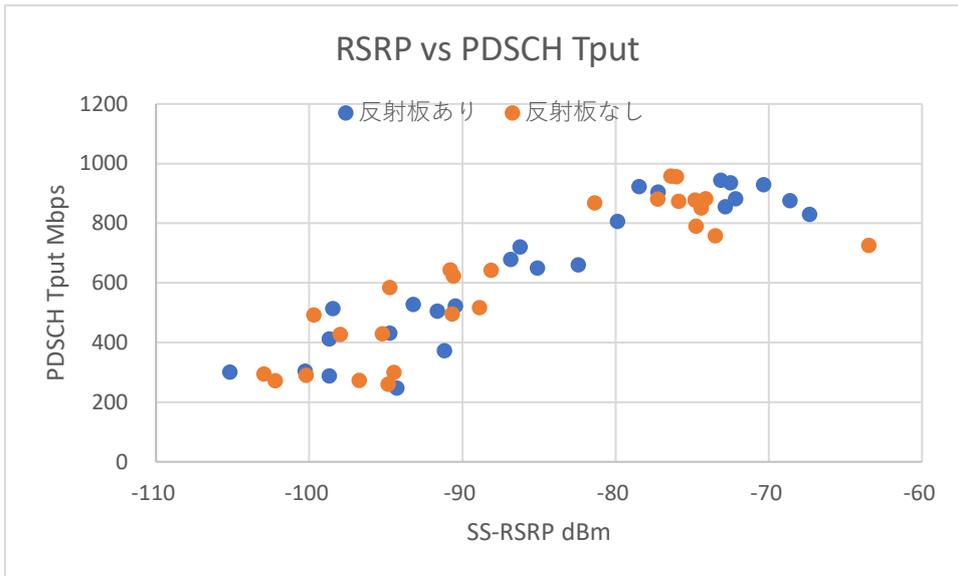


図 3-180 ツウテック SS-RSRP vs PDSCH スループット

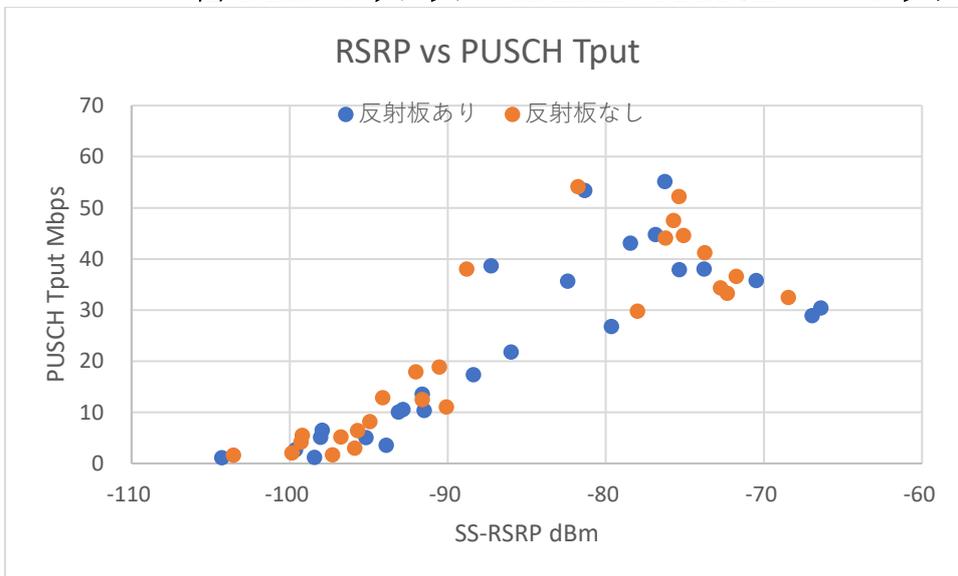


図 3-181 ツウテック SS-RSRP vs PUSCH スループット

SS-RSRP と PUSCH Tput および PUSCH Tput の関係についてはエリアとしては反射板の有無により大きく変わることはない。反射板の効果は限定されたポイントで発揮される。

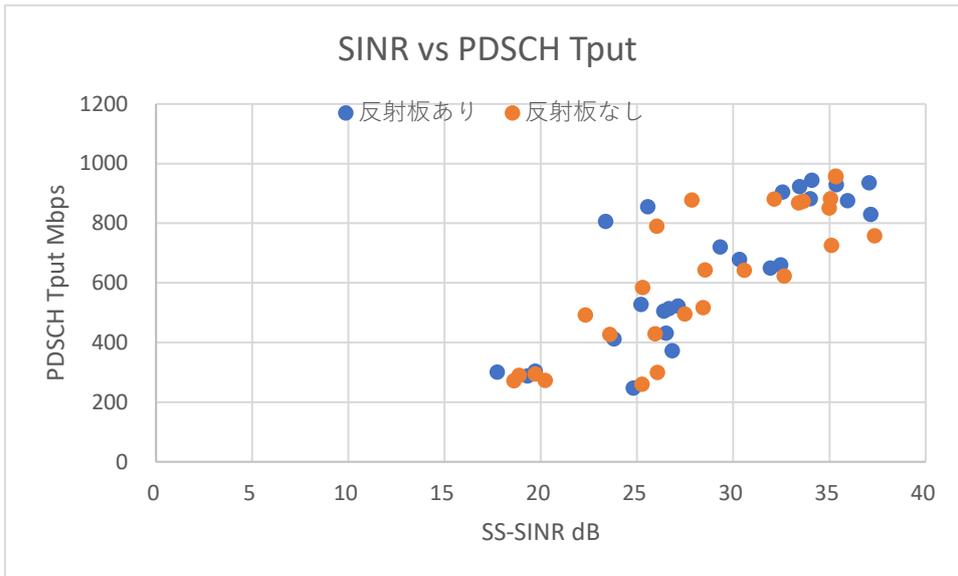


図 3-182 ツウテック SS-SINR vs PDSCH スループット

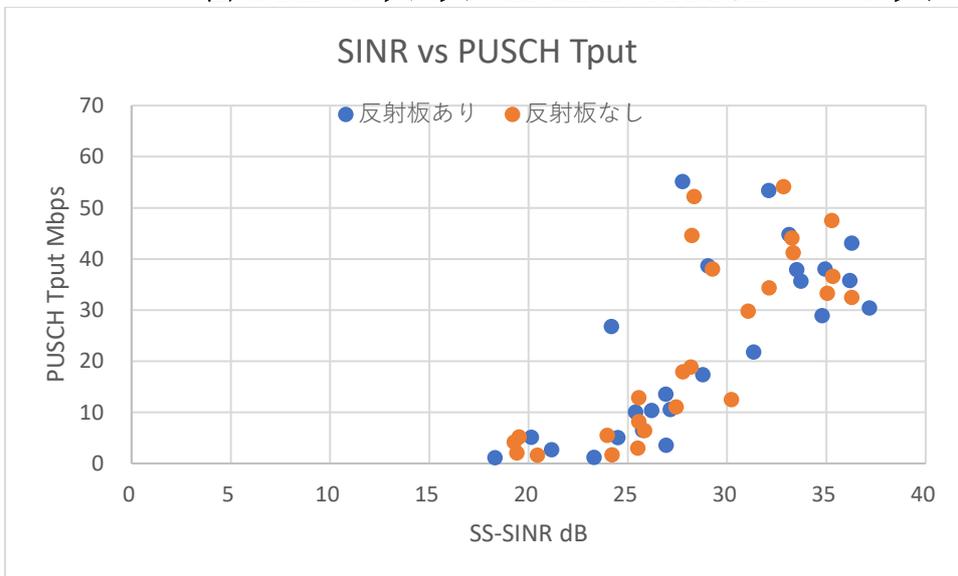


図 3-183 ツウテック SS-SINR vs PUSCH スループット

SS-SINR と PUSCH Tput および PUSCH Tput の関係についてはエリアとしては反射板の有無により大きく変わることはない。反射板の効果は限定されたポイントで発揮される。

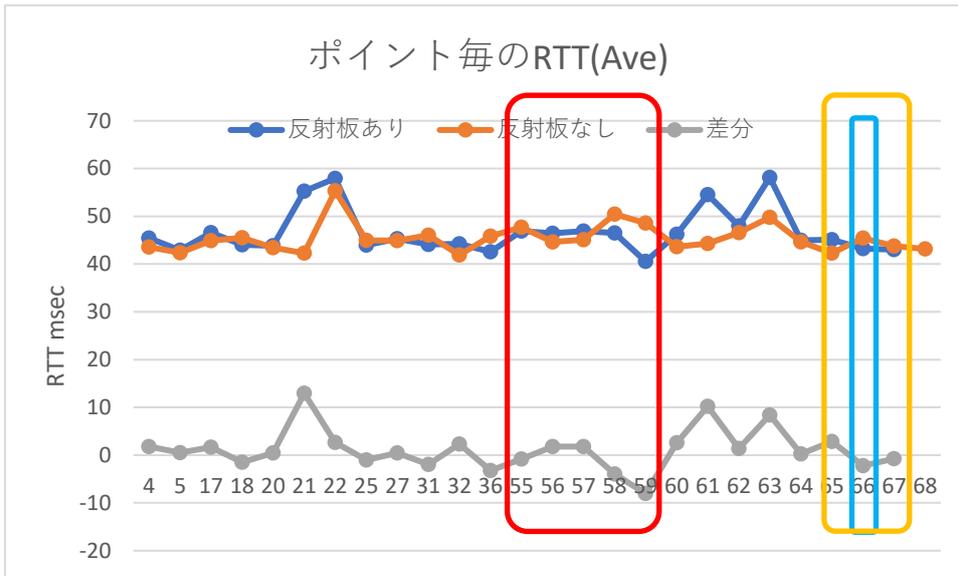


図 3-184 ツウテック 伝送遅延

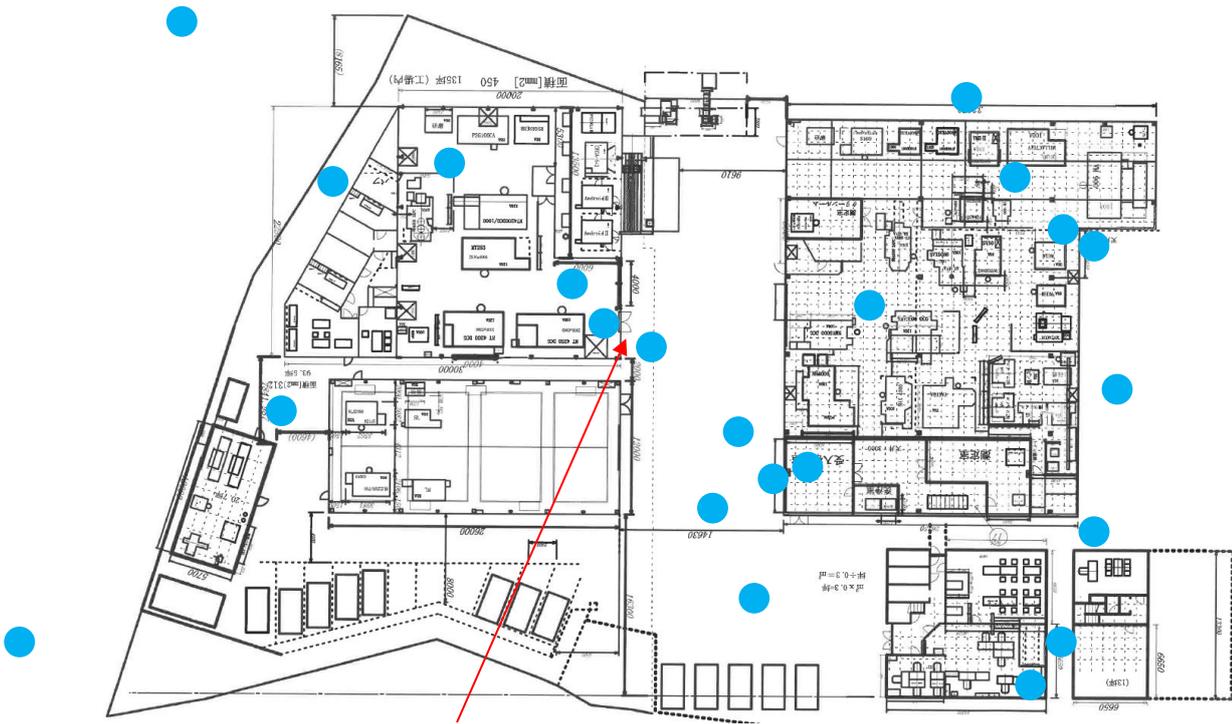


図 3-185 ツウテック 反射板なし PDSCH スループット
 通信不可 : ● $0 \leq \text{PDSCH} < 150 \text{Mbps}$: ● $\text{PDSCH} \leq 150 \text{Mbps}$: ●

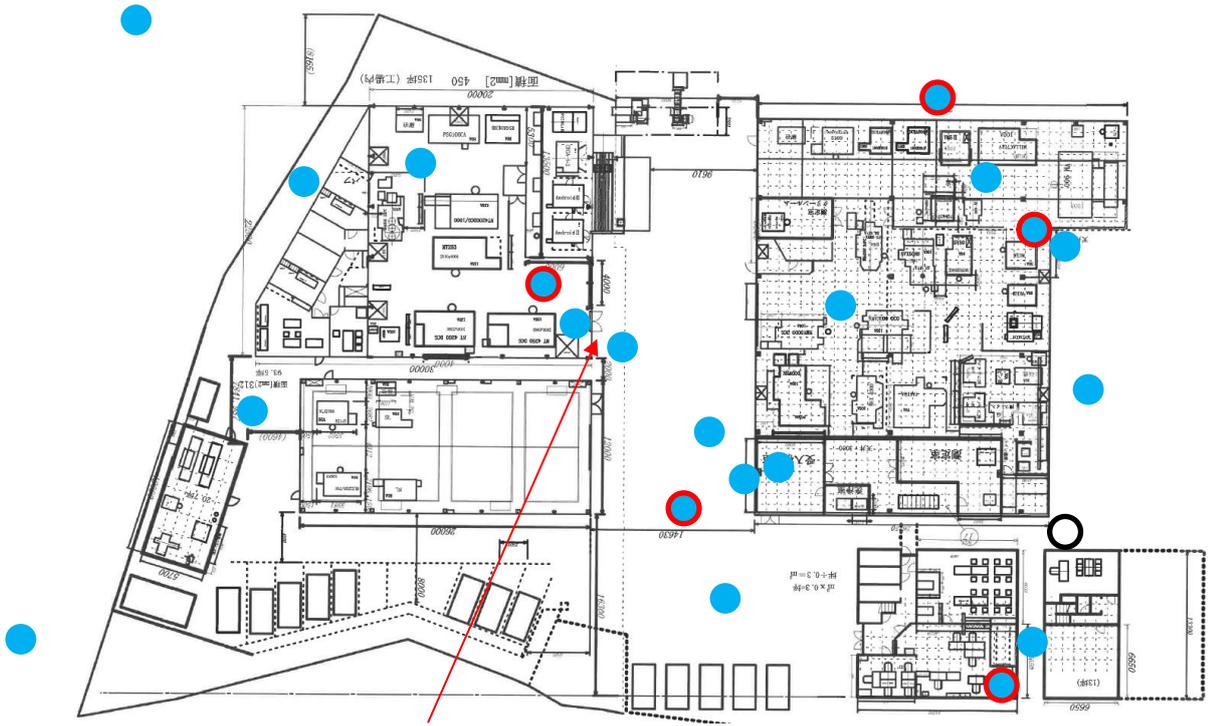


図 3-186 ツウテック 反射板あり PDSCH スループット
 通信不可 : ● $0 \leq \text{PDSCH} < 150 \text{Mbps}$: ● $\text{PDSCH} \leq 150 \text{Mbps}$: ●
 反射板設置後 PDSCH が遅くなった : ○
 設置後測定不能 (物理的にアクセス不可能) : ○

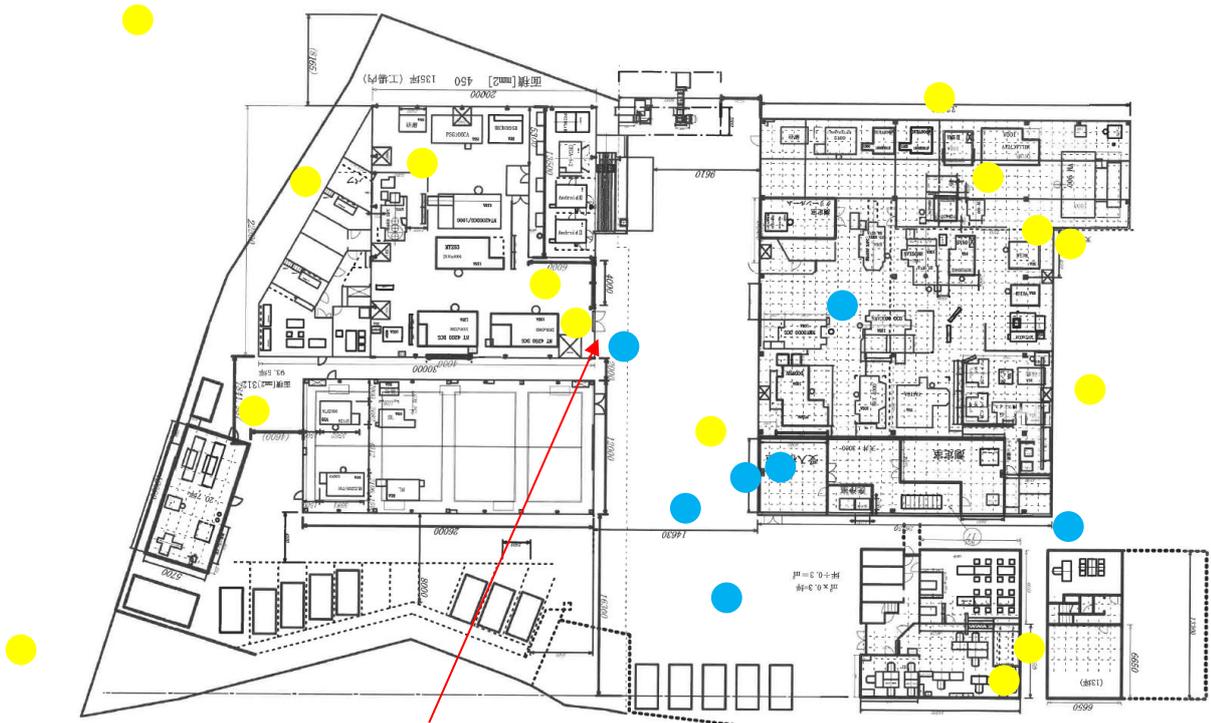


図 3-187 ツウテック 反射板なし PUSCH スループット
 通信不可 : ● $0 \leq \text{PUSCH} < 30 \text{Mbps}$: ● $\text{PUSCH} \leq 30 \text{Mbps}$: ●

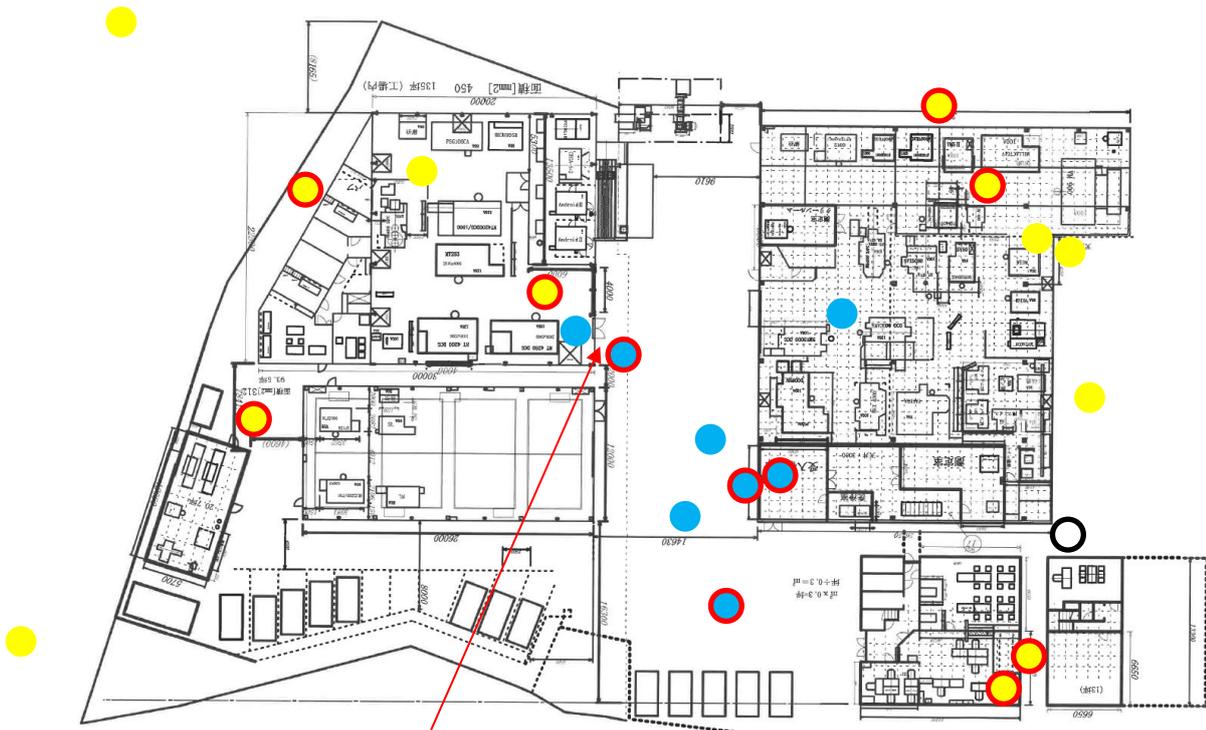


図 3-188 ツウテック 反射板あり PUSCH スループット
 通信不可 : ● $0 \leq \text{PUSCH} < 30 \text{Mbps}$: ● PUSCH $\leq 30 \text{Mbps}$: ●
 反射板設置後 PUSCH が遅くなった : ○
 設置後測定不能 (物理的にアクセス不可能) : ○

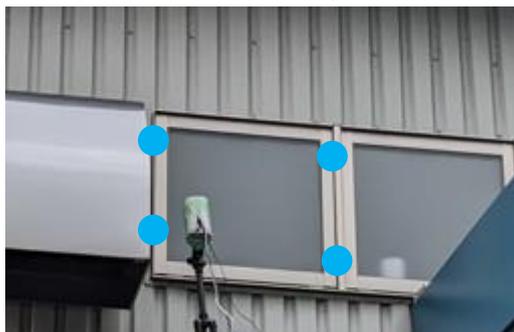
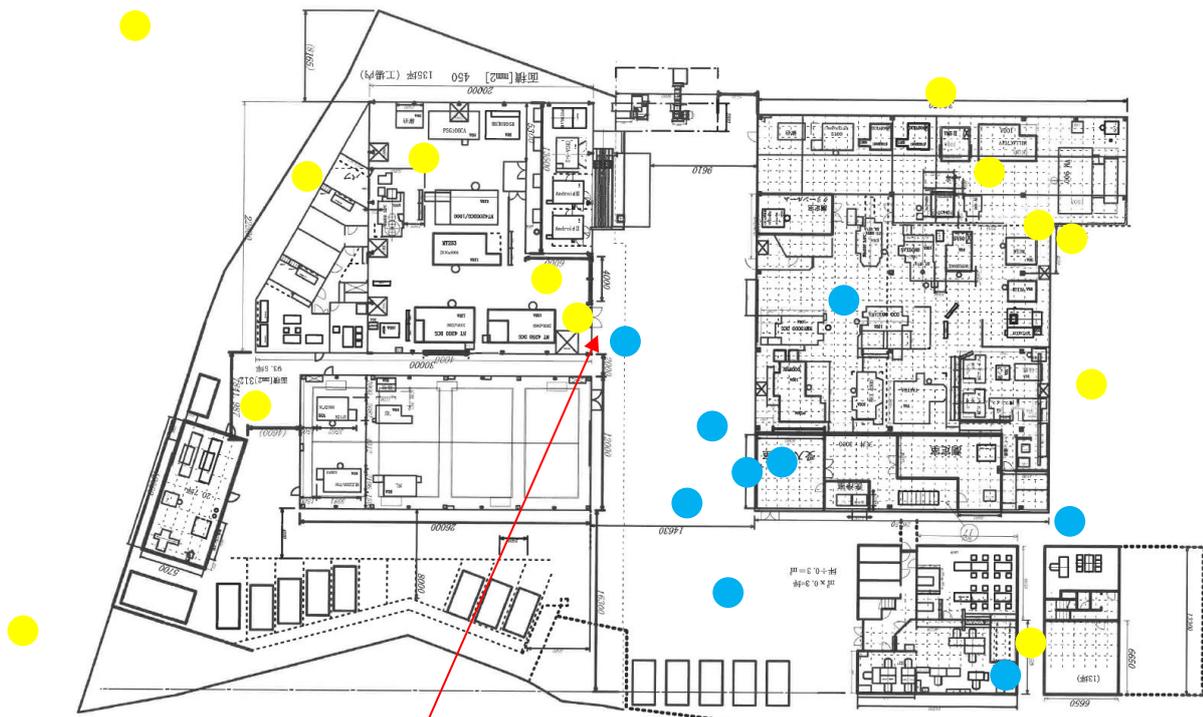


図 3-189 ツウテック 反射板なし UL TCP スループット
 通信不可 : ● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30\text{Mbps}$: ● UL TCP Tput $\leq 30\text{Mbps}$: ●

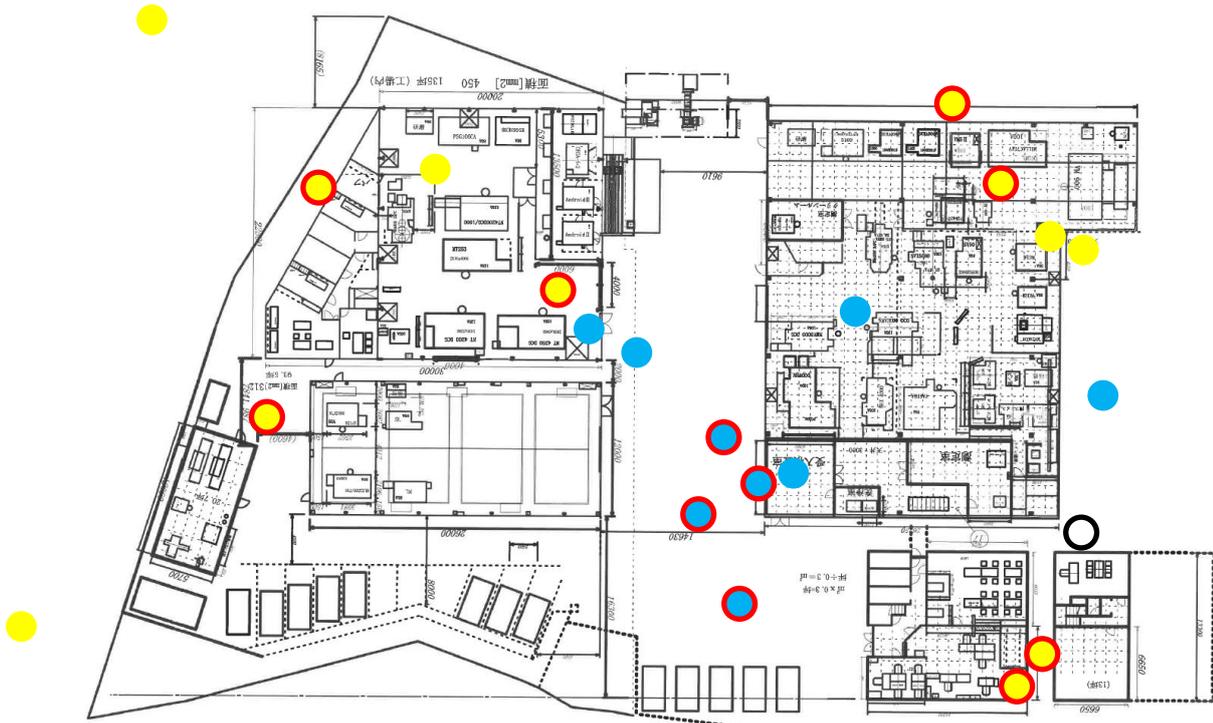


図 3-190 ツウテック 反射板あり UL TCP スループット

通信不可 : ● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30 \text{ Mbps}$: ● $\text{UL TCP Tput} \leq 30 \text{ Mbps}$: ●
 反射板設置後 UL TCP Tput が遅くなった : ○
 設置後測定不能 (物理的にアクセス不可能) : ○

(2) 【ユタカ】

図 3-191 に示すように、第一工場のUEは基地局直下であり、十分な受信電力が得られない不感エリアになるのではないかと想定される。



図 3-191 不感エリアの想定 (地図：国土地理院ウェブサイトより)

このエリアにおいて十分な受信電力が得られるように、基地局の最大アンテナ利得方向にこのエリア向けの反射板を設置することで、エリア設計を拡張することを計画した。

1) 算出式によるエリアシミュレーション（反射板なし、反射板あり）

算出式によるエリアシミュレーションの結果を図 3-192 に示す。算出式によるカバーエリアは反射板の存在は考慮されないため、反射板なし、反射板ありとも同様のカバーエリアとなる。

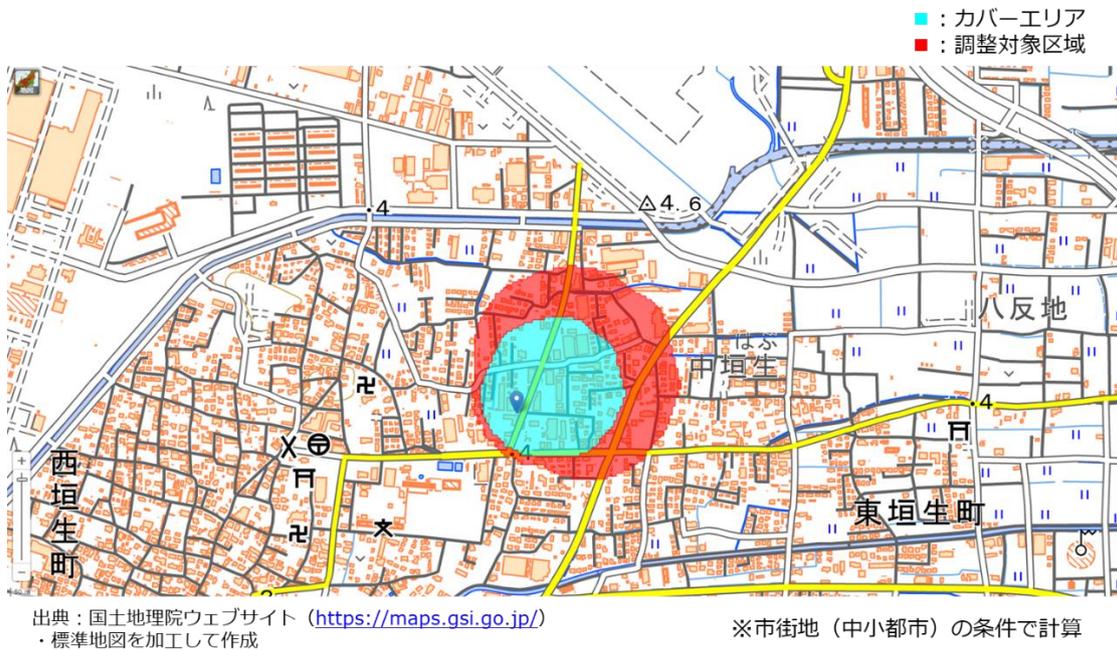


図 3-192 カバーエリア図

算出式によるカバーエリアにおいては、対象のエリアが不感地帯とはなっていない。これは、特別な遮蔽等がなければ十分な受信電力が得られることを示している。

2) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション（反射板なし）

反射板なしの場合のレイトレースによるエリアシミュレーションの結果を図 3-193 および図 3-194 および図 3-195 に示す。

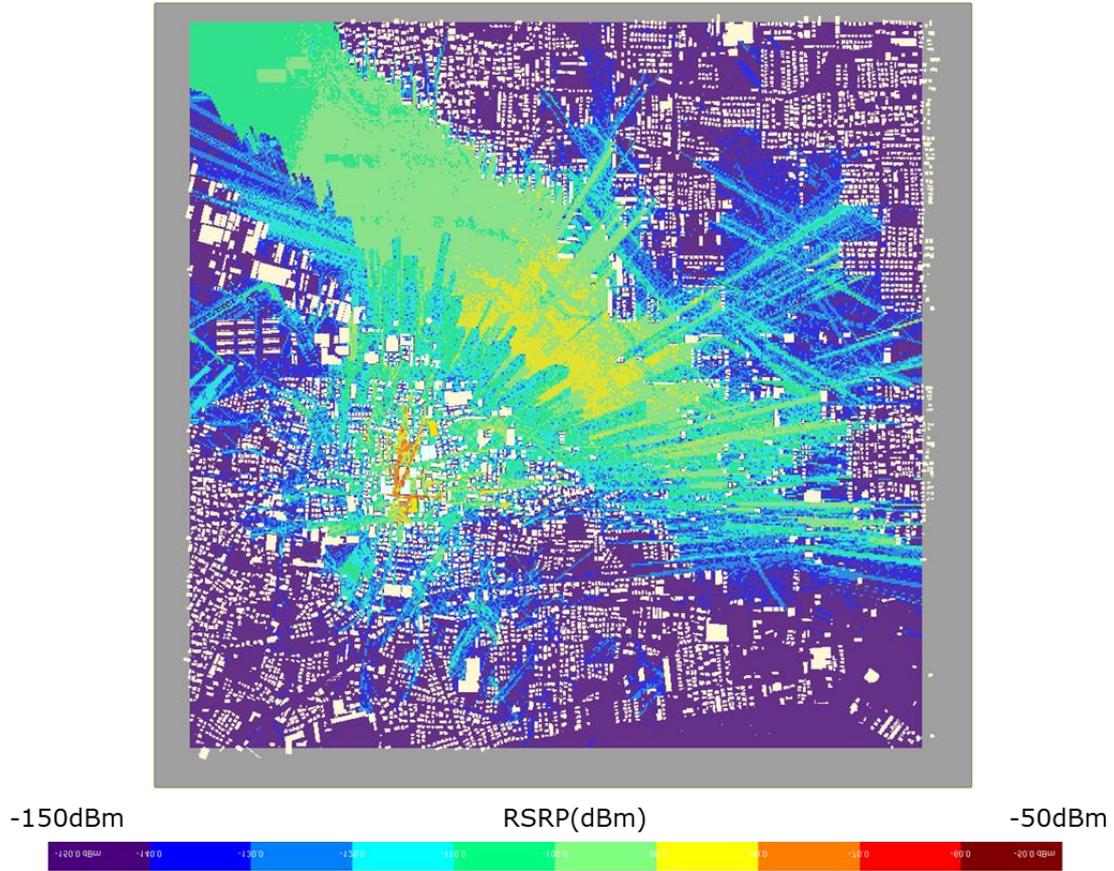


図 3-193 反射板なし 受信点配置① 地上高 1.5m

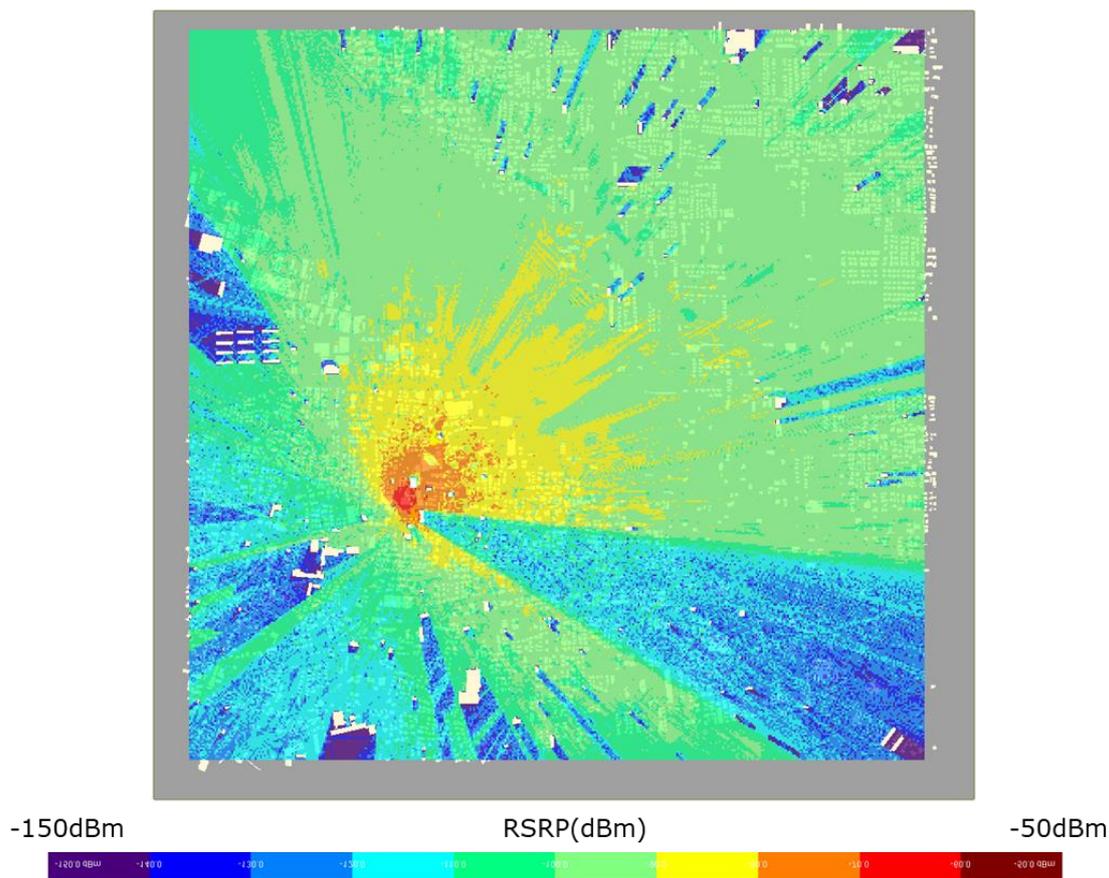


図 3-194 反射板なし 受信点配置② 地上高 9.45m

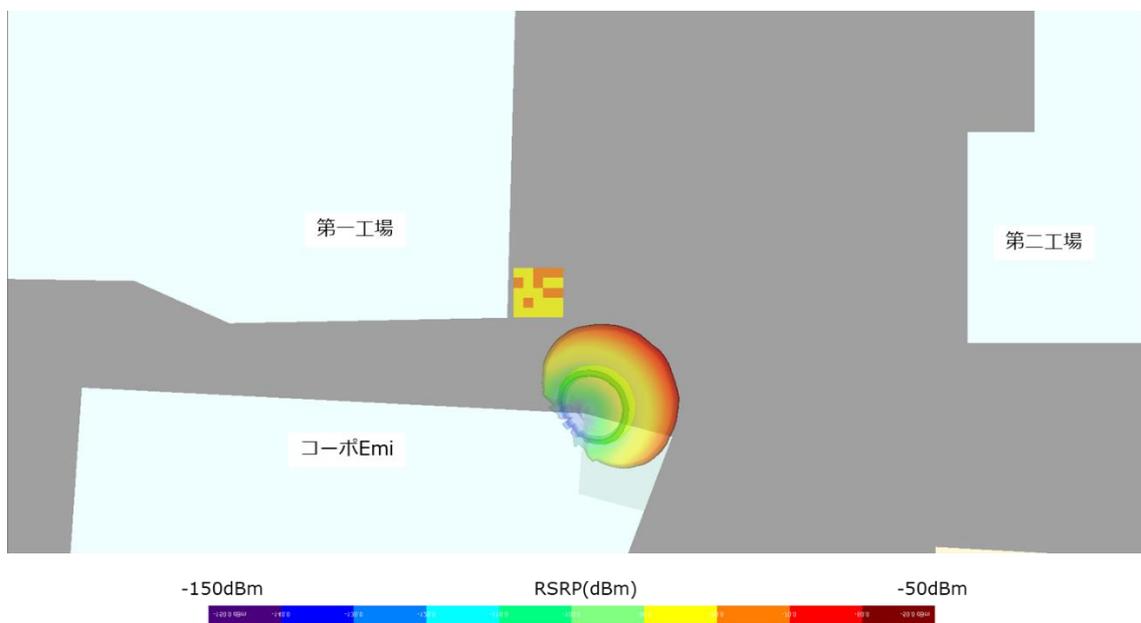


図 3-195 反射板なし 受信点配置③ 地上高 7.3m

レイトレースの結果からも、対象のエリアでは RSRP-90dBm 以上の十分な受信電力が得られており、不感地帯とはなっていないことが分かる。

このように、算出式によるエリアシミュレーションとレイトレースによるエリアシミュレーションの双方において、当初の想定とは異なり、反射板がなくとも十分な受信電力が得られていることが分かった。

したがって、以後の考察は反射板で不感地帯をカバーするというよりも、反射板を利用した電波伝搬の経路を作ること、通信品質の向上が図れるかという観点で反射板なし／ありの比較を行う。

3) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション（反射板あり）

反射板ありの場合のレイトレースによるエリアシミュレーションの結果を図 3-196 および図 3-197 および図 3-198 に示す。

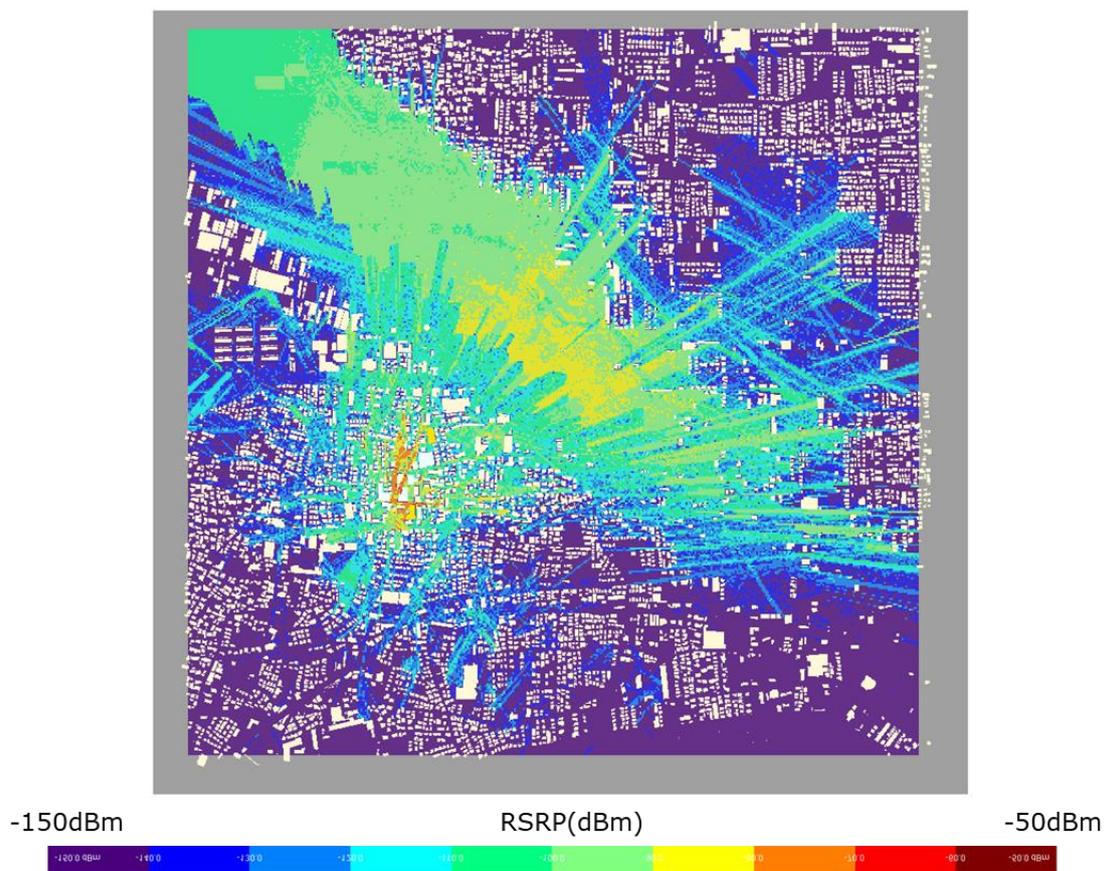


図 3-196 反射板あり 受信点配置① 地上高 1.5m

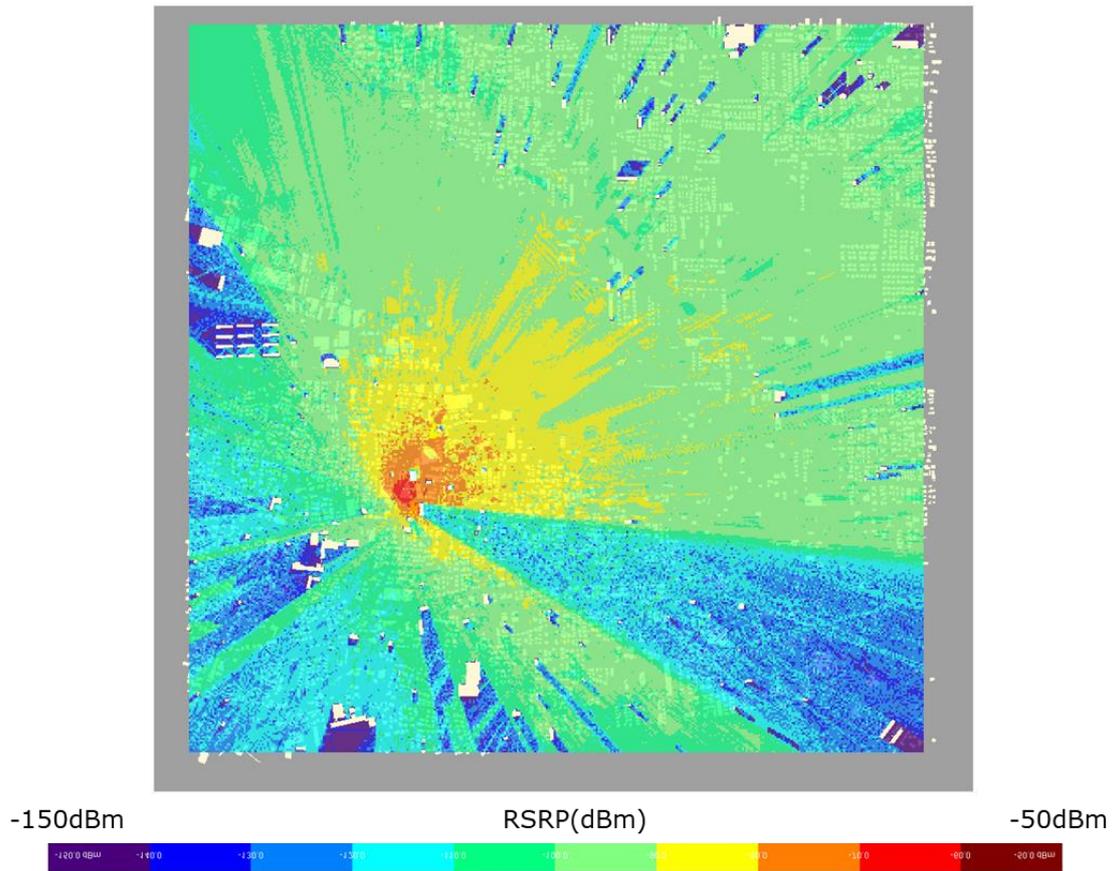


図 3-197 反射板あり 受信点配置② 地上高 9.45m

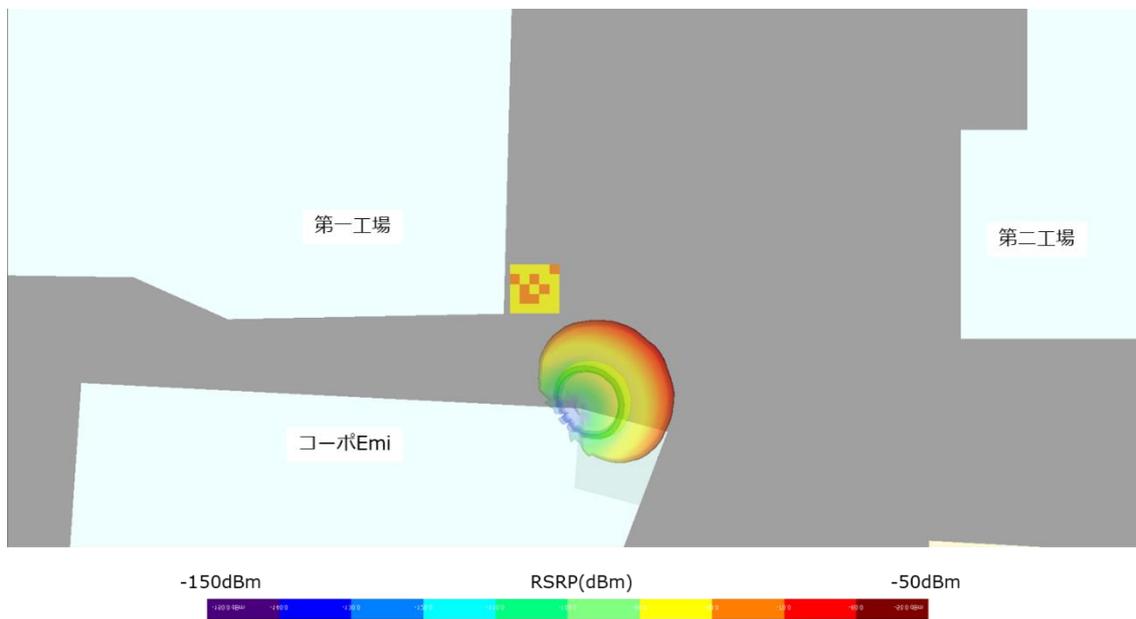


図 3-198 反射板あり 受信点配置③ 地上高 7.3m

レイトレースの結果によると、反射板を設置したとしても、受信電力の大幅な増加は見込めない。

4) 3次元レイトレースによるエリアシミュレーション 反射板なし／あり 比較

レイトレースによるエリアシミュレーションの結果について、反射板なし／ありの比較を行い、得られた差分について図 3-199 に示す。

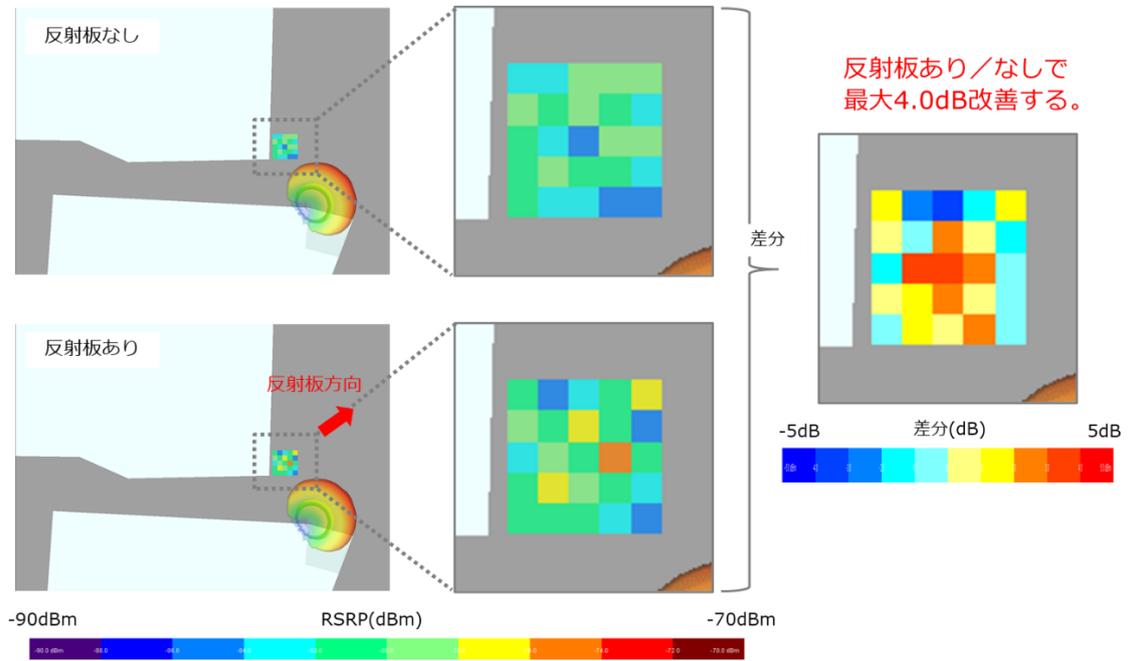


図 3-199 レイトレース 反射板なし／あり 比較

比較の結果、最大で 4dB ほど受信電力が増加することが期待できる。

レイトレースのパスの比較を行った結果を図 3-200 に示す。

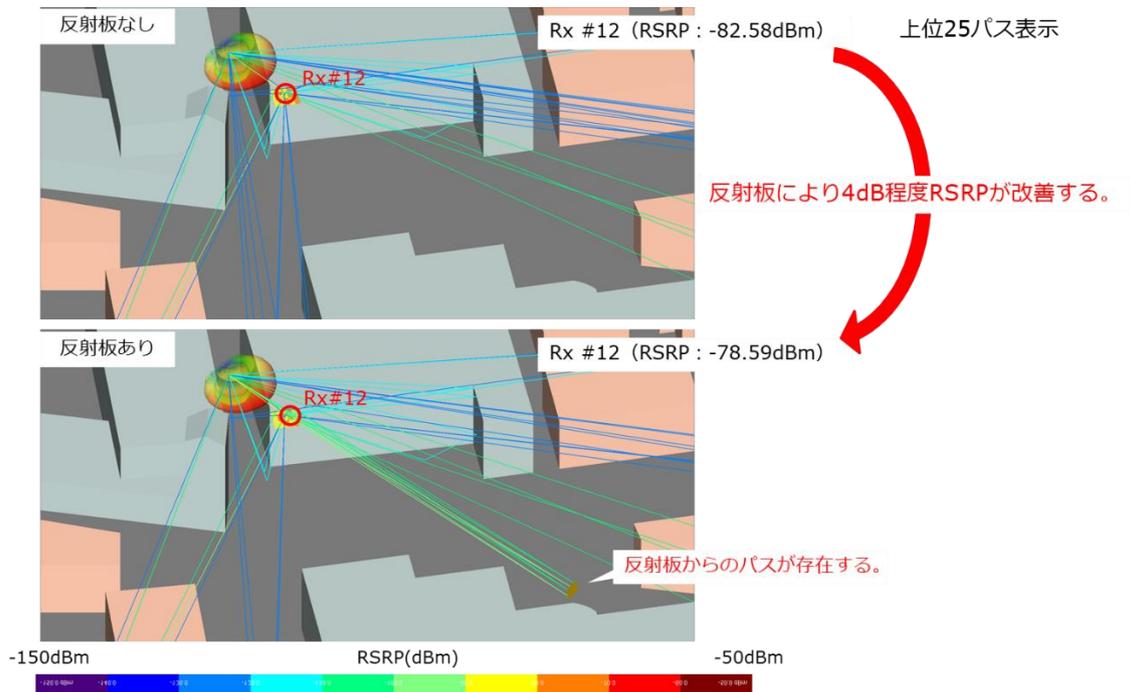


図 3-200 レイトレース 反射板なし/あり パス比較

反射板ありの場合は、反射板による反射波や回折波のパスが存在している。ただし、基地局からの直接波の影響が最も大きいため、反射板による受信電力増大の効果があまり得られていないことが分かる。

5) 測定点の情報

反射板なし／ありの状況で実際の受信電力を測定した。測定点の位置について図 3-201 および図 3-202 に示す。



出典：国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
・写真地図を加工して作成

図 3-201 測定点の図 (狭域)



出典：国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
・写真地図を加工して作成

図 3-202 測定点の図 (広域)

表 3-54 測定点の情報

カテゴリ	測定点 ID	概要	高さ
周辺	2	反射板による反射方向	地表 1.5m
	11,13,14,15, 16,17,18,21, 41	建物周辺	地表 1.5m
	55	基地局と反射板の間	地表 1.5m
	52,53,54	反射板と第 1 工場 UE の間	地表 1.5m
反射板	63	反射板付近	反射板高さ
ターゲット	56,57,58,59, 60,61,62	第 1 工場 UE 付近	第 1 工場 UE 高さ

表 3-55 基地局と反射板と測定点のそれぞれの距離

カテゴリ	測定点ID	基地局と測定点の3D距離 [m]	基地局と反射板の3D距離 [m]	反射板と測定点の3D距離 [m]	基地局と測定点の3D距離 (反射板経由) [m]
周辺	2	48.31	44.77	88.87	133.64
	11	53.75	44.77	71.71	116.48
	13	47.75	44.77	41.10	85.87
	14	37.18	44.77	71.94	116.71
	15	71.06	44.77	28.46	73.22
	16	135.79	44.77	93.81	138.57
	17	67.95	44.77	49.65	94.42
	18	107.00	44.77	64.65	109.42
	21	167.64	44.77	124.25	169.02
	41	107.32	44.77	150.33	195.10
	55	23.81	44.77	27.59	72.35
	52	20.88	44.77	32.32	77.09
	53	29.72	44.77	20.92	65.69
	54	42.91	44.77	9.58	54.35
反射板	63	44.77	44.77	0.00	44.77
ターゲット	56	11.33	44.77	43.14	87.91
	57	11.78	44.77	42.96	87.73
	58	12.10	44.77	42.63	87.40
	59	12.50	44.77	42.24	87.01
	60	11.09	44.77	43.77	88.53
	61	11.42	44.77	43.36	88.13
	62	11.60	44.77	42.52	87.28

測定点には表 3-54 に示すような属性の地点を選定し、カテゴリを「周辺」「反射板」「ターゲット」の 3 つに分けた。

「周辺」の測定点は反射板なし／ありによってターゲット以外のエリアの受信電力に変化が現れるかを調べるための地表 1.5m 高さの測定点である。反射板の裏側方向や反射方向の位置を含んでいる。また、基地局と反射板の間の地点、反射板とターゲットエリアの間の地点も含まれる。

「反射板」の測定点は反射板設置位置の測定点である。

「ターゲット」は反射板の設置により受信電力や通信性能を向上させたい第 1 工場 UE

付近の測定点である。

6) 測定結果（反射板なし／あり比較）

反射板なし／ありの場合の設計値および、反射板なし／ありの場合の測定結果とその差分を表 3-56 に、その結果をグラフにしたものを図 3-203 に示す。

表 3-56 測定結果

カテゴリ	測定点ID	設計値 [dBm]		実測値 [dBm]		実測値差分[dB]	差分平均[dB]
		反射板なし	反射板あり	反射板なし	反射板あり	反射板あり-反射板なし	
周辺	2			-73.2	-71.5	1.7	-0.6
	11			-69.8	-72.8	-3.0	
	13			-60.7	-59.3	1.4	
	14			-55.6	-58.7	-3.1	
	15			-46.4	-47.3	-0.9	
	16			-44.8	-45.9	-1.1	
	17			-45.3	-43.9	1.5	
	18			-62.2	-62.8	-0.6	
	21			-74.9	-74.9	0.0	
	41			-73.5	-76.4	-3.0	
	55			-52.2	-49.9	2.3	
	52			-48.4	-50.3	-1.9	
	53			-48.4	-48.5	-0.1	
54			-43.7	-45.1	-1.4		
反射板	63			-35.4	-37.7	-2.3	-2.3
ターゲット	56	-47.4	-43.4	-49.8	-46.3	3.5	2.2
	57			-45.3	-44.6	0.7	
	58			-48.8	-45.2	3.6	
	59			-51.2	-50.9	0.3	
	60			-53.8	-52.4	1.4	
	61			-47.8	-46.9	0.9	
	62			-50.2	-45.5	4.7	

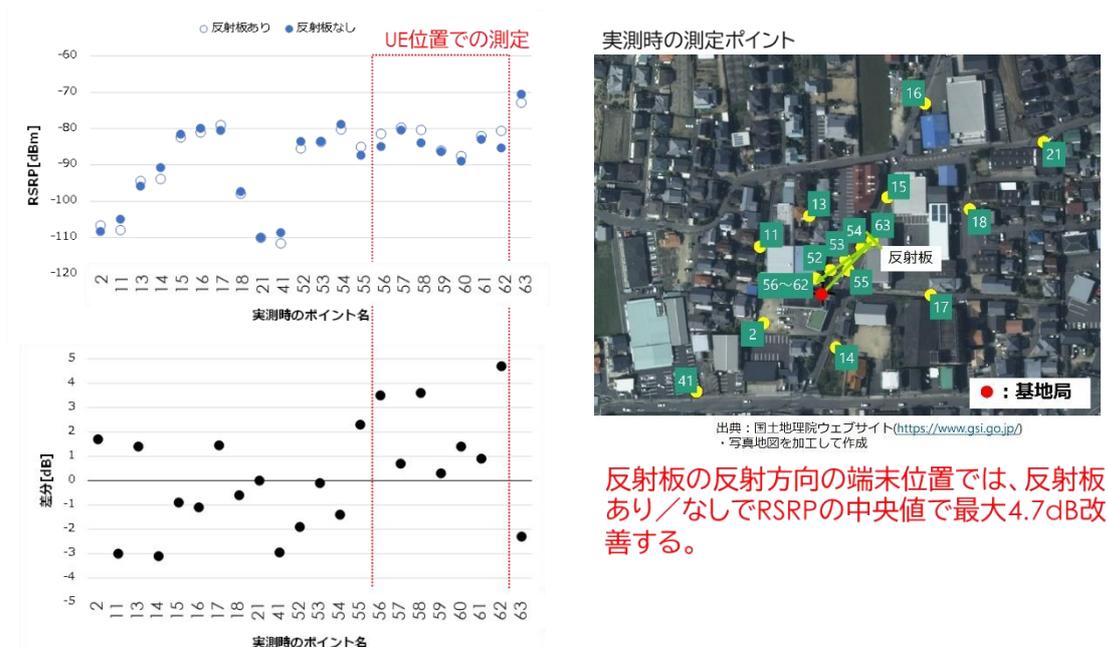


図 3-203 測定結果 反射板なし／あり 比較

「ターゲット」カテゴリの測定点ではおおむね受信電力が向上しており、平均で 2.2dB 向上した。最大 4.7dB 向上した測定点があった。また、レイトレースによる反射板ありの設計値ともよく合っている。「ターゲット」カテゴリの 7つの測定点のうち全ての測定点（全体の 100%）で反射板設置後の受信電力が向上した。

「周辺」カテゴリの測定点ではほとんどの測定点であまり変化が見られなかったが、± 3dB 程度の差があった測定点もあった。「周辺」カテゴリの測定点は地表 1.5m 高さの測定点であり、ターゲットエリアよりもかなり低い位置にあるため、本来ならば反射板なし／ありの影響はあまり受けないはずであるが、測定日が異なるため周辺環境が変化した可能性も考えられる。

7) 反射板の有無による伝送性能への影響

ユタカ工場において、各測定地点にて測定した伝送スループット、伝送遅延時間、UE で取得した SS-RSRP 等 RF 情報を以下に示す。

測定ができなかったポイントについては測定不可と記載している。

赤枠は反射板のターゲットである。

表 3-57 ユタカ 伝送性能試験測定結果

ポイント	反射板	DL					UL				
		平均 / NR Pcell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR Pcell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR Pcell PDSCH Tput (Mbps)	平均 / NR Pcell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR Pcell SS-SINR (dB)	平均 / スループット (Mbps)	平均 / NR Pcell PUSCH Tput (Mbps)
2	なし	-107.1	-10.4	14.9	123.0	133.6	-107.2	-10.4	15.3	1.5	1.2
11	なし	-99.9	-10.2	19.0	116.5	129.5	-100.0	-10.2	19.2	2.0	1.6
13	なし	-94.0	-10.4	27.9	454.0	474.7	-95.1	-10.4	28.8	13.7	8.2
14	なし	-95.9	-10.2	26.8	233.0	243.8	-96.3	-10.2	26.9	3.3	5.1
15	なし	-85.9	-10.4	32.4	580.5	610.6	-86.2	-10.4	33.1	63.2	35.7
16	なし	-85.1	-10.4	33.9	465.0	496.2	-85.3	-10.4	36.3	60.7	19.0
17	なし	-75.4	-10.3	35.6	714.5	753.9	-75.9	-10.3	38.7	11.0	9.1
18	なし	-95.4	-10.5	25.7	403.0	431.7	-96.0	-10.5	25.6	8.3	4.9
21	なし	通信不可									

41	なし	通信不可										
52	なし	-75.5	-10.2	32.5	692.0	734.5	-75.5	-10.3	32.3	97.5	51.8	
53	なし	-81.7	-10.4	30.5	453.5	478.2	-81.8	-10.4	32.4	25.4	33.7	
54	なし	-75.9	-10.4	36.5	660.0	700.1	-76.1	-10.4	38.0	86.3	44.6	
55	なし	-83.3	-10.3	25.7	750.5	783.8	-82.5	-10.3	25.8	101.5	53.6	
56	なし	-86.2	-10.3	27.3	542.0	423.5	-87.0	-10.3	29.0	28.9	28.0	
57	なし	-85.9	-10.4	30.4	227.0	246.1	-86.9	-10.4	29.8	25.2	30.1	
58	なし	-81.2	-10.3	28.9	233.0	246.5	-81.0	-10.3	28.8	27.4	25.6	
59	なし	-85.0	-10.4	26.0	237.0	243.1	-84.9	-10.4	25.7	27.0	25.6	
60	なし	-84.1	-10.4	33.4	240.0	251.8	-83.6	-10.3	33.0	28.2	28.3	
61	なし	-84.2	-10.4	32.6	226.0	226.6	-85.2	-10.4	32.9	21.1	29.2	
62	なし	-74.7	-10.3	34.4	225.5	240.0	-74.4	-10.3	36.3	24.2	24.8	
63	なし	-74.4	-10.3	37.4	557.5	575.0	-74.8	-10.4	39.3	103.0	42.3	
2	あり	-107.4	-10.5	11.5	120.5	134.7	-107.8	-10.5	12.1	3.5	2.3	
11	あり	-106.7	-10.5	12.2	124.5	137.2	-106.9	-10.5	12.7	4.3	2.7	
13	あり	-95.1	-10.4	28.7	424.0	469.2	-95.8	-10.3	26.4	33.4	19.4	
14	あり	-88.8	-10.5	26.9	364.5	384.3	-88.9	-10.4	28.1	41.5	24.1	
15	あり	-83.1	-10.3	29.8	602.0	644.6	-85.2	-10.3	30.5	37.9	21.2	
16	あり	-83.9	-10.3	32.3	346.5	362.9	-83.9	-10.3	32.1	70.7	28.6	
17	あり	-78.0	-10.3	28.8	545.5	571.7	-79.5	-10.3	32.9	33.7	19.8	
18	あり	-96.3	-10.3	26.6	240.0	257.4	-96.6	-10.3	25.2	21.9	12.2	
52	あり	-77.4	-10.3	29.4	616.5	638.1	-77.7	-10.3	33.0	122.0	62.8	
53	あり	-86.4	-10.5	25.2	596.0	628.3	-86.4	-10.3	26.2	95.2	50.9	
54	あり	-82.4	-10.5	24.2	542.0	556.0	-81.2	-10.4	28.1	34.1	18.9	
55	あり	-78.0	-10.4	28.7	479.0	503.7	-78.3	-10.3	29.3	122.0	60.3	
56	あり	-86.7	-10.5	29.3	471.5	484.2	-86.7	-10.5	32.5	20.4	32.9	
57	あり	-86.2	-10.4	28.4	436.5	449.0	-87.5	-10.2	30.0	23.3	26.0	
58	あり	-83.0	-10.4	28.7	456.5	453.2	-83.2	-10.3	32.1	20.5	25.8	
59	あり	-76.8	-10.5	18.9	318.5	342.6	-79.0	-10.3	32.4	103.1	46.6	
60	あり	-82.7	-10.4	30.2	512.5	525.4	-84.1	-10.3	32.3	107.0	56.1	
61	あり	-82.2	-10.4	27.4	243.5	271.1	-82.7	-10.3	31.5	96.1	42.9	
62	あり	-76.9	-10.3	29.1	216.0	225.8	-76.7	-10.3	30.7	97.0	44.9	
63	あり	-74.4	-10.3	37.8	615.5	638.6	-74.6	-10.3	40.7	61.1	27.3	

表 3-58 ユタカ 伝送遅延測定結果

ポイント	反射板	平均 / MIN(msec)	平均 / AVG(msec)	平均 / MAX(msec)	平均 / MDEV(msec)
2	なし	24.096	48.9125	72.34	13.9335
11	なし	23.784	46.389	72.062	14.094
13	なし	21.6695	41.8815	71.013	13.3465
14	なし	32.589	56.2535	94.6045	15.216
15	なし	24.8445	40.692	72.2645	9.9025
16	なし	21.653	44.2045	73.0205	13.9765
17	なし	23.143	45.3705	86.3355	16.079
18	なし	22.721	43.63	71.1835	12.5515
21	なし	通信不可			
41	なし	通信不可			
52	なし	22.304	42.0655	81.455	13.312
53	なし	22.8425	61.1135	365.043	67.302
54	なし	21.634	42.3805	82.009	14
55	なし	22.0955	43.66	81.5595	14.1065
56	なし	36.747	154.0425	1137.957	225.525
57	なし	32.577	87.507	357.1035	83.359
58	なし	32.395	68.325	364.823	57.165
59	なし	27.2855	57.744	90.1595	14.9195
60	なし	33.172	61.72	223.037	35.161
61	なし	33.057	67.983	375.167	59.295
62	なし	33.33	64.148	206.799	33.285
63	なし	21.9705	42.3935	71.231	12.2535
2	あり	26.133	48.6695	104.2855	16.937
11	あり	24.678	48.6755	72.7985	13.083
13	あり	24.11	46.4645	77.283	13.989
14	あり	28.905	48.9495	77.309	13.209
15	あり	22.8535	45.296	76.6315	13.9835
16	あり	22.779	43.428	71.891	12.8365

17	あり	22.3555	42.799	75.4575	13.142
18	あり	23.2195	45.6965	72.4115	13.7155
52	あり	22.9035	43.7495	77.3695	13.7185
53	あり	22.5245	44.225	82.1175	13.688
54	あり	28.4805	57.2635	93.679	18.221
55	あり	23.8925	42.0475	70.7785	12.332
56	あり	31.5965	56.1475	102.536	17.034
57	あり	32.9855	58.036	97.578	16.892
58	あり	30.015	53.9395	92.4465	16.293
59	あり	23.905	46.609	72.676	14.357
60	あり	23.419	42.2745	72.629	12.345
61	あり	25.5905	53.397	203.245	33
62	あり	28.659	70.578	360.108	65.9485
63	あり	21.987	43.125	77.278	13.6785

反射板なし／ありによる伝送性能差分を以下に示す。

表 3-59 反射板ターゲットの反射板なし／あり差分

ポイント	DL TCPスループット差分(Mbps)	PDSCH Tput差分(Mbps)	UL TCPスループット差分(Mbps)	PUSCH Tput差分(Mbps)	RTT MIN差異(msec)	RTT AVG差異(msec)	RTT MAX差異(msec)	RTT MDEV差異(msec)
56	-70.5	60.7	-8.5	4.9	-5.1505	-97.895	-1035.42	-208.491
57	209.5	202.9	-2.0	-4.1	0.4085	-29.471	-259.526	-66.467
58	223.5	206.7	-6.9	0.2	-2.38	-14.3855	-272.377	-40.872
59	81.5	99.5	76.1	21.0	-3.3805	-11.135	-17.4835	-0.5625
60	272.5	273.6	78.8	27.8	-9.753	-19.4455	-150.408	-22.816
61	17.5	44.6	75.0	13.7	-7.4665	-14.586	-171.922	-26.295
62	-9.5	-14.2	72.8	20.1	-4.671	6.43	153.309	32.6635
改善率	71%	86%	57%	86%	86%	86%	86%	86%

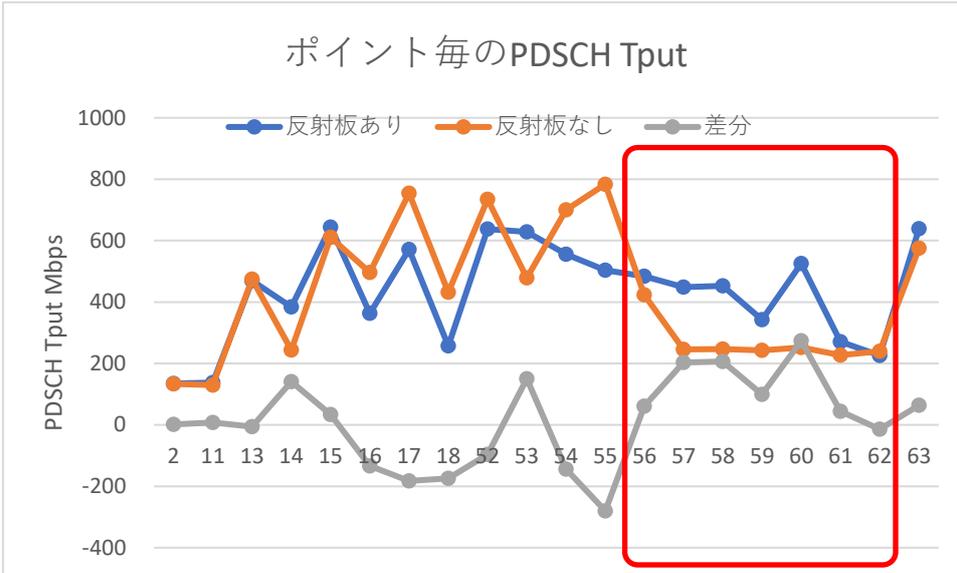


図 3-204 ユタカ PDSCH スループット

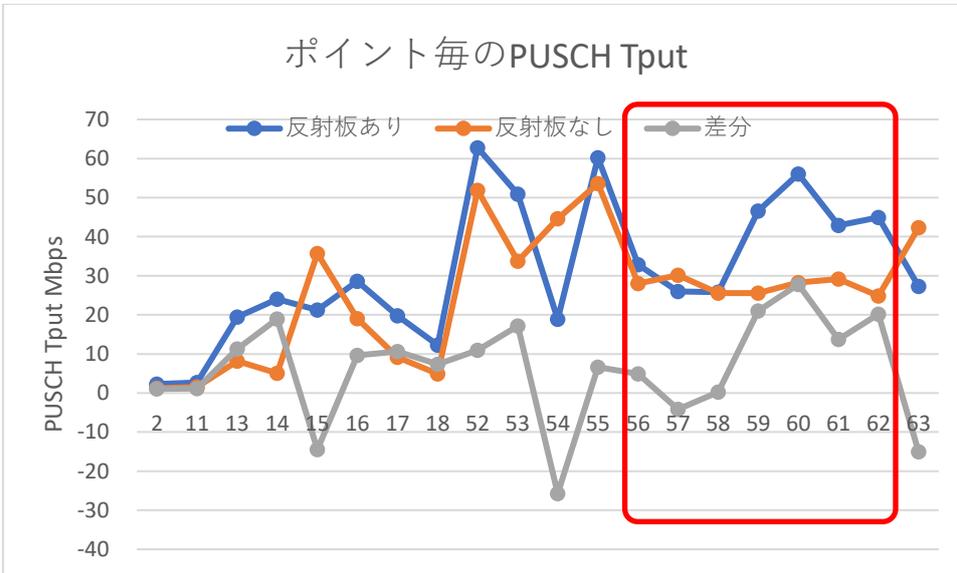


図 3-205 ユタカ PUSCH スループット

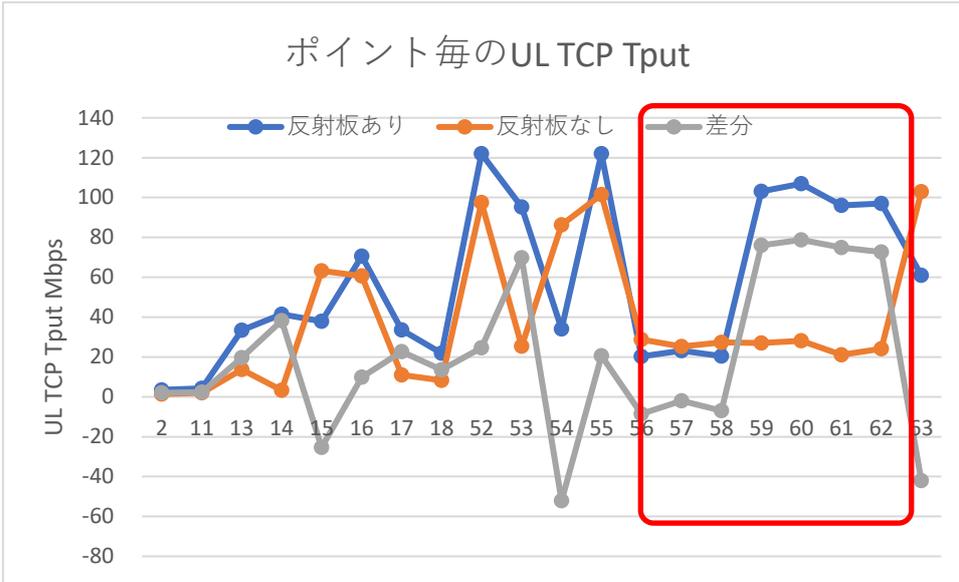


図 3-206 ユタカ Uplink TCP スループット

反射板設置の有無による PDSCH Tput、PUSCH Tput は測定ポイントによってばらつきがある。

ユタカ工場では第1工場に設置するUEに対して、反射板なしでは複数の異なる建物からの反射パスが多くあったが、反射板を設置することで反射板からの安定したパスを供給でき伝送速度が改善したと考える。UE設置周辺のポイント56~61でPDSCH Tput、59~62でPUSCH Tputの改善が認められる。

表 3-60 ポイント60測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-84.1	-82.7	+1.4
SS-SINR(UL)	33.0	32.3	-0.7
PDSCH Tput	251.8	525.4	+273.6
PUSCH Tput	28.3	56.1	+27.8
UL TCP Tput	28.2	107	+78.8

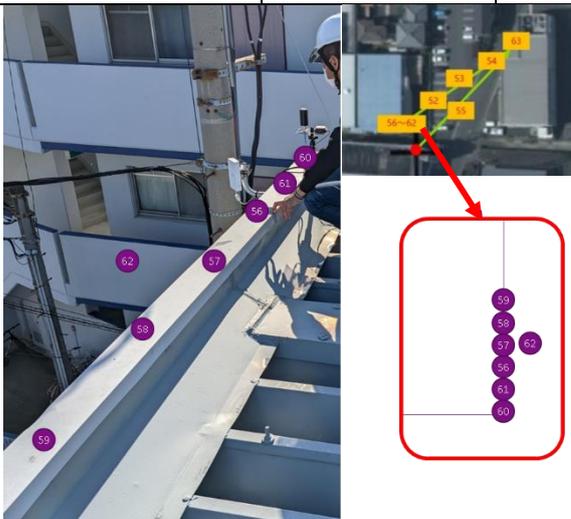


図 3-207 ユタカ 第一工場測定ポイント



図 3-208 第一工場 UE 設置周辺ポイントから反射板方向

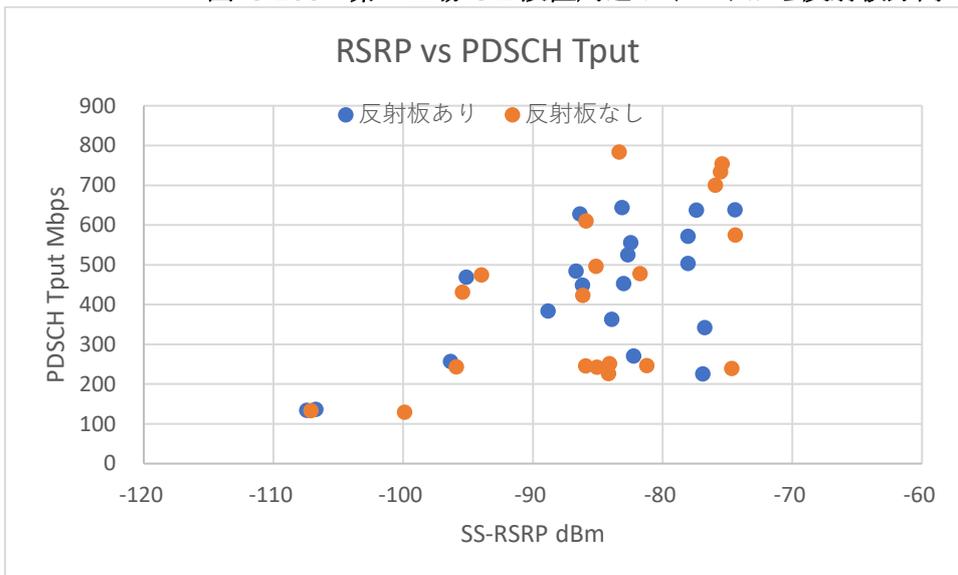


図 3-209 ユタカ SS-RSRP vs PDSCH スループット

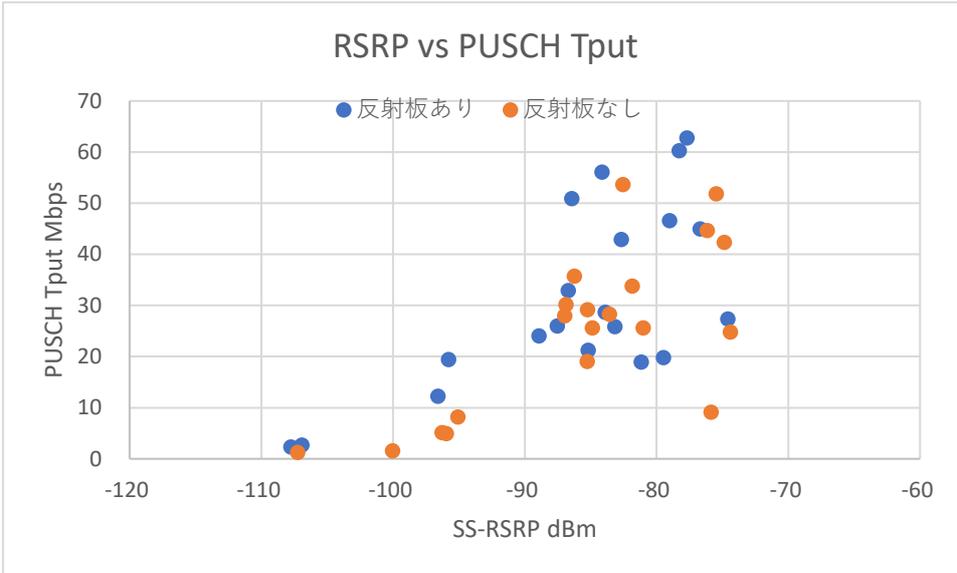


図 3-210 ユタカ SS-RSRP vs PUSCH スループット

SS-RSRP と PDSCH Tput、PUSCH Tput の関係については、エリアとしては反射板の有無により大きく変わることはない。

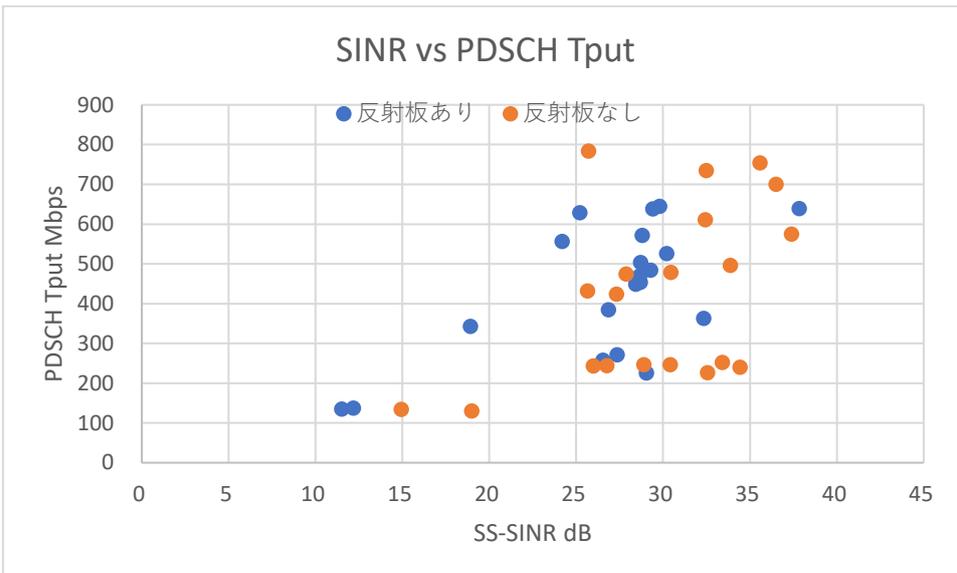


図 3-211 SS-SINR vs PDSCH スループット

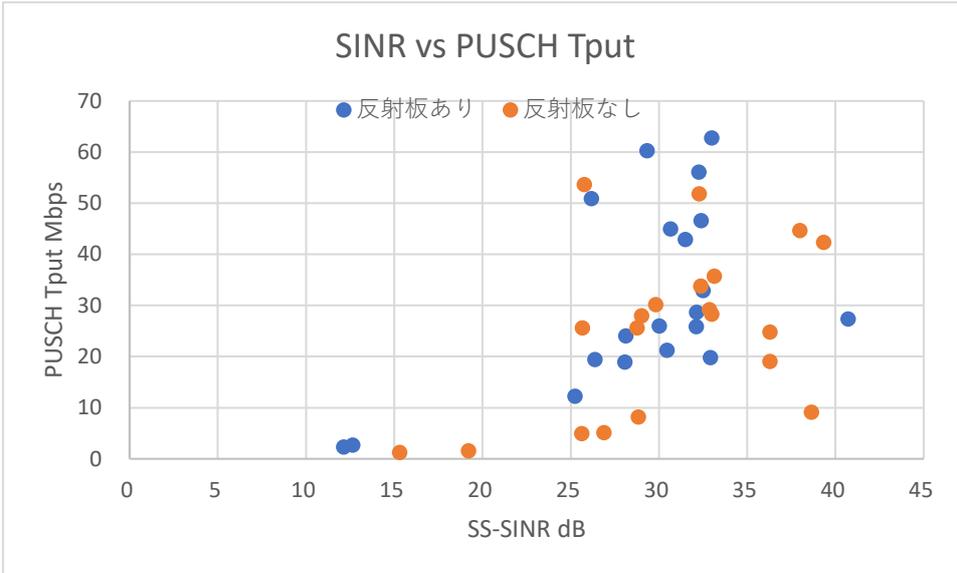


図 3-212 ユタカ SS-SINR vs PUSCH スループット
 SS-SINR と PDSCH Tput、PUSCH Tput の関係については、エリアとしては反射板の有無により大きく変わることはない。

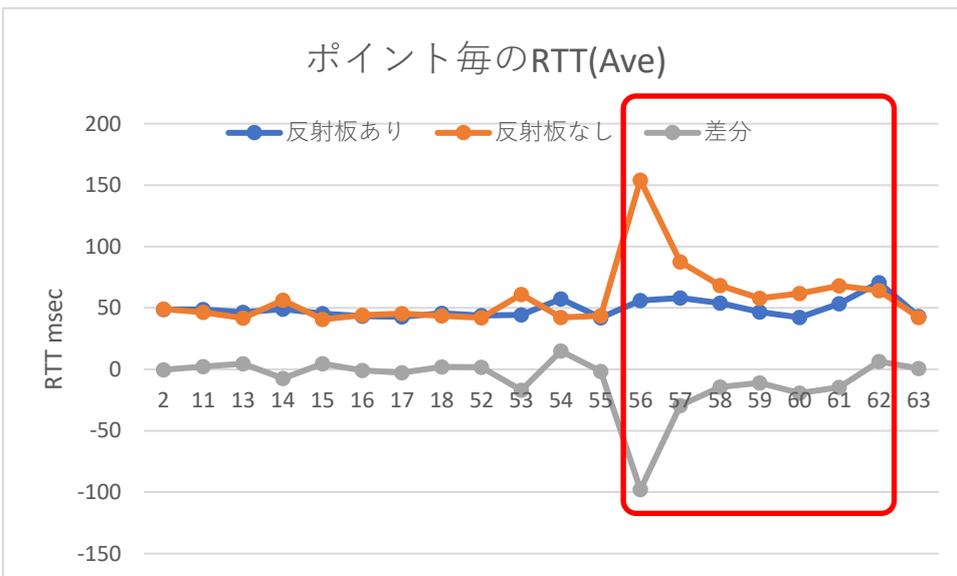


図 3-213 ユタカ 伝送遅延

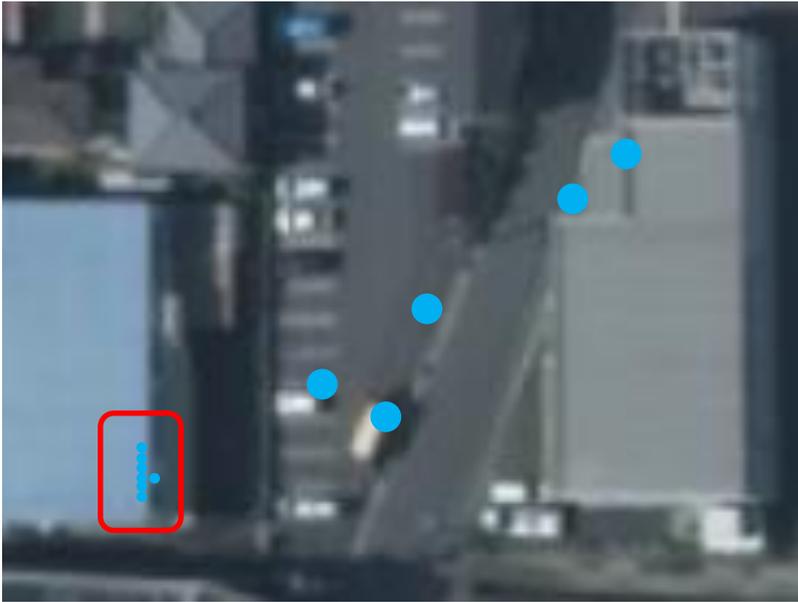


図 3-214 ユタカ 反射板なし PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)

通信不可：● $0 \leq \text{PDSCH} < 150 \text{Mbps}$ ：● $\text{PDSCH} \leq 150 \text{Mbps}$ ：●

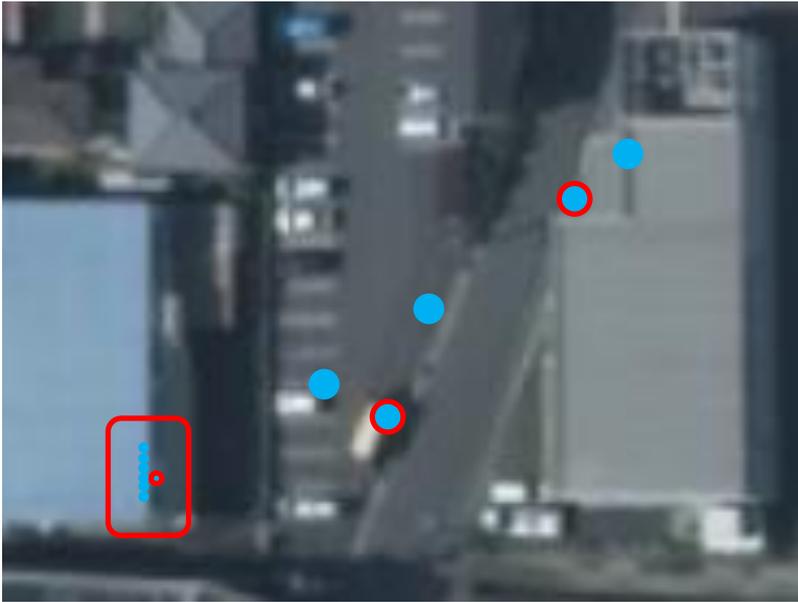


図 3-215 ユタカ 反射板あり PDSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)

通信不可：● 0≦PDSCH<150Mbps：● PDSCH≦150Mbps：●
 反射板設置後 PDSCH が遅くなった：○

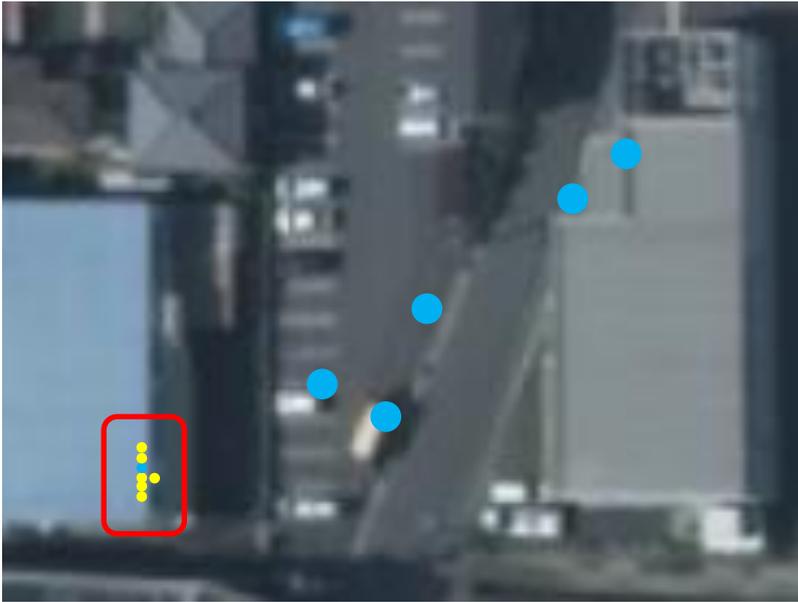


図 3-216 ユタカ 反射板なし PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)

通信不可：● $0 \leq \text{PUSCH} < 30 \text{ Mbps}$ ：● $\text{PUSCH} \leq 30 \text{ Mbps}$ ：●

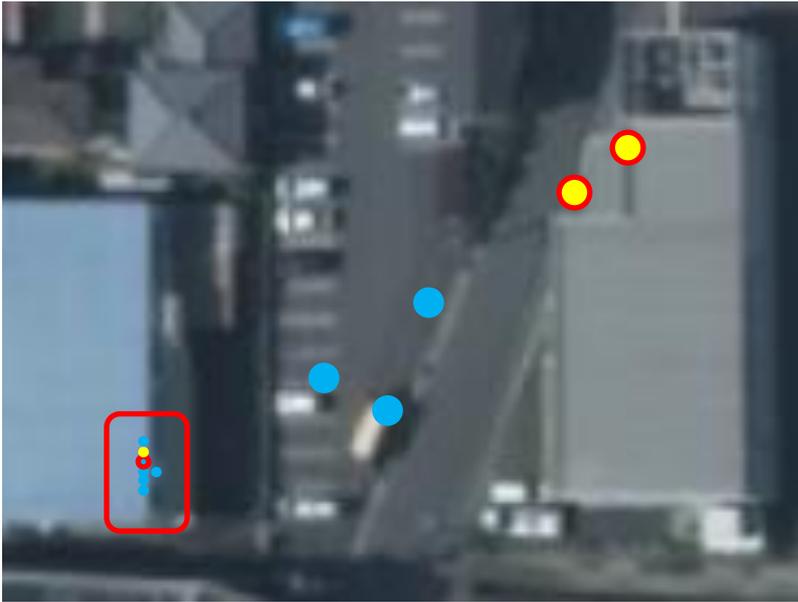


図 3-217 ユタカ 反射板あり PUSCH スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)

通信不可：● 0≦PUSCH<30Mbps：● PUSCH≦30Mbps：●
 反射板設置後 PUSCH が遅くなった：○

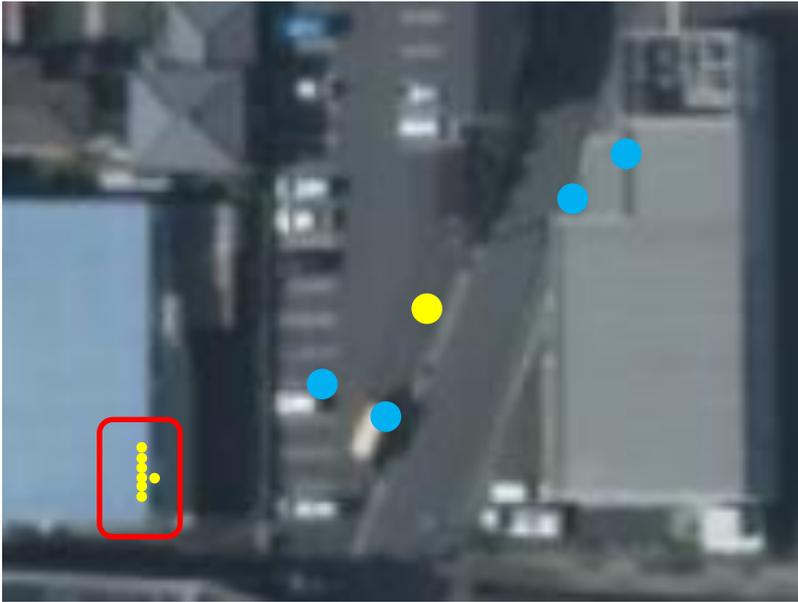


図 3-218 ユタカ 反射板なし UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)

通信不可：● $0 \leq \text{UL TCP Tput} < 30\text{Mbps}$ ：● UL TCP Tput $\leq 30\text{Mbps}$ ：●

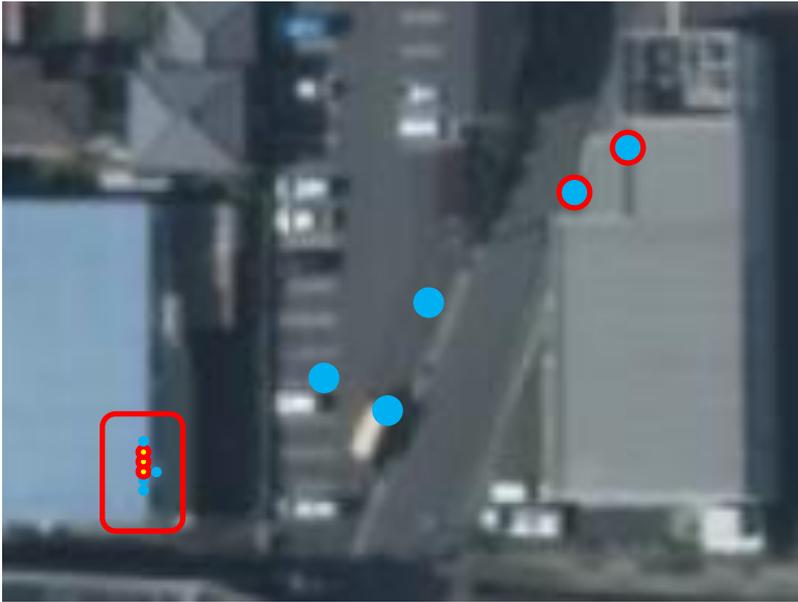


図 3-219 ユタカ 反射板あり UL TCP スループット (地図：国土地理院ウェブサイトより)

通信不可：● 0<= UL TCP Tput <30Mbps：● UL TCP Tput <=30Mbps：●
 反射板設置後 PUSCH が遅くなった：○

(3) 実証目的に照らした電波反射板の有効性評価結果

- ✓ 意図しない反射波が多数存在する環境においても、反射板により明確な伝搬パスを作ることで伝送性能の改善が可能である。
- ✓ 反射板は広範囲なエリアの改善はできず、狭域の改善が可能である。
- ✓ 反射板自体に電波の強さを増幅する機能は無いことからエリアを拡張するような使い方はできない。エリア内でのデッドスポットの改善に適している。
- ✓ 反射板設置場所とエリア対象となるUE設置場所の RSRP 差（言い換えると反射板設置場所での十分に強い RSRP 値が必要）が大きい場合に、反射板の効果も大きくなる。
- ✓ 反射板はRUおよびUEに対して見通しがある環境で効果を発揮する。
- ✓ 反射板設置により、その周囲に対して狭域ではあるものの、RSRP の劣化を招く可能性があり、設置時には向きの調整が必要である。

1) 【ツウテック工場】

反射板1：レイトレーシングシミュレーションによると工場建屋による反射波が存在し、反射板が無い場合でも十分な受信レベルを確保することが計算結果としてあった。一方反射板の設置によりさらに受信レベルを増強することが可能であるとのシミュレーション結果にもある通り、エリアテストによる実測値では若干の RSRP 改善を認めた。一方でUEによる伝送性能試験では反射板により明確な伝搬パスができたことで RSRP が 8dB 改善し、特にULのスループットが改善した。

このことから意図しない反射波が多数存在する環境下においても、反射板により明確な伝搬パスを作ることで伝送性能の改善が計れる可能性があることが分かった。

ただし反射板設置により、その周囲に対して狭域ではあるものの、RSRP の劣化を招く可能性があることをシミュレーション結果も示していることから、反射板を設置する際にはその向きの調整を確実に実施することが必要である。

表 3-61 ツウテック測定ポイント59測定結果

	反射板なし	反射板あり	差異
SS-RSRP(DL)	-90.6	-82.4	+8.2
SS-SINR(UL)	30.2	33.7	+3.5
PDSCH Tput	622.6	659.9	+37.3
PUSCH Tput	12.5	35.7	+23.2
UL TCP Tput	15.9	65.4	+49.5

反射板2-1、2：現地調査の結果、反射板を設置するためのポール設置が困難であることが判明したために、バケット車を使って仮設することで参考データを取得することとした。

反射板2-1が対象としているUEは、D棟の屋内浸透によるRUからの電波到来があることがシミュレーション結果に出ていた。また反射板からの反射波がD棟に対して浅い角度で到達することから屋内設置するUEの周囲での効果はピンポイントであると想定さ

れた。エリアテストでは RSRP 値が 2.5dB 程度の改善が認められた。しかし伝送性能試験では適切なパスを掴むことができずに改善を認めることができなかった。

反射板 2-2 と B 棟に設置する UE との間には地物があり、遮蔽を可能な限り取り除くようバケット車の位置を変更したが、反射波が遮蔽されており、反射波の改善効果を認めることはできなかった。ただし、地物よりも反射板に近い測定ポイント 22 では反射板により RSRP、スループットが改善していることが確認できた。

このことから反射板の効果を得るための条件として、反射板と反射波を届ける UE との間には見通しが確保できることが確認できた。

2) 【ユタカ工場】

反射板による改善を計る第一工場屋上の数 m の範囲内で 0.3~4.7dB の RSRP 改善が認められた。シミュレーション結果からも 2m 範囲内で改善、劣化するポイントがあることが確認されており、実測値でも RSRP が一様に改善するわけではないことを確認した。

また伝送性能試験では、シミュレーション結果にあるような複数建物からの反射パスが多く存在する状態で、反射板を設置することで反射板からの明確なパスによりスループットの改善が確認できた。

表 3-62 反射板有無のスループット比較

反射板	PDSCH Tput		PUSCH Tput	
	なし	あり	なし	あり
56	423.5	484.2	28.0	32.9
57	246.1	449.0	30.1	26.0
58	246.5	453.2	25.6	25.8
59	243.1	342.6	25.6	46.6
60	251.8	525.4	28.3	56.1
61	226.6	271.1	29.2	42.9
62	240.0	225.8	24.8	44.9

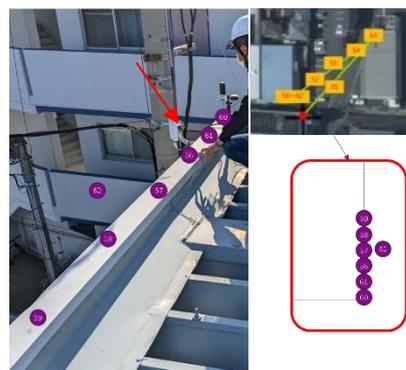


図 3-220 測定ポイント

3) 商用展開時の検討手順

商用での利用を見越し、電波反射板を利用する場合の検討手順を作成した。
別紙資料添付

4) 電波反射板活用に適したユースケースの提案

カバーエリア内の RSRP が強いエリアで地物等に遮蔽されてきたデッドスポットを、近隣の強い RSRP 値（本実証では -75dBm）を得られる場所（UE および RU とともに LOS 環境が必要）に反射板を設置することで反射板の効果を最大限に得られる。

基地局の設置前に、レイトレーシングシミュレーションによりデッドスポットを探し、そのデッドスポットを対策するための反射版の設置位置、設置角度の机上検

討が可能である。その机上検討に必要な時間は、屋外の場合は、市販の地図データから容易に建物モデルが作成できるため、1 エリアで、モデル作成に1 日、伝搬計算に1 時間程度、屋内の場合は、モデルの複雑さにかなり依存するが、簡易なモデルであれば、モデル作成に2 日、伝搬計算に2 時間程度である。

また、伝送性能に影響するような多数の反射がある環境で、明確なパスを構築し伝送性能を向上させることも可能である。

反射板のユースケースとしては、本実証事業のように工場の同一敷地内で5Gの高速・低遅延性を活かして様々な場所（異なる工場建屋内など）に散在する複数の設備の異常検知、AI 検品、スマートグラス利用、或いは工作機械の遠隔制御や製造現場での設計図面（大容量CADデータ）の即時閲覧など生産性向上に繋がるアプリケーションを、1 局の5G 基地局配下で効率的・経済的に実現したい場合において、一部対象スポットが5G デッドスポットとなっている場合などが想定される。

5) 他のエリア改善策（基地局、無線中継器、簡易基地局等）との経済性比較

評価項目	電波反射板 (反射板材質：アルミ板)	基地局	反射フィルム
設置位置(アクセス容易、面積)	電源、伝送路が不要である。 一方でRU および受信点=UE がLOS となる場所が望まれる。 RU や受信点までの距離がある場合には反射板自体が大きくなり、設置面積が必要になる。	電源、伝送路が確保できることが必要。 ポールへの設置であれば、1m 四方程度で設置可能。ただし電源および伝送路の引込が必要。	電源、伝送路が不要である。 一方でRU および受信点=UE がLOS となる場所が望まれる。 RU や受信点までの距離がある場合には反射板自体が大きくなり、設置面積が必要になる。
電源の必要性	不要	必要	不要
伝送路の必要性	不要	必要	不要
施工の容易性	(困難)アルミ板自体を支える支柱、枠の製作と重量があり、施工は困難。設置できる場所も限定される。	(中程度)設置する場所による。既存建物の屋上で通信回線の配管等があれば容易。	(容易)取り扱いおよび施工が非常に簡易。貼り付ける場所の確保だけが問題。
導入リードタイム	1 ヶ月程度	3 ヶ月程度	1 ヶ月程度

移設の容易性	設置場所の検討が必要 ・RU および受信点=UE が LOS となる場所 ・強度検討が必要(耐風速)	電源、伝送路、免許申請が必要	設置場所の検討が必要 ・RU および受信点=UE が LOS となる場所 ・強度検討が必要(耐風速)
調整の容易性	反射する電波を受信点に的確に届けるために角度を調整する必要がある。	基地局装置そのもののコンフィグ設定などが必要。	反射する電波を受信点に的確に届けるために角度を調整する必要がある。
総合評価	中	高	高
電波反射板が有効となる条件や使い方	建物などの遮蔽により期待する受信電力を得られない箇所、且つその箇所に対して見通し条件で反射板を設置できる環境(反射板からRUも見通し条件が必要)。		

評価項目	電波反射板 (反射板材質：アルミ板)	基地局	反射フィルム
設備費用	100 千円	7,000 千円	100 千円
設備施工費用	50 千円	600 千円	10 千円
付帯設備費用(電源、コン柱等)	100 千円	300 千円	0
付帯設備施工費用(電源、コン柱等)	50 千円	300 千円	0
伝送設備費用(光、無線)	0	100 千円	0
伝送設備施工費用(光、無線)	0	100 千円	0
運用・保守費用	0	1,000 千円/年	0
総合評価	低	中	高
電波反射板が有効となる条件や使い方	<p>基地局でカバーできない特定のポイントのみに対し使用したい場合で、上記使用条件であるRU～反射板～UEの見通しと電波伝搬に必要な空間が確保され、各スパンの距離が短い場合には、小規模な反射板で経済的に使用できる。</p> <p>しかしながら、複数の反射板を使用して広範囲をカバーしようとすると基地局の方が経済性が高くなる可能性がある。</p>		

3.3.3.6 【金属反射板とフィルム反射板の特性評価】

本実証実験では金属反射板について検証を進めたが、電波を反射するフィルムがあり、その特性を金属板と比較した。

金属反射板とフィルム反射板の反射板特性を比較するために、反射板設置前後の電波伝搬測定を行った。反射板設置場所からの測定点の距離を変化させた時(試験A)と測定点の高さを変化させた時(試験B)の結果から反射フィルムの性能がアルミ板と同等以上の性能を有していることを検証した。なお、評価基準はエリアテストの測定結果(RSRP)とした。

(1) 評価実施環境

愛媛CATVが産業技術研究所敷地内に設置するSub6基地局を使用した。評価ポイント11~15は南北を建物に遮蔽されており、南東方向80m付近に位置するRUはNLOSとなる。RUおよびポイント11~15がLOSとなるポイント10に金属反射板、フィルム反射板(何れの反射板も2m四方とした)を入れ替えて測定を行った。

測定点の位置を図3-221に示す。15b地点で受信電力が最大になるように各反射板の角度調整を実施した。

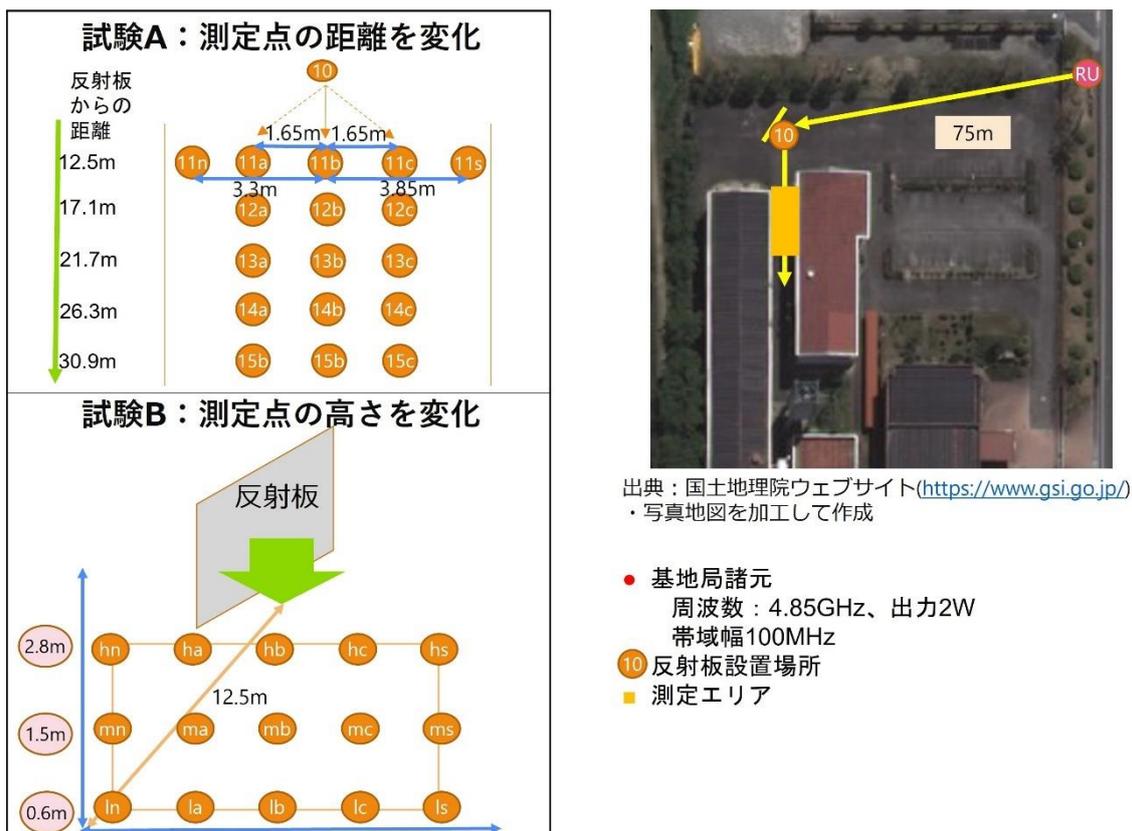


図 3-221 測定点の位置

(2) 評価対象フィルム

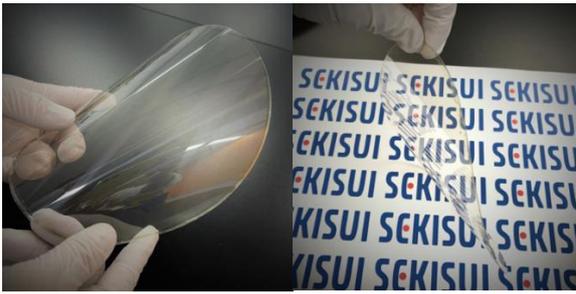


図 3-222 反射フィルム <https://www.sekisui.co.jp/electronics/ja/application/film.html> より抜粋
積水化学工業株式会社が開発する透明フレキシブル電波反射フィルム（SPR-MW01）で、あらゆる物に貼り付けることが可能となっており、フィルム内部に特殊メタマテリアル層があり電波だけを反射することが可能な素材である。

本反射フィルムの反射特性を金属板と比較した。

(3) 評価方法

測定方法および測定条件を図 3-223 に示す。



※本検証では10m内の測定点移動は実施せず測定点を固定して取得した結果を示す。

使用設備

型名	品名
ML8780A	エリアテスト
Z1911B	無指向性アンテナ

エリアテストの設定		単位
測定項目	RSRP	dBm
測定時間	60	s
測定周期	0.04	s

⇒ 1000p以上取得し測定結果は中央値を採用した。

図 3-223 測定方法および測定条件

なお試験AについてはUEを使って各ポイントの中央となる（b）地点で伝送性能測定を実施した。（ポイント 11b,12b,13b,14b,15b で実施。ポイント 10 は反射板無し測定のみ実施）



図 3-224 反射板設置状況



図 3-225 反射板から RU の見通し



図 3-226 反射板から測定ポイント方向の見通し



図 3-227 ポイント 1 1 b から反射板設置方向の見通し

(4) エリアテスト測定結果

1) 試験A：測定点の距離を変化させた場合

表 3-63 に反射板なしとアルミ板の比較結果を、表 3-64 に反射板なしと反射フィルムの比較結果を、表 3-65 に金属反射板とフィルム反射板の比較結果を示す。単位は[dB]。
測定ポイントの()内は反射板からの直線距離を表している。

表 3-63 反射板なしとアルミ板の比較

①反射板なし vs ②アルミ板					
測定ポイント	n	a	b	c	s
11(12.5m)	- 2.6	- 5.2	+ 12.3	+ 8.2	+ 1.9
12(17.1m)		- 0.5	+ 14.2	+ 8.5	
13(21.7m)		+ 4.2	+ 9.2	+ 9.4	
14(26.3m)		+ 4.8	+ 11.6	+ 2.4	
15(30.9m)		+ 3.6	+ 15.2	+ 14.7	

* 算出方法：② - ①

表 3-64 反射板なしと反射フィルムの比較

①反射板なし vs ③反射フィルム					
測定ポイント	n	a	b	c	s
11(12.5m)	+ 6.3	+ 1.0	+ 12.3	+ 9.4	- 0.1
12(17.1m)		- 0.6	+ 14.3	+ 9.7	
13(21.7m)		+ 3.3	+ 12.5	+ 10.0	
14(26.3m)		+ 2.7	+ 14.8	+ 5.0	
15(30.9m)		+ 3.5	+ 17.2	+ 13.2	

* 算出方法：③ - ①

表 3-65 アルミ板と反射フィルムの比

②アルミ板 vs ③反射フィルム					
測定ポイント	n	a	b	c	s
11(12.5m)	+ 8.9	+ 6.2	+ 0.0	+ 1.2	- 2.0
12(17.1m)		- 0.1	+ 0.1	+ 1.2	
13(21.7m)		- 0.9	+ 3.3	+ 0.6	
14(26.3m)		- 2.1	+ 3.2	+ 2.6	
15(30.9m)		- 0.1	+ 2.0	- 1.5	

* 算出方法：③ - ②

両反射板ともに距離の影響を受けることなく増加傾向であり、b、c 地点では 10dB 以上の増加も確認された。また、反射板からの距離が遠い(15b)地点で最大の増加量となった。

11n,11a 地点ではフィルム反射板のみが増加しており、広範囲に効果があるように見受けられた。

反射板から近い距離(11 地点)では広範囲で増加傾向であった。特に n, a 地点では金属反射板と比較して増加(+6.2~+8.9dB)しており、電波の広がり効果も確認された。

反射板から直線的に離れた b 地点では、金属反射板と比較して増加傾向(0~+3.3dB)となっており、反射板からの距離に影響なく金属反射板と同等以上の効果が確認された。

11b,11s,12a~15a,15c 地点では金属反射板と比較して低下傾向(-0.1~-2.1dB)ではあるが、反射板なしと比較すると 11s, 12a 以外は増加傾向(+1.0~+17.2dB)のため広範囲で効果が確認された。

2) 試験B：測定点の高さを変化させた場合

表 3-66 に反射板なしと金属反射板の比較結果を、表 3-67 に反射板なしとフィルム反射板の比較結果を、表 3-68 に金属反射板とフィルム反射板の比較結果を示す。単位は[dB]。測定ポイントの()内は地上からの高さを表している。

表 3-66 反射板なしとアルミ板の比較

①反射板なし vs ②アルミ板					
測定ポイント	n	a	b	c	s
h(2.8m)	-2.9	-1.6	+1.8	+5.0	-3.3
m(1.5m)	-2.6	-5.2	+12.3	+8.2	+1.9
l(0.6m)	-3.2	+3.1	+10.8	-1.7	-9.9

*算出方法：② - ①

表 3-67 反射板ありとアルミ板の比較

①反射板なし vs ③反射フィルム					
測定ポイント	n	a	b	c	s
h(2.8m)	-3.9	-7.0	-0.9	+5.1	-7.6
m(1.5m)	+6.3	+1.0	+12.3	+9.4	-0.1
l(0.6m)	-8.1	+3.2	+13.3	+0.0	+0.3

*算出方法：③ - ①

表 3-68 アルミ板と反射フィルムの比較

②アルミ板 vs ③反射フィルム					
測定ポイント	n	a	b	c	s
h(2.8m)	- 1.0	- 5.4	- 2.7	+ 0.1	- 4.3
m(1.5m)	+ 8.9	+ 6.2	+ 0.0	+ 1.2	- 2.0
l(0.6m)	- 4.9	+ 0.1	+ 2.5	+ 1.7	+ 10.2

*算出方法：③ - ②

アルミ板は m (1.5m) 地点で増加量が最大となり、b 地点では高さに関係なく増加傾向となった。しかし、n 地点ではすべての高さで効果は見受けられなかった。

反射フィルムは l (0.6m)、m (1.5m) の ln、lc、ms を除く地点で効果が確認できたものの、h (2.8m) 地点では c のみが増加となった。

m (1.5m) および l (0.6m) 地点ではアルミ板よりも広範囲で増加傾向であり、且つアルミ板と同等以上の増加量 (+0.1~+10.2dB) が確認された。

h(2.8m)地点では反射板なし、アルミ板と比較して c 地点のみ増加傾向 (+0.1~+5.1dB) であった。今回は反射板の垂直方向の角度調整の影響で、h (2.8m) 地点よりも l (0.6m) 地点で効果が確認されたと推測している。

(5) 伝送性能試験結果

1) 試験 A : 測定点の距離を変化させた場合

表 3-69 反射フィルム検証 伝送性能試験測定結果

ポイント	反射板	DL					UL				
		平均 / NR Pcell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR Pcell SS-SINR (dB)	平均 / スループット	平均 / NR Pcell PDSCH Tput	平均 / NR Pcell SS-RSRP (dBm)	平均 / NR Pcell SS-RSRQ (dB)	平均 / NR Pcell SS-SINR (dB)	平均 / スループット	平均 / NR Pcell PUSCH Tput
10	なし	-76.0	-10.6	21.6	470.0	514.3	-75.3	-10.4	20.3	27.0	15.1
11b	なし	-95.5	-10.8	15.6	351.0	384.6	-91.2	-10.2	18.7	27.3	12.7
12b	なし	-101.0	-11.2	15.3	311.0	335.1	-98.0	-10.5	18.4	25.5	13.6
13b	なし	-102.3	-11.0	15.5	186.0	196.6	-100.8	-10.4	18.8	16.3	9.4
14b	なし	-100.3	-11.0	13.5	180.0	193.8	-100.2	-10.5	15.0	16.1	8.4

15b	なし	-106.7	-11.4	8.1	198.0	215.7	-104.2	-10.4	14.6	2.9	1.9
11b	金属板	-84.3	-10.3	23.8	186.0	199.5	-83.0	-10.4	22.5	28.7	15.0
12b	金属板	-90.2	-10.4	21.5	177.0	194.3	-91.4	-10.3	21.3	36.6	19.7
13b	金属板	-94.8	-10.4	22.8	210.0	224.6	-93.7	-10.4	19.8	39.5	18.1
14b	金属板	-91.3	-10.5	17.9	226.0	237.0	-89.5	-10.4	20.2	35.6	16.5
15b	金属板	-90.0	-10.4	21.9	301.0	322.0	-89.2	-10.4	20.6	37.6	18.9
11b	フィルム	-84.4	-10.5	23.1	284.0	303.4	-82.7	-10.3	22.1	28.7	15.7
12b	フィルム	-93.6	-10.5	20.2	356.0	388.3	-94.1	-10.5	20.5	46.8	22.8
13b	フィルム	-86.8	-10.4	23.3	213.0	228.6	-86.7	-10.4	21.2	32.1	15.9
14b	フィルム	-85.1	-10.4	23.3	216.0	228.9	-84.0	-10.4	20.2	27.3	13.2
15b	フィルム	-86.6	-10.5	22.2	326.0	343.9	-85.5	-10.4	21.8	32.1	16.6

表 3-70 反射フィルム検証 伝送遅延結果

サンプル	反射板	平均 / MIN (msec)	平均 / AVG (msec)	平均 / MAX (msec)	平均 / MDEV (msec)
10	なし	23.954	44.617	72.033	12.471
11b	なし	21.802	44.179	73.301	13.792
12b	なし	22.685	50.737	177.861	27.609
13b	なし	24.652	45.957	72.55	12.372
14b	なし	25.224	55.052	142.917	25.306
15b	なし	25.628	50.133	135.968	24.029
11b	金属板	23.335	47.105	564.521	96.171
12b	金属板	22.631	42.572	71.472	12.317
13b	金属板	22.442	41.181	71.011	12.61
14b	金属板	22.782	44.291	81.615	14.717
15b	金属板	23.184	43.18	70.18	12.245
11b	フィルム	23.705	49.098	105.811	17.921
12b	フィルム	22.010	42.622	71.333	12.407
13b	フィルム	23.473	41.243	71.345	12.558
14b	フィルム	23.308	45.015	71.526	12.456
15b	フィルム	22.928	43.31	72.503	13.194

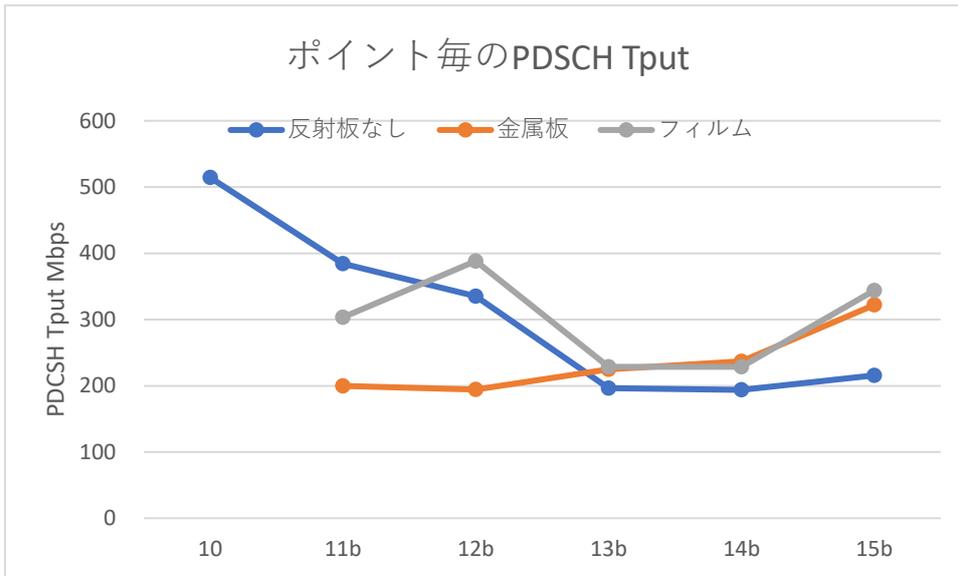


図 3-228 反射フィルム検証 PDSCH スループット

PDSCH スループットについては反射板を設置しない場合に、測定ポイントが 11 から 15 に進むにつれてスループットが減少しており、200Mbps 程度まで落ち込んでおり、測定ポイント毎の SS-RSRP のグラフと同様の傾向を示している。

一方で金属板および反射フィルムはポイント 15 でも 300Mbps 超の PDSCH スループットとなっており、測定ポイント毎の SS-RSRP グラフで反射板なしに比較して強い SS-RSRP を示していることから、反射板の効果であると考えられる。

なお、建物による遮蔽の影響が出始めるポイント 11 では反射板なしの PDSCH スループットが速い結果となった。これは反射板なしの状態では回折波や周辺からの反射波などによる MIMO 効果の結果と想定される。金属板を設置することで、MIMO 効果が発揮されずに 200Mbps に留まったと考える。

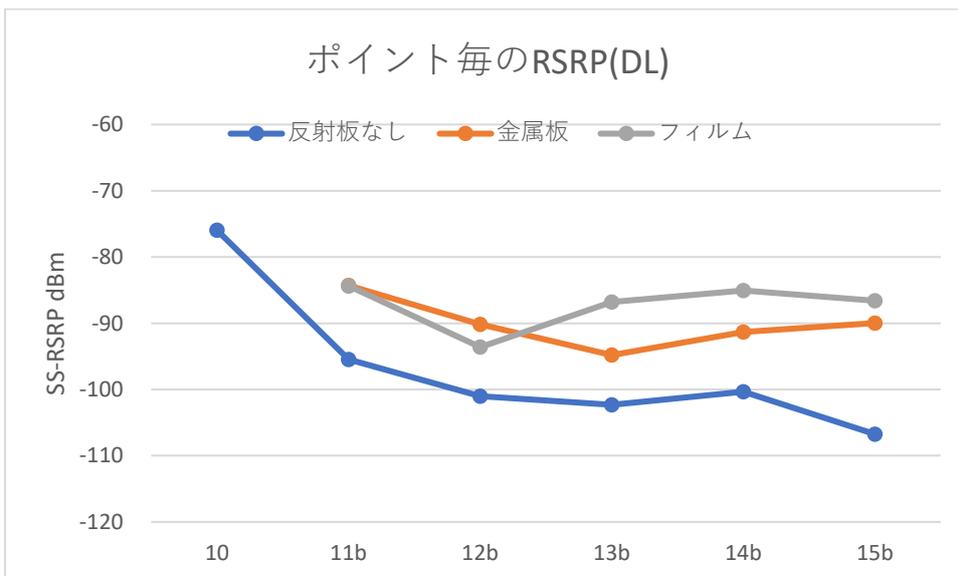


図 3-229 反射フィルム検証 SS-RSRP

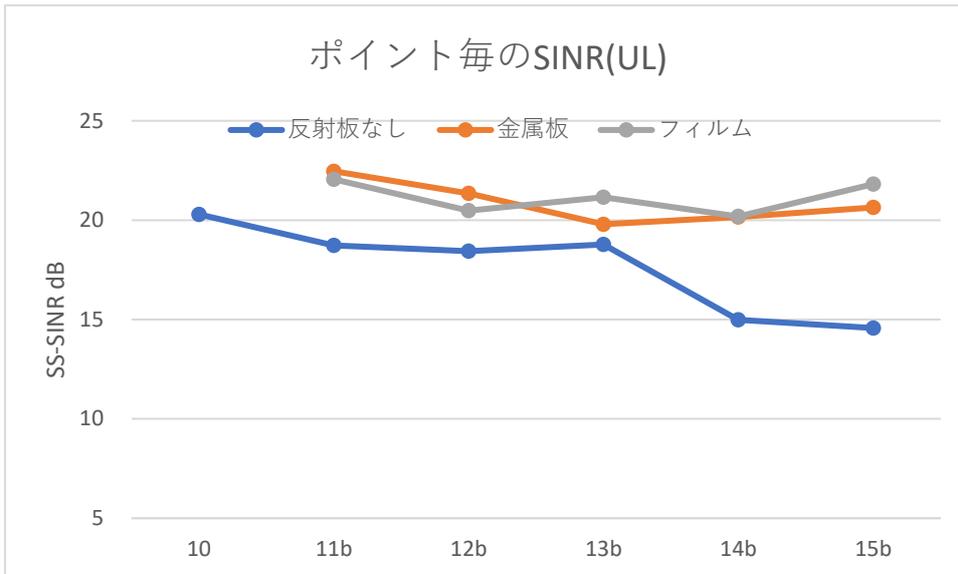


図 3-230 反射フィルム検証 SS-SINR

SS-RSRP、SS-SINR とともにすべてのポイントで金属反射板、フィルム反射板ともに反射板なしの値を上回った。

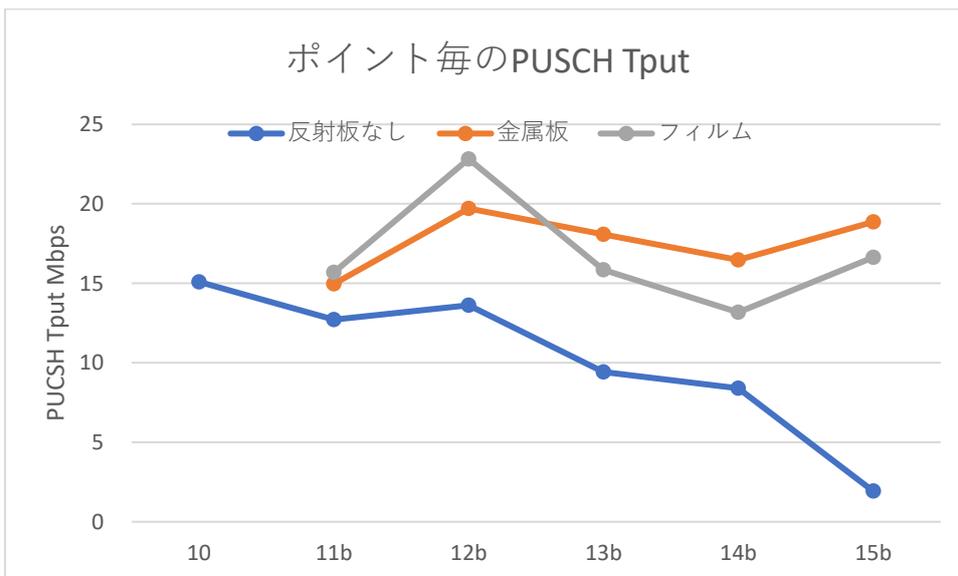


図 3-231 反射フィルム検証 PUSCH スループット

PUSCH スループットは、PDSCH 同様に反射板を設置しない場合に、測定ポイントが 11 から 15 に進むにつれてスループットが減少しており、ポイント 15 では 1.9Mbps まで落ち込んでいる。

一方で金属板、反射フィルムを設置することでポイント 15b の PUSCH スループットは 16.6Mbps 以上を維持しており、反射板の効果が認められる。

また反射フィルムは金属板と同等の性能を有していると判断する。

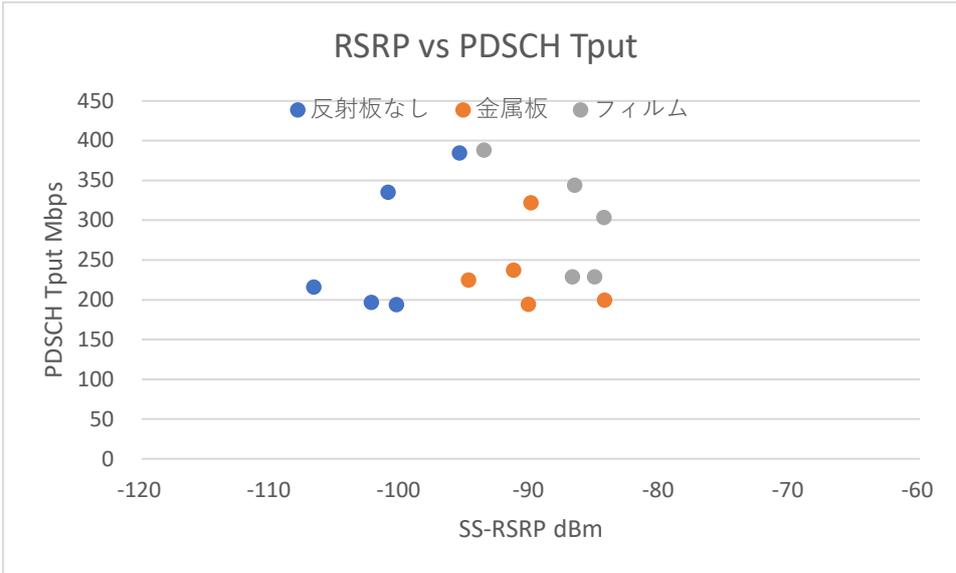


図 3-232 反射フィルム検証 SS-RSRP vs PDSCH スループット
 ポイント 10 のデータはグラフから排除。
 金属反射板、フィルム反射板ともに SS-RSRP が改善されているが、PDSCH スループットの値が上がらない。特に金属反射板のポイント 11b、12b でその傾向が顕著である。

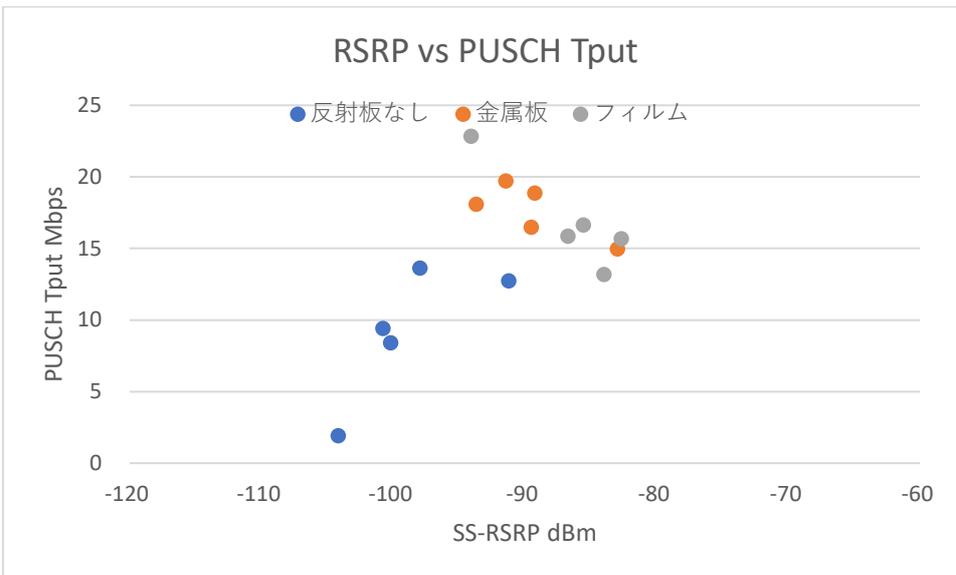


図 3-233 反射フィルム検証 SS-RSRP vs PUSCH スループット
 ポイント 10 のデータはグラフから排除。

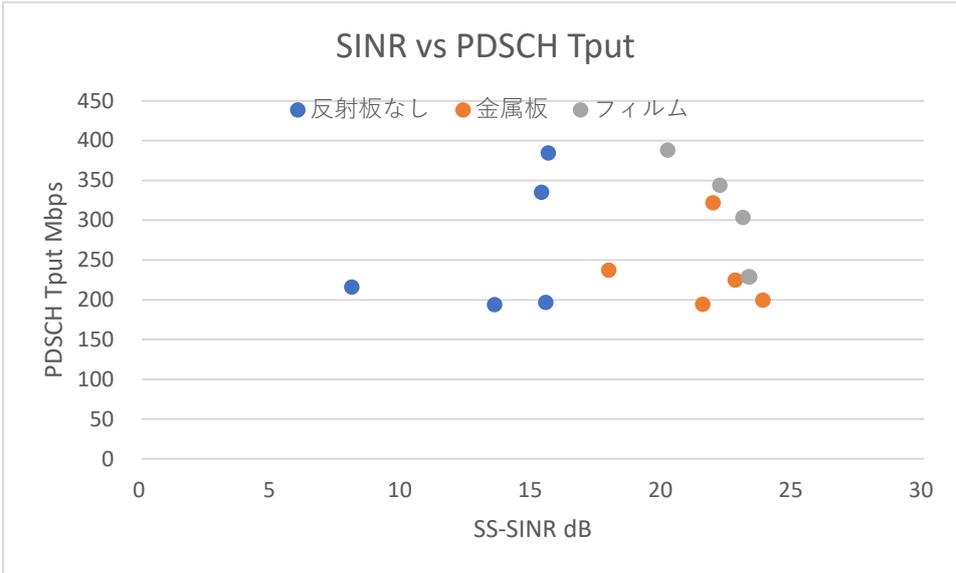


図 3-234 反射フィルム検証 SS-SINR vs PDSCH スループット
ポイント 10 のデータはグラフから排除。

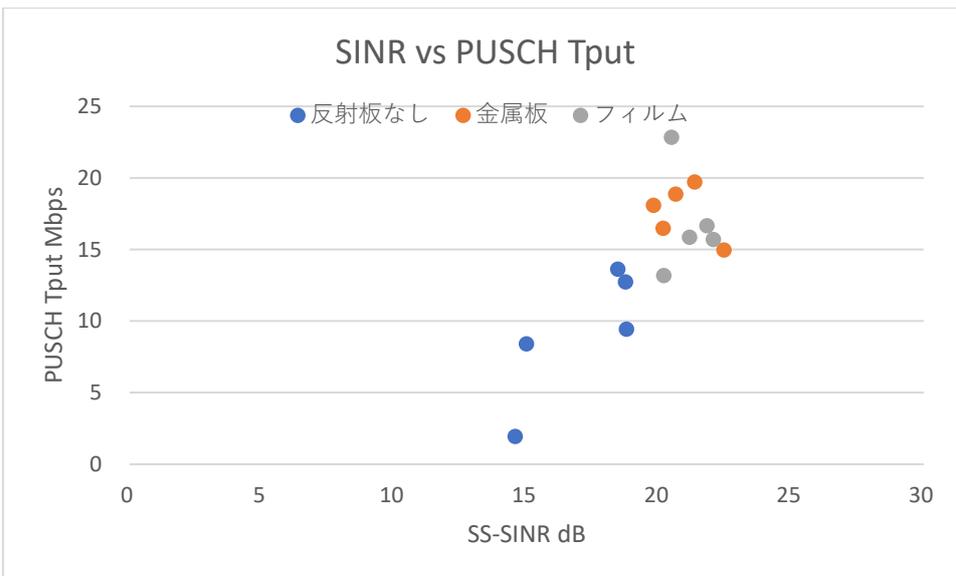


図 3-235 反射フィルム検証 SS-SINR vs PUSCH スループット
ポイント 10 のデータはグラフから排除。

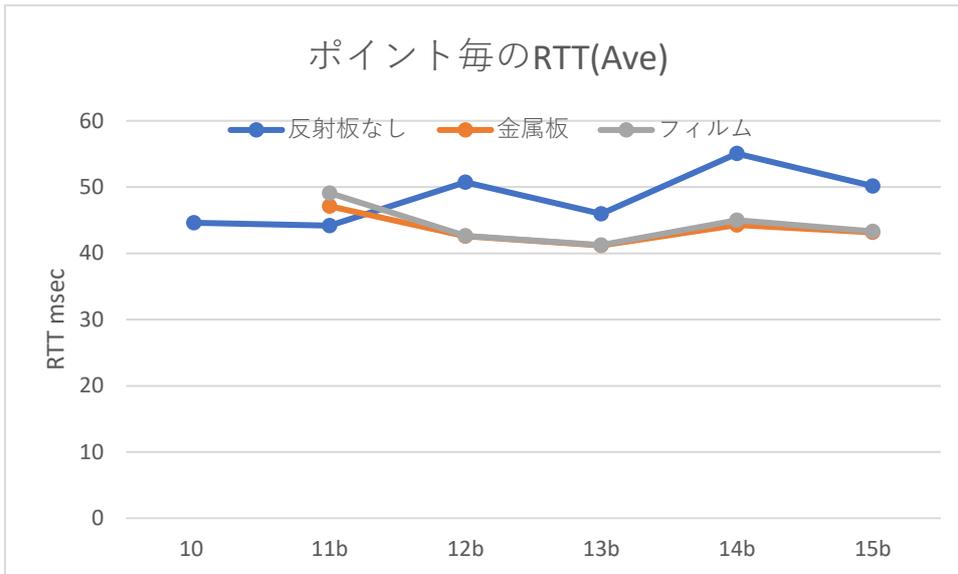


図 3-236 反射フィルム検証 伝送遅延

(6) 結論

サンプル数が少ないために断定はできないが、本実証環境下で伝送性能はフィルム反射板は反射板無しに比較して改善効果が認められ、その特性は金属反射板と同等以上であると判断できる。

フィルムは金属に比較して軽量であること、また透明であることから設置場所に自由度ができる等のメリットがあり、実運用上有用な反射素材であると考えられる。

3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

「このテーマには取り組まない」

3.3.5 その他のテーマ

3.3.5.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

他の利用者と回線を共有する公衆 5G では品質保証が難しく、自由度も低いため適さない。また、Wi-Fi は干渉の発生が品質保証の課題となるため適さない。有線 LAN を工場内に敷設することは、モビリティが低いため、適さない。これらの課題に対して、地域でローカル 5G 機器を共有することで、高い品質とモビリティを確保できると考えられる。

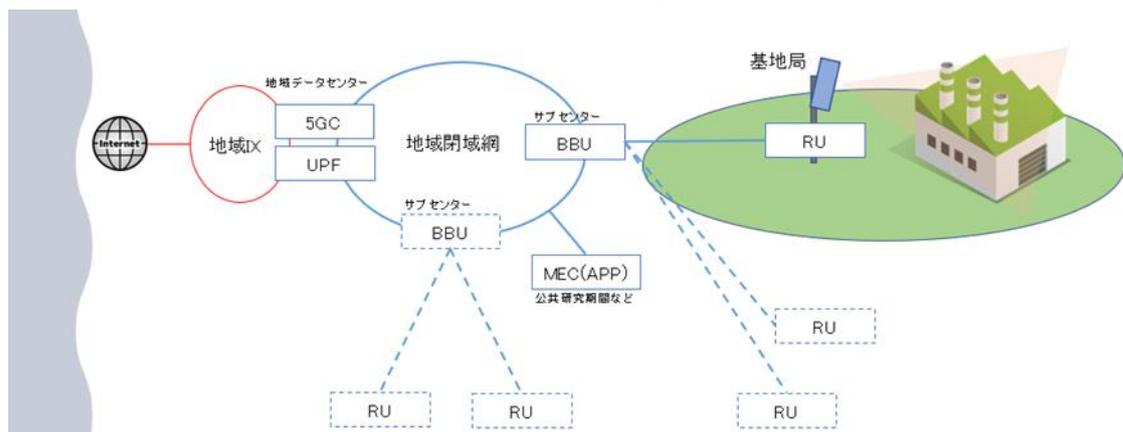
製造の現場での利用という社会実装を実現するシェアリングモデルに則した品質確保に関する実証を行う。

(2) 実証目標

今回の実証で提案する地域コア設備共有型ローカル 5G、すなわち、5GC (5G コア) 等のローカル 5G 運用の為に機器を地域に設置しながらも、コストの上昇要因となるこれらの機器を、地域の利用者で共用する形態を実現する事が、オンプレミス型構成に比べ、劣後する事無く、コストを低減しながら、ローカル 5G の超低遅延、超高速を活かすことができることを定量的に実証する。

3.3.5.2 実証仮説

ローカル 5G のユーザ側設備を極小化し、他の設備をすべて地域の閉域網内で共有することでオンプレミス型同等の品質・性能の確保を可能とし、ユーザ側の設備投資コストの抑制を図る。また、地域閉域網の活用により機密性の確保とボトルネックの回避、トラヒックの域外流出・構築運用コストの肥大化を回避する。



3.3.5.3 評価・検証項目

定量的実証では、本実証を踏まえてサービス展開を予定している地域シェア型ローカル 5G モデルに加え、4 つのネットワーク形態 (計 5 形態) の通信遅延と通信速度 (スループット) を計測する。また、ローカル 5G では、同期パターン、非同期パターンの違いについて

も計測する。

計測を行う 5 つの形態は以下の通りである。

- ① キャリア LTE+インターネット経由での接続
- ② 5GC、MEC を現地オンプレ型として設置
- ③ 光回線で直結
- ④ クラウド 5GC（東京設置）を活用したネットワーク
- ⑤ 5G コア設備を地域で共有したネットワーク

3.3.5.4 評価・検証方法

計測を行うネットワーク形態の構成を示す。

1 キャリア LTE+インターネット経由での接続

公衆携帯電話サービスである LTE を無線通信区間として利用。

MEC（産業技術研究所）---キャリア LTE(インターネット VPN) ---LTE ルーター（ツウテック・ユタカ）

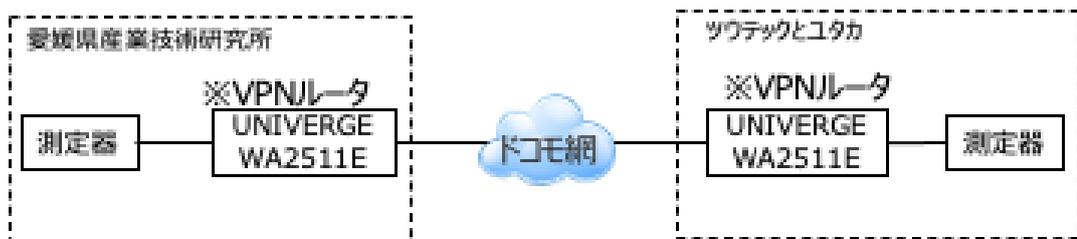


図 3-237 LTE 構成

2 5GC、MEC を現地オンプレした場合との比較

ローカル 5G の性能を最大限発揮できるが、設備費が高価となる。

MEC（ツウテック・ユタカ）5GRU---BBU---5GC---LAN---PC（ツウテック・ユタカ）

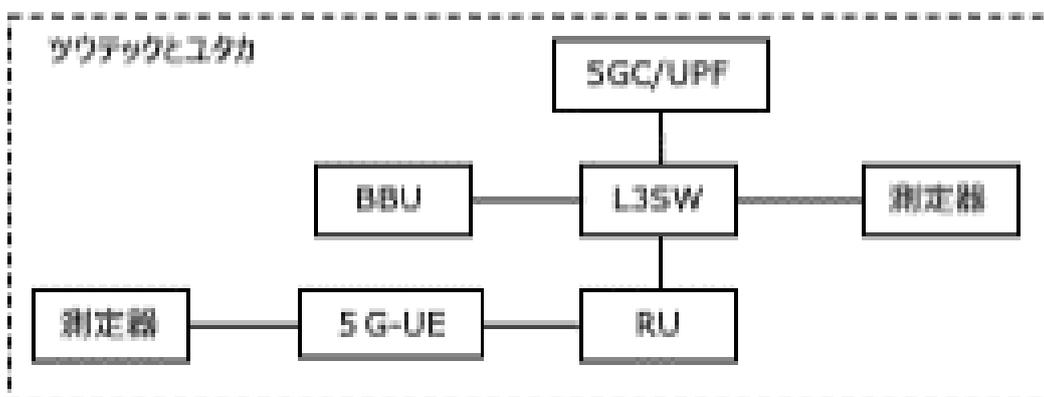


図 3-238 ローカル 5G オンプレミス型構成

3 光バックボーン+Wi-Fi

低遅延通信を期待できるが、有線接続となる。

MEC（産業技術研究所）---光閉域網---Wi-Fi AP（ツウテック・ユタカ）



図 3-239 光回線構成

4 クラウド 5GC（東京設置）を活用したネットワーク(U プレームはローカル折り返し)

5GC 等の機器を共有できるためコストは低くなるが、遅延が増える。

MEC（産業技術研究所）---地域閉域網---愛媛 CATV---専用線---クラウド 5GC---専用線---愛媛 CATV---地域閉域網---5G RU（ツウテック・ユタカ）

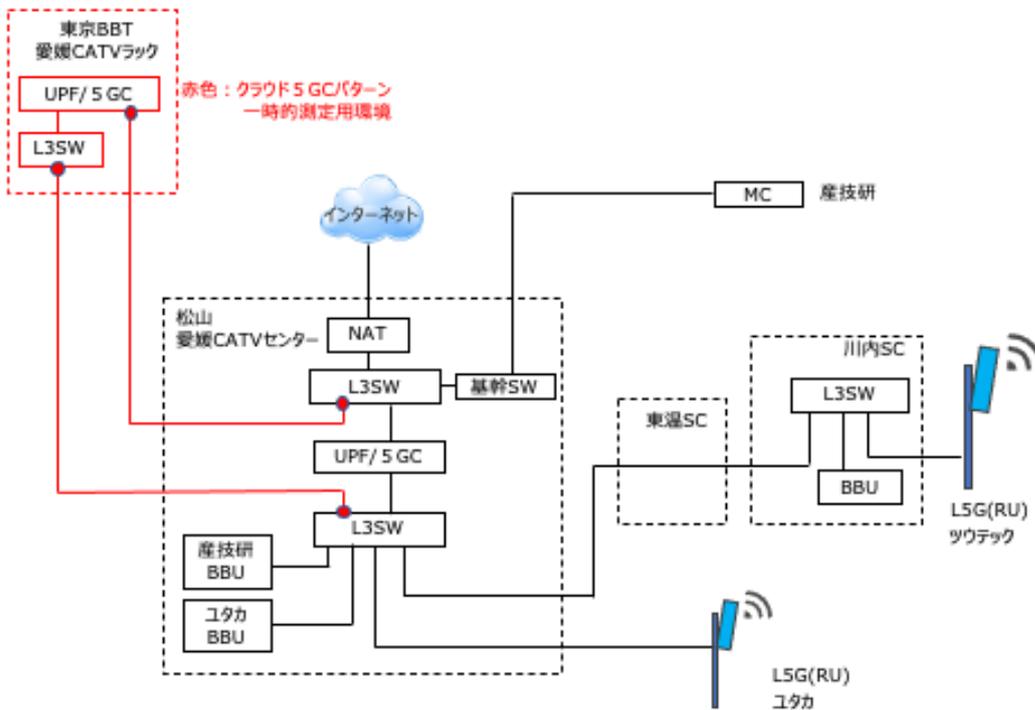


図 3-240 ローカル 5G コア装置東京設置構成

5 地域コア設備共有型（注）（本件構成）

5GC をローカル 5G 地域サービス事業者（愛媛 CATV）に設置し、UE と 5GC 等の間を地域サービス事業者の光回線で結ぶため、低遅延を実現。また、5GC をローカル 5G サービス利用者で共用するため、コストの低減が図れる。

（注）愛媛県内の事業者がローカル 5G を共同で使用することを指す。

MEC（産業技術研究所） ---地域閉域網---ローカル 5GC(愛媛 CATV)---地域閉域網---
5G RU(ツウテック・ユタカ)

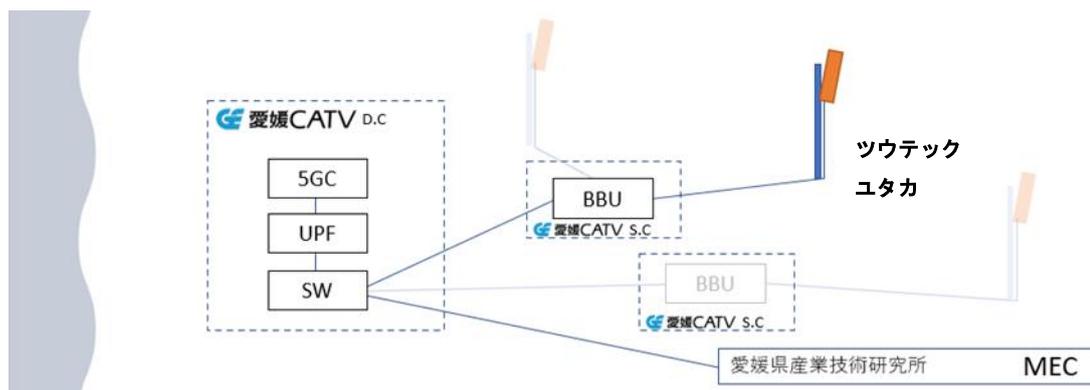


図 3-241 地域コア設備共有型

3.3.5.5 遅延計測結果及び考察

○測定方法

愛媛大学で独自に開発を行ったネットワーク遅延計測装置を用い遅延の計測を行う。遅延計測として広く行われている ping コマンドによる計測は、往復に要する遅延時間を二等分することで遅延時間としているが、ネットワークが対称性を持っているとの仮説に基づく計測方法であり、現実のネットワークの持つ非対称性から、この方法では精度に問題がある。特に、基地局と移動局の送信出力が異なり、TDD においてアップリンクとダウンリンクが非対称である 5G では、一方向ずつの計測が必要である。

一方、愛媛大学開発の装置は、GNSS (GPS 等) の電波を受信し、装置内部の時計を随時 GNSS 衛星搭載の原子時計に同期することで、NTP における Stratum 1 サーバーとして機能する内部時計を持つことができる。この装置二台を遠隔二点に設置する事で、一方向ずつの個別の遅延を、精度誤差 1ms 以下で計測が可能である。

本実証においては、測定装置を IoT 機器であるセンサーの設置場所、制御対象機器の設置場所、データの集積、分析をコンピュータ (サーバー) に置くことで、コンピュータがセンサーからの情報を受け取るまでの通信や、機器制御で重要となるコンピュータから機器への通信の遅延を計測する。

○測定結果

各条件下での、「上り」、「下り」それぞれの通信遅延について、400 回以上の測定を行っ

た。測定結果の「平均」、「中央値」、「最大」、「最小」、ならびに「標準偏差」を示す。合わせて、測定結果の分布を示す箱ひげ図（外れ値を除外）を掲示する。

① キャリア LTE+公衆網

表 3-71 LTE/ツウテック-産業技術研究所間 測定回数（片方向あたり）n=400

	ツウテック⇒産業技術研究所 （上り）	産業技術研究所⇒ツウテック （下り）
平均（ms）	63.7	49.0
中央値（ms）	62.2	47.5
最大（ms）	990.7	999.9
最小（ms）	41.6	31.2
標準偏差（ms）	47.5	48.7

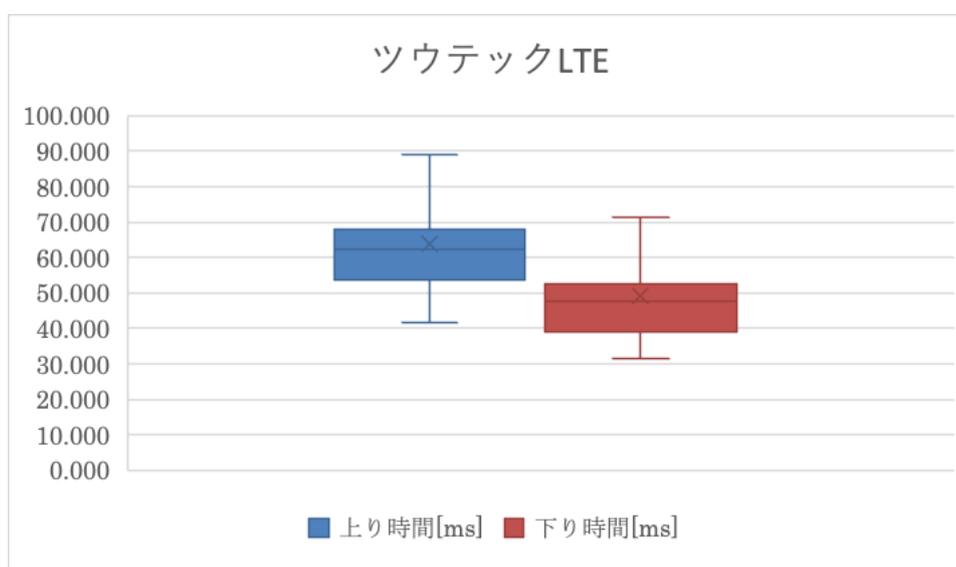


図 3-242 LTE/ツウテック-産業技術研究所間 測定回数（片方向あたり）n=400

表 3-72 LTE/ユタカ-産業技術研究所間 測定回数（片方向あたり）n=400

	ユタカ⇒産業技術研究所 （上り）	産業技術研究所⇒ユタカ （下り）
平均（ms）	42.1	48.7
中央値（ms）	41.6	48.3
最大（ms）	131.4	89.3
最小（ms）	28.9	30.6
標準偏差（ms）	9.23	7.51

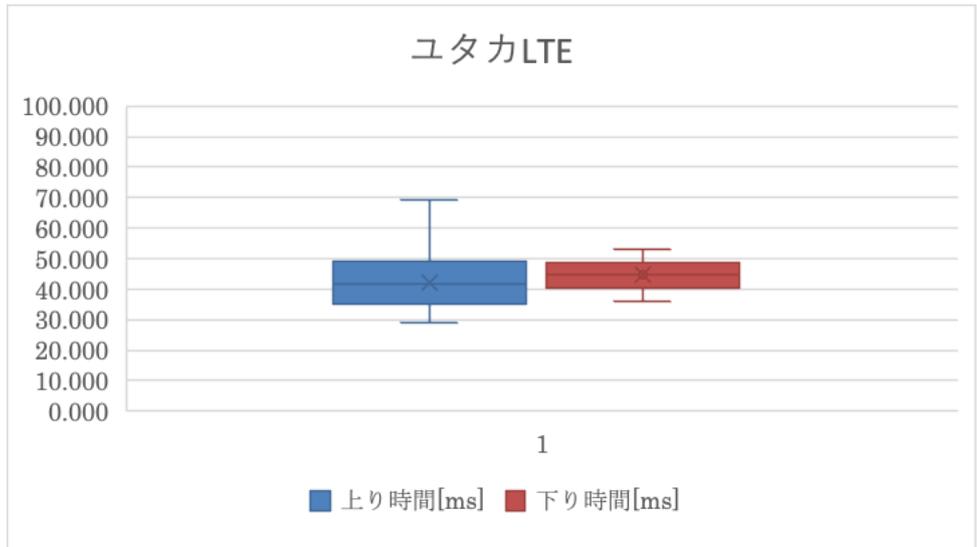


図 3-243 LTE/ユタカ-産業技術研究所間 測定回数（片方向あたり）n=400

② 5G設備を全てオンプレミス型として設置

○移動局・基地局間

表 3-73 オンプレミス型/測定回数（片方向あたり）n=550

	移動局⇒基地局（上り）	基地局⇒移動局（下り）
平均（ms）	32.8	9.1
中央値（ms）	25.8	9.3
最大（ms）	105.7	18.0
最小（ms）	10.2	7.0
標準偏差（ms）	15.7	1.1

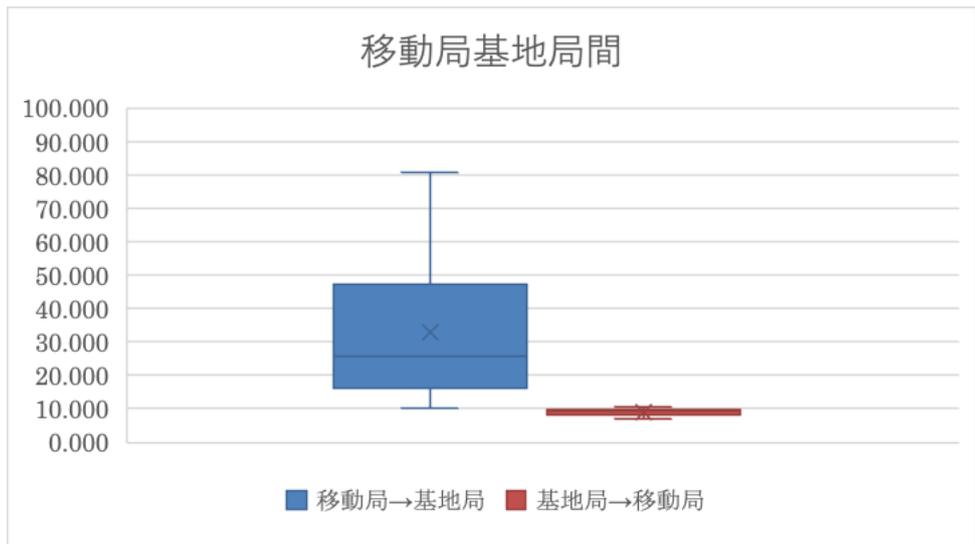


図 3-244 オンプレミス型/測定回数（片方向あたり）n=550

○移動局相互間 測定回数 n=400

表 3-74 オンプレミス型（移動局間）／測定回数（片方向あたり） n=550

	移動局⇒移動局
平均 (ms)	38.3
中央値 (ms)	34.8
最大 (ms)	83.6
最小 (ms)	19.3
標準偏差 (ms)	12.3

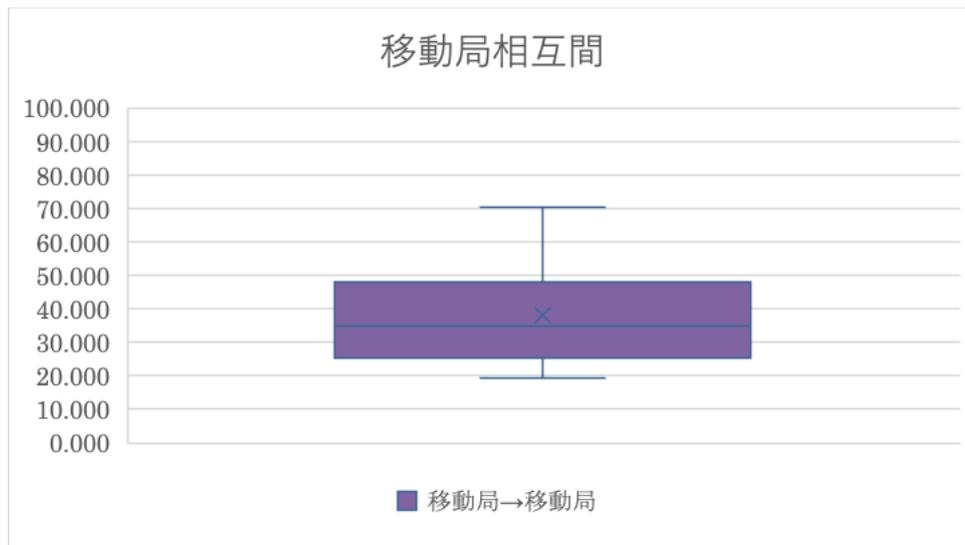


図 3-245 オンプレミス型（移動局間）／測定回数（片方向あたり） n=550

③ 光回線で直結

「ツーテック-産業技術研究所間」、「ユタカ-産業技術研究所間」のいずれについても、片方向あたり 400 回の遅延測定を行ったが、往復での遅延時間においても、遅延計測装置の測定限界である 1ms 以下の遅延であった。

④ 5G C を遠隔地（東京）に設置

・同期

表 3-75 東京コア・同期／ツーテック-産業技術研究所間

測定回数（片方向あたり） n=400

	ツーテック⇒産業技術研究所 （上り）	産業技術研究所⇒ツーテック （下り）
平均 (ms)	43.8	25.5
中央値 (ms)	47.7	25.6
最大 (ms)	60.8	29.4
最小 (ms)	36.9	23.2
標準偏差 (ms)	6.7	1.5

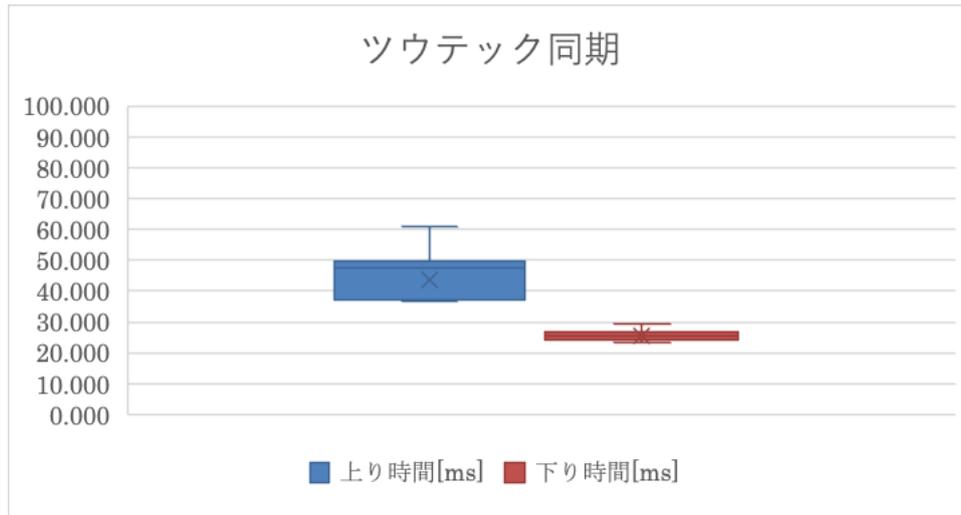


図 3-246 東京コア・同期／ツウテック-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり）n=400

表 3-76 東京コア・同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり）n=400

	ユタカ⇒産業技術研究所 (上り)	産業技術研究所⇒ユタカ (下り)
平均 (ms)	42.1	21.2
中央値 (ms)	46.2	20.5
最大 (ms)	62.8	23.4
最小 (ms)	32.8	19.6
標準偏差 (ms)	9.3	1.3

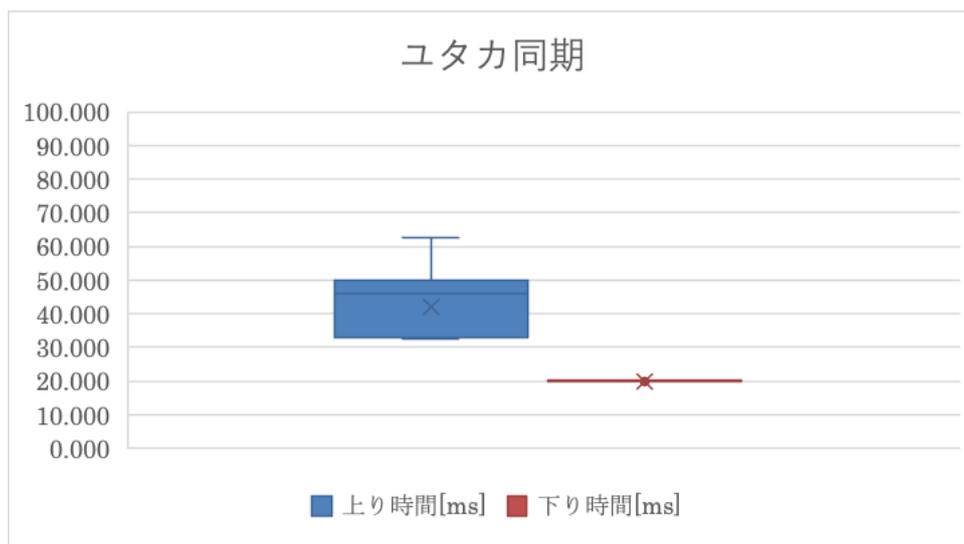


図 3-247 東京コア・同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり）n=400

・準同期

表 3-77 東京コア・準同期／ツーテック-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり）n=400

	ツーテック⇒産業技術研究所 （上り）	産業技術研究所⇒ツーテック （下り）
平均（ms）	32.8	26.6
中央値（ms）	33.9	26.1
最大（ms）	47.1	48.0
最小（ms）	18.2	22.8
標準偏差（ms）	6.1	2.5

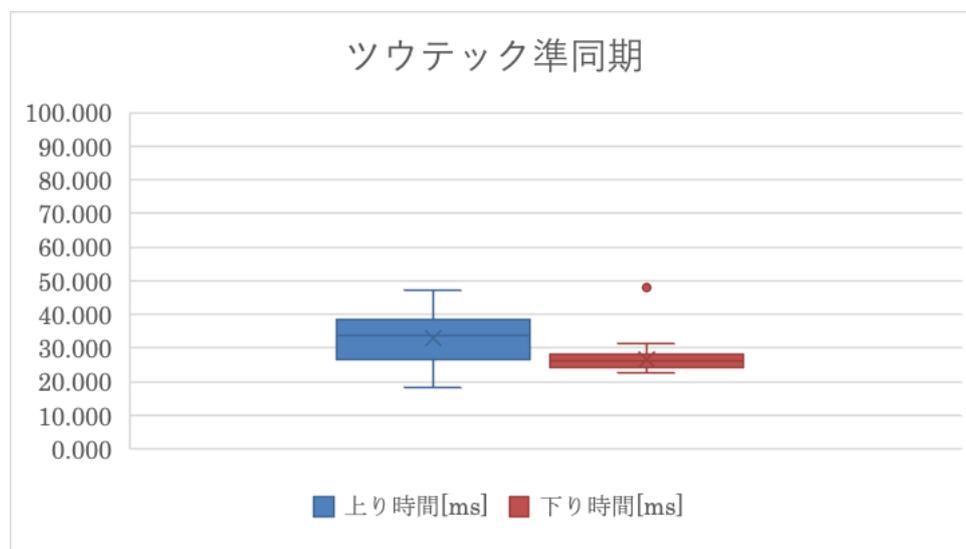


図 3-248 東京コア・準同期／ツーテック-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり）n=400

表 3-78 東京コア・準同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり）n=400

	ユタカ⇒産業技術研究所 （上り）	産業技術研究所⇒ユタカ （下り）
平均（ms）	36.5	22.7
中央値（ms）	39.4	22.3
最大（ms）	67.8	31.4
最小（ms）	27.7	19.8
標準偏差（ms）	8.7	1.8

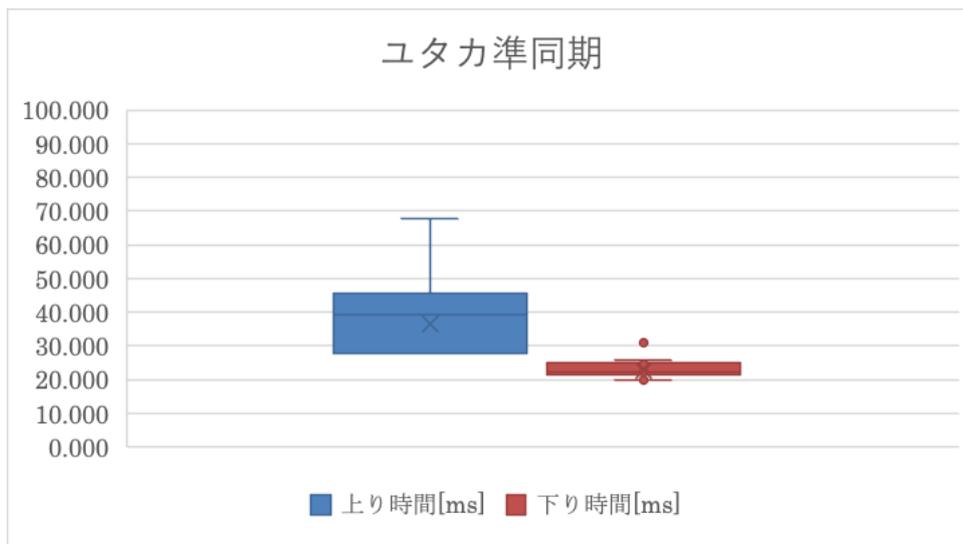


図 3-249 東京コア・準同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=400

⑤ 地域コア設備共有型
・同期

表 3-79 地域コア・同期／ツウテック-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=400

	ツウテック⇒産業技術研究所 (上り)	産業技術研究所⇒ツウテック (下り)
平均 (ms)	38.6	8.3
中央値 (ms)	40.2	7.8
最大 (ms)	243.7	26.4
最小 (ms)	13.7	5.9
標準偏差 (ms)	12.0	2.2

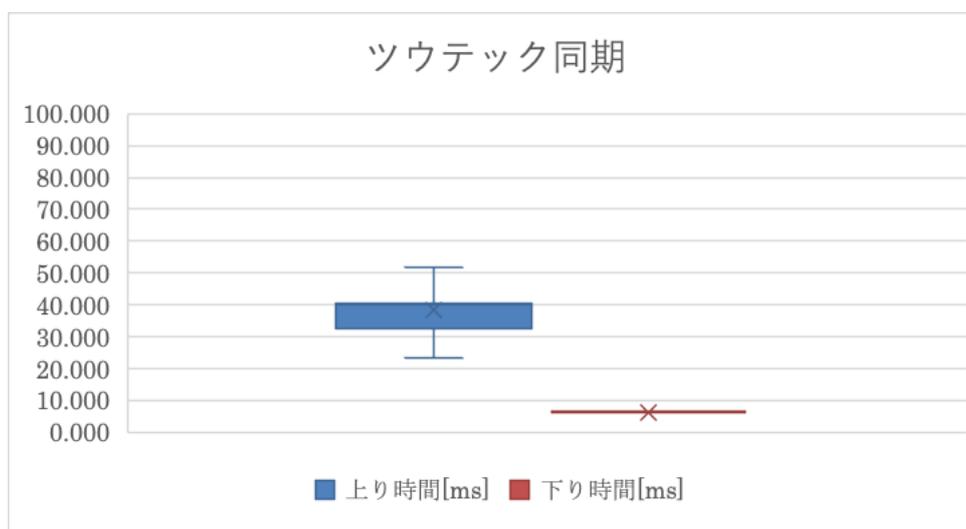


図 3-250 地域コア・同期／ツウテック-産業技術研究所間

測定回数（片方向あたり） n=400

表 3-80 地域コア・同期／ユタカ-産業技術研究所間 測定回数(片方向あたり) n=800

	ユタカ⇒産業技術研究所 (上り)	産業技術研究所⇒ユタカ (下り)
平均 (ms)	36.8	10.3
中央値 (ms)	45.0	10.4
最大 (ms)	75.4	27.5
最小 (ms)	10.7	5.9
標準偏差 (ms)	16.6	2.0

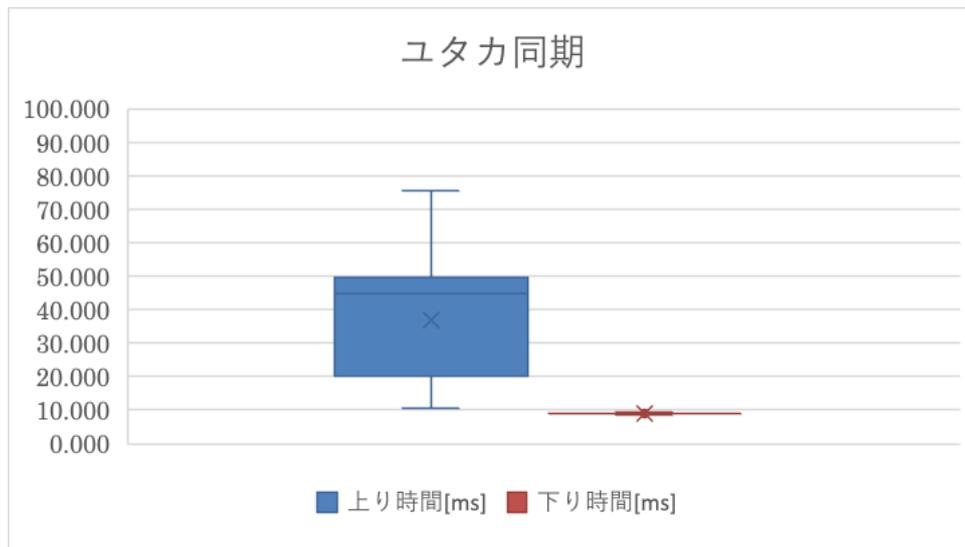


図 3-251 地域コア・同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=800

・準同期

表 3-81 地域コア・準同期／ツータック-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=400

	ツータック⇒産業技術研究所 (上り)	産業技術研究所⇒ツータック (下り)
平均 (ms)	20.6	11.7
中央値 (ms)	20.3	10.9
最大 (ms)	48.1	20.4
最小 (ms)	6.7	8.6
標準偏差 (ms)	11.8	2.5

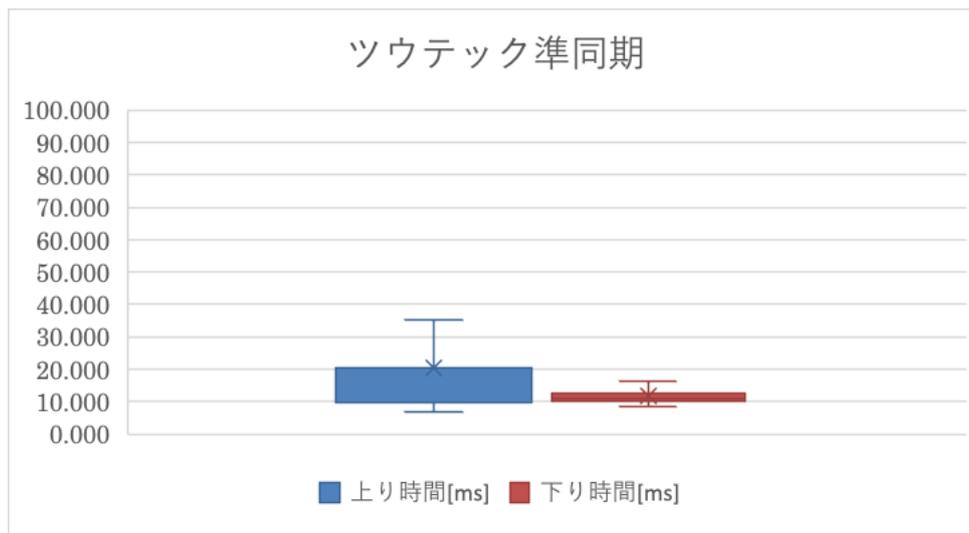


図 3-252 地域コア・準同期／ツウテック-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=400

表 3-82 地域コア・準同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=800

	ユタカ⇒産業技術研究所 (上り)	産業技術研究所⇒ユタカ (下り)
平均 (ms)	30.0	11.2
中央値 (ms)	35.1	10.7
最大 (ms)	62.2	21.0
最小 (ms)	14.4	5.8
標準偏差 (ms)	14.8	2.7

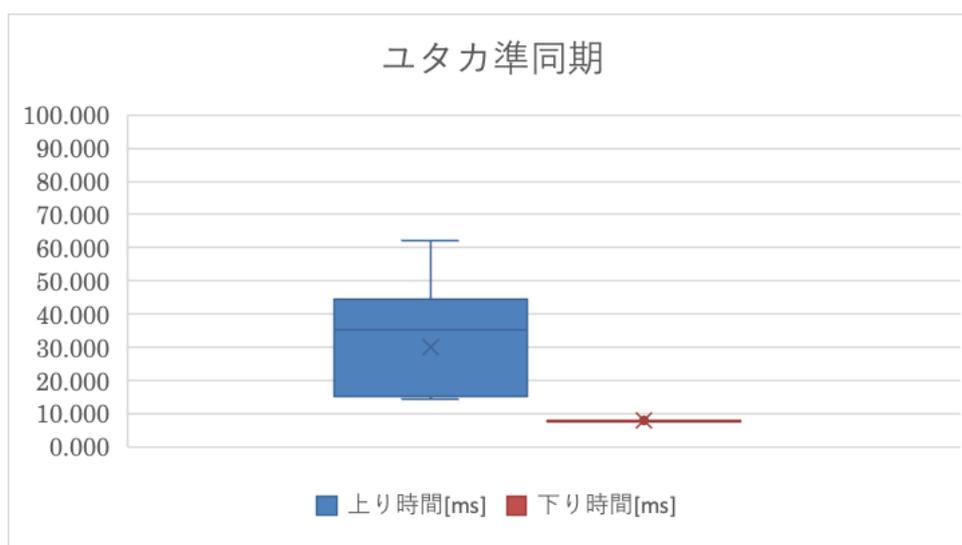


図 3-253 地域コア・準同期／ユタカ-産業技術研究所間
測定回数（片方向あたり） n=800

○ 考察

本事業で実用化を目指している地域コア設備共有型の特徴の考察を行った後、地域コア設備共有型と他の通信方法との比較、検証を行う。

(1) 地域コア設備共有型の特徴考察

表 3-79 から表 3-82 をみて分かるように、地域コア設備共有型では、設置環境（ツーテック、ユタカの別）や、同期／準同期で、多少の違いはあるものの、いずれの場合も、下り方向（産業技術研究所から各拠点向き）が、上り方向（各拠点から産業技術研究所向き）に比べ、通信遅延が短い。その大きさは、中央値下り方向で 7.8 から 10.9ms、同じく上り方向で 20.3 から 45.0ms であった。

また、遅延時間のばらつきを示す「標準偏差」を見ると、上り方向では 11.8 から 16.6 であるのに対して、下り方向では 2.0 から 2.7 と小さい。

さらに、同期パターンと準同期パターンを比較すると、準同期パターンでは、上り方向の遅延時間が、同期パターンに比べ通信遅延の改善が著しく見られる。

これらの事から、上り方向に比べ、下り方向は、遅延時間が短く、また、遅延の変動も少なく安定的に通信ができていくことがわかる。これらの結果となった理由は、今回の実証での観測データのみでは、明確には特定できなかったが、下り方向の方が、遅延時間が短くなった理由として、無線フレーム 5ms の間に、同期 TDD では、アップリンクの区間が 1 度であるのに対し、準同期 TDD では 2 度出現することも可能性として考えられる。しかし、この差は、確率論的には、およそ 1ms 程度の差に過ぎないであろうことから、これだけを理由とするには不十分である。一方、上り方向では、移動局側からのデータの送信となるが、移動局の出力は、基地局からの出力に比べ弱い。このことは、移動局の電波を基地局が受信できず、再送をおこなう頻度を高める要因となる。この状態の発生が、結果として通信遅延の増加、ならびにそれに伴う、遅延量の変動をもたらす可能性の一つと考えられる。

(2) LTE との比較

表 3-71（LTE／ツーテック-産業技術研究所間）と表 3-79（地域コア・同期／ツーテック-産業技術研究所間）、並びに、表 3-72（LTE／ユタカ-産業技術研究所間）と表 3-80（地域コア・同期／ユタカ-産業技術研究所間）のそれぞれで比較して分かるように、下り方向（産業技術研究所から各拠点向き）で、LTE では遅延時間が 50ms 程度であったものが、ローカル 5G の利用では 10ms 程度と、ローカル 5G の利用により著しく遅延時間が改善されることがわかる。なお、上り方向については、ツーテックでは LTE の中央値が 62.2ms から、ローカル 5G によって 40.2ms と 20.0ms の減少が見られたが、ユタカでは、LTE の 41.6ms から 45.0ms へと増加している。この理由は判明していないが、表 3-72 にあるように、「ユタカ⇒産業技術総合研究所」の標準偏差が、地域コア設備共有型ローカル 5G の他の条件に比べ大きいことから、電波干渉など、なにがしかの電波障害の発生に伴うものであることが原因の一つとして推測できる。

(3) 5Gコア装置東京設置構成との比較

コア装置を遠隔地（東京）に設置する構成と地域で共有する構成との比較を、拠点別ならびに同期／準同期の別を、他を同一条件として比較すると、表 3-75 と表 3-79、表 3-76 と表 3-80、表 3-77 と表 3-81、表 3-78 と表 3-82 が対応する。これらいずれの比較においても、地域コア設備共有型の方が、遅延時間の短縮を行うことができた。その差は 5.2～12.2ms であった。

(4) オンプレミス型構成との比較

オンプレミス型構成の遅延結果である表 3-73 と、地域コア設備共有型（同期パターン）の結果である表 3-79 ならびに表 3-80 を比べると、下り方向では、地域コア設備共有型のツークポイントが最も遅延時間が短く、オンプレミス型構成、地域コア設備共有型のユタカ拠点と続いている。上り方向では、オンプレミス型が最も通信遅延が短く、オンプレミス型構成 2 拠点がほぼ同程度で続いている。しかし、これらの差は、中央値比較で、下り方向で 7.8～10.4ms の範囲に入っており、上り方向では 25.8～45ms の範囲に入っている。

これらの結果より、下り方向については、オンプレミス型構成と地域コア設備共有型で、遅延に関しての性能差はないと言えよう。一方、上り方向については、オンプレミス型に比べて遅延特性がおとると言える結果となった。しかし、地域コア設備共有型で、遅延時間が特に劣った「ユタカ拠点」の結果を見ると、標準偏差の値が後比べて大きいことから、遅延時間測定時に、なにがしかの電波障害が発生したのでは無いかと推察される。

遅延特性のまとめ

以上の比較、考察をまとめると、遅延について以下に示す事が、本実証により示された。

- 地域コア設備共有型は、5G コア装置東京設置構成に対して、遅延特性が優れており、その差は 5.2～12.2ms であった。
- オンプレミス型と地域コア設備共有型では、ほぼ同程度の遅延特性であった。
- LTE と比して、ローカル 5G の利用は、遅延時間の改善が見られた。特に、下り方向の差異が顕著であり、中央値で 50ms 程度から 10ms 以下への改善も見られた。
- 準同期モードは、同期モードに比べ上り方向の遅延時間が、10～20ms 程度向上している。
- 下り（基地局から移動局方向）の遅延の変動に比べ、上り（移動局から基地局方向）の遅延の変動は大きかった。その理由は確定できていないが、送信電力の違いによる、外乱（障害物や干渉等）の影響の受けやすさが考えられる。

地域コア共有型ローカル 5Gにより、オンプレミス構成と同等の通信遅延を実現でき、コアの東京設置構成よりも短い遅延とすることができる。コアの共有により、設備コストを抑えながらローカル 5G の特徴を活かせることが実証された。

上り（移動局から基地局方向）については、「外れ値」といえる測定結果が生じた。しかしながら、「外れ値」の発生は、極めて稀であり、連続的には発生していなかった。動画像の送信といった用途では、タイムアウトによるフレーム落ちが生じても、多くの用途では問題

とならない。一方で、ミッションクリティカルな用途の場合には、外れ値によるチェンの対策を取る必要がある。今回の外れ値の発生はバースト的ではなかったため、後述の通信速度（スループット）特性から、動画像では必要とされるフレームレートの2倍以上のフレームレートとすることで、フレーム落ちの影響を回避するといった方法も考えられる。

3.3.5.6 通信速度（スループット）計測結果及び考察

○測定方法

iPerf を用いて、遅延特性測定と同様に5つのネットワークのスループット計測を行う。

○測定結果

各ネットワーク構成のスループット計測結果を表 3-83 に示す。

表 3-83 スループット計測結果

Mbps	LTE		5Gコア東京設置				地域コア設備共有型				オンプレミス型		光回線	
			同期		準同期		同期		準同期		同期			
	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り
平均	11.5	8.3	65.3	383.8	103.1	183.2	72.7	545.4	113.4	328.2	68.8	770.8	930.5	929.9
中央値	11.8	10.1	65.2	374.0	109.0	160.0	70.8	527.0	115.0	320.5	65.7	779.0	930.5	930.0
最大値	19.4	19.3	70.3	498.0	134.0	373.0	96.4	648.0	128.0	616.0	96.3	915.0	941.0	941.0
最小値	3.7	2.4	47.2	227.0	46.3	62.2	63.4	447.0	96.2	77.3	62.9	634.0	920.0	918.0
標準偏差	3.2	4.1	4.8	81.5	24.2	115.2	7.8	57.0	11.7	227.4	9.4	88.2	10.5	11.0

○考察

地域コア設備共有型とオンプレミス型では、上り方向については、ほぼ同等のスループット性能を示している。この2つに比べ、コア東京設置構成では、若干劣る結果となっている。下り方向については、コア東京設置構成、地域コア設備共有型、オンプレミス型の順に、後者の方が、高いスループット性能を示している。コア東京設置構成に比べるとオンプレミス型は、ほぼ2倍のスループット性能を達成し、地域コア設備共有型は、その中間に位置していた。

地域コア設備共有型をLTE構成と比べると、上り方向で6倍以上（中央値比較）、下り方向では52倍以上（中央値比較）のスループットを達成している。

IoTで重要となる、上り方向の性能要求に対しては、準同期パターンとすることで、下り方向のスループットは低下するものの、上り方向で115.0Mbps（中央値）を達成することができている。これはLTE構成のほぼ10倍である。

これらをまとめると、以下の通りである。

- 地域コア設備共有型は、5Gコア東京設置構成よりも優れたスループット性能を発揮し、オンプレミス構成と同程度であった。
- 準同期パターンを用いることで、上り方向のスループットをLTEの10倍程度の性能を得ることができる。

3.3.5.7 通信遅延・通信速度（スループット）計測のまとめ

遅延、通信速度のいずれにおいても、本実証事業で有効性を示そうとした地域コア共有型

構成は、利用拠点に 5G コア装置を設置するオンプレミス型構成と同等の性能を得られることが分かった。また、遠隔地（東京）にコア装置を設置する場合と比べると、遅延、通信速度のいずれも優れていることが示された。

ローカル 5G の特徴である TDD パターンが変更可能である点においても、準同期パターンとすることで、IoT 利用で重要となるアップリンク（移動局から基地局方向）の通信速度の向上が行えた。また、準同期とすることで、アップリンクの遅延性能も向上すること示された。

3.3.6 技術実証における追加提案

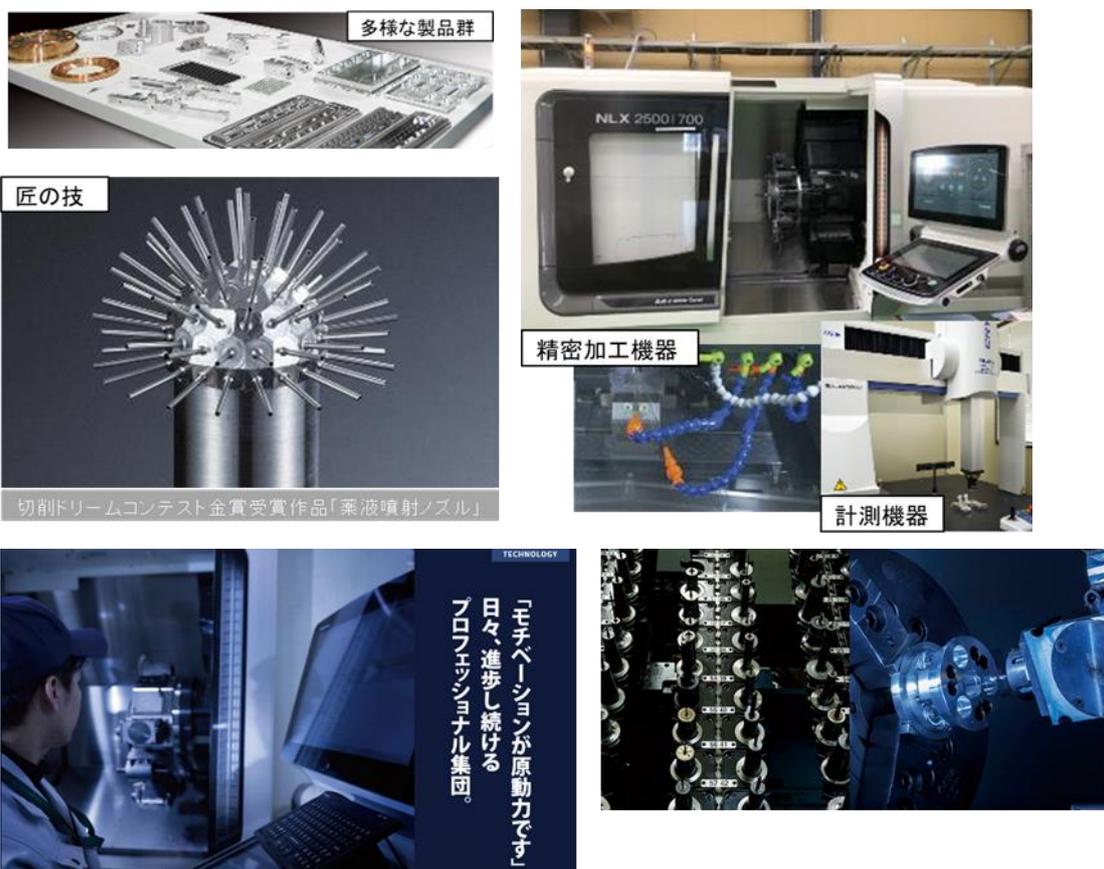
「技術実証における追加提案には取り組まない」

4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

4.1 実証概要

ツウテック株式会社及び株式会社ユタカは、アルミ・ステンレス・銅・鉄など各種素材における、航空宇宙部品・半導体製造装置部品等、各種精密機械部品加工を専門とした、航空宇宙部品・半導体製造装置部品・各種精密加工部品の製作・設計を主業としている。

客先のサンプル部品から、測定・採寸・加工図面製作・精密加工・部品納品といった一連の過程を自社内で実施することが可能であり、「モノ創りを通じて、優れた価値を迅速に提供すること」をコンセプトに、少量・多品種のオーダーや客先のあらゆるニーズに対応している。



これらの対応を可能としているのが熟練技術者の存在であるが、生産の中心となる熟練技術者は他業務を兼務することから、生産現場を離れる機会が多く、熟練技術を要する製品の検品については、熟練技術者の不在から、出荷遅れにつながることもある。

また、精密機械部品加工では、加工工具も精密部品が多く、加工に利用する工具寿命の判断が難しい。早期交換によるコスト増や、判断が遅れた場合は工具が破損し、機械故障や不良品の製造に繋がってしまうという問題がある。

このため、本課題実証では、上記問題に対する以下の①～③の課題に対して実証を行う。

- ① 加工に利用する切削工具の寿命の判断を行い、早期交換によるコスト増、交換が遅れた際の機械故障や不良品発生なくするための設備異常検知

- ② 生産の中心となる熟練技術者の熟練技術を要する製品の検品が滞ることのないように、遠隔地においてスマホで製品外観を画像確認しても、検品確認が可能な高精細画像の送受信
- ③ 熟練技術者が有する高度な加工技術を継続するため、多忙な熟練技術者が現場を離れても、未熟練者への技術伝承に取り組むことが可能なスマートグラスを用いた熟練者技術の伝承

この3点をローカル 5G等の無線通信システムの具体的なユースケースとして実証を行い、その有効性を検証した。

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

<ユースケース①：音響分析診断による設備の異常検知>

□現状

【ツウテック株式会社】

工具の破損により、機械故障や加工中の製品が不良となることを防ぐため、メーカーの既定する耐久回数より少ない回数で工具交換をしている。そのため、工具に掛かるコストや交換時に発生する設備停止が通常の製造より多いなどの問題を抱えている。

また、加工中に異音が発生した際は、設備を止め、工具の目視確認を行い、交換の要否を判断しているが、加工完了後の検査工程で不良が見つかった際に工具破損を認識することがある。

現状を 이슈ツリーで示すと図 4-2 ①-1 のとおりとなる。

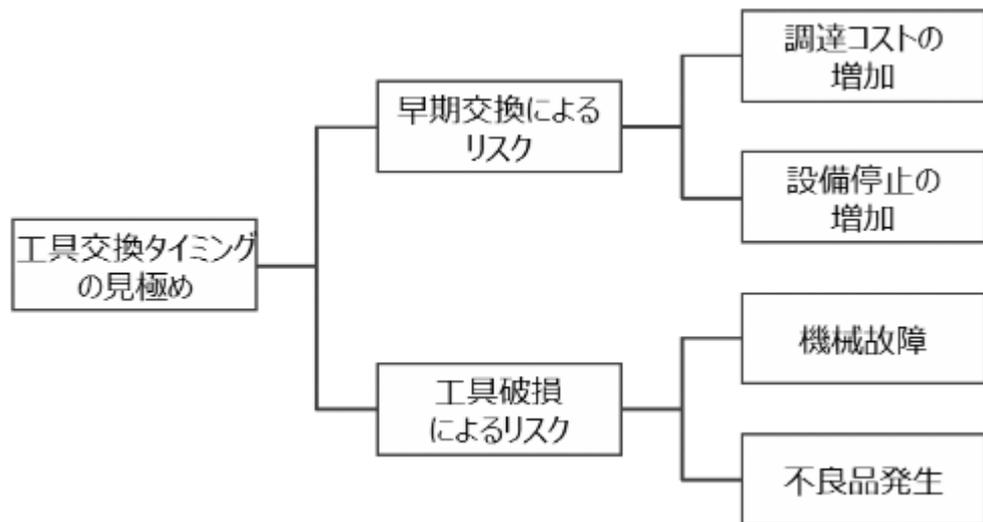


図 4-2 ①-1 音響分析診断による設備の異常検知に関する 이슈ツリー

【株式会社ユタカ】

製品加工で使用する切削工具は加工中の負荷の増大により破損することがあり、工具を頻繁に交換している。そのため、工具に掛かるコストや交換時に発生する設備停止が通常の製造より多いなどの問題を抱えている。

加工中に破損した際は、設備を止め、工具および製品の目視確認を行い、交換の要否を判断している。製品は、工具破損時または、検査工程で不良が見つかることがある。

現状を 이슈ツリーで示すと図 4-2 ①-2 のとおりとなる。

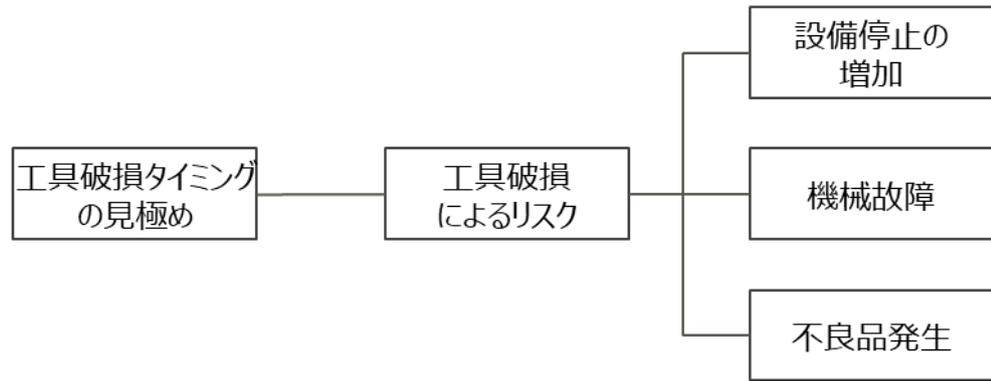


図 4-2 ①-2 音響分析診断による設備の異常検知に関する 이슈ーツリー

□課題

【ツウテック株式会社】

設備異常検知により、加工に利用する切削工具の寿命の判断を行い、早期交換によるコスト増の抑制、交換が遅れた際の機械故障や不良品発生をなくす。

【株式会社ユタカ】

設備異常検知により、切削工具の高負荷加工時における工具破損タイミングを見極めて、工具破損による機械故障や不良品発生をなくす。

□課題解決方法

上記課題の解決にあたり以下の方法で異常検知および交換の指示を行う。

- ①異常検知システムは加工時の音響データを基に異常を判定しリアルタイムに管理者へ送信する。
- ②管理者は、受け取った異常通知及び異常時の音響データを参照して、正常か異常かを判断する。
- ③異常と判断した場合、管理者は対象設備の作業員へ速やかに交換の指示を行う。

①～③の運用フローの実現にあたっては、異常検知時の迅速な通知や大容量な音響データの転送が求められる。本検証では、高速・大容量データ通信が可能なローカル 5G に異常検知システムを構築することにより上記課題の解決を図る。

□実装シナリオ

- ① ローカル 5G 環境における異常検知システムの適用効果と課題確認（本検証）
- ② 蓄積データを用いた異常検知の精度向上、異常予兆検知への対応・精度の向上
- ③ 業務適用による継続的な異常検知精度向上、対象設備・工具の適用範囲拡大
- ④ 県内の他類似業者へ地域シェアリングモデルを活用したソリューションの横展開を促進

□実証目標

(1) 効果検証

A) 不良品発生率

工具の破損および劣化による不良品発生率の 20%改善

B) 工具調達コスト

予兆検知での工具交換頻度の低減による工具調達コストの 20%削減

C) 作業効率

加工時間にかかる時間を 20%短縮

(2) 機能検証

A) 異常検知確度

工具破損および製品不良の予兆における検知確度 90%以上

B) 伝送品質

ローカル 5Gによる転送前後のデータの同一性 99%以上

C) 伝送スピード

異常検知からリモートで通知が表示されるまでに要する時間が 3 秒以内

異常検知時の音響データをリモートに伝送したときの伝送スピードが

1.5Mbps 以上

(3) 運用検証

A) 運用時間

システム適用後の運用において、作業時間が既存運用時の同等以下

<ユースケース②：検品対象の AI 画像解析>

□現状

生産の中心となる熟練技術者が現場を離れている際に、検品対象において傷や打痕などが生じ、熟練技術者の確認と判断を要する場合、その対象を製造ラインから一時退避し製造を続けている。熟練技術者が出張など長期間にわたり不在な状況においては、二次検品の遅れから出荷遅延となる可能性がある。

また、一次検品作業は目視で行っているため、検品に掛かる時間や精度に個人差があり、標準化が難しい。

現状を 이슈ーツリーで示すと図 4-2 ②-1 のとおりとなる。



図 4-2 ②-1 検品対象の AI 画像解析に関する 이슈ーツリー

□課題

遠隔地においても製品画像から二次検品作業を可能とする高精細画像の高速・大容量通信と、一次検品の品質安定化（バラツキのない判定結果）

□課題解決方法

①遠隔地からの検品

熟練技術者の判断を必要とする二次検品において、外観検品装置による一次検品結果を製造現場から遠隔地に共有することで、熟練技術者の判断を得る。

熟練技術者が判断する際には、検品対象の微細な傷や打痕の確認が必要となるため、様々な角度により撮影された高精細画像（数十枚/検査を想定）をローカル 5G の高速・大容量通信を活用し、遠隔地での二次検品作業を実現する。

②検査精度・時間の標準化

若手技術者が安定した品質で一次検品を行うことを可能にするため、外観検品装置を用いて、検品対象の傷・打痕などの情報から、AI による検品結果を表示する。

昨年度の類似実証との違いとしては以下 2 点がある。

- a) 今回用いる検品 AI は、教師画像データを数十枚から行うことができる。
- b) 検品 AI の導入実績で培った経験から、現場照明環境の工夫を図る。

また、地域シェアリングモデル（社会実証時）時の低遅延かつ安定した速度のネットワークを想定する。

□実装シナリオ

- ① ローカル 5G を用いた画像検品システムの実証検証（本検証）
- ② 実証検証で抽出された課題（更なる作業時間短縮、正答率向上）解決
- ③ 社外での検品可能化に向けた施策実施

- ④ ①~③を実施し、県内の他類似業者へ地域シェアリングモデルを活用したソリューションの横展開を促進

□実証目標

(1) 効果検証

A) 平均滞留時間

一次検品で NG 判定された部品の二次検品結果が通知されるまでの滞留時間改善が 50% 以上

(2) 機能検証

A) 伝送品質

一次検品画像をリモートに伝送した二次検品画像のデータ同一性が 99%以上

B) 伝送スピード

一次検品画像をリモートに伝送したときの伝送スピードが 144Mbps 以上

(3) 運用検証

A) 検品正答率

一次検品・二次検品の正答率 90%以上 (NG 品の見逃しがないこと)

B) 検品作業時間

二次検品作業時間が現状と同等 (約 50 秒/個) 以下

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

・課題

多忙な熟練技術者が現場を離れても、熟練技術者が有する高度な加工技術を継続するための、未熟練者への技術伝承。

・現状

多忙な熟練技術者は現場を離れることが多く、熟練技術者が必要な検品などにおいては、検品作業のために熟練技術者が出張先から途中で一度帰社して行う場合や、熟練技術者が現場にいないために、納期がひっ迫するなどの問題を抱えている。また、小ロット多品種を製造する企業ならではの課題として、工程表などは製作せずに作業員本人が図面を基に加工工程を思い描きながら製作するため、工程上の不具合が発生するなどの問題があり、熟練技術者が電話で指導するがうまく伝わらないことがある。このため現状では、熟練技術者が有する高度な加工技術の未熟練者へ技術伝承は、時間をかけて現場で共同作業を行いながら指導していく必要がある。しかしながら、多忙な熟練技術者は現場を離れることが多いため、長期間の指導が困難であり、熟練技術者の育成に時間が必要となり、十分な育成ができていない。

現場でのヒアリングによると、

<熟練技術者>

- ・熟練技術者は営業も兼ねているため、遠隔での技術指導を行いたい。そのためにより鮮明な画像を遠隔地で手軽に確認したい。
- ・小ロットの加工品に対する加工手順の指導を遠隔地から効果的に行いたい。
- ・金属加工後のバリ取り、面取りの指導を効率的に行いたい。
- ・熟練者が直接指導できない状態でも未熟練者のみで作業を実施したい。

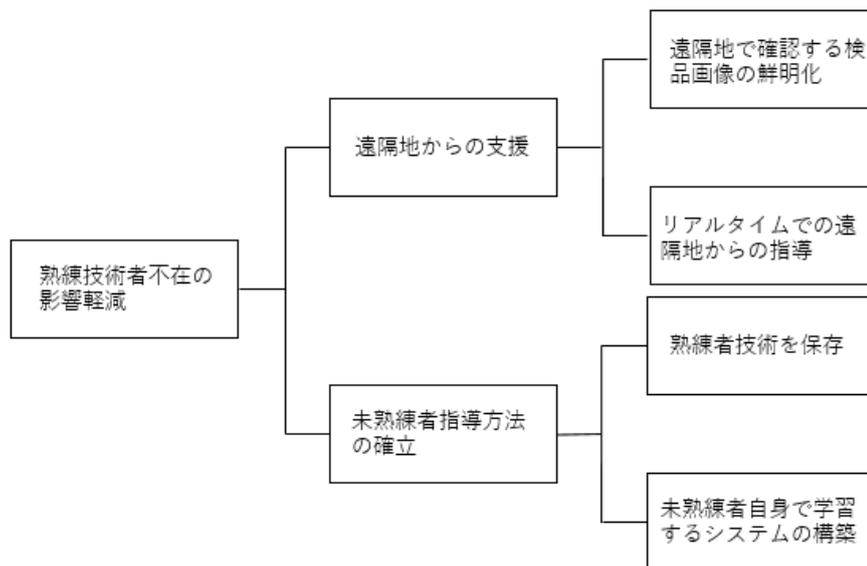
- ・機械セッティングの指導は未熟練者では1度で覚えられないことも多く、時間の指導が必要となるが、効率的な指導を行うことで、指導時間を削減したい。

<未熟練者>

- ・熟練者は忙しく、気軽に指導を受けることが難しいこともあるので、熟練者の技術を手軽に確認したい。
- ・熟練者の技術を高解像度の映像で確認しながら習得したい。
- ・熟練者が遠隔地にいても、実際に作業をしながらリアルタイムで指導を受けたい。

などの技術伝承に関する意見があった。

現状をイシューツリーで示すと下図のとおりとなる。



・課題解決方法

本実証では、熟練技術者の育成に対し、

1. 熟練技術者が遠隔地から指導可能な体制を整える。【遠隔地支援】
2. 熟練技術者の技術を確認しながら作業できる環境を整える。【技術伝承】

という2点から検討する。

1. 遠隔地支援では、熟練者が遠隔地から指導を行うことを可能にするため、スマートグラス (HoloLens2) を用いて、未熟練者の手元動作を遠隔地で熟練者が共有可能な環境を整備し、遠隔地からの技術指導を行える仕組みを構築する。

Microsoft HoloLensのご紹介



現実世界の中にあたかもそこに存在するようにデジタル情報を 3D で表示できる Mixed Realityを実現します。Mixed Realityとは物理世界とデジタル世界を融合し、ユーザーは物理世界に存在しながら、物理 デジタル両方のオブジェクトとやり取りができる世界を指します。

MIXED REALITY 主要な活用業種・シナリオ

製造	インフラ	建築・建設	医療	文教科	流通
離れた場所にいたとしても従業員と一緒に働くことを可能にする	ステップバイステップの指示で従業員が新しいスキルをより早く習得可能にする	物理モデルを制作する前に部屋のレイアウトやプロダクトデザインの視覚化する	物理モデルを持ち運ぶことなく現場で効果的に視覚化する		

とくに "ファーストラインワーカー" 向けの活用が今後加速

© 2022 Microsoft Corporation. All rights reserved.

Dynamics 365 Remote Assist



リアルタイムで問題解決

遠隔地からでも問題の効率的なトラブルシューティング

空間に必要なデータを表示

遠隔支援

© 2022 Microsoft Corporation. All rights reserved.

2. 技術伝承では、スマートグラスを用いて熟練者の技術をトレースするため、スマートグラス上に熟練者の操作を表示しながら未熟練者が作業を行う。

Dynamics 365 Guides



空間に3D画像で作業手順を表示する **作業ガイドを作成**



ガイドに **写真、動画、音声** を添付



空間に表示される作業手順に従って **ステップバイステップ** で作業



各ステップごとの **作業時間を記録** してレポート

トレーニング & 作業支援

© 2022 Microsoft Corporation. All rights reserved.

これらの課題解決方法を実施する場合、通信時間の遅延によるタイムラグが発生すると、熟練者の指示がリアルタイムで伝わらず、作業と指示が合わなくなる他、検品で見ている箇所と不良と判断する場所にずれが出るなどの問題が発生する。そこで、通信時間による遅延が少なく、高精細な動画を送信することが可能なローカル 5G を用いることにより、リアルタイムで遠隔地からの指導を可能とするための実証を行う。昨年度の類似実証との違いとして、オンプレミスではなく、地域シェアリングモデルを活用したコンテンツ共有についても検討を行い、従来ネットワークやクラウドを利用した場合と比べ、リアルタイムでの操作性についての比較を行う。

□実装シナリオ

実証企業においては今回の実証を基に、スマートグラスを用いた熟練者からの遠隔指導及び未熟練者の学習に継続使用していく。共有可能なコンテンツについては、愛媛県産業技術研究所に設置した MEC サーバーを活用し、地域で共有コンテンツとして利用する。コンテンツを含めたソリューション活用による熟練者の指導時間削減効果について今年度はツウテック(株)で実証を行い、実証結果をフィードバックする。来年度以降は(株)ユタカでも使用事例を収集し、公開する場を設けることにより、実証企業以外への横展開につなげる。

□実証目標

- ・効果検証
未熟練者が熟練技術をスマートグラスで伝承することによる効果として、トータルの指導・作業時間の削減を評価指標（KPI）として、25%の削減

- ・機能検証
スマートグラスの画面表示にかかるスピードの把握。
コンテンツ利用において必要となる待機時間を把握することで今後作成していくコンテンツの参考にする。

- ・運用検証
コンテンツ作成時の想定とコンテンツ利用時の作業者の行動が相違なく行えているかを検証

4.3 実証環境

＜ユースケース①：音響分析診断による設備の異常検知＞

設備の異常検知に関する環境構成を、図 4-3 ①-1 のとおりとする。
また、製造における加工工程にて、以下の手順で実証を行う。

- ① 実証用マシニングセンタに設置したセンサデバイスより収集された音響データをもとに、エッジ PC 上の検知 AI により音響診断を行い、診断された設備情報はローカル 5G を通じて、事務所の管理者へ送信する。
- ② 管理者は設備状況を監視する。
- ③ 監視画面で異常を確認した際、管理者は作業者に電話で工具交換を指示する。

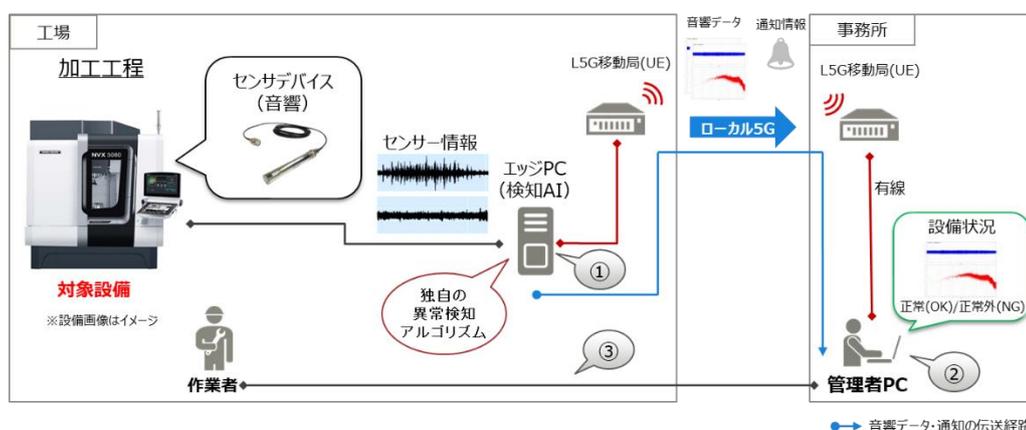


図 4-3 ①-1 音響分析診断による設備の異常検知に関する実証環境

なお、振動センサは対象工具への装着が不可能なため、音響マイクのみとする。

③の指示については、設備付近へ固定配置しているエッジ PC 画面上での指示では作業者が設備から離れて作業している場合、気が付かないことが想定される。そのため、ローカル 5G を経由するほどのデータ量ではない作業指示が行えて、作業者が携帯可能なモバイル端末である携帯電話にて実証を行った。

□実証事前準備

本実証を行うために、予め以下の準備の必要がある。

- ① 加工作業、設備、加工品、工具の確認および音響センサの設置場所の決定。
- ② 診断アルゴリズムを作成するために、以下の音響データの収録を行う。

正常系データ収録予定数：5分×300ファイル

異常系データ収録予定数：要因毎に以下の条件で各10ファイル程度

【ツウテック株式会社】

想定条件：一定回数使用した工具のデータ、人の経験による工具破損直前のデータ

【株式会社ユタカ】

想定条件：負荷をリニアへ変更していき工具破損時のデータ、加工品別

□検証使用機器

本実証を行うための検証機器は、以下の表 4-3 ①-1 に示す。

表 4-3 ①-1 検証使用機器詳細

項目	詳細
エレクトレットコンデンサーマイクロホン	指向特性：単一指向性 周波数特性：20-50,000Hz
USB Audio Interface	サンプリング周波数：AD/DA コンバーター 44.1kHz、48kHz、96kHz、192kHz 最大入力レベル：INPUT +2dBu 最大出力レベル：OUTPUT +8dBu (インピーダンス・バランス)
キャノンケーブル	コネクタ：XLR 長さ：5m
フレキシブルマグネットベース	吸着力：784N アーム長さ：290mm

□検証対象

以下の表 4-3 ①-2 に、ツウテック株式会社、株式会社ユタカのそれぞれの設備、工具、製品材質、切削方法の対象を示す。

表 4-3 ①-2 各会社の設備・工具・製品材質・切削方法

項目	ツウテック株式会社	株式会社ユタカ
設備	DMG森精機(株)製 NVX 5080 (図 4-3 ①-2 左図)	DMG森精機(株)製 NVX 5080 (図 4-3 ①-2 右図)
工具	1mm φ ドリル (図 4-3 ①-3 左図)	1mm φ エンドミル (図 4-3 ①-3 右図)
製品材質	SUS304	SUS430
切削方法	穴あけ加工 (図 4-3 ①-4 左図)	溝堀加工 (図 4-3 ①-4 右図)
送り速度	450mm/min	250mm/min
回転数	9,500 rpm	12,000 rpm
切り込み量	5mm [1mm × 5回]	2mm [0.2mm × 10回]



図 4-3 ①-2 音響分析診断による設備の異常検知に関する実証環境
DMG 森精機(株)製 NVX 5080 (左図：ツウテック株式会社、右図：株式会社ユタカ)

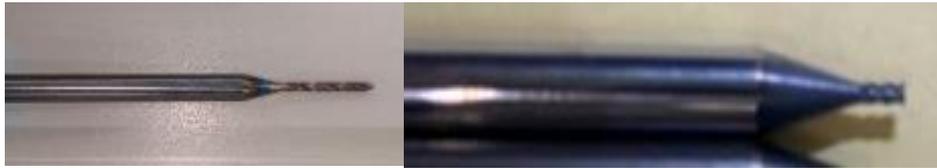


図 4-3 ①-3 対象工具

(左図：ツウテック株式会社取り扱いの 1mm φ ドリル
右図：株式会社ユタカ取り扱いの 1mm φ エンドミル)



図 4-3 ①-4 対象製品

(左図：ツウテック株式会社取り扱いの穴あけ加工後の製品
右図：株式会社ユタカの溝堀加工後の製品)

□設備の異常検知方法

マシニングセンタに設置したマイクで加工時の音響データを収集し、診断アルゴリズムによる良否判定を行う。また、管理者が正常か異常かを判断するために正常時と異常時の音響データにおける特徴の差を洗い出し、データ可視化を行う。

□診断アルゴリズムが判別する工具の状態

本検証では、設備状態を以下の様に定義する。

- ・工具が折れていない状態: OK
- ・工具が折れて破損している状態: NG

「NG」ステータスにおける工具の状態を以下の図 4-3 ①-5、図 4-3 ①-6 に示す。



図 4-3 ①-5 1mm φ ドリルにおける NG 状態



図 4-3 ①-6 1mm φ エンドミルにおける NG 状態

<ユースケース②：検品対象の AI 画像解析>

検査精度・時間の標準化及び、遠隔地からの検品に関する環境構成は、図 4-3 ②-1 のとおりとする。

また、以下の手順で実証を行う。

- ① 工場にいる若手作業者が検品対象を外観検品装置に乗せ、自動検品を行う。
- ② エッジ PC 上の検品 AI により検品が行われ、結果はローカル 5G を通して、事務所にいる管理者へ送信される。
- ③ 管理者は検品 AI の検査結果について成否を確認する。
- ④ 成否を確認した結果（判定結果）はローカル 5G を通して、工場にいる作業者へエッジ PC を介して送信される。

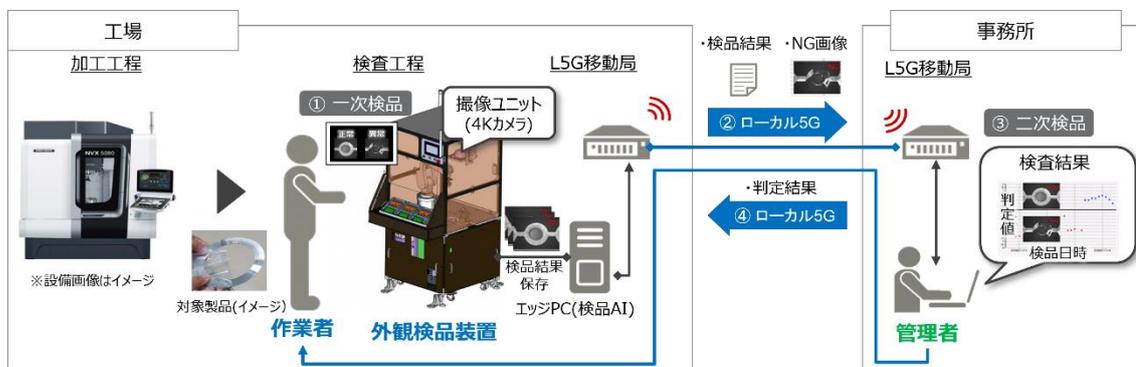


図 4-3 ②-1 検品対象の AI 画像解析に関する実証環境

□実証事前準備

本実証を行うために、予め以下の準備の必要がある。

- ① 外観検品装置で検品する対象の決定と、検品対象を把持し、撮像位置まで移動する方法の設定
- ② 検品対象の学習モデル作成のため、検品対象ごとに OK/NG 品のうち、OK 品を 40 サンプル準備、NG 品を 10 サンプル準備と学習の実施
- ③ 遠隔地での画像検品用端末の準備

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

本実証において未熟練技術者育成の環境構成は、遠隔地支援と技術伝承の観点から以下の2点の環境を㈱ツウテックにおいて構築する。

1. 熟練技術者が遠隔地から指導可能な環境を構築。【遠隔地支援】
 2. 熟練技術者の技術を確認しながら作業できる環境を構築する。【技術伝承】
1. 熟練者が未熟練者を遠隔地から支援するネットワークの構成は図 4-3-3 のとおりとする。未熟練者が装着したスマートグラスから得られた動画をローカル 5G 用ルーター経由で通信を行い、Microsoft 社のクラウドサービスに接続する。熟練者は自身の PC 等を用いて遠隔地からクラウドに接続することで、未熟練者の操作状況を把握し、PC 等から指示を行う。
 2. 熟練技術者の技術をスマートグラスで確認しながら未熟練者が作業を行い、技術伝承を行う際のネットワーク構成は図 4-3-4 及び図 4-3-5 のとおりとする。熟練者の作業をあらかじめ高解像度映像で撮影し、コンテンツを作成する。そのコンテンツをクラウド用いるパターン(図 4-3-4) と、ローカル 5G の閉域網から利用するパターン(図 4-3-5) の2通りで検証を行う。なお、ローカル 5G の閉域網では㈱ユタカからも利用できる環境を構築する。

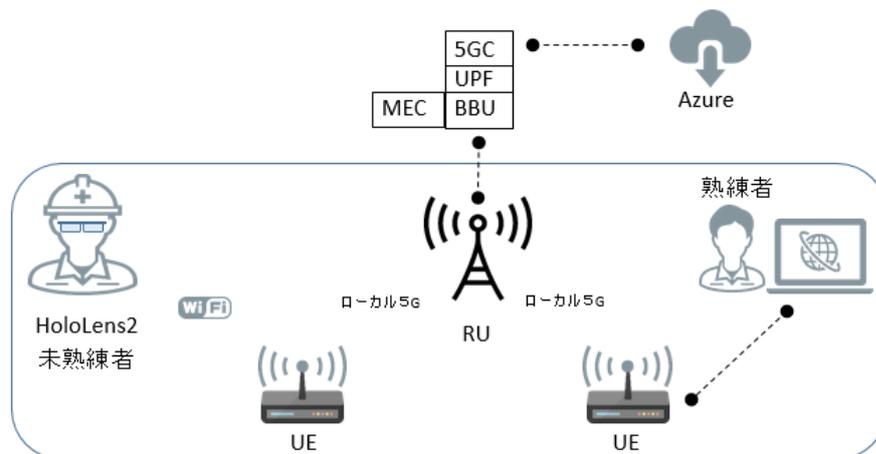


図 4-3-3 遠隔地支援のネットワーク構成

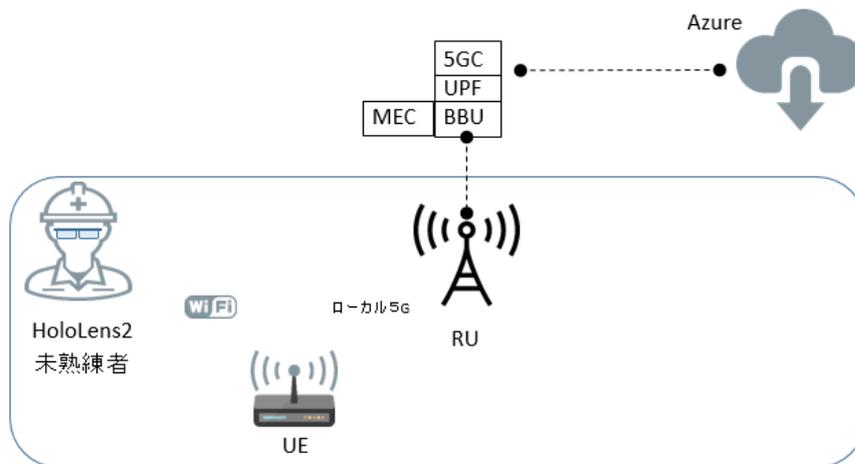


図 4-3-4 技術伝承のネットワーク構成（クラウド利用）

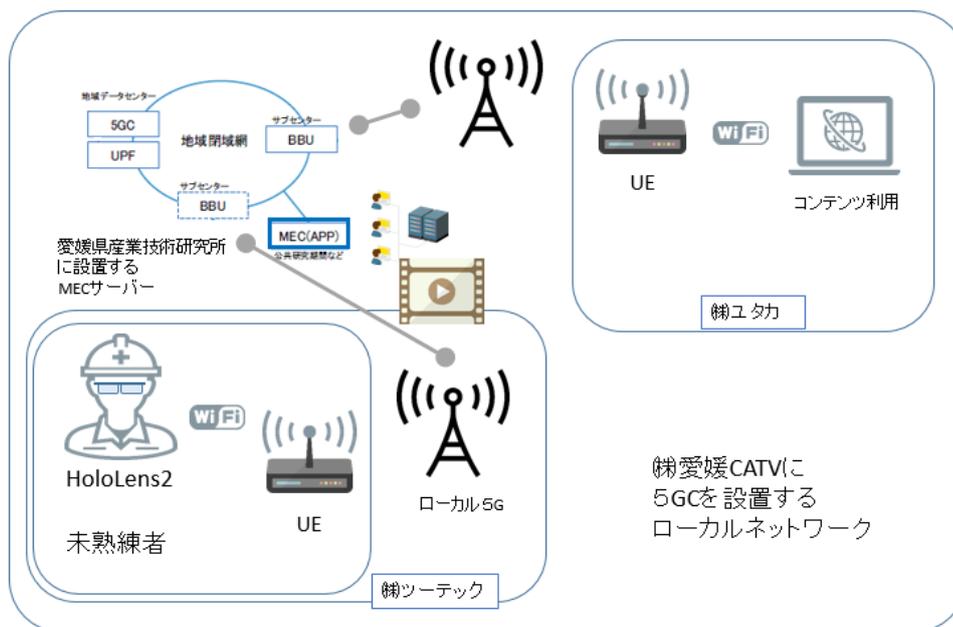


図 4-3-5 技術伝承のネットワーク構成（閉域網活用）

4.4 実証内容

4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

4.4.1.1 効果検証

<ユースケース①：音響分析診断による設備の異常検知>

(1) 評価・検証項目

設備の異常検知システムによる業務上の効果を確認するため、以下の 3 つの観点で、評価を行う。加工工程で設備の異常を検知した際、ローカル 5G を経由してリモートにいる管理者へ異常検知情報を通知し、管理者が現場作業員へ即座に対応指示を行うことで、不良品発生を抑止を図る。なお、不良品とは各ユーザー企業の品質検査ルール（JIS 規格など）に従い、不良と判断したものとみなす。

1. 不良品発生率

月間の加工数に対しての不良品発生率を評価する。ここで、不良品発生率の定義は「(不良製品数) / (加工製品数)」とする。

2. 調達コスト

切削工具の寿命（工具 1 個あたりの加工数）を延長することによる月間の工具調達コストの削減効果を評価する。

3. 作業効率

不良品発生率を悪化させない範囲での加工速度を向上し、削減される加工時間を評価する。

(2) 評価・検証方法

ツウテック株式会社および株式会社ユタカのマシニングセンタによる加工業務に対して、不良品発生率、調達コスト、作業効率の観点で 20% の改善を検証するため、以下の作業を実施した。尚、20% 改善と定めた理由については、発生した不良品数に対し、約 20% 程度が工具破損によるものと想定していたことから、工具破損の抑止によりその 20% 程度を低減させることを指標とした。

各評価項目の評価・検証方法

不良品発生率に対して、3 つの観点での評価・検証方法は以下となる。また、計測範囲は、製造工程の加工作業における加工開始～加工終了までとなる。尚、不良品発生率・調達コストの評価では、既存運用と同一条件で比較するためには加工量が非常に多くなり、実証期間中に不良品を確認することが困難である。そのため、最低限 20% 改善の効果を確認するため、既存運用に対して加工量を 20% 増やした状態においても不

良品が発生しないことを確認する。

【ツウテック株式会社】

A) 不良品発生率

a) 検証条件

表 4-4-1-1-① (2)-1 ツウテック株式会社における不良品発生率の検証条件

項目	条件
工具	1mmφドリル
製品材質	SUS304
切削方法	穴あけ加工
送り速度	450mm/min
回転数	9,500 rpm
切り込み量	5mm [1mm × 5回]

b) 手順

既存運用：1,000 穴の穴あけ加工作業を 10 回以上行い、製品の加工数と、不良品数を記録する

改善運用：1,250 穴の穴あけ加工作業を 10 回以上行い、製品の加工数と、不良品数を記録する

B) 調達コスト

a) 検証条件

表 4-4-1-1-① (2)-2 ツウテック株式会社における調達コストの検証条件

項目	条件
工具	1mmφドリル
製品材質	SUS304
切削方法	穴あけ加工
送り速度	450mm/min
回転数	9,500 rpm
切り込み量	5mm [1mm × 5回]

b) 手順

既存運用：1,000 穴の穴あけ加工作業を 10 回以上行う。

1,000 穴の穴あけ完了後もしくは異常検知時に工具の交換を行い、通算 10,000 穴時点での交換した工具の本数を記録する

改善運用：1,250 穴の穴あけ加工作業を 10 回以上行う。

1,250 穴の穴あけ完了後もしくは異常検知時に工具の交換を行い、

通算 10,000 穴時点での交換した工具の本数を記録する

C) 作業効率

a) 検証条件

表 4-4-1-1-① (2)-3 ツウテック株式会社における作業効率の検証条件

項目	条件
工具	1mm φ ドリル
製品材質	SUS304
切削方法	穴あけ加工
送り速度	450mm/min
回転数	9,500 rpm
切り込み量	5mm [1mm × 5 回]

b) 手順

既存運用：既存運用の 1,000 穴の穴あけ加工作業を 10 回以上行い、その時の加工時間を記録する

改善運用：改善運用の 1,000 穴の穴あけ加工作業を 10 回以上行い、その時の加工時間を記録する

【株式会社ユタカ】

A) 不良品発生率

a) 検証条件

表 4-4-1-1-① (2)-4 株式会社ユタカにおける不良品発生率の検証条件

項目	条件
工具	1mm φ エンドミル
製品材質	SUS430
切削方法	溝堀加工
送り速度	250mm/min
回転数	12,000 rpm
切り込み量	2mm [0.2mm × 10 回]

b) 手順

既存運用：溝堀距離 10,000mm の加工作業を 5 回以上行い、通算 50,000mm 時点での製品の加工数と不良品数を記録する

改善運用：溝堀距離 12,500mm の加工作業を 5 回以上行い、通算 62,500mm 時点での製品の加工数と不良品数を記録する

B) 調達コスト

a) 検証条件

表 4-4-1-1-① (2)-5 株式会社ユタカにおける調達コストの検証条件

項目	条件
工具	1mmφ エンドミル
製品材質	SUS430
切削方法	溝堀加工
送り速度	250mm/min
回転数	12,000 rpm
切り込み量	2mm [0.2mm × 10 回]

b) 手順

既存運用：溝堀距離 10,000mm の加工作業を 5 回以上行う。

溝堀距離 10,000mm 完了後もしくは異常検知時に工具の交換を行い、通算 50,000mm 時点での交換した工具の本数を記録する

改善運用：溝堀距離 12,500mm の加工作業を 5 回以上行う。

溝堀距離 12,500mm 完了後もしくは異常検知時に工具の交換を行い、通算 50,000mm 時点での交換した工具の本数を記録する

C) 作業効率

a) 検証条件

表 4-4-1-1-① (2)-6 株式会社ユタカにおける作業効率の検証条件

項目	条件
工具	1mmφ エンドミル
製品材質	SUS430
切削方法	溝堀加工
送り速度	250mm/min
回転数	12,000 rpm
切り込み量	2mm [0.2mm × 10 回]

b) 手順

既存運用：既存運用の溝堀距離 10,000mm の加工作業を 5 回以上行い、その時の加工時間を記録する

改善運用：改善運用の溝堀距離 10,000mm の加工作業を 5 回以上行い、その時の加工時間を記録する

(ご参考：1) ツウテック株式会社における既存指数と目標指数の算出根拠

ツウテック株式会社の現状運用における不良品発生率を算出するため、担当者へのヒアリング及び現状運用における穴あけ加工時間の計測を以下に記す。

- I. 1mmφドリルを使用した製品1個における平均穴あけ数：1,000穴
- II. 1時間当たりの穴あけ数：1,000穴
- III. 1ヶ月当たりの1mmφドリルの加工作業時間：1工場100時間
- IV. 1月当たりの1mmφドリルにおける不良品数：10製品/月
- V. 月間生産製品数：100製品 ($V=II \times III / I$)
- VI. 不良品発生率（既存運用）：10% ($VI=IV / V$)
- VII. 不良品発生間隔（既存運用）：10,000穴 ($VII=I \times V / IV$)
- VIII. 不良品発生率（改善運用）：8% ($VII=VI \times (1-0.2)$)
- IX. 不良品発生間隔（改善運用）：12,500穴 ($IX=II \times III / (V \times VIII)$)

I、IIより1製品あたりにかかる加工時間が1時間であり、IIIより月間の1mmφドリルによる生産数は100製品であると考察する。IVにて、1ヶ月当たりの不良品数が10製品であるため、既存運用における1mmφドリルの不良品発生率は10%である。

I、IIIより、1mmφドリルにおける1月当たりの穴あけ加工数は100,000穴であり、不良品発生率が10%であることから、穴あけ加工数10,000穴にて1製品の不良品が発生すると考察する。

改善後の不良品発生率を20%改善する場合、穴あけ加工数は100,000穴に対して不良品数は8製品となる想定である。そのため、設備の異常検知システム導入後、穴あけ加工数12,500穴に対して不良品数が1製品以下であれば、不良品発生率を20%改善できると評価する。

(ご参考：2) 株式会社ユタカにおける既存指数と目標指数の算出根拠

株式会社ユタカの現状運用における不良品発生率を算出するため、担当者へのヒアリング及び現状運用における溝堀加工時間の計測を以下に記す。

※ヒアリング結果において製品の不良品発生率は0.3%であった。理由としてエンドミルの交換期間を短期に設定して交換を行うことで不良品発生を抑えているためである。本実証では、不良品発生の原因となるIV項のエンドミルの破損を、不良品として扱い算出を行った。

- I. 1製品における1mmφエンドミルの平均連続溝堀加工距離：10,000mm
- II. 1時間当たりの溝堀加工距離：10,000mm
- III. 1ヶ月当たりの1mmφエンドミルの加工作業時間：1工場20時間
- IV. 1月当たりの1mmφエンドミルにおける不良品数：4製品/月
- V. 月間生産製品数：20製品 ($V=II \times III / I$)
- VI. 不良品発生率（既存運用）：20% ($VI=IV / V$)
- VII. 不良品発生間隔（既存運用）：50,000mm ($VII=I \times V / IV$)
- VIII. 不良品発生率（改善運用）：16% ($VII=VI \times (1-0.2)$)
- IX. 不良品発生間隔（改善運用）：62,500mm ($IX=II \times III / (V \times VIII)$)

I、IIより1製品あたりにかかる加工時間が1時間であり、IIIより月間の1mmφエンドミルによる生産数は20製品であると考察する。IVにて、1ヶ月当たりの不良品数が4製品であるため、既存運用における1mmφエンドミルの不良品発生率は20%である。

I、IIIより、1mmφエンドミルにおける1月当たりの溝堀加工距離は200,000mmであり、不良品発生率が20%であることから、溝堀加工距離50,000mmにて1製品の不良品が発生すると考察する。

改善後の不良品発生率を20%改善する場合、溝堀加工距離は200,000mmに対して不良品数は3.2製品となる想定である。そのため、設備の異常検知システム導入後、溝堀加工距離62,500mmに対して不良品数が1製品以下であれば、不良品発生率を20%改善できると評価する。

(3) 実証結果及び考察

ツウテック株式会社での実証結果

□実証結果

不良品発生率、調達コスト、作業効率について、既存運用より20%改善を設備の異常検知システムを適用することで実現可能か評価する。不良品発生率、調達コスト、作業効率の効果を図る検証は、それぞれ並行で実施したため、加工環境は同一となる。

本実証では、適用後の加工作業を実施するにあたり、既存運用と比べて、1工具での加工使用回数の20%増加、および加工速度を20%早めた加工条件で、加工開始時と加工終了時で音響的統計量の差分が少ないことを設備の異常検知システムより確認した(図4-4-1-1-①(3)-1)。加工開始時と加工終了時にて音響的統計量の差分が少ないことから、設備の異常検知システムからの異常通知が発生しないことは正常だと判断する。設備異常検知システムの診断確度に関する詳細は、「4.4.1.3 機能検証(3)実証結果及び考察」に記述する。

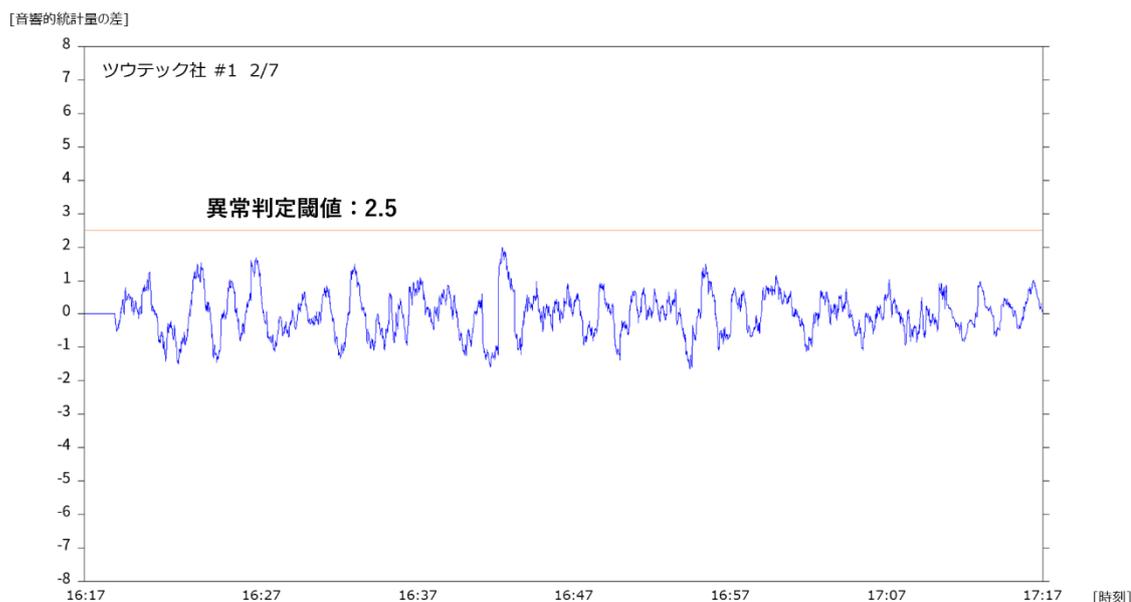


図 4-4-1-1-① (3)-1 加工開始時と終了時で音響的統計量の差分が少ない事例

A) 不良品発生率

表 4-4-1-1-① (3)-1 ツウテック株式会社における不良品発生率

項目	加工回数	穴あけ加工数	不良数	不良品発生率
既存運用 (比較値)	10	10,000	1	10%
改善後運用	11	13,860	0	0%

本評価検証作業時において、設備の異常検知システム導入後、13,860 穴の穴あけ加工作業を実施した結果、不良品数が 0 製品、よって不良品発生率は 0%であった。

B) 調達コスト

表 4-4-1-1-① (3)-2 ツウテック株式会社における工具交換回数

項目	加工回数	穴あけ加工数	工具交換目安	工具交換数
既存運用 (比較値)	10	10,000	1,000 穴あたり 1 本	10
改善後運用	10	10,000	1,260 穴あたり 1 本	8

工具交換回数については、設備の異常検知システムの適用後では、1,260 穴以上の穴あけ加工作業後に工具の交換を行った結果、工具使用期間を 260 穴延長することが確認できた。また、作業熟練者へ設備の異常検知システム適用後の製品状態について確認した結果、工具使用期間延長による品質低下はみられなかった。

C) 作業効率

表 4-4-1-1-① (3)-3 ツウテック株式会社における作業効率

項目	加工回数	穴あけ加工数	加工時間	作業効率 (削減時間)
既存運用 (比較値)	10	10,000	10 時間	-
改善後運用	10	10,000	7 時間 55 分	2 時間 5 分

作業効率について、設備の異常検知システム導入後では、10,000 穴の穴あけ加工作業を実施し、加工時間が 7 時間 55 分であった。

また、作業熟練者へ設備の異常検知システム適用後の製品状態について確認した結果、本実証内で設定した送り速度の高速化(送り速度 200mm/min から 450mm/min への変更)による品質低下はみられなかった。

□考察

A) 不良品発生率

表 4-4-1-1-① (3)-4 不良品発生率の改善率例

項目	穴あけ加工数	製品数	不良数	不良品発生率 (不良数/ 製品数)	不良品発生率の改善率
既存運用 (比較値)	10,000	10	1	10%	—
改善後運用 (不良数が 1 製品である場合)	13,860	13.8	1	7.2%	28%

【実証結果に対する考察】

本実証では、既存運用では不良品が発生する加工回数にて、不良品が発生しなかったことから、不良品発生率を 20%以上改善できることを確認できた。また、既存運用の中では、10,000 穴に 1 製品の不良品が発生する可能性があることから、仮に不良数が 1 製品発生したと仮定したものを表 4-4-1-1-① (3)-4 に示す。

既存の不良品発生率 10%に対し、設備の異常検知システム導入後は 7.2%の不良品発生率となる。そのため、不良品発生率の改善率は 28%となる。本実証では、不良数は 0 製品であったことから、不良品発生率の改善率は 28%以上であると推察する。

ただし、本実証で不良品は発生しなかったが、実証期間が長期であれば、加工量を更に増加させることで実際の不良品発生率に対する改善率を導出することができたと考えられる。

また、本実証では不良品発生率20%改善を目標としていたため、設備異常検知システムの通知有無に依らず、穴あけ加工数が13,860穴の場合の不良品発生率を確認した。今後、設備の異常検知システムによる異常通知を目安に工具破損前に工具交換を行うことで、加工製品数に対する不良品発生率の更なる改善が期待できる。

【結果から見られる効果】

本実証で加工した製品の参考価格は、62,000円（管理費・他の所要費用除く）である。月間不良品数が10製品であることから、予測される月間の生産ロス金額は、620,000円と予測される。改善後の運用における生産効率向上の想定数値として、月間不良品数が8製品以下となることから、予測月間生産ロス金額は、496,000円以下となり、月間124,000円以上の損益改善が期待できる。

B) 調達コスト

表 4-4-1-1-① (3)-5 工具交換数の削減率

項目	穴あけ加工数	工具交換目安	工具交換数	工具交換数の削減率
既存運用 (比較値)	10,000	1,000穴あたり 1本	10	—
改善後運用	10,000	1,260穴あたり 1本	8	20%

【実証結果に対する考察】

既存の10,000穴の穴あけ加工に対する工具交換数が10回に対して、設備の異常検知システム導入後では10,000穴の穴あけ加工に対する工具交換数が8回である。そのため、10,000穴の穴あけ加工で使用される工具数が20%削減され、調達コストを20%改善できると推察する。

尚、本実証では調達コストの20%改善を目標としていたため、設備の異常検知システムの通知に依らず、1,260穴毎に工具交換を行った。今後、設備の異常検知システムによる異常通知を目安に工具交換を行うことで、1,260穴以上の穴あけ加工での交換が可能となり、本実証結果以上の工具調達コストの改善が期待できる。

【結果から見られる効果】

本実証で使用した工具1本あたりの参考価格は、約10,000円である。月間工具交換数が100本と想定されることから、月間の工具購入費は、1,000,000円と予測される。改善後運用における調達コストの削減数値として、1製品1工具で交換していた運用を1製品0.8工具で交換できることから、月間の工具調達費用は、800,000円となり、月間200,000円の損益改善が期待できる。

また、ドリル交換に要する作業者の作業工数は142秒である。既存運用では月間100本の工具交換に要する工数が14,200秒(236分30秒)に対して、改善後の運用では、月間80本の工具交換に要する工数となり、工具交換に要する工数が11,360秒

(189分20秒)となるため、月間2,840秒(47分20秒)の工数削減効果も期待できる。また、異常検知システムによる異常予兆検知判定は通知されなかったことから、工具1本で1,260穴以上の加工作業の実施が可能であると考えられるため、更なる調達コストの改善余地があると推察する。

C) 作業効率

表 4-4-1-1-① (3)-6 作業効率の改善率

項目	穴あけ加工数	加工時間	削減時間	作業効率の改善率
既存運用 (比較値)	10,000	10時間	—	—
改善後運用	10,000	7時間55分	2時間5分	21%

【実証結果に対する考察】

既存の10,000穴の穴あけ加工に対する加工時間10時間に対して、設備の異常検知システム導入後では10,000穴の穴あけ加工数に対する加工時間が7時間55分である。そのため、作業効率を21%改善できたと考えられる。

尚、本実証では作業効率の20%改善を目標としていたため、設備の異常検知システムの通知に依らず、マシニングセンタの設定である送り速度450mm/minで加工を行った。今後、設備の異常検知システムにより、送り速度の増加により誘発される工具の劣化や破損を検知して工具交換を行うことで、既存の製品品質と同等な状態で作業効率の改善が期待できる。

【結果から見られる効果】

既存運用における月間の製品数および加工時間は、100製品100時間である。改善後運用では、100製品100時間の加工時間を、79時間10分に短縮できることから、20時間50分の生産リードタイムの削減効果が期待できる。

株式会社ユタカでの実証結果

□実証結果

不良品発生率、調達コスト、作業効率について、既存運用より20%改善を設備の異常検知システムを適用することで実現可能か評価する。不良品発生率、調達コスト、作業効率の効果を図る検証は、それぞれ並行で実施したため、加工環境は同一となる。

本実証では、適用後の加工作業を実施するにあたり、既存運用と比べて、1工具での加工使用回数の20%増加、および加工速度を20%早めた加工条件で、加工開始時と加工終了時で音響的統計量の差分が少ないことを設備の異常検知システムより確認した(図4-4-1-1-①(3)-2)。加工開始時と加工終了時にて音響的統計量の差分が少ないこ

とから、設備の異常検知システムからの異常通知が発生しないことは正常だと判断する。設備異常検知システムの診断確度に関する詳細は、「4.4.1.3 機能検証 (3)実証結果及び考察」に記述する。

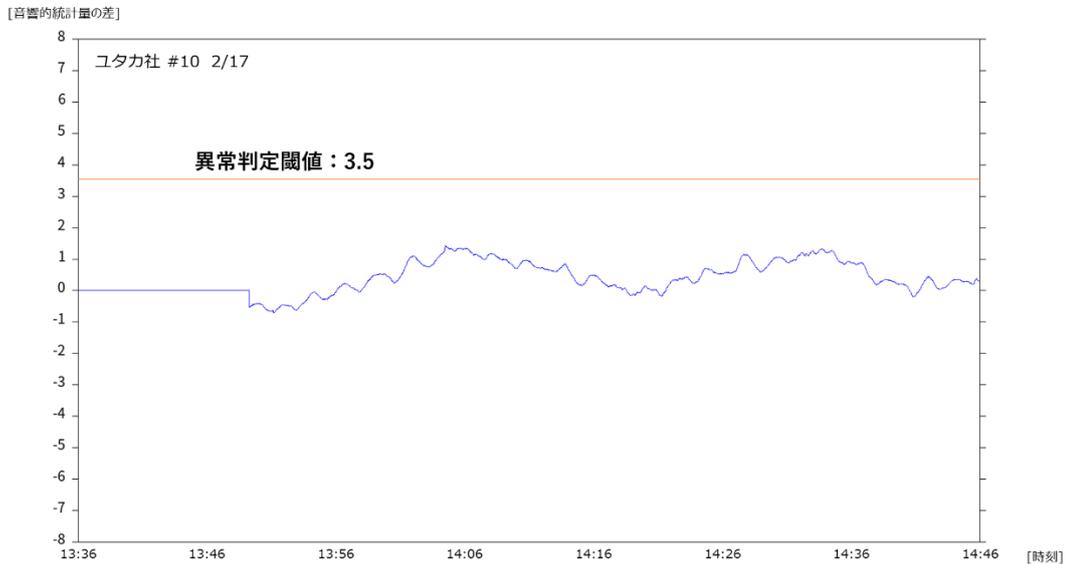


図 4-4-1-1-① (3)-2 加工開始時と終了時で音響的統計量の差分が少ない事例

A) 不良品発生率

表 4-4-1-1-① (3)-7 株式会社ユタカにおける不良品発生率

項目	加工回数	溝堀加工距離 (mm)	不良数	不良品発生率
既存運用	10	100,000	2	20%
改善後運用	13	162,500	0	0

本評価検証作業時において、設備の異常検知システム導入後、162,500mm の溝堀加工作業を実施した結果、不良品数が 0 製品であり、不良品発生率は 0%であった。

B) 調達コスト

表 4-4-1-1-① (3)-8 株式会社ユタカにおける調達コスト

項目	加工回数	溝堀加工距離 (mm)	工具交換数	調達コスト
既存運用	10	100,000	10	10,000mm あたり 1 本

改善後運用	10	100,000	8	12,500mm あたり 1 本
-------	----	---------	---	---------------------

工具交換回数については、設備の異常検知システムの適用後では、12,500mm 以上の溝堀加工作業後に工具の交換を行った結果、工具使用期間を 2,500mm 延長することが確認できた。また、作業熟練者へ設備の異常検知システム適用後の製品状態について確認した結果、工具使用期間延長による品質低下はみられなかった。

C) 作業効率

表 4-4-1-1-① (3)-9 株式会社ユタカにおける作業効率

項目	加工回数	溝堀加工距離 (mm)	加工時間	作業効率 (削減時間)
既存運用	10	10,000	60 分	-
改善後運用	10	10,000	41 分	19 分

作業効率について、設備の異常検知システム導入後では、10,000mm の穴あけ加工作業を実施し、加工時間が 41 分であった。

また、作業熟練者へ設備の異常検知システム適用後の製品状態について確認した結果、本実証内で設定した送り速度の高速化（送り速度 200mm/min から 250mm/min への変更）による品質低下はみられなかった。

□考察

A) 不良品発生率

表 4-4-1-1-① (3)-10 株式会社ユタカにおける不良品発生率

項目	溝堀加工距離 (mm)	製品数	不良数	不良品発生率 (不良数/製品数)	不良品発生 率の改善率
既存運用	100,000	10	2	20%	-
改善後運用	162,500	16.2	2	12.3%	38.5%

【実証結果に対する考察】

本実証では、既存運用では不良品が発生する溝堀加工距離にて、不良品が発生しなかったことから、不良品発生率を 20%以上改善できることを確認できた。また、既存運用の中では、100,000mm に 2 製品の不良品が発生する可能性があることから、仮に不良数が 2 製品発生したと仮定したものを表 4-4-1-1-① (3)-10 に示す。

既存の不良品発生率 20%に対して、設備の異常検知システム導入後では 12.3%の不良品発生率となる。そのため、不良品発生率の改善率は、38.5%となる。

また、本実証内は不良品発生率の 20%改善を目標としていたため、設備の異常検知システムの通知に依らず、162,500mm の加工における不良品発生率を確認した。今後、設備の異常検知システムによる異常通知を目安に、工具破損前に工具交換を行うことで、加工製品数に対する不良品発生率の更なる改善が行えることが期待できる。

【結果から見られる効果】

本実証内で加工した製品の加工時間 1 時間あたりの参考価格は、10,000 円（管理費・他の所要費除く）である。月間不良数（工具損傷数）が 4 本であることから、本工具により不良品として発生していた場合、予測される月間の生産ロス金額は、40,000 円だと考えられる。改善後の運用における生産効率向上の想定数値として、月間不良品数が 3.2 本以下となることから、生産ロス金額は、32,000 円以下となり、月間 8,000 円以上の損益改善が期待できる。

B) 調達コスト

表 4-4-1-1-① (3)-11 株式会社ユタカにおける工具交換数

項目	溝堀加工距離 (mm)	工具交換目安	工具交換数	工具交換数の削減率
既存運用	100,000	10,000mm あたり 1 本	10	-
改善後運用	100,000	12,500mm あたり 1 本	8	20%

【実証結果に対する考察】

既存の 100,000mm の溝堀加工に対する工具交換数 10 本に対して、設備の異常検知システム導入後では 100,000mm の溝堀加工に対して工具交換数が 8 回である。そのため、100,000mm の溝堀加工にて使用される工具数が 20%削減され、調達コストを 20%改善できたと考察する。

また、本実証では調達コストの 20%改善を目標としていたため、設備の異常検知システムの通知に依らず、12,500mm にて工具交換を行った。今後、設備の異常検知システムによる異常通知を目安に工具交換を行うことで、12,500mm 以上の穴あけ加工での交換が可能となり、本実証結果以上の工具調達コストの改善が期待できる。

【結果から見られる効果】

本実証で使用した工具 1 本あたりの参考価格は、約 8,000 円である。月間工具交換数が 20 本と想定されることから、月間の工具購入費は、160,000 円と予測される。改善後運用における調達コストの削減数値として、1 製品 1 工具で交換していた運用を 1 製品 0.8 工具で交換できることから、月間の工具調達費用は、128,000 円となり、月間 32,000 円の損益改善が期待できる。

エンドミル交換に要する作業者の作業工数は約 212 秒である。既存運用における月間 20 本の工具交換に要する工数が 4,240 秒(70 分 40 秒)に対して、改善後の運用では、

月間 16 本の工具交換に要する工数となるため、3,392 秒(56 分 32 秒) となるため、848 秒(14 分 8 秒)の工数削減効果も期待できる。

また、異常検知システムによる異常予兆検知判定は通知されなかったことから、工具 1 本にて 12,500mm 以上の加工作業の実施が可能だと考えられるため、更なる調達コストの改善余地があると考察する。

C) 作業効率

表 4-4-1-1-① (3)-12 株式会社ユタカにおける作業効率

項目	溝堀加工距離 (mm)	加工時間	作業効率 (削減時間)	改善率
既存運用	10,000	60 分	-	-
改善後運用	10,000	41 分	19 分	32%

【実証結果に対する考察】

既存の 10,000mm の穴あけ加工に対する加工時間 60 分に対して、設備の異常検知システム導入後では 10,000mm の穴あけ加工数に対する加工時間が 41 分である。そのため、作業効率を 32%改善できたと考察する。

また、本実証では作業効率の 20%改善を目標としていたため、設備の異常検知システムの通知に依らず、マシニングセンタの設定である送り速度 250mm/min にて加工を行った。今後、設備の異常検知システムにより、送り速度の増加により誘発される工具の劣化や破損を検知して工具交換を行うことで、既存の製品品質と同等な状態で作業効率の改善が期待できる。

【結果から見られる効果】

既存運用における月間の製品数および加工時間は、20 製品 20 時間である。改善後運用では、20 時間の加工時間を、13 時間 40 分に短縮できることから、6 時間 20 分の生産リードタイムの削減効果が期待できる。

■まとめ

効果検証では、不良品発生率の 20%改善を目標に確認した結果、ツウテック株式会社と株式会社ユタカの両社にて加工量を 20%増加させた条件での実証は不良品が発生しなかったことから、最低限 20%の改善は得られたと考察する。

<ユースケース②：検品対象のAI画像解析>

(1) 評価・検証項目

A)平均滞留時間

一次検品で NG 判定となった製品の平均滞留時間を、現状とシステム導入後で測定し、生産性を評価する。

平均滞留時間の定義：

一次検品時間 / 2(*) + 待機時間 + 二次検品時間

*) 一次検品でのバッチ処理において、NG 判定されたタイミングから滞留が発生するとみなす。それぞれの滞留時間の平均値が滞留時間となるが、今回は一次検品時間のうち、半分を滞留時間を含めることとする。考え方を図 4-4-1-1 ②-1 に示す。

$$\begin{aligned} \text{一次検品での滞留時間} &= (\text{滞留時間 1} + \text{滞留時間 2} + \dots + \text{滞留時間 n}) / n \\ &\doteq \text{一次検品時間} / 2 \end{aligned}$$

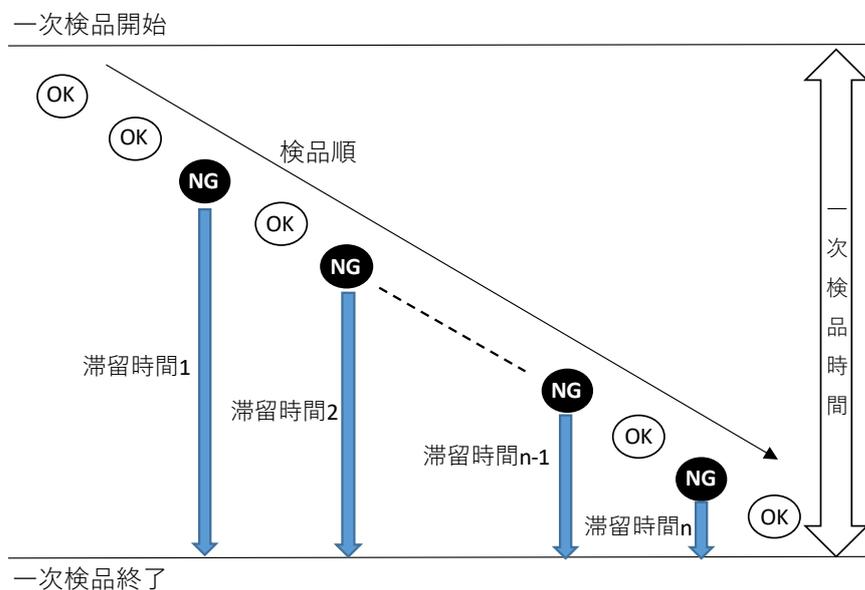


図 4-4-1-1 ②-1 一次検品での滞留時間算出の考え方

(2) 評価・検証評価・検証項目

A) 平均滞留時間

a) 検証条件

・環境：

本実証での環境を表 4-4-1-1 ②-1 条件・環境（評価・検証方法）に示す。

表 4-4-1-1 ②-1 条件・環境（評価・検証方法）

	一次検品	二次検品
従来	目視判定	目視判定
システム導入後	AI による検品 (外観検品装置による)	画像を用いた、目視判定 (遠隔地 PC への転送画像による)

・検品対象：

本実証での検品対象を表 4-4-1-1 ②-2 条件・検品対象（評価・検証方法）に示す。

表 4-4-1-1 ②-2 条件・検品対象（評価・検証方法）

	一次検品数	二次検品数
部品 A	100	20

b) 手順

・従来：

1) 一次検品作業時間の計測

部品 A（100 個）の作業者の目視による一次検品作業時間を計測
（一次検品での作業開始時刻～作業終了時刻）

2) 待機時間の計測

一次検品終了時刻、二次検品開始時刻を計測し、差を算出

3) 二次検品作業時間の計測

部品 A（20 個）の作業者の目視による二次検品作業時間を計測
（作業開始時刻～作業終了時刻）

・システム導入後：

1) 一次検品作業時間の計測

外観検品装置による部品 A（100 個）の検品作業時間を計測
（作業者による部品のセット、リセットを含む）

2) 待機時間の計測

一次検品終了時刻、二次検品開始時刻を計測し、差を算出

3) 二次検品作業時間の計測

部品 A（20 個）の作業者の画像による二次検品作業時間を計測

(3) 実証結果及び考察

□ 実証結果

A) 平均滞留時間

まず、基礎データとして、従来およびシステム導入後での一次検品時間、二次検品時間を測定した。表 4-4-1-1 ②-3 「検品時間測定結果」) に結果を示す。

表 4-4-1-1 ②-3 検品時間測定結果

	一次検品時間[分]	二次検品時間[分]
従来	85	25.3
システム導入後	87	40
差	+2	+15

次に、従来の検品作業フローを図 4-4-1-1 ②-2「従来の検品作業フロー」に示す。従来においては、一次検品をすべて（今回では 100 個）終了した後に、二次検品の依頼を電話もしくはメールで行っており、熟練者が着手可能な状況で現場に出向き、二次検品を開始する（バッチ処理）。

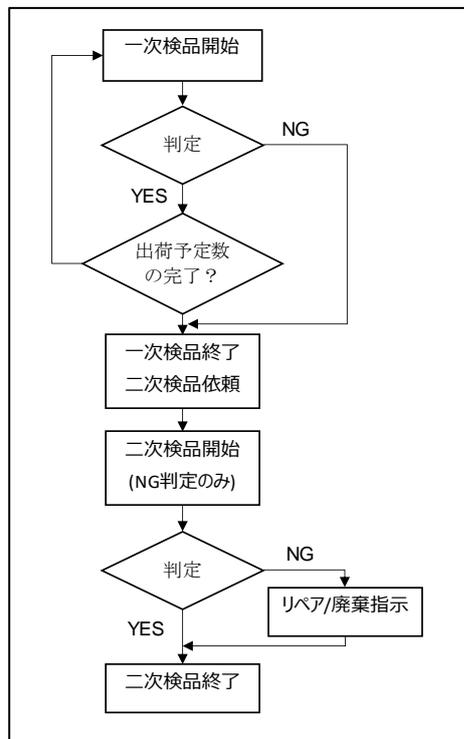


図 4-4-1-1 ②-2 従来の検品作業フロー

そして、本実証にて想定した検品作業フローを図 4-4-1-1 ②-3 「本実証にて想定

した検品作業フロー」に示す。本実証においては、一次検品で判定 NG となる毎に、二次検品依頼を、ローカル 5G 経由で二次検品作業者の PC に通知し、また一次検品で取得した画像ファイルを送信し、二次検品作業者の状況に応じて、都度での検品作業を開始することを想定した。

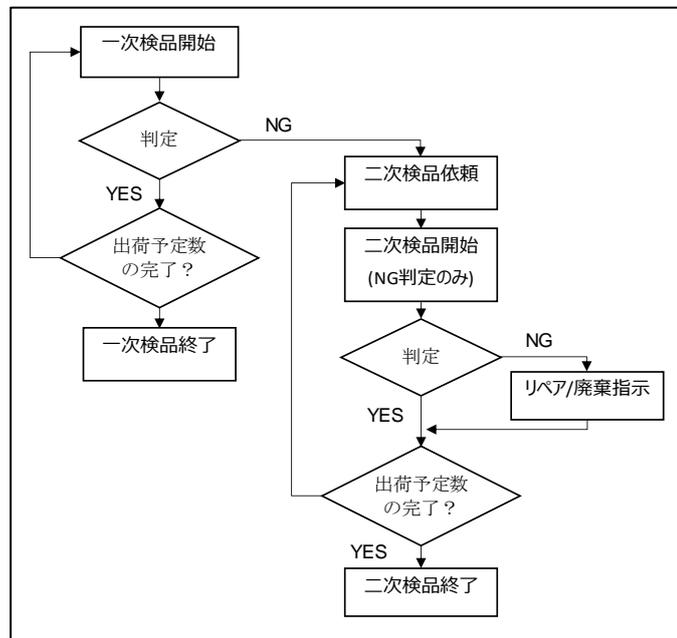


図 4-4-1-1 ②-3 本実証にて想定した検品作業フロー

このように、NG 判定結果と合わせて、大容量となる高精細画像ファイルをローカル 5G 経由で遠隔地 PC に短時間で送信することで、リモートでも熟練者による都度の再検品作業が可能となり、また、再検品結果を現場に都度戻すことで、製品滞留時間の改善を検証した。

待機時間は、二次検品作業者が作業着手可能かに依存し可変値となるため、二次検品作業者の所在を、i)出張、ii)自席、iii)工場内について、それぞれ待機時間の算出を行った。

i) 出張時

算出結果を表 4-4-1-1 ②-4 「滞留時間 (出張時)」に示す。

出張時においては、滞留時間 104 分の削減となった。

【算出条件】

- ・ 再検品の着手までのタイミングは、待機時間に含む
- ・ 従来の待機時間
 - 出張先から工場に戻るまでの時間
 - (近地出張とし、会議 2 時間、往復 2 時間を含めて 4 時間を想定)
- ・ システム導入後での待機時間

出張先の業務（会議 2 時間）が終わり、移動中での再検品が可能と想定
 ・商用 5G + タブレット端末の利用で、二次検品が実施できる環境を前提

表 4-4-1-1 ②-4 滞留時間（出張時）

	一次検品時間 [分] (a)	待機時間 [分] (b)	二次検品時間 [分] (c)	滞留時間[分] (a)/2+(b)+(c)
従来	85	240	25.3	307.8
システム導入後	87	120	40	203.5
差	+2	-120	+15	-104

ii) 自席

自席にいる場合では、二次検品の着手タイミングが他業務の影響を受けるため、以下の 2 パターン(ア)、(イ)で試算を行った。

(ア) 一次検品と並行して二次検品を着手・完了できるケース

算出結果を表 4-4-1-1 ②-5 「滞留時間（自席・パターン(ア)」に示す。
 従来とシステム導入後の滞留時間の差が -84 分、効果が見込まれる。

【算出モデル】

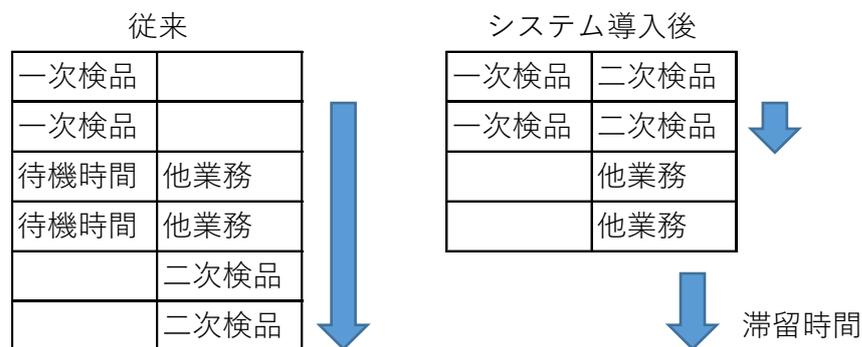


図 4-4-1-1 ②-4 算出モデル（自席・パターン(ア)）

【算出条件】

- ・ 従来の待機時間
 一次検品終了時、他業務のため二次検品が滞るとして、60 分と設定
- ・ システム導入後の待機時間
 一次検品と並行して、二次検品を着手できるとして、0 分と設定
- ・ システム導入後の二次検品時間
 一次検品と並行するため、0 分と設定

表 4-4-1-1 ②-5 滞留時間（自席・パターン(ア)）

	一次検品時間 [分] (a)	待機時間 [分] (b)	二次検品時間 [分] (c)	滞留時間[分] (a)/2+(b)+(c)
従来	85	60	25.3	127.8
システム導入後	87	0	0	43.5
差	+2	-60	-25	-84

(イ)一次検品と並行して、二次検品を着手したが、途中で他業務が入り、他業務終了後に、二次検品を再開するケース

算出結果を表 4-4-1-1 ②-6 「滞留時間（自席・パターン(イ)）」に示す。従来とシステム導入後の滞留時間の差が-4分となり、従来と変わらず。

【算出モデル】

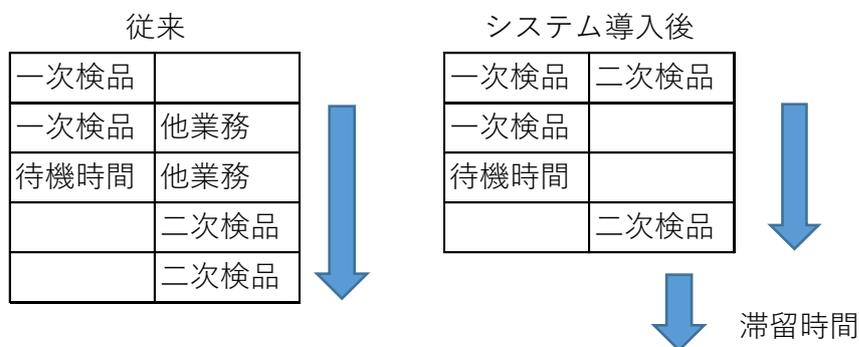


図 4-4-1-1 ②-5 算出モデル（自席・パターン(イ)）

【算出条件】

- ・ 従来の待機時間、システム導入後の待機時間
一次検品終了時、他業務のため二次検品が滞るとして、30分と設定
- ・ システム導入後の二次検品時間
他業務終了後、二次検品を再開として、通常の二次検品時間の半分と設定

表 4-4-1-1 ②-6 滞留時間（自席・パターン(イ)）

	一次検品時間 [分] (a)	待機時間 [分] (b)	二次検品時間 [分] (c)	滞留時間[分] (a)/2+(b)+(c)
従来	85	30	25.3	97.8
システム導入後	87	30	20	93.5
差	+2	0	-5	-4

iii)工場内

算出結果を表 4-4-1-1 ②-7 「滞留時間（工場内）」に示す。従来とシステム導入後の滞留時間の差が+16分、若干の悪化となる。

【算出モデル】

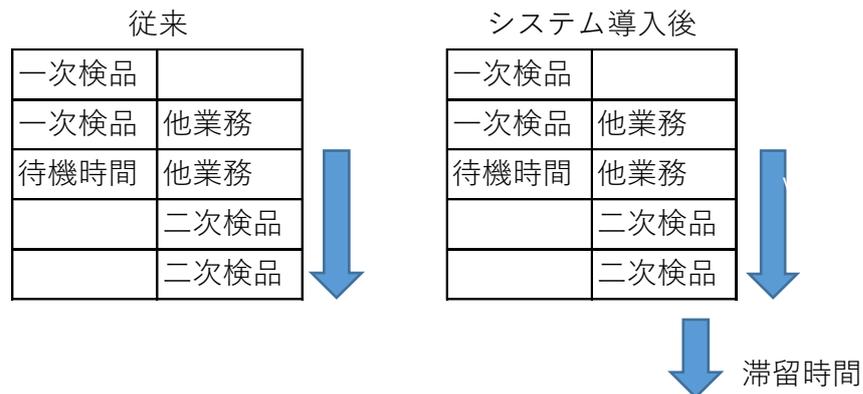


図 4-4-1-1 ②-6 算出モデル（工場内）

表 4-4-1-1 ②-7 滞留時間（工場内）

	一次検品時間 [分] (a)	待機時間 [分] (b)	二次検品時間 [分] (c)	滞留時間[分] (a)/2+(b)+(c)
従来	85	30	25.3	97.8
システム導入後	87	30	40	113.5
差	+2	0	+15	+16

表 4-4-1-1 ②-8 「滞留時間の算出結果」に、結果をまとめた。
出張、自席での二次検品を着手・完了できるケースで改善が見込める。

表 4-4-1-1 ②-8 滞留時間の算出結果

行動 分類	二次検品着手 タイミング	従来の 滞留時間[分]	システム導入後の 滞留時間 [分]	差 [分]
出張	—	307.8	203.5	-104
自席	(ア)	127.8	43.5	-84
自席	(イ)	97.8	93.5	-4
工場内	—	97.8	113.5	+16

表 4-4-1-1 ②-9 平均滞留時間の算出結果（まとめ）に、二次検品作業者の行動分類の割合を反映し、平均滞留時間を算出した。

システム導入後では、平均滞留時間について 31%の改善が見込める。

なお、行動分類とその割合については、本実証期間での二次検品作業者の行動実績を調査した結果となる。ただし、自席での二次検品着手タイミングについては、自席の割合を按分した。

表 4-4-1-1 ②-9 平均滞留時間の算出結果（まとめ）

行動分類	二次検品着手タイミング	行動実績	従来		システム導入後		改善率
			滞留時間 [分]	滞留時間 [分] (加重平均)	滞留時間 [分]	滞留時間 [分] (加重平均)	
出張	—	26.5%	307.8	161.8	203.5	113.5	31%
自席	(ア)	27.9%	127.8		43.5		
	(イ)	27.9%	97.8		93.5		
工場内	—	17.6%	97.8		93.5		

□ 考察

平均滞留時間の改善は 31% となり、実証目標の 50% には届かなかった。今回の算出においては、新型コロナウイルス感染症の影響により遠地出張（一日以上の不在）はなく近地出張のみとしたこと、また、休日を挟んだ滞留時間を考慮していないため、改善効果が最小限となったと考えられる。

通常業務下であれば、月 1 回の遠地出張による 1 日以上不在となることを想定し、表 4-4-1-1 ②-10 平均滞留時間の算出結果（考察）にて、改めて算出した。

表 4-4-1-1 ②-10 平均滞留時間の算出結果（考察）

行動分類	二次検品着手タイミング	行動実績	従来		システム導入後		改善率
			滞留時間 [分]	滞留時間 [分] (加重平均)	滞留時間 [分]	滞留時間 [分] (加重平均)	
出張 (遠地)		5%	2160	254.4	203.5	112.2	56%
出張 (近地)	—	21.5%	307.8		203.5		
自席	(ア)	27.9%	127.8		43.5		
	(イ)	27.9%	97.8		93.5		
工場内	—	17.6%	97.8		93.5		

遠地出張での不在による滞留時間は、1.5 日（2160 分）とすると、滞留時間の改

善率は56%となり、目標の50%改善を達成することが見込めることが分かった。

本実証での場所、時間によらず熟練者による検品作業を実施可能とすることで、平均滞留時間が改善し、製品出荷までのリードタイム短縮、納期遵守に寄与すると判断する。

また、本実証でのシステム導入による想定効果額を一例として、表 4-4-1-1 ②-11 予備品の削減額に示す。従来は出荷数に対して20%の予備品を製作しているとし、リードタイム短縮により、予備品を10%に削減が可能と想定した。

表 4-4-1-1 ②-11 予備品の削減額

	出荷数 (月)	予備品製作 数(月)	単価 (円)	製品 種類	月あたり 製作費
従来	200	40	5,000	10	2,000,000
システム導入後	200	20	5,000	10	1,000,000
削減額 (売上ベース)					1,000,000

月あたりの削減額は売上ベースで100万円となり、事業改善効果を期待できる。さらには、平均滞留時間の改善により、納期遵守による顧客満足度向上、仕掛品の滞留削減によるキャッシュフロー改善、残業時間削減などが見込まれる。

■ まとめ

本システム導入により、平均滞留時間の改善は31%となり、実証目標の50%には届かなかった。これは、新型コロナウイルス感染症の影響により遠地出張（一日以上の不在）はなく近地出張のみとしたためであり、通常業務下となれば、56%改善となり、目標達成が見込める。

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

(1) 評価・検証項目

現在、熟練者の詳細な確認が必要な加工手順の指導や、バリ取り、機械セッティングについては、未熟練者に対して熟練者が現地で直接指導を行っている。このような直接指導に対し、スマートグラスで高精細な映像による遠隔支援やコンテンツでの作業支援を行うことで、熟練者が直接出向くために必要な指導時間削減効果を検証するため、以下の3項目を評価した。

- ① 遠隔地からの作業支援：加工手順・方法の指示による工程設計及び加工に要する時間の削減を評価
- ② スマートグラスを活用した技術伝承1：高解像度画像を用いた金属部品機械加工後の仕上げによるバリ取り評価
- ③ スマートグラスを活用した技術伝承2：高解像度画像を用いた未熟練者のリピート製作部品生産における機械セッティング指導評価

(2) 評価・検証方法

① 遠隔地からの作業支援

加工手順・切削深さ等の指示による支援を行うことにより、未熟練者が小ロット品の加工を問題なく終える事が可能かを検証。また、加工が終了するまでに要する時間を検証。さらに、未熟練者が初見の図面を見ながら工程設計が完了するまで、スマートグラスを通した熟練者への相談時間を検証した。

工程設計を行う未熟練者は4名で、図面は延べ10枚用意した。

作業手順は以下のとおり。

1. 未熟練者が熟練者への確認が必要な作業について、離れた場所にいる熟練者へスマートグラスを装着した状態で問い合わせる。
2. 熟練者はスマートグラスを経由し送られてくる画像、音声を頼りに、工程を指導する。
3. 未熟練者は指導にしたがい作業を実施する。（又は工程を設計する）
4. 未熟練者の作業終了後に、作業が想定どおり行われ、加工が問題なく行われたか（又は工程が設計できたか）を熟練者が確認して評価する。工程設計の評価は熟練者から図面に記載のある指示以外で、熟練者の指導を理解しているかについて3点ずつ聞き取りを行う形で実施する。
5. 作業が想定どおり行われていた（又は工程設計が完了した）場合の所要時間を評価する。

相談時間の評価については、未熟練者がスマートグラスでの指示を問題なく理解できていた場合、熟練者が出張等から戻り指示を行う必要がなくなるため、熟練者の移動時間も削減時間に加えて評価する。熟練者の移動時間は、コロナ禍の水準として、県内出張が週に2回程度であり、県内出張での移動時間は往復1時間とする。

② スマートグラスを活用した技術伝承1

未熟練者がスマートグラスを着用し、高解像度画像を用い熟練者の技術を学びながらバリ取りを行う。通常熟練者が20分程度かけて行う指導に対して、スマートグラスを用いた行うことによる熟練者の指導時間削減効果を検証した。

未熟練者の内訳は1年未満の作業従事者2名と未経験者4名とした。

小ロット多品種の部品に対応したバリ取り評価を行うため、検証においては、下図のように、バリ取りを行う形状を盛り込んだ部品を新たに作製し、直線部2箇所、丸部2箇所、溝部3箇所について、スマートグラス着用前後でのバリ取りの良し悪しを熟練者目線で評価した。

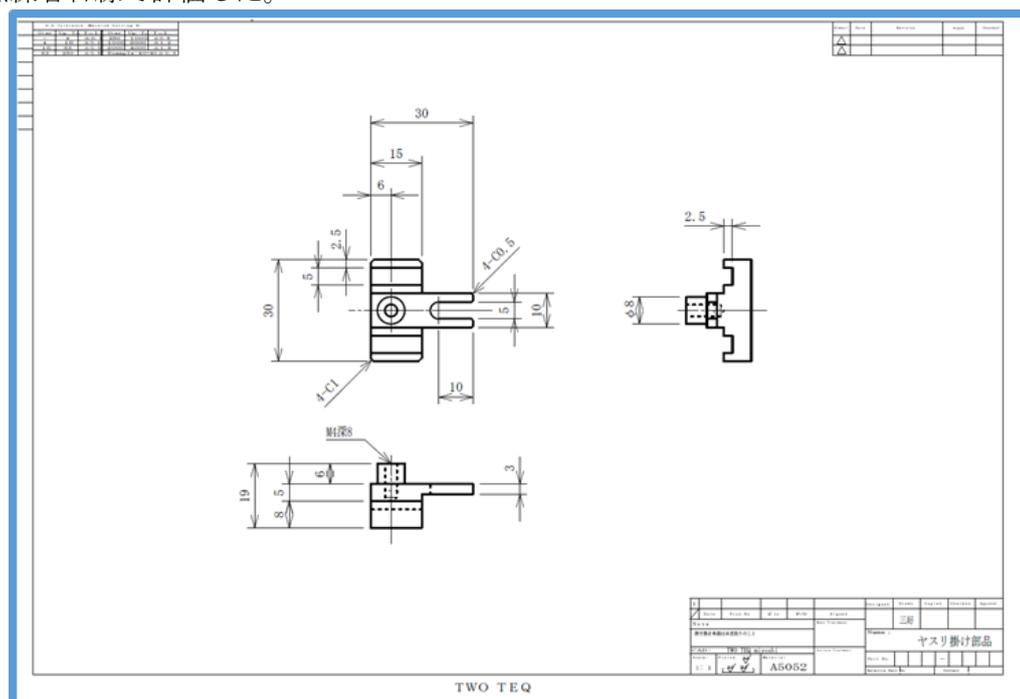


図4-4-1-1 ③-1 バリ取り部品図面



図4-4-1-1 ③-2 バリ取り部品

作業手順は以下のとおり。

1. 金属部品機械加工のバリ取り作業について、作業方法・手順（やすりの選択

- 等)のマニュアルを作成する。
2. 未熟練者がバリ取り作業を実施する。
 3. 未熟練者がスマートグラスでマニュアルを確認しながら、もう一度バリ取り作業を実施する。
 4. マニュアルに従い作業を実施し、面取り幅が均一になるよう作業できたか、部品を傷つけずにバリ取りできたかなどを熟練者が○(良品)、△(問題ないが少し品質が落ちる)、×(問題あり)で評価する。
 5. バリ取りに要した時間を評価する。

バリ取りでは、熟練者の指導時間の削減効果を検証する。バリ取りは、通常、未熟練者に対して熟練者が直接指導するので、熟練者が出張先から帰社するまでの時間が削減できるものと評価する。熟練者の不在時間は、コロナ禍の水準として、県内出張が週に2回程度で、県内出張での移動時間は往復1時間とする。

③ スマートグラスを活用した技術伝承2

未熟練者の機械セッティングに要する時間を検証。熟練者では1時間で終わるセッティング作業が未熟練者では2～3倍かかり、さらに複数回の繰り返し指導が必要となる。スマートグラスでマニュアルを確認することで、未熟練者のセッティング作業時間の短縮と、熟練者の指導時間の削減効果を検証した。

セッティングを行う機械は、図4-4-1-1 ③-3のNC旋盤(型番SL-150)とし、機械セッティングから部品加工の工程を1回終了した時点までの作業時間を計測した。未熟練者として試験を行う作業者は、普段旋盤業務に携わり旋盤の操作は可能であるが該当機の担当ではなく該当部品も普段作成を行っていない者が2名と、全く旋盤の経験がないものが1名で実施した。

また、スマートグラスのマニュアルはクラウドを利用するGuidesでのマニュアルと、閉域網を利用したマニュアル(PDF)の2通りを用いた。閉域網を利用したマニュアルの方が詳細なマニュアルを作成可能であるため、旋盤の稼働経験がないものは閉域網を利用したマニュアルを確認しながらの作業とし、普段旋盤業務に携わっている2名について、それぞれ閉域網とクラウド利用とで別れて作業を実施した。



図4-4-1-1 ③-3 機械セッティングを行った旋盤



図4-4-1-1 ③-4 マニュアル (Guides) が表示されている様子



図4-4-1-1 ③-5 マニュアル (Guides) が表示されている様子



図4-4-1-1 ③-6 作製した機械セッティングマニュアル (PDF)

作業手順は以下のとおり

1. リポート部品を製造する機械のセッティングについて、作業方法・手順のマニュアルを作成する。
2. 未熟練者がスマートグラスでマニュアルを確認しながら機械をセッティングする。
3. セッティングに要した時間を評価する。
4. セッティング後の機械で部品を作成する。
5. 部品が図面どおり製作され、検品で問題ないかを確認する。

機械セッティングは、未熟練者の作業時間と熟練者の指導時間の削減効果を検証する。熟練者の指導時間の削減効果は、熟練者の移動時間も削減時間に加えて評価する。熟練者の不在時間分が削減できるものとし、コロナ禍での熟練者不在時間の指標は、県内出張が週に2回程度であり、1回あたりの県内出張での移動時間は往復1時間とする。

上記①、②、③において、未熟練者が熟練技術をスマートグラスで伝承することによる効果として、トータルの指導・作業時間の削減を評価指標 (K P I) として、25%の削減を目標とする。

(3) 実証結果及び考察

① 遠隔地からの作業支援

遠隔地からの工程設計（加工手順や切り込み速度、量など）の指導を行うことによる指導時間の削減効果を検証した。

スマートグラスによる工程設計の相談を行い、相談が終了するまでの所要時間と指導が理解できたかを表 4-4-1-1 ③-1 に示す。

表 4-4-1-1 ③-1 スマートグラスによる工程設計相談結果

	所要時間	指導への理解
図面 1	2 3分	○ (3 / 3)
図面 2	2 3分	○ (3 / 3)
図面 3	1 7分	○ (3 / 3)
図面 4	3 0分	○ (3 / 3)
図面 5	1 9分	○ (3 / 3)
図面 6	2 0分	○ (3 / 3)
図面 7	2 0分	○ (3 / 3)
図面 8	2 5分	○ (3 / 3)
図面 9	1 5分	○ (3 / 3)
図面 1 0	1 3分	○ (3 / 3)

指導への理解は、すべての図面において未熟練者は指導内容を理解できていた。これらの所要時間は、加工担当者が初見の図面を理解し、工程を設計するまでに、熟練者へ確認・相談を行った時間である。1 図面に対して平均 20 分程度の相談時間であった。

相談内容は

- ・加工手順
- ・公差の出し方
- ・工具の選定
- ・元材料の選定
- ・図面の不明点の確認

などが主体であった。

加工担当者と熟練者の間で図面の共有を行い、実際の指示を書き込む操作を行えることで、図面への指示が的確に伝わりやすく、実際の面談に近い状態で不自由なく相談することが可能であった。

指導内容への理解も問題なかったことから、未熟練者が遠隔地からの支援を受けることにより工程設計の問題点解消が可能となり、熟練者の出張先からの移動時間短縮などが期待できる。

また、例えば同じ工場内で別の建屋にいる状態であったとしても、実際の工程で使用する工具をその場で手に取り相談が可能となるなど、無駄な往來を削減できる効果も期待できた。

工程設計の指導による 1 週間単位での相談時間の削減効果は

$$\text{週 20 回の相談} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 (移動時間)} = 10 \text{ 時間}$$

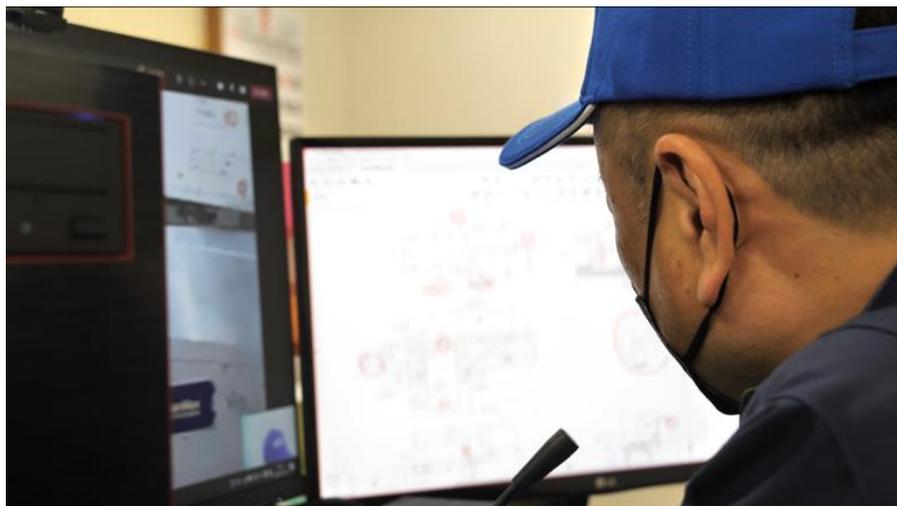


図 4-4-1-1 ③-7 遠隔地からの工程設計支援



図 4-4-1-1 ③-8 遠隔地からの工程設計支援を受ける担当者

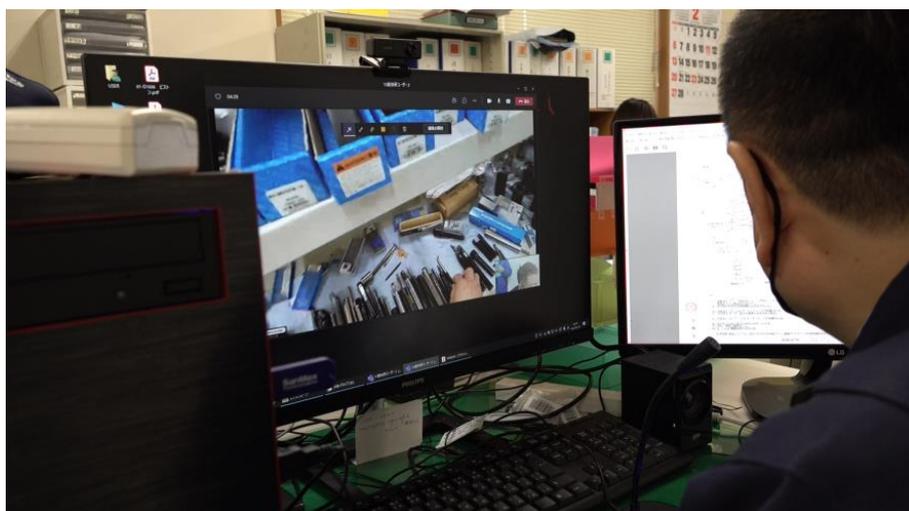


図 4-4-1-1 ③-9 遠隔地からの工具選定支援

遠隔地からの指示・支援による指導時間の削減効果を検証した。
 スマートグラスによる相談の所要時間の合計と回数の結果を表 4-4-1-1 ③-2 に示す。

表 4-4-1-1 ③-2 スマートグラスによる相談の所要時間と回数

	相談所要時間合計	相談回数（工程設計以外）
加工品 1	18 分	2 回
加工品 2	30 分	2 回
加工品 3	3 分	2 回
加工品 4	16 分	3 回

相談内容は、作業途中のトラブルに対する対処方法などであった。多品種を扱うことから、加工の難易度や製品の工程完了までには所要時間の差があるが、工程設計後から加工終了までに概ね 2 回程度の相談が行われた。

加工品 1、加工品 2 については、図面確認から工程設計を行う際の相談から始まり、主な相談内容は

- ・ 寸法公差の出し方についての確認
- ・ 治具セッティングの確認
- ・ 使用材料についての確認

などであった。

加工品 3、加工品 4 については、工程設計時は担当者が相談を必要としなかったが、加工途中で相談事案が発生したため、スマートグラスでの相談を開始した。また、加工品 4 に関しては、相談過程で特殊な工具が必要となったため中断した。主な相談内容は、

- ・ 公差が想定通りにならない
- ・ 想定外の加工マークが製品に残る

などであり、製品の仕上げ面での相談が多くなったが、熟練者の手元に加工担当者が撮影している高精細な画像を画面越しに確認することで短時間での対応が可能であった。

遠隔地からの指導による 1 週間単位での相談時間の削減効果は

$$\text{週 5 回の相談} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 (移動時間)} = 2.5 \text{ 時間}$$



図 4-4-1-1 ③-10 遠隔地からの作業支援



図 4-4-1-1 ③-11 遠隔地からの作業支援を受けている作業者

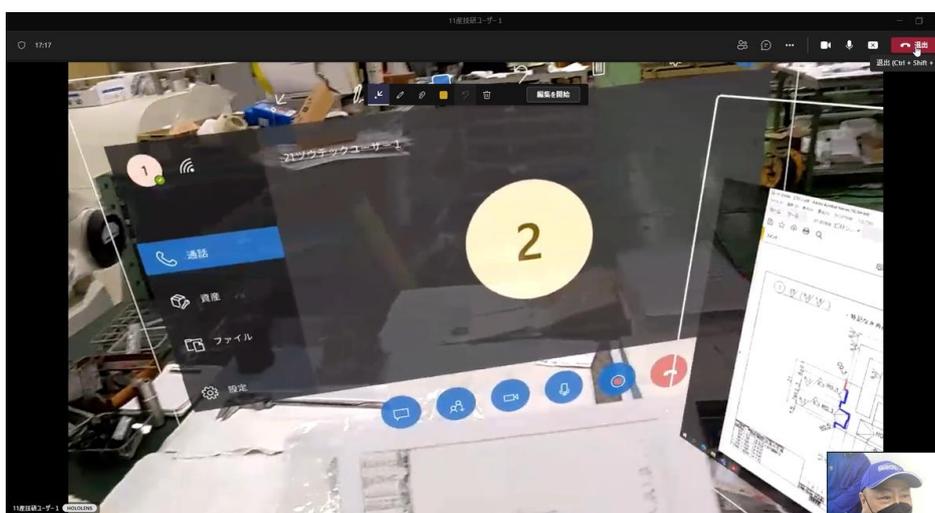


図 4-4-1-1 ③-12 作業者が見ている支援画面

② スマートグラスを活用した技術伝承 1（熟練者の指導時間削減効果の検証）

未熟練者のバリ取り作業について、スマートグラスを用いた熟練者の技術伝承について評価を行った。



図 4-4-1-1 ③-13 スマートグラスで確認しながら作業者がバリ取りを行っている様子

スマートグラスの使用前後で、未熟練者のバリ取りについて検証した結果を図 4-4-1-1 ③-14 バリ取り作業結果に示す。

バリ取りの評価は熟練者目線で、○（良品）、△（問題ないが少し落ちる）、×（問題あり）として評価した。

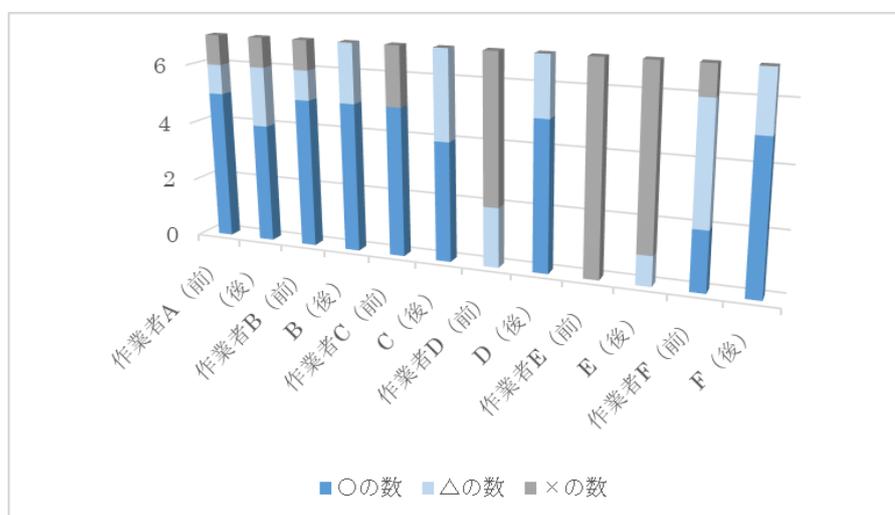


図 4-4-1-1 ③-14 バリ取り作業結果

また、バリ取りに要した時間を表 4-4-1-1 ③-3 に示す。

表 4-4-1-1 ③-3 スマートグラス使用前後のバリ取り時間

	バリ取り時間 (スマートグラス使用前)	バリ取り時間 (スマートグラス使用后)	削減時間
作業者 A	25分	25分	なし
作業者 B	20分	20分	なし
作業者 C	35分	20分	15分
作業者 D	30分	20分	10分
作業者 E	10分	10分	なし
作業者 F	20分	20分	なし

スマートグラスで熟練者の指導動画を確認してバリ取り行った結果、6人中4人でバリ取りの良品が増加し、6人中5人で問題あるバリ取りが減少し、技術の向上が確認できた。

一方で、作業時間は個人差も大きく、スマートグラスの使用前後で全体として明確な作業時間の削減と確認できるほどの変化はなく、未熟練者の作業自体は、時間短縮より、技術の向上に寄与したと考えられる。

今回バリ取り作業を行った6名については、全くの未経験者4名(C,D,E,F)と1年未満の経験者2名(A,B)という内訳であったが、6名とも熟練者の動画については内容を理解できていた。しかし、バリ取り作業自体は細かい注意と熟練技術を必要とする作業であり、内容理解後、即実施可能になるわけではなかった。熟練者の技術を伝承していくには、理解しただけでは難しく、理解した上で実際の経験を積む必要があると考えられるが、指導の自身自体は把握できているため、熟練者の直接指導の代わりに、スマートグラスによるコンテンツの学習で代替可能であると考えられる。よって、スマートグラスの使用による1週間単位での指導時間削減効果は、熟練者の移動時間を考慮し、

$$\text{週2回の指導} \times \text{在勤率} 0.5 \times \text{削減時間} 1 \text{時間 (移動時間)} = 1 \text{時間}$$

③ スマートグラスを活用した技術伝承 2 (未熟練者の機械セッティング時間の検証)

未熟練者の機械セッティング時間の検証結果を表 4-4-1-1 ③-4 に示す。

表 4-4-1-1 ③-4 未熟練者の機械セッティング時間の検証結果

	従来の熟練者の指導時間	スマートグラス使用時の未熟練者のみでのセッティング状態	削減効果 (未熟練者の作業時間)	削減効果 (熟練者が直接指導するために必要な時間)
旋盤 (クラウド) 作業員 A	1 時間 30 分	良好 (セッティング時間 1 時間 10 分)	削減時間 20 分	削減時間 1 時間 20 分
旋盤 (閉域網) 作業員 B	1 時間 30 分	良好 (セッティング時間 1 時間 5 分)	削減時間 25 分	削減時間 1 時間 15 分
旋盤 (閉域網) 作業員 C (旋盤経験なし)	1 時間 30 分	不良 (行程は問題なし) (セッティング時間 2 時間 15 分)	削減されず	削減されず

作業員 A,B は旋盤の担当者、作業員 C は旋盤操作の未経験者である。作業員 A,B ともにスマートグラスを使用して工程を確認しながら機械のセッティングを行うことが可能であった。また、クラウド利用、閉域網利用で大きな差はなかった。

一方で作業員 C は、コンテンツを確認しながら作業を進めることはできたが、ねじの閉め方が緩いなど、コンテンツに記載しきれない部分でのミスもあり、加工を終えることができなかった。

指導時間の削減効果としては、旋盤作業員に指導する削減効果として、熟練者が時間を割いて指導する内容が、スマートグラスで代替可能であったことから、1 週間単位での熟練者の指導及び移動時間の削減時間は

$$\text{週 0.25 回の機械セッティング} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 15 分 (移動時間込み)} = 0.15625 \text{ 時間}$$

上記①、②、③を合わせた削減時間は

$$\begin{aligned} &\text{週 20 回の相談} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 (移動時間)} = 10 \text{ 時間} \\ &\text{週 5 回の相談} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 (移動時間)} = 2.5 \text{ 時間} \\ &\text{週 2 回の指導} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 (移動時間)} = 1 \text{ 時間} \\ &\text{週 0.25 回の機械セッティング} \times \text{在勤率 0.5} \times \text{削減時間 1 時間 15 分 (移動時間込み)} \doteq 0.15 \text{ 時間} \end{aligned}$$

よって、スマートグラスの使用による 1 週間単位での熟練者の指導時間削減効果は
13.65 時間 / 40 時間 \doteq 34%

考察

今回検証を行った遠隔地からの支援については、従来と比べてMRを使用しているため、直接目の前に指示が書き込まれるように表示された事が理解の早さに繋がったと考えられる。また、両手が空いている状態で確認が行えることで実際に刃物や部材を持ちながら確認可能であり、遠隔地の熟練者にとっても実際の物が認識しやすかった。

さらに、スマートグラス上で画面の拡大も可能であるため、詳細な図面の公差等まで図面を確認しながらやり取りを行うこともできた。

バリ取りや機械セッティングの作業については、従来マニュアル化されていた作業ではなく、熟練者が未熟練へ口頭やメモ書きで伝えていた内容をマニュアル化したこと、さらにマニュアルについて、スマートグラスで高精細な画像を確認することができたことが熟練者の指導時間削減等の結果に結びついたと考える。しかし、熟練技術について理解はできたとしても、実行する際には経験が必要と思われるものもあり、熟練者の指導時間は削減されるが、未熟練者がすぐに熟練者並みの作業ができるわけではないことがわかった。

4.4.1.2 機能検証

<ユースケース①：音響・振動診断による設備の異常検知>

(1) 評価・検証項目

設備の異常検知システムを構成する主要な機能である異常検知システム・ローカル5Gネットワークについて、以下のA、B、Cの項目で機能の評価を行う。

A) 異常検知確度

音響データを用いた診断アルゴリズムにより、設備のOK/NGの可視化および異常検知判定の正答率を評価する。なお、正答率とは、設備の正常時/異常時を診断アルゴリズムで正しく判断できたかを表す。

B) 伝送品質

ローカル5Gを通して伝送した音響データの伝送品質について、エッジPC側と同等の判定結果及び音響データを管理者PCへの伝送した際に、データの欠損がないことを目標とする。

C) 伝送スピード

ローカル5Gを通して伝送した音響データの伝送スピードについて、エッジPCから出された異常検知通知が管理者PCへ通知される目標時間を3秒以内とし、転送速度約1.5Mbpsを目標とする。

(2) 評価・検証方法

A) 異常検知確度

a) 検証条件

異常検知確度を評価するにあたり、設備、工具、製品、切削方法は以下の条件で設定した。

表 4-4-1-2 ① (1)-1 各会社の設備・工具・製品材質・切削方法

項目	ツウテック株式会社	株式会社ユタカ
設備	DMG森精機(株)製 NVX 5080	DMG森精機(株)製 NVX 5080
工具	1mmφドリル	1mmφエンドミル
製品材質	SUS304	SUS430
切削方法	穴あけ加工	溝堀加工
送り速度	450mm/min	250mm/min
回転数	9,500 rpm	12,000 rpm
切り込み量	5mm [1mm × 5回] / [3mm × 2回] / [5mm × 1回]	2mm [0.2mm × 10回]

b) 手順

【事前調査】

事前調査として、現有のマシニングセンタ（ツウテック株式会社：NVX 5080、株式会社ユタカ：NVX 5100 II）を使って、ツウテック株式会社で穴あけ加工作業のサンプルデータ 14 個、株式会社ユタカで溝掘加工作業のサンプルデータ 18 個を収録した。

【収録データ分析】

工具の回転に由来するマシニングセンタの主軸から発生する音成分（ツウテック株式会社の回転数が 9,500rpm の場合は 158.3Hz の音成分、株式会社ユタカの回転数が 12,000rpm の場合は 200Hz の音成分）の減少およびその周波数の低調波部分における音成分の増加が、工具の劣化を表している可能性があることが確認された。

この 158.3Hz あるいは 200Hz の音成分はクーラント噴射音の影響を受けにくく、本実証の音響診断に用いる特徴として適していると考えられる。工具劣化時あるいは損傷時には、これらの周波数あるいは低調波成分の周波数のエネルギーが変化し、工具劣化の検知および工具破損の検知に有効である。

【診断アルゴリズムの構築】

1 秒毎にその時点の前区間と後区間において、それぞれで主軸の回転に由来する音エネルギーの変動の統計情報（平均と分散）を計算し、前区間と後区間のそれぞれの統計量（平均と分散）の差が閾値以上に大きくなったときに「アラーム」を出す方式を考案した（図 4-4-1-2-① (2)-1）。

前区間および後区間の時間長は、収録したデータの観察に基づいて、ツウテック株式会社の穴あけ加工作業では 60 秒、株式会社ユタカの溝掘加工作業では 300 秒に設定した。主軸回転由来成分の周波数、前・後区間の時間長および判定に用いる前・後区間の音響的統計量の差に適用する閾値は、モデルファイル（.mdl）内で設定できるようにした。

また、マシニングセンタの動作と停止を、スペクトル重心周波数とスペクトルエントロピーから推定するロジックを考案した。重心周波数が 4,000Hz 以上かつスペクトルエントロピーが 13.5bits 以上の場合にクーラント噴射が行われていると推定する。これによりマシニングセンタから動作/非動作の信号を受けなくても診断アルゴリズムの開始と停止を行うことができる。

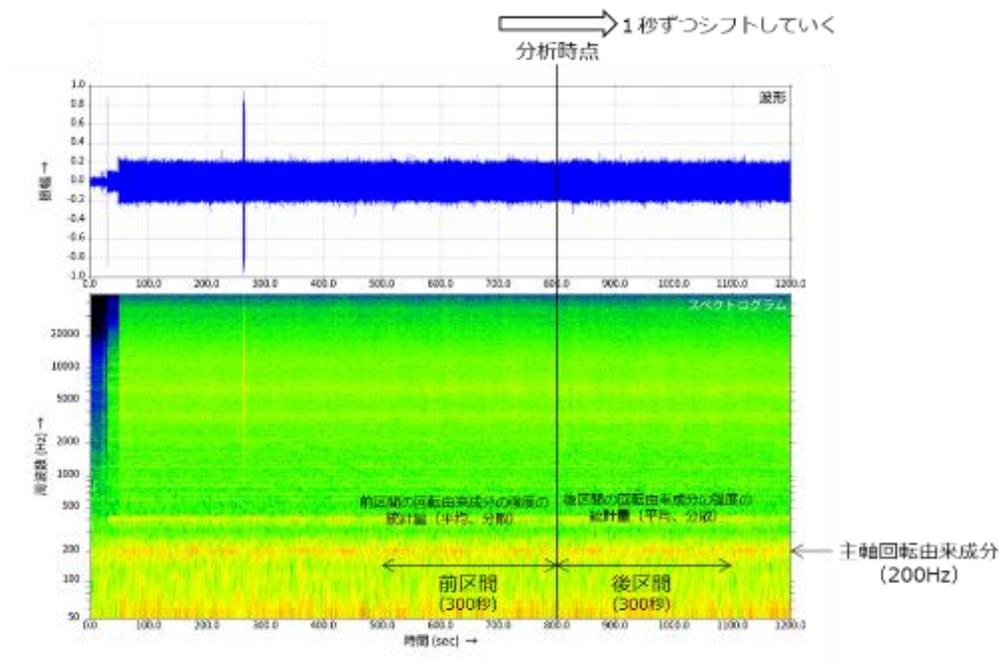


図 4-4-1-2-① (2)-1 診断アルゴリズムの診断方式を示した音響波形・スペクトログラム

B) 伝送品質

a) 検証条件

- ・転送前（エッジ PC）における音響データと転送後（管理者 PC）内の音響データを使用
- ・エッジ PC で収録される音響データの保存形式は wav ファイル形式を使用
- ・転送前（エッジ PC）における音響データと転送後（管理者 PC）内の音響データの比較には、設備の異常検知システムの可視化画面および windows 機能によるハッシュ値確認を使用

b) 手順

ツウテック株式会社、株式会社ユタカそれぞれにおいて、転送前後の音響データの品質に差異がないか、以下の方法で検証した。

1. マシニングセンタ付近に配置しているエッジ PC で収録・分析した音響データの可視化を行う。また、音響データのハッシュ値を記録する。
2. 事務所内に配置している管理者 PC の転送プログラムを起動して、エッジ PC より音響データを転送させる。
3. 管理者 PC にて、エッジ PC より転送された音響データの可視化を行う。また、転送後の音響データのハッシュ値を記録する。
4. 転送前のエッジ PC の可視化画面及びハッシュ値と転送後の管理者 PC の可視化画面及びハッシュ値に差異がないか確認する。

C) 伝送スピード

a) 検証条件

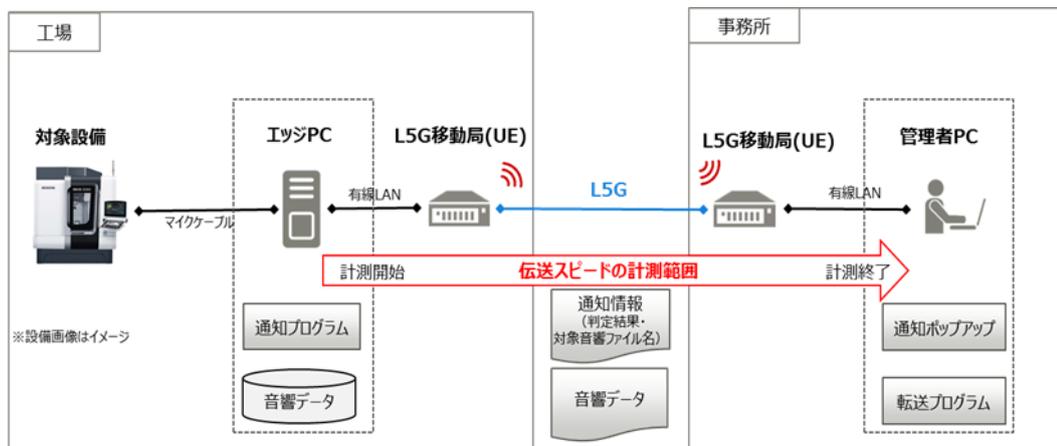


図 4-4-1-2-① (2)-2 本実証における伝送スピードの計測範囲

- ・ 通知時間の計測範囲は、エッジ PC で異常を検知し通知プログラムが起動した時刻から、ローカル 5G 回線を介して、事務所内に配置している管理者 PC で通知ポップアップが表示される時刻を使用
- ・ 異常検知の通知方法には、windows msg 機能を使用
- ・ 異常検知の通知時間の計測には、通知元(エッジ PC)では通知プログラム内タイムスタンプ機能を使用、通知先では windows event ID26 の application popup のタスク機能を使用
- ・ 転送する音響データファイル数はツウテック株式会社では 200 ファイル、株式会社ユタカでは 59 ファイルを使用
- ・ 転送時間の計測には、転送プログラムにて作成されるログファイルを使用
- ・ 転送時間の計測範囲は、管理者 PC にて、エッジ PC で収録・分析した音響データを転送する転送プログラムを起動した時刻から、管理者 PC へ転送が完了した時刻とする。管理者 PC で転送プログラムを起動した時刻及び、管理者 PC へ転送が完了した時刻、転送されたデータサイズは、転送プログラムにより作成されるログファイルより取得

b) 手順

- ・ エッジ PC で通知プログラムが起動した時刻、管理者 PC で通知を受け取った時にポップアップが表示される時刻をそれぞれタイムスタンプで取得し、通知時間を算出する。
- ・ 伝送スピードは転送プログラムにて作成されるログファイルより取得できるエッジ PC から管理者 PC へ転送された音響データのファイルサイズと、その音響データの転送時間を用いて算出する。

(3) 実証結果及び考察

A) 異常検知確度

ツウテック株式会社での実証結果

□実証結果

ツウテック株式会社における主軸の回転由来の 158.3Hz による周波数の前・後区間の音響的な統計量の差の例を示す。横軸が時刻であり、縦軸は音響的な統計量の差（平均の差と分散の差の和）である。17:26 時点で、工具破損が発生していると推定される。ツウテック株式会社の穴あけ加工作業では、音響的統計量の差に適用する閾値をモデルファイル内で 2.5 と設定した。

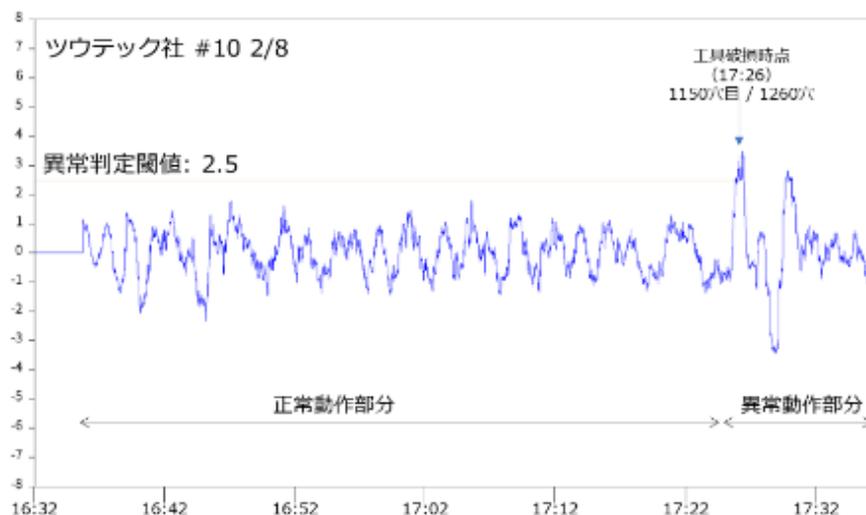


図 4-4-1-2-① (3)-1 主軸 158.3Hz の前・後区間における音響的統計量差異の時間変化

また、本実証システムの診断確度を確認、収録データおよび実証内で確認された設備の異常状況を基に、ツウテック株式会社での実証期間内収録データ 22 個に対して 16 個データが設備の状態と診断結果が合致した。よって、診断結果確度は 72%となる。結果の詳細は、表 4-4-1-2-① (3)-1 に示す。

表 4-4-1-2-① (3)-1 ツウテック株式会社における診断精度結果

#	収録日	開始時刻	終了時刻	動作状態			診断判定と確度				備考	
				穴堀ステップ /5mm	工具	工具破損	破損場所	診断判定	NG 検出時刻	精度評価		

1	2月7日	16:17	17:20	5	新品	無し	-	OK	-	○	1,260 穴完了
2	2月8日	9:18	10:13	5	継続	無し	-	OK	-	○	2,560 穴完了
3	2月8日	10:18	11:22	5	継続	無し	-	OK	-	○	3,780 穴完了
4	2月8日	11:29	12:30	5	継続	無し	-	OK	-	○	5,040 穴完了
5	2月8日	13:05	14:09	5	継続	無し	-	OK	-	○	6,300 穴完了
6	2月8日	14:14	15:23	5	継続	無し	-	OK	-	○	7,560 穴完了
7	2月8日	15:24	16:28	5	継続	無し	-	OK	-	○	8,820 穴完了
8	2月8日	16:32	17:30	5	継続	有り	1150 穴目	NG	17:26	○	-
9	2月9日	9:14	9:18	1	新品	有り	14 穴 目	OK	-	×	-
10	2月9日	9:57	10:08	2	新品	無し	-	OK	-	○	-
11	2月9日	10:22	10:47	2	継続	無し	-	OK	-	○	-
12	2月9日	11:39	12:01	1	継続	有り	41 穴 目	OK	-	×	-
13	2月10 日	9:15	10:18	5	新品	無し	-	OK	-	○	-
14	2月10 日	10:23	11:24	5	継続	無し	-	OK	-	○	-
15	2月10 日	11:33	12:34	5	継続	無し	-	OK	-	○	-
16	2月14 日	9:38	9:43	1	新品	有り	25 穴 目	NG	9:39	○	-
17	2月14 日	11:35	11:42	1	新品	有り	95 穴 目	OK	-	×	-
18	2月14 日	11:47	11:50	1	新品	有り	98 穴 目	OK	-	×	-
19	2月15 日	9:05	9:22	5	継続	無し	-	OK	-	○	#15の継続、 308 穴掘り
20	2月15 日	9:29	9:35	1	新品	無し	-	OK	-	○	107 穴掘り
21	2月15 日	9:40	9:53	1	継続	有り	167 穴 目	OK	-	×	-
22	2月15 日	10:33	11:34	5	新品	無し	-	NG	10:44	×	-

また、以下表 4-4-1-2-① (3)-2 に、設備に異常が起きた際における診断アルゴリズムの診断結果の正答率を示す。正答率は (異常検知判定正答数) / (工具破損数) で求める。ここで、異常検知における診断結果の正答数は表 4-4-1-2-① (3)-1 の「工具破損：有り」で「精度評価：○」の数である。

設備に異常が起きた回数 7 回に対して、設備の状態と診断結果が合致した回数は 2 回であった。よって、設備の異常時における診断結果確度は 28.6%となる。

表 4-4-1-2-① (3)-2 ツウテック株式会社における設備異常時の診断精度結果

工具破損数	異常検知判定正答数	診断結果確度(%)
7	2	28.6

□考察

本実証にて、ツウテック株式会社のマシニングセンタによる加工開始から加工終了の区間に発生した工具の OK、NG 状態の可視化を行えた。また、設備の正常時/異常時それぞれにおける診断結果確度は 72%となった。また、設備の異常時における診断結果確度は 28.6%であった。

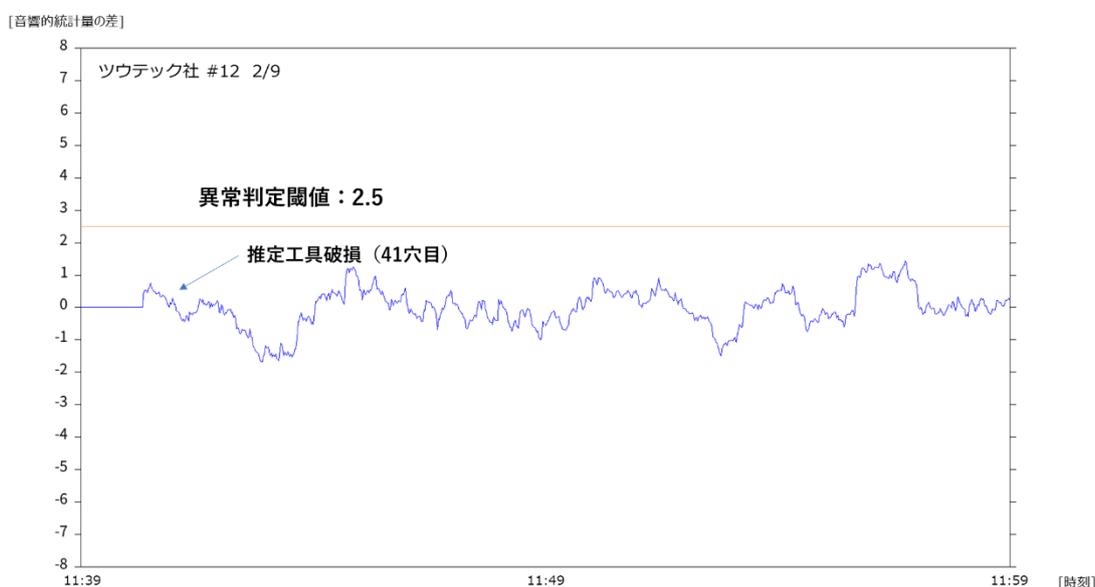


図 4-4-1-2-① (3)-2 工具破損しているが異常検知通知が発生しなかった事例

図 4-4-1-2-① (3)-2 の通り、音響的統計量の差がモデルファイルで設定した閾値に到達していなかったため、異常検知できなかった。

診断結果確度向上の施策として、工具破損時の音響データから工具破損時の特徴量を抽出して、検知精度の高い診断アルゴリズムを再構築が考えられる。

本実証で用いた NG 時の事前収録データは 1 件であったが、本実証で得られた NG 時データ 7 件を活用することで、検知精度をさらに向上できると考察する。

本実証では、異常予兆を検知する診断アルゴリズムも並行で起動して検証を行った。異常予兆の検知方式は、マシニングセンタの主軸から発生する周波数成分が、通常動作と異なる特徴（回転周波数の低調波成分が 41dB 以上）を示したときに「ワ

ーニング」を発生し、5 秒間連続で「ワーニング」が出続けた場合、「アラーム」を発生するものとなる。

設備の異常動作（工具劣化および工具破損）時では、工具劣化を示すワーニングは確認されるものの、アラームの発生までには至らないことが判明した。

異常動作が検出できなかった要因は下記に示す。

- ・対象工具である 1mm ドリルでは、加工作業の積み重ねによるコーティングの剥がれや工具損傷などによる疲労破壊が発生する前に、切り屑の噛みこみなどによる突発的な工具破損に至った。
- ・現在の診断アルゴリズムでは単発的なワーニングが検出できるが、長期的なワーニングの発生を認識していない。

アラームの発生条件について、5 秒連続でのワーニング発生では厳しい条件であることが実証内にて明らかになったため、一定の時間内に発生するワーニング回数の頻度からアラームを発生するアルゴリズムに変更することにより、検出可能となる見込みである。

株式会社ユタカでの実証結果

□実証結果

株式会社ユタカにおける主軸の回転由来の 200Hz による周波数の前・後区間の音響的な統計量の差の例を示す。前半は正常動作部分で、18:38 時点で工具が破損していると推定される。株式会社ユタカの溝堀加工作業では、音響的統計量の差に適用する閾値をモデルファイル内で閾値を 3.5 と設定した。

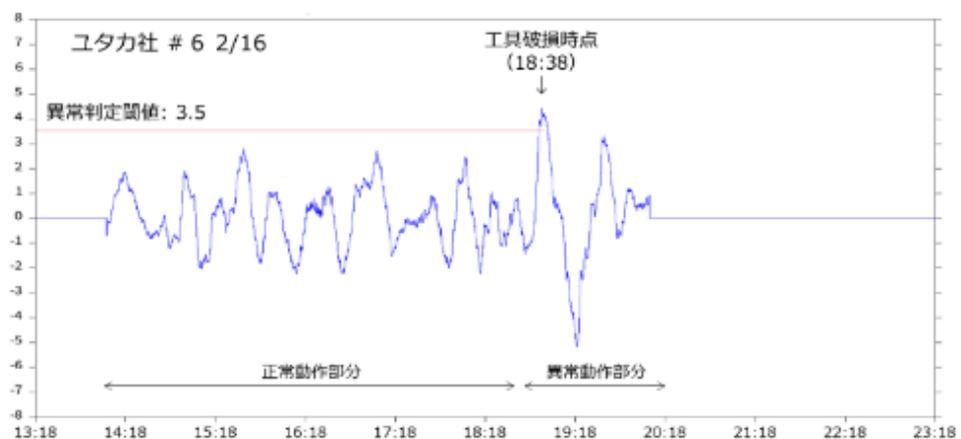


図 4-4-1-2-① (3)-3 主軸 200Hz の前・後区間における音響的統計量差異の時間変化

前半は正常動作部分で、18:38 時点で工具が破損していると推定される。正常動作

部分では約 20 分周期の変動が見られる。この 20 分周期の変動は、深さ 0.2mm ごとの切り込みにおいて 2 回の溝堀加工を行っており、1 回ごとの溝の切替音に対応していると考えられる。

収録データおよび実証内で確認された設備の異常状況を基に、株式会社ユタカでの実証期間内収録データ 10 個に対して 7 個のデータが設備の状態と診断結果が合致した。よって、診断結果正答率は 70%となる。結果の詳細は、表 4-4-1-2-① (3)-3 に示す。

表 4-4-1-2-① (3)-3 株式会社ユタカにおける診断精度結果

#	収録日	開始時刻	終了時刻	動作状態			診断判定と精度			備考
				工具破損	破損場所	推定破損時刻	判定	NG 検出時刻	評価	
1	2月7日	20:30	21:00	無し	-	-	OK	-	○	一溝の切削後停止し、工具が破損していないことを確認
2	2月7日	21:00	23:30	有り	深さ 0.6mm	23:30 頃	NG	23:19	○	#1 の再開、21:00～21:30 は溝堀済み箇所をなぞる加工
3	2月8日	19:20	21:30	有り	深さ 0.6mm	21:10 頃	OK	-	×	-
4	2月14日	16:38	17:40	有り	深さ 0.2mm	17:15 頃	OK	-	×	-
5	2月15日	16:43	22:49	有り	深さ 1.8mm	22:13 頃	NG	22:11	○	-
6	2月16日	13:18	20:05	有り	深さ 1.6mm	18:28 頃	NG	18:38	○	-
7	2月17日	9:20	9:40	無し	-	-	OK	-	-	(参考データ) クーラントのみ
8	2月17日	9:55	10:15	無し	-	-	OK	-	-	(参考データ) クーラントなし
9	2月17日	10:30	13:12	有り	深さ 0.4mm	11:20 頃	OK	-	×	-
10	2月17日	13:36	14:58	無し	-	-	OK	-	○	新品エンドミル
11	2月17日	15:00	20:26	有り	深さ 0.6mm	16:30 頃	NG	16:28	○	深さ 0.4mm 二本目まで使用したエンドミルを継続使用
12	2月18日	9:16	10:54	無し	-	-	OK	-	○	新品の 0.5mm φ エンドミル、切込量 0.05mm、深さ 0.1mm までの切削

また、以下表 4-4-1-2-① (3)-4 に、設備に異常が起きた際における診断アルゴリズムの診断判定の正答率を示す。正答率は（異常検知判定正答数）／（工具破損数）で求める。ここで、異常検知判定正答数は表 4-4-1-2-① (3)-3 の「工具破損：有り」で「評価：○」の数である。

設備に異常が起きた際の音響データ 7 個に対して、設備の状態と診断判定が合致したデータは 4 個であった。よって、設備の異常時における診断結果正答率は 57.1%となる。

表 4-4-1-2-① (3)-4 株式会社ユタカにおける設備異常時の診断精度結果

工具破損数	異常検知判定正答数	正答率(%)
7	4	57.1

□考察

本実証にて、株式会社ユタカのマシニングセンタによる加工開始から加工終了の区間に発生した工具の OK、NG 状態の可視化を行えた。また、設備の異常検知システムによる診断結果の正答率は 70%となった。また、設備の異常時における診断結果確度は 57.1%であった。

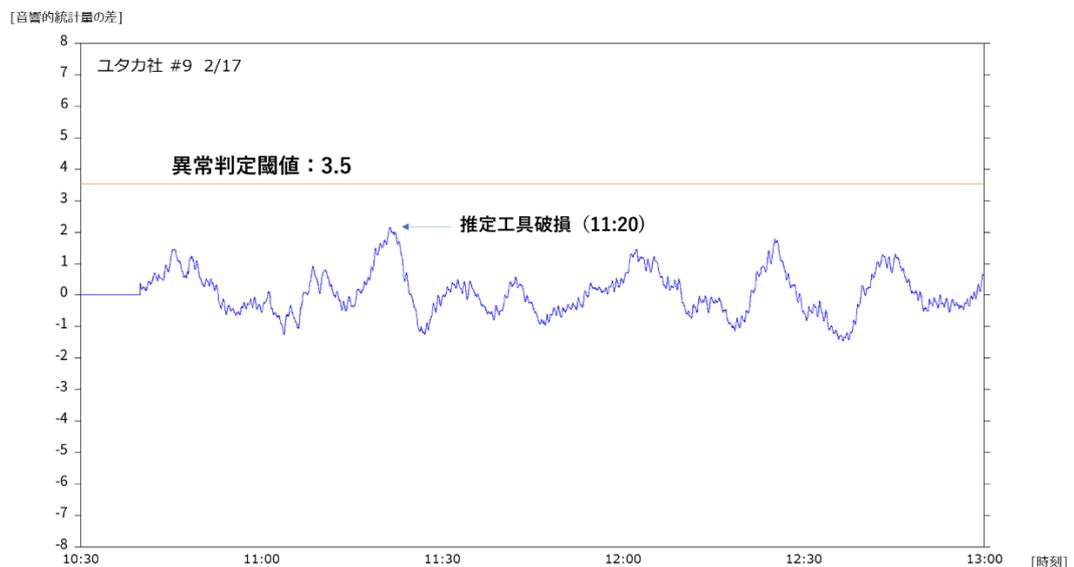


図 4-4-1-2-① (3)-4 工具破損しているが異常検知通知が発生しなかった事例

図 4-4-1-2-① (3)-4 の通り、音響的統計量の差がモデルファイルで設定した閾値に到達していなかったため、異常検知できなかった。

診断結果確度向上の施策として、工具破損時の音響データから工具破損時の特徴量を抽出して、検知精度の高い診断アルゴリズムを再構築が考えられる。

本実証で用いた NG 時の事前収録データは 1 件であったが、本実証で得られた NG 時データ 7 件を活用することで、検知精度をさらに向上できると考察する。

本実証では、異常予兆を検知する診断アルゴリズムも並行で起動して検証を行った。異常予兆の検知方式は、マシニングセンタの主軸から発生する周波数成分が、通常動作と異なる特徴(回転周波数成分が 30dB 以下)を示したときに「ワーニング」を発生し、10 秒間連続で「ワーニング」が出続けた場合、「アラーム」を発生するものとなる。

設備の異常動作(工具劣化および工具破損)時では、ワーニングは確認されるものの、アラームの発生までには至らないことが判明した。

異常動作が検出できなかった要因は下記に示す。

- ・対象工具である 1mm エンドミルでは、加工作業の積み重ねによるコーティングの剥がれや工具損傷などによる疲労破壊が発生する前に、切り屑の噛みこみなどによる突発的な工具破損に至った。
- ・現在の診断アルゴリズムでは単発的なワーニングが検出できるが、長期的なワーニングの発生を認識していない。

アラームの発生条件について、10 秒連続でのワーニング発生では厳しい条件であることが実証内にて明らかになったため、一定の時間内に発生するワーニング回数の頻度からアラームを発生するアルゴリズムに変更することにより、検出可能となる見込みである。

B) 伝送品質

ツウテック株式会社での実証結果

□実証結果

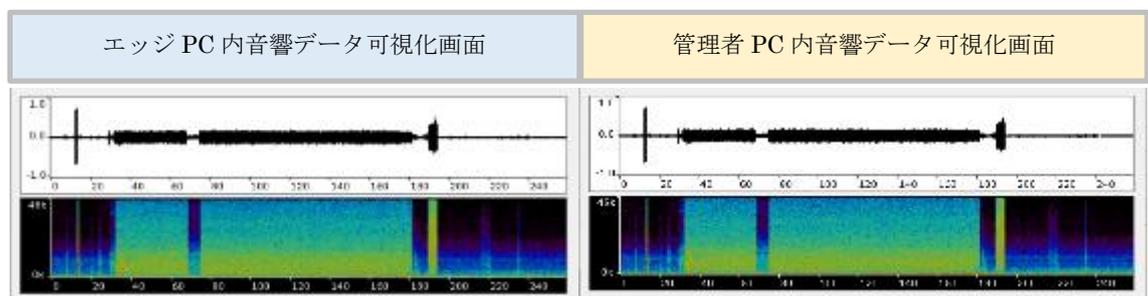


図 4-4-1-2-① (3)-5 2022/02/09/14:25 に収録した転送前のエッジ PC 内音響データ可視化画面(左図)と転送後の管理者 PC 内音響データの可視化画面

表 4-4-1-2-① (3)-5 2022/02/09/14:25 に収録した転送前のエッジ PC 内音響データ可視化画面(左)と転送後の管理者 PC 内音響データの可視化画面

項目	エッジ PC 内 音響データ可視化画面	管理者 PC 内 音響データ可視化画面
日時	2022.02.09 09:14:25	2022.02.09 09:14:25
パワー(dBFS)	-37.11	-37.11
スペクトル傾斜	-0.002336	-0.002336
ゼロ交差数(Hz)	7050.20	7050.20
ピーク周波数(Hz)	3406.69	3406.69
重心周波数(Hz)	5721.31	5721.31
スペクトル分散(Hz)	5210.90	5210.90
特徴帯域パワー(dB)	32.46	32.46
スペクトルエントロピー (bit)	12.85	12.85

ツウテック株式会社にて、B棟工場マシニングセンタ付近に配置しているエッジ PC で収録・分析した音響データを、ローカル 5G 回線を介して D 棟事務所内に配置している管理者 PC へ音響データを転送した。エッジ PC から管理者 PC への転送された音響データは、ファイル破損なく、設備の異常検知システムの可視化画面にて可視化できることを確認した。

また、転送前のエッジ PC 内にて 2022/02/09/14:25 に収録した音響データの可視化画面結果と、転送後の管理者 PC 内にて音響データの可視化画面結果が同一であることを確認した (図 4-4-1-2-① (3)-5)。

表 4-4-1-2-① (3)-6 2022/02/09/14:25 に収録した転送前のエッジ PC 内音響データハッシュ値と転送後の管理者 PC 内音響データのハッシュ値

項目	エッジ PC 内音響データのハッシュ値	管理者 PC 内音響データのハッシュ値
File	20220209091425_two-teq01_machining-center01_mic01_	20220209091425_two-teq01_machining-center01_mic01_
CRC-32	119d8de1	119d8de1
MD4	2d03c0e92dfa158a57585d90e45bf13c	2d03c0e92dfa158a57585d90e45bf13c
MD5	9cae024887cd675233bc21c18be35429	9cae024887cd675233bc21c18be35429
SHA-1	de5f1b221daeb75235111ec90293c3b063a66a63	de5f1b221daeb75235111ec90293c3b063a66a63

転送前のエッジ PC 内にて 2022/02/09/14:25 に収録した転送前におけるエッジ PC の音響データのハッシュ値と、転送後における管理者 PC 内の音響データのハッシュ値(CRC-32、MD4、MD5、SHA-1)を比較したところ、同一であることを確認

できた。各ハッシュ値の詳細は、表 4-4-1-2-① (3)-6 に示す。

□考察

ツウテック株式会社にて、B 棟マシニングセンタ付近に配置しているエッジ PC で収録した音響データと同一の音響データによる可視化結果を D 棟事務所内に配置している管理者 PC にて確認できた。このことから、ローカル 5G 回線を介して音響データの劣化・欠損なく音響データを転送できていると考察する。

また、B 棟マシニングセンタ付近に配置しているエッジ PC で収録した音響データのハッシュ値と D 棟事務所内に配置している管理者 PC へ転送された音響データのハッシュ値が同一であることを確認できた。このことから、音響データの改ざん及びファイル破損なく、伝送品質（データの同一性）が確保されていると考察する。

株式会社ユタカでの実証結果

□実証結果

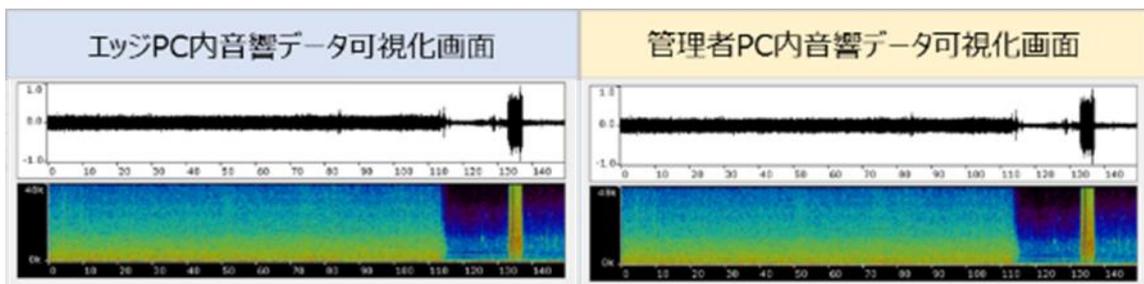


図 4-4-1-2-① (3)-6 2022/02/17 13:35 に収録した転送前のエッジ PC 内音響データ可視化画面(左図)と転送後の管理者 PC 内音響データの可視化画面

表 4-4-1-2-① (3)-7 2022/02/17 13:35 に収録した転送前のエッジ PC 内音響データ可視化画面(左図)と転送後の管理者 PC 内音響データの可視化画面

項目	エッジ PC 内音響データ詳細	管理者 PC 内音響データ詳細
日時	2022.02.17 13:35:56	2022.02.17 13:35:56
パワー(dBFS)	-31.74	-31.74
スペクトル傾斜	5522.217...	5522.217...
ゼロ交差数(Hz)	44.49	44.49
ピーク周波数(Hz)	6674.50	6674.50
重心周波数(Hz)	4949.42	4949.42
スペクトル分散(Hz)	825.30	825.30
特徴帯域パワー(dB)	44.49	44.49
スペクトルエントロピー	12.93	12.93

(bit)		
-------	--	--

株式会社ユタカにて、第5工場マシニングセンタ付近に配置しているエッジPCで収録・分析した音響データを、ローカル5G回線を介して、第1工場事務所に配置している管理者PCへ音響データを転送した。エッジPCから管理者PCへの転送された音響データは、ファイル破損なく、設備の異常検知システムの可視化画面にて可視化できることを確認した。

また、転送前のエッジPC内にて2022/02/17 13:35に収録した音響データの可視化画面結果(図4-4-1-2-①(3)-6左図、表4-4-1-2-①(3)-7左項目)と、転送後の管理者PC内にて音響データの可視化画面結果(図4-4-1-2-①(3)-6右図、表4-4-1-2-①(3)-7右項目)が同一であることを確認した。

表4-4-1-2-①(3)-8 2022/02/09/14:25に収録した転送前のエッジPC内音響データのハッシュ値(左図)と転送後の管理者PC内音響データのハッシュ値(右図)

項目	エッジPC内音響データのハッシュ値	管理者PC内音響データのハッシュ値
File	20220217133556_yutaka01_machining-center01_mic01_0	20220217133556_yutaka01_machining-center01_mic01_0
CRC-32	313d9238	313d9238
MD4	350c901775c91537b9cc48ad7cd9b4e8	350c901775c91537b9cc48ad7cd9b4e8
MD5	86075ed5a7069c533b1f6279333e87c7	86075ed5a7069c533b1f6279333e87c7
SHA-1	f6850398e30cce1acfbe18a0330227d3d5903511	f6850398e30cce1acfbe18a0330227d3d5903511

転送前のエッジPC内にて2022/02/17 13:35より収録した転送前におけるエッジPCの音響データのハッシュ値と、転送後における管理者PC内の音響データのハッシュ値(CRC-32、MD4、MD5、SHA-1)を比較したところ、同一であることを確認した。各ハッシュ値の詳細は、表4-4-1-2-①(3)-8に示す。

□考察

株式会社ユタカにて、第5工場内マシニングセンタ付近に配置しているエッジPCで収録した音響データと同一の音響データによる可視化結果を第1工場内事務所に配置している管理者PCにて確認できた。このことから、ローカル5G回線を介して音響データの劣化・欠損なく音響データを転送できていると考察する。

また、第5工場内マシニングセンタ付近に配置しているエッジPCで収録した音響デ

ータのハッシュ値と第 1 工場内事務所に配置している管理者 PC へ転送された音響データのハッシュ値が同一であることを確認できた。このことから、音響データの改ざん及びファイル破損なく、伝送品質（データの同一性）が確保されていると考察する。

C) 伝送スピード

ツウテック株式会社での実証結果

□実証結果

伝送スピードについて、B 棟マシニングセンタ付近の作業机上に配置しているエッジ PC にて異常を検知後、D 棟事務所に配置している管理者 PC の画面上へ異常通知のポップアップが表示されるまでの時間を 20 回測定したところ、平均約 0.60 秒であった。

また、B 棟マシニングセンタ付近の作業机上に配置しているエッジ PC より D 棟事務所に配置している管理者 PC へ転送された音響データの転送を 3 回行った。転送速度の平均は 11.6Mbps であった。以下、詳細を表 4-4-1-2-① (3)-9 に示す。

表 4-4-1-2-① (3)-9 ツウテック株式会社におけるデータ転送時の伝送スピード

ファイル数	データサイズ(MB)	転送時間(sec)	転送速度(Mbps)
90	243	120	16.2
50	2,060	1,258	13.2
60	558	831	5.4

□考察

エッジ PC から出された異常検知通知が、管理者の PC に即時通知される時間は平均 0.60 秒であった。このことから、目標通知時間である 3 秒以内を満たす結果だと考察する。設備に異常があった際には、管理者へ約 0.60 秒で通知されることから、管理者から現場作業員への連絡は即時可能な運用となることが期待できる。

また、音響データの転送速度は、平均 11.6Mbps であった。このことから、目標転送速度である 1.5Mbps を満たす結果であると考察する。

株式会社ユタカでの実証結果

□実証結果

伝送スピードについて、第 5 工場マシニングセンタ付近の作業机上に配置しているエッジ PC にて異常を検知後、第 1 工場内事務所に配置している管理 PC の画面上へ異常通知のポップアップが表示されるまでの時間を 13 回測定したところ、平均約 0.73 秒であった。

また、第 5 工場事務所内に配置しているエッジ PC より第 1 工場内事務所内に配置している管理 PC へ転送された音響データのデータ転送速度の平均は 5.0Mbps であった。以下、詳細を表 4-4-1-2-① (3)-10 に示す。

表 4-4-1-2-① (3)-10 株式会社ユタカにおけるデータ転送時の伝送スピード

ファイル数	データサイズ(MB)	転送時間(sec)	転送速度(Mbps)
19	33.4	27	9.9
20	824	2,028	3.3
20	824	2,460	1.9

□考察

エッジ PC から出された異常検知通知が、管理者の PC へ即時通知される時間は平均 0.73 秒であった。このことから、目標通知時間である 3 秒以内を満たす結果だと考察する。設備に異常があった際には、管理者へ約 0.73 秒で通知されることから、管理者から現場作業員への連絡は即時可能な運用となることが期待できる。

また、音響データの転送速度は、平均 5.0Mbps であった。このことから、目標転送速度である 1.5Mbps を満たす結果であると考察する。

■まとめ

機能検証を通して、ツウテック株式会社と株式会社ユタカでは、診断アルゴリズムの診断確度および伝送スピードの結果に違いがあり、今後の改善課題はあるものの、評価・検証項目において一定の評価を得ることができ、ローカル 5G 活用ソリューションとしては有効であると考えられる。

<ユースケース②：検品対象の AI 画像解析>

(1) 評価・検証項目

画像検品システムにおける機能検証の評価項目は以下の A) B) となる。

A) 伝送品質

ローカル 5G を通して伝送した画像データの伝送品質について、伝送前後での画像品質を計測し、伝送品質を評価する。

伝送品質の定義：伝送前後の画像の画素単位での RGB 値の相違割合

B) 伝送スピード

ローカル 5G を通して伝送した画像データの伝送スピードについて、伝送前後の時刻と画像容量・画像枚数を計測し、伝送スピードを評価する。

伝送スピードの定義：伝送した画像容量について伝送に要した速度

(2) 評価・検証方法

ツウテック株式会社の工場内に設置した外観検品装置内のエッジ PC で収集した検品画像を、遠隔地 PC 側に伝送する際の伝送品質及び検品画像伝送時の伝送スピードを下記の方法で評価・検証した。

A) 伝送品質

a) 検証条件：

- ・部品 A (50 個)、部品 B (60 個) を使用
- ・部品 A、部品 B の撮像画像の保存形式は可逆圧縮形式(png)を使用
- ・部品 A の画像枚数は 52 枚/個、部品 B の画像枚数は 28 枚/個の伝送元 (エッジ PC) と伝送先 (遠隔地 PC) の画像を画素単位で比較し相違点を算出

b) 手順：

- ・外観検品装置で撮像した可逆圧縮画像群(png)がエッジ PC に保存され、検品 NG の場合には遠隔地 PC にも伝送される。
- ・伝送元と伝送先における画像 RGB 値の相違割合を確認する。

B) 伝送スピード

a) 検証条件：

- ・部品 A (50 個)、部品 B (60 個) を使用
- ・部品 A、部品 B の撮像画像の保存形式は可逆圧縮形式(png)を使用
- ・部品 A の画像枚数は 52 枚/個、部品 B の画像枚数は 28 枚/個の伝送に要する時間をもとに伝送スピードを算出

b) 手順：

- ・外観検品装置で撮像した画像群がエッジ PC に保存される (図 4-4-1-2 ②-1(A))

- ・ 検品 NG の場合には遠隔地 PC にも伝送される (図 4-4-1-2 ②-1 (B))。
- ・ 伝送する画像容量と伝送開始時刻と伝送終了時刻を計時し、伝送した画像容量の伝送スピードを算出する。(平均画像容量：45.2MB/部品 A、26.1MB/部品 B)

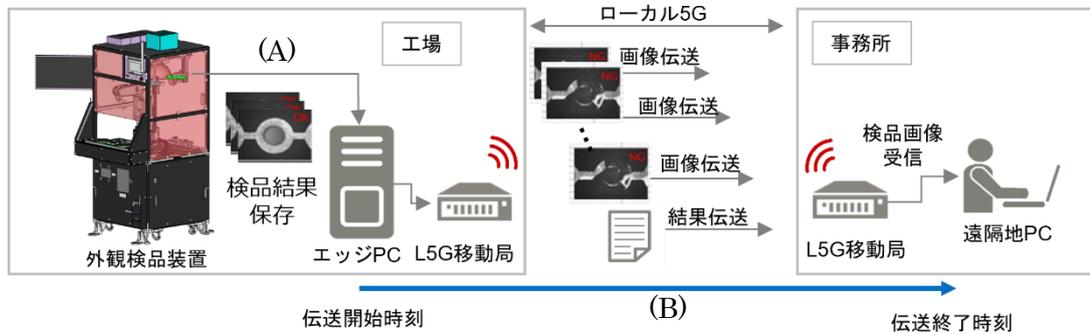


図 4-4-1-2 ②-1 ローカル 5G を利用した画像情報の伝送の流れ

(3) 実証結果及び考察

以下、評価項目に対する実証結果および考察を記す。

□ 実証結果

A) 伝送品質

伝送品質について、結果を表 4-4-1-2 ②-1 に示す。結果から、伝送品質は部品 A、B ともに 100% となり、目標の 99% 以上を満足した。

なお、表 4-4-1-2 ②-1 の結果は、部品 A は図 4-4-1-2 ②-2～3 に示す、2022/2/21 14:44:03 に行った撮像画像と検品画像を用いて確認した。部品 B は図 4-4-1-2 ②-4～5 に示す、2022/2/22 9:15:51 に行った撮像画像と検品画像を用いて確認した。

伝送品質は、2 ファイル間のバイナリレベルの相違点を確認できる Windows の標準コマンドである fc.exe を用い、伝送元と伝送先の画像について相違がないことを確認した。

表 4-4-1-2 ②-1 伝送品質の比較

	部品 A		部品 B	
	画像枚数	伝送品質 (%)	画像枚数	伝送品質 (%)
画像圧縮方式				
png	52	100	28	100

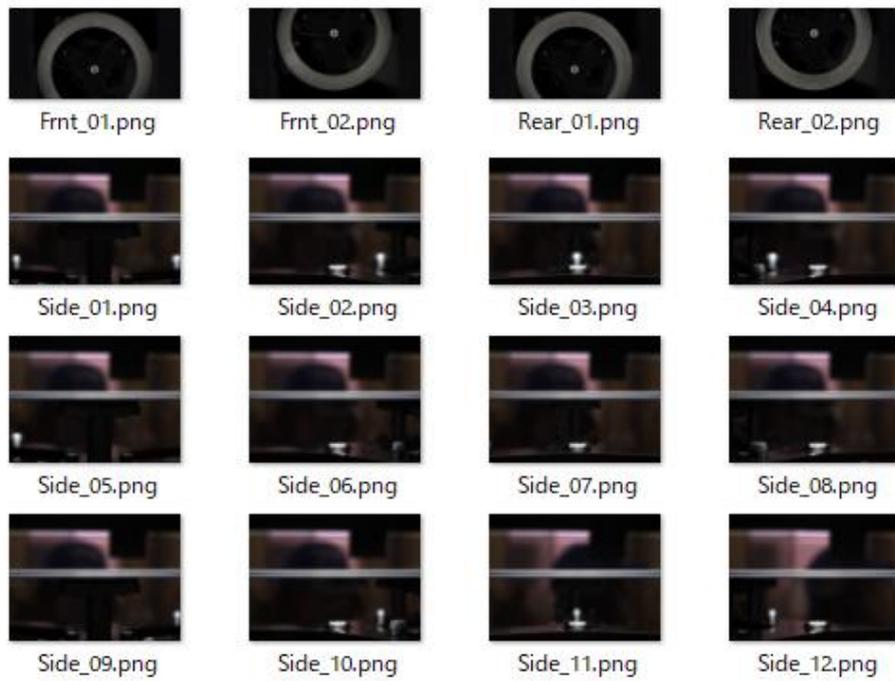


図 4-4-1-2 ②-2 部品 A 撮像画像



図 4-4-1-2 ②-3 部品 A 検品画像



図 4-4-1-2 ②-4 部品 B 撮像画像

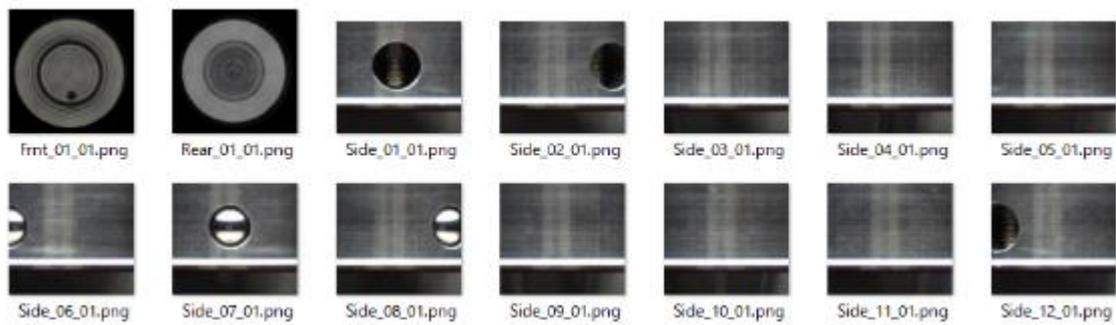


図 4-4-1-2 ②-5 部品 B 検品画像

B) 伝送スピード

伝送スピードについて、結果を表 4-4-1-2 ②-2 に示す。結果から、伝送スピードは 2-3 章(2)に記載したとおり、150Mbps の想定伝送性能からスマートグラス:約 1.5Mbps ×3 台分、音響・振動データ:約 1.5Mbps×1 台分を除き 144Mbps を設定したが、結果から、部品 A が 7Mbps、部品 B が 7.2Mbps となり、目標の 144Mbps を満足できていない。これは、本検証の外観検品装置設置エリアでの実回線スピード(約 30Mbps)に影響された結果と考えられるが、後述の考察では、技術的な対応策と、回線スピードにあまり影響されずに実用的に利用できる対応策とを検討した。

表 4-4-1-2 ②-2 伝送スピードの比較

画像圧縮方式	部品 A				部品 B			
	伝送ファイル数	伝送容量(MB)	伝送時間(秒)	伝送スピード(Mbps)	伝送ファイル数	伝送容量(MB)	伝送時間(秒)	伝送スピード(Mbps)
png	52	45	51.3	7	28	27	30	7.2

□ 考察

A) 伝送品質

伝送品質について、本検証では画像形式として可逆圧縮である png を用い 100%を達成できた。今後は伝送スピードのさらなる向上のため、高圧縮率が期待できる非可逆圧縮の jpeg などでの伝送品質検証も必要と考える。

B) 伝送スピード

伝送スピードについて、目標の 144Mbps を達成できなかった。この原因として技術的な面からは伝送ファイル数が多い（部品 A:52 枚、部品 B:28 枚）ことによる送受信のオーバーヘッドが影響している可能性を検討した。

そこで、表 4-4-1-2 ②-2 で用いた画像を zip で単一ファイルにまとめた伝送を試みた。結果を表 4-4-1-2 ②-3 に示す。結果から表 4-4-1-2 ②-2 に対し伝送スピードが約 5 倍改善することがわかった。一方、伝送容量は表 4-4-1-2 ②-2 と大差ないことから、この改善は伝送ファイル数の減少により送受信のオーバーヘッドが小さくなったことによると考えられる。

なお、反射板が介在する外観検品装置設置エリアでの実回線スピードの暫定値は 30Mbps であり、表 4-4-1-2 ②-3 の伝送スピードとほぼ合致していることから、同表は妥当な結果だと考えられる。

次に、回線スピードにあまり影響されずに実用的に利用できる方法として、以下の施策を検討した。

1. 外観検品装置からは 2 次検品が必要となる検品対象があることだけを通知
2. 通知された遠隔地側では、2 次検品が行える状況下で検品画像を外観検品装置に要求、伝送された画像を用いて 2 次検品を行い、検品結果に応じた現場への指示を行う

本検証では外観検品装置のエッジ PC で検品を行った結果 NG 品について、撮像画像と検品画像をすべて伝送しているが、上記施策による検討では検品時の伝送時間はゼロとなる。

さらに、要求時に伝送する検品画像を、NG 箇所のみになれば、要求があった場合の伝送時間の短縮が可能である。今回、部品 A の NG 品について、撮像画像に対する NG 画像の割合が約 27% (NG 品の検品全画像 720 箇所中 194 箇所) であった

ことから試算すると、表 4-4-1-2 ②-3 の条件で、必要とする NG 画像を約 3.4 秒/個で伝送できる見通しが得られた。これは業務で利用する際の伝送時間として十分実用的な値であると考ええる。

以上から、今後のシステム構成として、伝送する画像は単一ファイルにまとめつつ、遠隔地へは NG 箇所のみを必要時に伝送することで、より実用的に利用できる検品・再検品のシステムが構築できると考えられる。

表 4-4-1-2 ②-3 単一ファイルでの伝送スピードの比較

画像圧縮方式	部品 A				部品 B			
	伝送ファイル数	伝送容量 (MB)	伝送時間(秒)	伝送スピード (Mbps)	伝送ファイル数	伝送容量 (MB)	伝送時間(秒)	伝送スピード (Mbps)
png 画像群を zip で圧縮	1	43.6	12.8(*1)	40	1	26	8.4(*2)	35

(*1) zip 圧縮時間 3.2 秒、展開時間 0.9 秒を含む

(*2) zip 圧縮時間 1.9 秒、展開時間 0.5 秒を含む

■ まとめ

本システムでは、伝送品質は 100%を達成した。伝送スピードは目標を達成できなかったが、考察に記した伝送する画像は単一ファイルにまとめつつ、遠隔地へは NG 箇所のみを必要時に伝送する施策を施すことにより、実用的には問題なく利用できると判断する。

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

(1) 評価・検証項目

スマートグラスでの遠隔地の検品に用いるコンテンツでは、1.5Mbps の通信速度が推奨されている。ローカル 5G の通信速度は十分満足することから、操作者の使用感について検証を行う。また、技術伝承においては、作業性の確認とクラウド利用時、閉域網利用時の操作性の差について検証する。

- ・遠隔地作業支援における操作者の使用感を評価・検証
- ・技術伝承における操作者の使用感及びクラウド利用時、閉域網利用時、従来ネットワーク使用時の操作性を評価・検証
 - －視認性、バリ取り時の作業性、機械セッティング時の作業性、伝送スピードなど

(2) 評価・検証方法

① スマートグラスの作業性確認

作業性については、実際に作業を行った作業者と指導を行った熟練者にそれぞれインタビュー形式で聞き取りを行い、作業性を確認した。

② 伝送スピードの評価（クラウド利用時、閉域網利用時を比較）

クラウド利用時は RemotoAssist の遠隔支援側とスマートグラス（HoloLens2）側での時間差（ローカル 5G、4G）について、HoloLens2 を装着して視認した映像が遠隔支援側の PC に表示されるまでの伝送スピードを評価。閉域網利用時は、257MB のストップウォッチ動画をサーバーが送信してから HoloLens2 に表示されるまでの伝送スピードを評価した（図 4-4-1-2 ③-1）。

遠隔支援中の作業性を確認するため、通話状態での時間差を 20 回測定した。

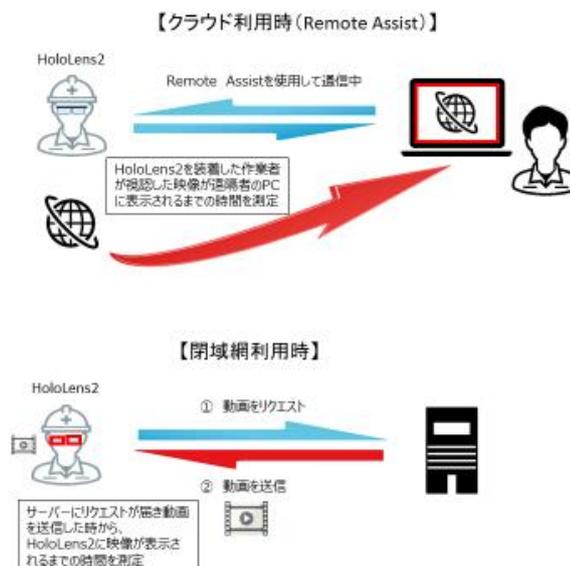


図 4-4-1-2 ③-1 伝送スピードの測定箇所

クラウド利用時の評価の流れは図 4-4-1-2 ③-2 のとおり。

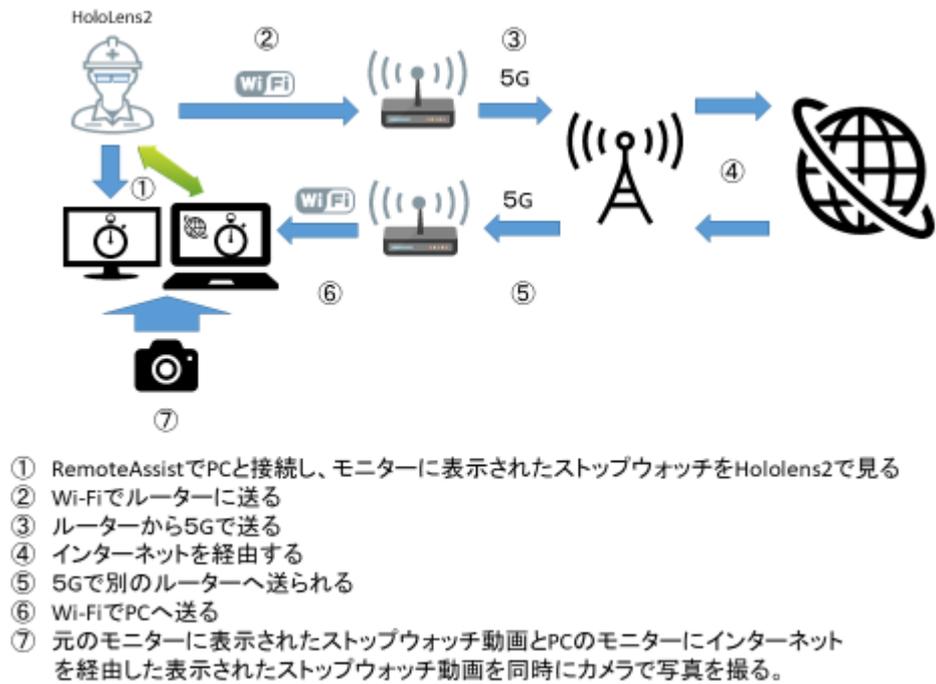


図 4-4-1-2 ③-2 伝送スピードの評価の流れ（クラウド利用時）

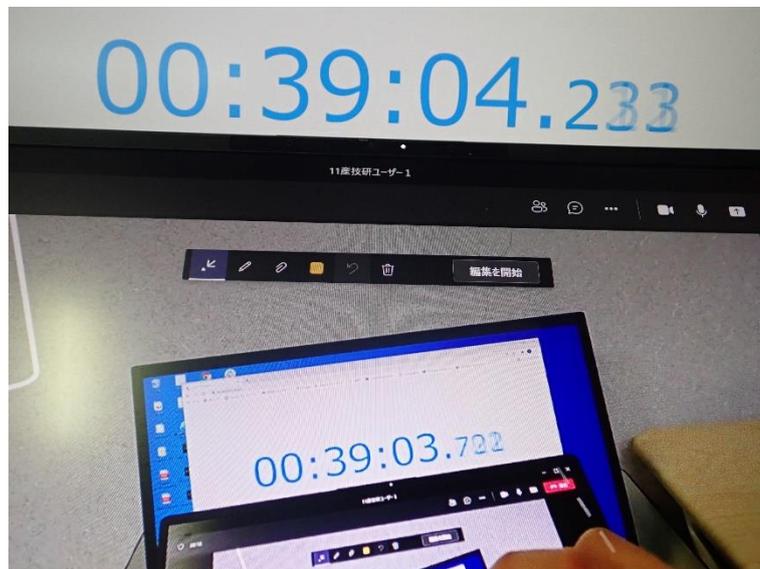


図 4-4-1-2 ③-3 伝送スピードの評価の様子（クラウド利用時）

閉域網利用時はスマートグラス(HoloLens2)からMECサーバー内の動画(257MB)を確認するための伝送時間を確認するため、MECサーバー側とスマートグラス側での時間差を画面に表示したストップウォッチ動画を同時に画像キャプチャで20回取得することで、評価した。

閉域網利用時の評価は図 4-4-1-2 ③-4 のとおり。

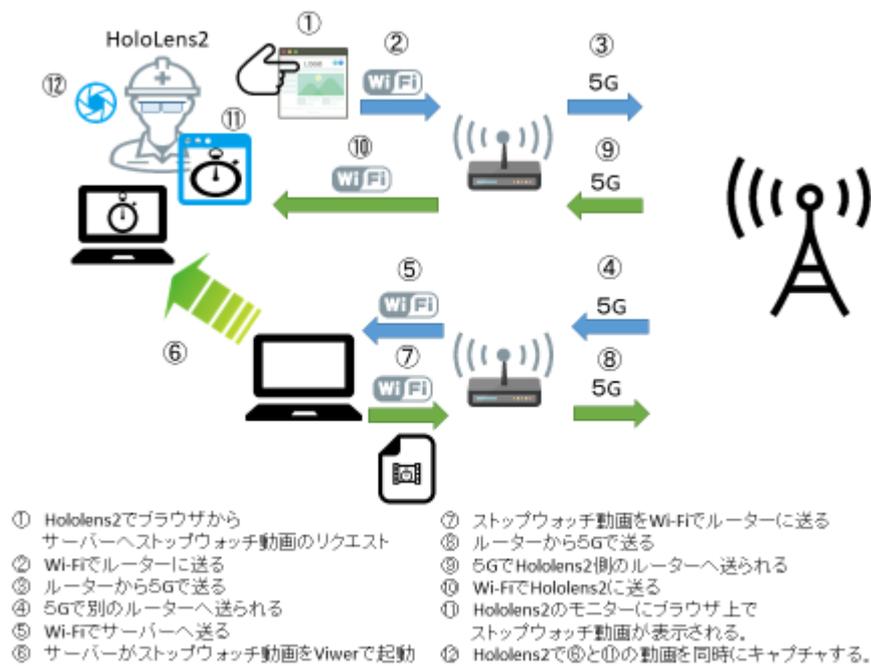


図 4-4-1-2 ③-4 伝送スピードの評価の流れ (閉域網利用時)

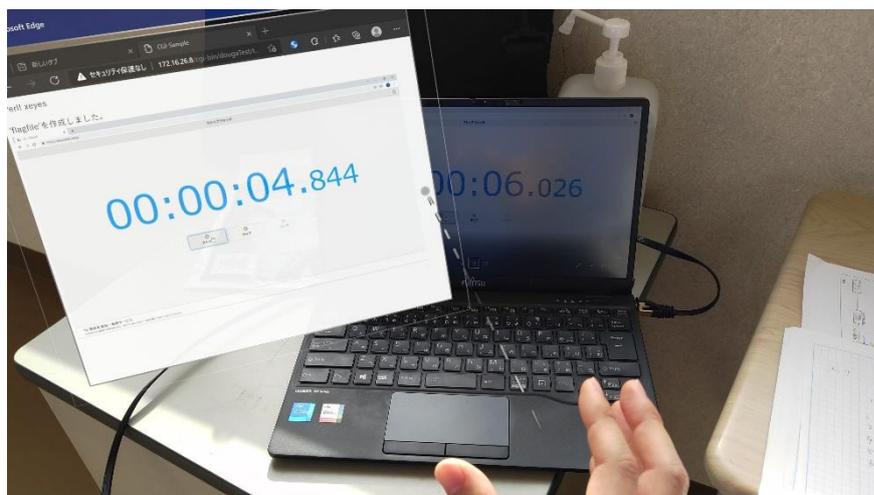


図 4-4-1-2 ③-5 伝送スピードの評価の様子 (閉域網利用時)

(3) 実証結果及び考察

① スマートグラスの作業性インタビュー聞き取り表

ー視認性、作業効率などを聞き取り評価

スマートグラスを使用し、作業を行った未熟練者、遠隔地からの作業支援において支援を行った熟練者にスマートグラスを用いた指導に関して視認性や作業効率についてインタビューを行った結果を表 4-4-1-2 ③-1 に示す。

表 4-4-1-2 ③-1 スマートグラスを用いた支援におけるインタビュー結果

	熟練者・未熟練者による評価・分析	実装に必要となる課題
バリ取り時の作業性	<ul style="list-style-type: none"> ・動画で動きがわかりコツがわかりやすかった。 ・動画が大きく見やすかった。 ・細かな動きまで確認できて良かった。 ・速さが確認できて良かった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・内容は理解できたが、指示通りに実践できるかは別であった。
機械セッティング時の作業性	<ul style="list-style-type: none"> ・目線での操作ができることが、手を動かす方法よりも操作性が良かった。 ・手が表示される操作は工具の回転時には移さないようにしないと、巻き込まれる恐れがある。 ・ある程度慣れている作業に近い場合は詳細なマニュアルは読むのに疲れるので必要ない。 ・項目立てて、みる箇所を限定して使用したい。 ・MR を用いたセッティングマニュアルでは、ボタンの押す位置がわかりやすいなどの利点がある一方で、現実の物とMRが重なると実際自分が行っている操作がわかりにくい。 ・未熟練者の作業動画を熟練者が見ると、未熟練者がどの部分に気を付けて作業しているかがわかりやすくてよい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率の良いコンテンツの作成 ・暗い個所の作業はグラス越しでは確認しにくい。 ・手が油で汚れた場合にセンサーを汚してしまう可能性がある。
クラウド利用と閉域網利用による差	<ul style="list-style-type: none"> ・操作は図面を大きくしてみる必要がある。 ・図面の小さい文字などは拡大しなければ読みにくい。 ・工程のやり取りは図面をPDFで参考にした方が通じやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・長時間の使用は目が疲れる。

インタビュー結果では、バリ取り時の作業性については、動画を確認しながら作業ができるため、熟練者の動きを理解するのに有効であったとの意見が多かったが、技術を見た

だけで習得することは困難であるなど、熟練者の直接指導が必要とまでは言わないが、実際に技術を習得するには、練習期間が必要だと思われた。機械セッティング時の作業性については、手の動作を必要としない操作の簡便性が（目線での操作や音声での操作など）使用感の良し悪しを決定するポイントであると考えられる。

また、機械セッティングマニュアルの作成では、マニュアルを詳細に記載しても、他の類似機械の操作経験者にとっては文字を読む手間や、ページをめくる手間が増えるというデメリットもあった。未熟練者においても、機械（旋盤）操作の未経験者は、スマートグラスによる指導のみでは危険が伴う可能性があるため敬遠され、旋盤操作の経験がある者が装着すると想定されるため、旋盤操作の経験者の目線で必要な情報に焦点をあてた、簡易的なマニュアル作りが必要と考えられる。

② 伝送スピード結果

HoloLens2でのクラウド利用時、閉域網利用時の伝送スピード測定結果を図4-4-1-2 ③-6に示す。

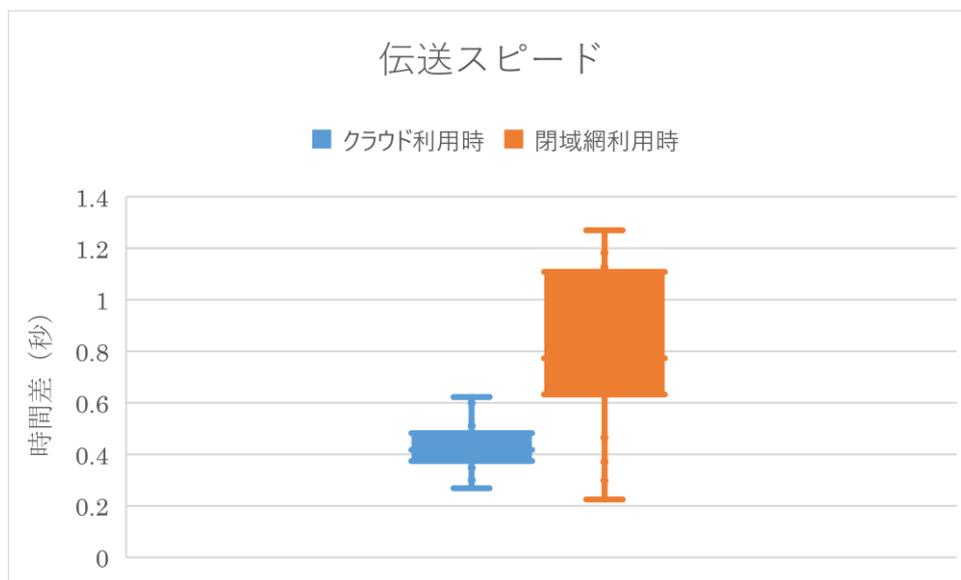


図 4-4-1-2 ③-6 クラウド利用時の通信時間差

また、測定結果の平均値、中央値、最長値、最短値を表 4-4-1-2 ③-2 に示す。

表 4-4-1-2 ③-2 伝送スピード測定結果

	クラウド利用時 (秒)	閉域網利用時 (秒)
平均値	0.431	0.796
中央値	0.417	0.773
最長値	0.623	1.27
最短値	0.269	0.225

ローカル 5Gでの遠隔支援時に図面をみながらの指示や、加工後の製品の確認などでは、時間差について特にストレスを感じることなく通信できていたことから、測定結果の平均値、中央値から概ね 0.5 秒程度の遅延は指示や確認では許容範囲であると考えられる。

また、閉域網利用時に関しては、257MBの動画ファイルを再生して測定を行った影響でクラウド利用時に比べて測定結果が全体的に遅くなっているが、平均値、中央値を考慮すると、この程度の容量の動画なら、概ね 1 秒程度の遅延を問題とするコンテンツ以外はスマートグラスとローカル 5Gの閉域網を用いて問題なく使用可能であることが確認できた。

4.4.1.3 運用検証

<ユースケース①：音響分析診断による設備の異常検知>

1) 評価・検証項目

音響分析診断による設備の異常検知における運用検証の評価項目は以下の A となる。

A) 作業時間

ローカル 5G 環境に構築した異常検知システムの適用前後における異常検知から工具交換までの作業時間の比較から運用コストの評価を行う。

2) 評価・検証方法

A) 作業時間

ツウテック株式会社、株式会社ユタカそれぞれの作業内容のヒアリングおよび作業時間を計測して、既存運用と設備の異常検知システム適用後における作業時間の差分を評価する。

a) 検証条件

- ・作業時間の計測は、ストップウォッチにて行う

b) 手順

- ・ツウテック株式会社及び株式会社ユタカの両社で、既存運用と設備の異常検知システム適用後の運用フローについては現場担当者にヒアリングを行う。運用フローの各作業時間についてストップによる計測を行い、差分を算出する。

ツウテック株式会社における運用フロー

既存運用と設備の異常検知システム適用後の運用内容について、以下の表 4-4-1-3-① (2)-1 に記述する。なお、表内グレーの塗りつぶし箇所は、既存運用では存在しない作業工程となる。

表 4-4-1-3-① (2)-1 ツウテック株式会社における既存運用および異常検知システム適用後の運用フロー

#	既存運用	システム適用後運用
1	管理者が作業員へ製造指示を行う。	
2	作業員は製造に必要な部材および工具を準備する。	
3	作業員はマシニングセンタにて製造に必要な加工条件をセッティングする。	
4	作業員は部材および工具をセットする。	
5	—	作業員はエッジ PC より設備の異常検知システムを起動する。
6	作業員はマシニングセンタにて加工を開始する。	

7	作業者は約 30 分～60 分に 1 回程度の頻度でマシニングセンタ前へ移動し、加工を中断し、工具・製品の加工状態を確認する。	管理者は設備の異常検知システムからの異常検知通知が確認された場合、作業者へ確認作業を指示する。作業者は、マシニングセンタ前へ移動し、加工を中断し、工具・製品の加工状態を確認する。
8	マシニングセンタにて加工が終了する。作業者はマシニングセンタ前へ行く。	
9		作業者は、設備の異常検知システムを停止する。
10	作業者は加工された部材・工具の状態確認を行う。	
11	工具・製品が破損、または 1,000 穴の切削にて使用している工具である場合、作業者は工具の交換を行う。	加工状態の確認時、工具・製品が破損、または 1,250 穴の切削にて使用している工具である場合、作業者は工具の交換を行う。
12	作業者は次の作業へ移行する。	

株式会社ユタカにおける運用フロー

既存運用と設備の異常検知システム適用後の運用内容および作業時間について、以下の表 4-4-1-3-① (2)-2 に記述する。運用内容及び作業時間については、現場作業者及び管理者へのヒアリングおよび実際の運用時において作業時間の計測を行い算出した。なお、表内のグレーの塗りつぶし箇所は、既存運用では存在しない作業工程となる。

表 4-4-1-3-① (2)-2 株式会社ユタカにおける
既存運用および異常検知システム適用後の運用フロー

#	既存運用	システム適用後運用
1	管理者が作業者へ製造指示を行う。	
2	作業者は製造に必要な部材および工具を準備する。	
3	作業者はマシニングセンタにて製造に必要な加工条件をセッティングする。	
4	作業者は部材および工具をセットする。	
5		作業者はエッジ PC より設備の異常検知システムを起動する。
6	作業者はマシニングセンタにて加工を開始する。	
7	作業者は約 60 分に 1 回程度の頻度でマシニングセンタ前へ移動し、加工を中断し、工具・製品の加工状態を確認する。	管理者は設備の異常検知システムからの異常検知通知が確認された場合、作業者へ確認作業を指示する。作業者は、マシニングセンタ前へ移動し、加工を中断し、工具・製品の加工状態を確認する。
8	マシニングセンタにて加工が終了する。作業者はマシニングセンタ前へ行く。	
9		作業者は、設備の異常検知システムを停止する。
10	作業者は加工された部材・工具の状態確認を行う。	

11	工具・製品が破損、または10,000mmの切削にて使用している工具である場合、作業者は工具の交換を行う。	加工状態の確認時、工具・製品が破損、または12,500mmの切削にて使用している工具である場合、作業者は工具の交換を行う。
12	作業者は次の作業へ移行する。	

3) 実証結果及び考察

ツウテック株式会社での実証結果

□実証結果

以下の表 4-4-1-3-① (3)-1 は、既存運用と設備の異常検知システム適用後の1回の加工における作業時間となる。

表 4-4-1-3-① (3)-1 ツウテック株式会社における1回の加工における作業時間

#	既存運用	システム適用後運用
1	—	—
2	96sec	96sec
3	加工条件変更無し：10sec 加工条件変更有り：146sec	加工条件変更無し：10sec 加工条件変更有り：146sec
4	58sec	58sec
5		12sec
6	3sec	3sec
7	確認時間 66sec	異常通知無し：0sec 異常通知有り：指示時間 44sec+確認時間 66sec
8	11sec	11sec
9		12sec
10	66sec	66sec
11	142sec	142sec
12	—	—
	適用後運用における1加工単位の増減時間	異常通知なし：- 42sec 異常通知あり：+ 68sec

設備の異常検知システムの適用により既存運用と比べて増加される作業は、設備の異常検知システムの起動、停止であった。1加工作業あたりの作業の増加分は、24秒と評価する。また、設備の異常検知システムの異常検知通知時のみ増加される作業は、管理者からの設備異常確認の作業指示および作業者の指示受取であった。1回の通知にあたる作業の増加分は、44秒と評価する。

設備の異常検知システムの適用により既存運用と比べて削減される作業は、加工作

業中の製品と工具の状態確認と工具の交換頻度であった。30~60 分の頻度における状態確認作業の削減分は、66 秒と評価する。

上記結果から、実証システムからの異常通知が無い場合は、1 加工当たり 42 秒の作業時間が削減されると評価する。また、実証システムからの異常通知がある場合は、1 加工当たり 68 秒の作業時間が増加すると評価する。

表 4-4-1-3-① (3)-2 ツウテック株式会社における工具交換頻度

	日間の平均加工穴あけ数	工具の交換目安	1回の工具交換作業時間	日間の工具交換頻度	日間の工具交換作業時間
既存運用	5,000 穴	1,000 穴	142sec	5	710sec
システム適用後	5,000 穴	1,250 穴	142sec	4	568sec
日間の工具交換頻度の削減時間					142sec

また、異常検知システム適用後では、既存運用と比べて工具の交換頻度が減少する。表 4-4-1-3-① (3)-2 は、1 日の作業単位で見た工具の交換頻度を示す。

既存運用では 1,000 穴の切削にて行っていた 142 秒の工具交換作業を、設備の異常検知システム適用後は 1,250 穴にて行った。既存運用では、1 日あたりの工具交換作業が 5 回であり、710 秒となる。設備の異常検知システム適用後の運用では、1 日あたりの工具交換作業が 4 回となり、工具交換作業は 568 秒と評価する。このことから 1 日当たり 142 秒の作業削減が期待できる。

□考察

異常検知システムを 1 カ月間(20 日間)運用したと想定し、表 4-4-1-3-① (3)-1 と表 4-4-1-3-① (3)-2 の結果から月間の合計作業時間の差分を下記の表 4-4-1-3-① (3)-3 に記述する。なお、加工回数は日間 5 回、設備の異常検知通知は日間 1 回の頻度で発生するものとする。

表 4-4-1-3-① (3)-3 ツウテック株式会社における月間の作業時間比較

#	既存運用	システム適用後運用	適用後の時間差分
1	—	—	0sec
2	9,600sec	9,600sec	0sec
3	加工条件変更無し： 1,000sec 加工条件変更有り： 14,600sec	加工条件変更無し： 1,000sec 加工条件変更有り： 14,600sec	0sec
4	5,800sec	5,800sec	0sec
5		1,200sec	+1,200sec
6	300sec	300sec	0sec
7	6,600sec	2,200sec	-4,400sec
8	1,100sec	1,100sec	0sec

9		1,200sec	+1,200sec
10	6,600sec	6,600sec	0sec
11	14,200sec	11,360sec	-2,840sec
12	—	—	0sec
月間の作業時間差分			-4,480sec

表 4-4-1-3-① (3)-3 より、設備の異常検知システムの適用による月間の作業工数の変動は、4,480 秒（約 1.24 時間）の削減になると期待できる。このことから、運用時間において既存運用とシステム適用後の運用において、同等の作業時間以下を確保可能であり、実証目標（運用コスト同等以下）を満たすと考察する。

株式会社ユタカでの実証結果

□実証結果

以下の表 4-4-1-3-① (3)-4 は、既存運用と設備の異常検知システム適用後の 1 回の加工における作業時間となる。

表 4-4-1-3-① (3)-4 株式会社ユタカにおける 1 回の加工における作業時間

工程 No.		既存運用	システム適用後運用
1	作業時間	—	—
2	作業時間	20sec	20sec
3	作業時間	加工条件変更無し：10sec 加工条件変更有り：84sec	加工条件変更無し：10sec 加工条件変更有り：84sec
4	作業時間	604sec（既存の部材および工具の取り外し時間も含む）	604sec（既存の部材および工具の取り外し時間も含む）
5	作業時間		11sec
6	作業時間	3sec	3sec
7	作業時間	確認時間 38sec	異常通知無し： 0sec 異常通知有り： 指示時間 34sec+確認時間 38sec
8	作業時間	8sec	8sec
9	作業時間		11sec
10	作業時間	394sec	394sec
11	作業時間	212sec	212sec
12	作業時間	—	—
適用後運用における 1 加工単位の増減時間			異常通知なし：- 16sec 異常通知あり：+ 56sec

設備の異常検知システムの適用により既存運用と比べて増加される作業は、設備の異常検知システムの起動、停止であった。1 加工作業あたりの作業の増加分は、22 秒

と評価する。また、設備の異常検知システムの異常検知通知時のみ増加される作業は、管理者からの設備異常確認の作業指示および作業者の指示受取であった。1回の通知にあたる作業の増加分は、34秒と評価する。

設備の異常検知システムの適用により既存運用と比べて削減される作業は、加工作業中の製品と工具の状態確認であった。60分の頻度における状態確認作業の削減分は、38秒と評価する。

上記結果から、実証システムからの異常通知が無い場合は、1加工当たり16秒の作業時間が削減されると評価する。また、実証システムからの異常通知がある場合は、1加工当たり56秒の作業時間が増加すると評価する。

表 4-4-1-3-① (3)-5 株式会社ユタカにおける工具交換頻度の比較表

	月間の平均 溝堀距離	工具の交換 目安	1回の工具交 換作業時間	月間の工具 交換頻度	月間の工具 交換作業時 間
既存運用	200,000mm	10,000mm	212sec	20	4,240sec
システム適用後	200,000mm	12,500mm	212sec	16	3,392sec
月間の工具交換頻度の削減時間					848sec

また、異常検知システム適用後では、既存運用と比べて工具の交換頻度が減少する。表 4-4-1-3-① (3)-5 は、月間の作業単位で見た工具の交換頻度の比較となる。

既存運用では 10,000mm の溝堀距離にて行っていた 212 秒の工具交換作業を、設備の異常検知システム適用後は 12,500mm の溝堀距離にて行った。既存運用では、月間の工具交換作業が 20 回であり、4,240 秒となる。設備の異常検知システム適用後の運用では、月間の工具交換作業が 16 回となり、工具交換作業は 3,392 秒になると評価する。このことから 1 月当たり 848 秒(1 日あたり 42.4 秒)の作業削減が期待できる。

□考察

異常検知システムを 1 カ月間運用したと想定し、表 4-4-1-3-① (3)-4 と表 4-4-1-3-① (3)-5 の結果から月間の合計作業時間の差分を下記の表 4-4-1-3-① (3)-6 に記述する。なお、加工回数は週間 5 回、異常検知の通知は週間 1 回の頻度で発生するものとする。

表 4-4-1-3-① (3)-6 株式会社ユタカにおける月間の作業時間比較

工程 No.		既存運用	システム適用後運用	適用後の時間差分
1	作業時間	—	—	0sec
2	作業時間	4,00sec	4,00sec	0sec
3	作業時間	加工条件変更無し： 200sec 加工条件変更有り： 1,680sec	加工条件変更無し： 200sec 加工条件変更有り： 1,680sec	0sec
4	作業時間	10,280sec	10,280sec	0sec
5	作業時間		220sec	+220sec

6	作業時間	60sec	60sec	0sec
7	作業時間	760sec	288sec	-472sec
8	作業時間	160sec	160sec	0sec
9	作業時間		220sec	+220sec
10	作業時間	7,880sec	7,880sec	0sec
11	作業時間	4,240sec	3,392sec	-848sec
12	作業時間	—	—	0sec
月間の作業時間差分				-880sec

表 4-4-1-3-① (3)-6 より、設備の異常検知システムの適用による月間の作業工数の変動は、880 秒 (0.25 時間) の削減になると期待できる。このことから、運用時間において既存運用とシステム適用後の運用において同等の作業時間という実証目標を満たすと考察する。

運用検証に関する考察

運用検証を通して、ツウテック株式会社と株式会社ユタカの両社共に、既存運用時間と異常検知システム適用後の運用時間を計測し比較すると、作業時間の削減も見込まれることから、同等レベルの作業時間という実証目標を満たすことができた。

<ユースケース②：検品対象のAI画像解析>

(1) 評価・検証項目

画像検品を用いた作業の効率化における運用検証の実証目標は、ローカル 5G を利用して遠隔地と検品結果を共有する際の生産性評価値である。KPI は、現状の一次、二次検品の作業精度と時間（/個）が、画像による検査に置き換えられた場合の精度、時間共に現状と同等となることを目指す。下記に各検証における評価項目を記す。

A) 検品正答率

同一部品を用いて、現状（人）とシステム導入後（自動機）における一次、二次検品時の正答率（正解、虚報、見逃し）を計測し、生産性を評価する。

正答率：検査総数に対する正解、虚報、見逃し各々の割合を評価し、各項目の定義は、「表 4-4-1-3 ②-1 正答定義」を参照

表 4-4-1-3 ②-1 正答定義

項	目視による一次 検品結果	今回の実証作業による検品結果	
		OK	NG
1	OK	正解	虚報
2	NG	見逃し	正解

B) 検品作業時間

一次検品、二次検品における検品作業時間を現状とシステム導入後で測定し、生産性を評価する。

一次検品時間：目視、外観検品装置で部品A、B（良、NG品含む）を検品するのに要する時間

二次検品時間：一次検品でNG品と判定された部品A、Bを、熟練者が目視、画像再検品に要する時間

(2) 評価・検証方法

□運用フロー

生産性評価のため、以下の運用フロー（「図 4-4-1-3-②-1 現状と自動検品時の業務フロー比較」参照）を設定し、作業毎の①検品正答率及び、②検品作業時間を計測、評価する。

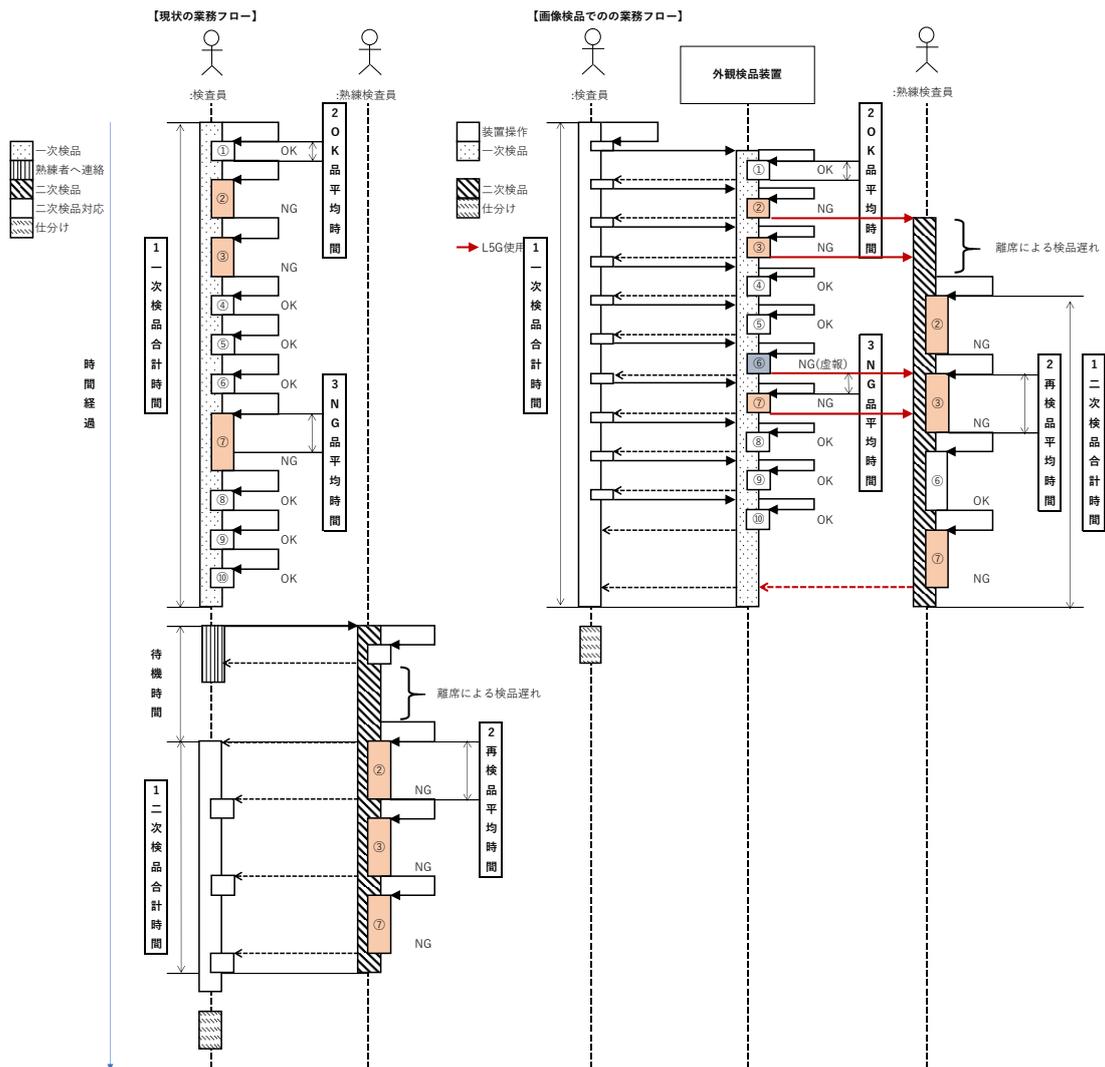


図 4-4-1-3-②-1 現状と自動検品時の業務フロー比較 (10 サンプル検品例)

現状の検品作業における業務フローは以下のとおりである。

- ・ 検査員が一次検品を行う (NG 部検知時には、各 NG 部に付箋を付与)
- ・ オーダー毎に一次検品後、熟練検査員に NG 部の再検品 (二次検品) を依頼
- ・ 熟練検査員が NG 部品保管場所まで赴き、現物を使用して二次検品実施
- ・ 検査員に二次検品結果及び、各 NG 部品に対する処置を指示
- ・ 各々の指示に応じて、検査員が NG 部品を仕分ける

今回外観検品装置を使用した実証環境における業務フローは以下のとおりである。

- ・ 若手作業員が検品対象を外観検品装置に乗せ、検品を実施
- ・ エッジ PC 上の検品 AI により検品が行われ、NG 品検知時にはローカル 5G を通し、事務所にいる熟練検査員へ検査画像が送信される
- ・ 熟練検査員は適宜、送信された画像を利用して NG 部の有無と処置を確認する
- ・ 外観検査装置を通し、検査員に NG の有無と各 NG 部品に対する処置を指示
- ・ 各々の指示に応じて、検査員が NG 部品を仕分ける

A) 検品正答率

a) 検証条件：

- ・学習に使用したものは別の仕掛品、部品 A（100 個）、B（25 個）を使用
- ・一次、二次検品共に目視検品結果を正とし、画像検品結果を評価

b) 手順：

- ・部品 A、B を目視により一次検品実施
- ・同一部品を外観検品装置で AI 画像検品実施
- ・部品毎の目視、画像検品結果を比較し、正解、虚報、見逃しを評価、集計
- ・一次検品で NG となった部品 A について、目視による二次検品実施
- ・部品毎の目視、画像検品結果を比較し、正解、虚報、見逃しを評価、集計

B) 検品時間

a) 検証条件：

- ・仕掛品である部品 A（100 個）、B（60 個）の作業時間を計測
- ・検品作業時間は、一次、二次検品共に単品の平均作業時間から、一次：100 個、二次：20 個検品作業に換算し、時間を算出
- ・目視による一次検品時間は、NG 個所数により伸縮するため、NG 品検品時間は検知箇所：1ヶ所として算出
- ・対象部品 B の目視二次検品時間は、検証期間中に確認することができず、作業員からヒアリングした値を使用

b) 手順：

- ・部品 A（100 個）、B（60 個）の目視による一次検品時間（秒/個）を測定
- ・同一部品の外観検品装置による画像検品時間（秒/個）を測定
- ・良品、NG 品各々の一次検品平均作業時間から、NG 検知率：20%として良品：80 個、NG 品：20 個検品作業に要する時間を算出
- ・部品 A（50 個）の目視による一次検品時間（秒/個）を測定
- ・同一部品の画像検品時間（秒/個）を測定
- ・二次検品の平均作業時間から、20 個の目視、画像検品に要する時間を算出

下図に、現状の検査、再検品時と今実証における外観検品装置、画像検品時の環境を示す。



図 4-4-1-3-②-2 (a) 一次検品環境



(b) 再（二次）検品環境



図 4-4-1-3-②-3 (a) 外観検品装置検品環境 (b) 画像（二次）検品環境

(3) 実証結果及び考察

以下、評価項目に対する実証結果及び考察を記す。

□実証結果

A) 検品正答率

同一サンプル（部品 A：50 個、部品 B：25 個）を、目視による一次、再検品結果を正とした場合の、外観検品装置による一次検品及び、遠隔地の熟練者による画像再検品結果の正答率（正解、虚報、見逃し率）を各々比較した。結果を「表 4-4-1-3 ②-2」に示す。本検証では、KPI である二次検品の正解率が目標の 90%に達せず、見逃しも発生している。

表 4-4-1-3 ②-2 正答率比較

項	外観検査機による一次検品	検品数	正答率				画像による再（二次）検品	検品数	正答率			
			部品A		部品B				部品A		部品B	
1	正解	50	50	100%	23	92%	正解	25	20	75%	—	—
2	虚報		0	0%	2	8%	虚報		0	0%	—	—
3	見逃し		0	0%	0	0%	見逃し		5	25%	—	—

「—」は今回取得できず

B) 検品時間

現状の目視による一次検品から、検品作業で発生した NG 品の再検品までに要する作業時間（一次検品開始～熟練者による再検品終了まで）と、実証の外観検品装置による一次検品から遠隔地の熟練者による NG 品の画像再検品に要する処理時間（自動検品開始～熟練者による画像検品終了まで）を比較した。検証条件としては、部品 A、B を夫々100 個検品、20 個の NG 品検知率とした場合を想定した。結果を「表 4-4-1-3 ②-4」に示す。本検証では、KPI である二次検品の作業時間が目標の従来作業時間：76、20 秒/個よりも乖離している。

表 4-4-1-3 ②-3 一次検品作業時間比較 (100 部品検品時)

項	項目	部品A			部品B		
		目視検品	画像検品	差	目視検品	画像検品	差
1	検品 合計時間	5,100 秒	5,220 ((+1,320))秒	120 秒	1,200 秒	5,100 ((+680))秒	3,900 秒
2	良品 平均時間	45 秒/個	52 秒/個	7 秒/個	10 秒/個	51 秒/個	41 秒/個
3	NG品 平均時間	75 秒/個	53 ((+66))秒/個	-22 秒/個	20 秒/個	51 ((+34))秒/個	31 秒/個

(○) 内数値はデータ転送時間

表 4-4-1-3 ②-4 二次検品作業時間比較 (20 部品検品時)

項	項目	部品A			部品B		
		目視検品	画像検品	差	目視検品	画像検品	差
1	検品 合計時間	1,520 秒	2,400 秒	880 秒	400 秒	1,020 秒	620 秒
2	NG 平均時間	76 秒/個	120 秒/個	44 秒/個	20 秒/個	51 秒/個	31 秒/個

□考察

A) 検品正答率

表 4-4-1-3 ②-2 正答率の比較結果より

- ・外観検品装置による一次検品の見逃し率は 0%であることから、良品への目視による再検査作業は不要となり、運用コストへの大きな増加は無いと考えられる。
- ・また、一次検品時の虚報率が 8%程度認められるが、更なる教師データの取得と学習により十分な低減が見込まれ、運用コストへの大きな影響はないと判断される。
- ・一方、KPI 値である二次検品時の正解率が、「見逃し」により 75%程度に留まっているが、熟練者に再度検品画像を見ていただき、どこに問題があるかをヒアリングした。その結果、見つけるべきキズなどの欠陥は今回の画像の中に見えてはいたが、普段の再検品の際の見え方と異なっていたため、欠陥だとは気づきにくい場合があったことがわかった。こうした画像検品への慣れに加え、下記の施策により、熟練作業者の認識率向上が期待できるため、見逃し率≒0%へ到達は可能と考える。
 - 1) NG 部の局所 (解析情報含む) 表示による、熟練者への提供情報の増加
 - 2) 良品、NG 品含む複数画像の連続 (動画) 表示による、異常箇所の鮮明化

B) 検品時間

表 4-4-1-3 ②-3、4 一次、二次検品作業時間の比較結果より

- ・外観検品装置では、品種、良、NG 品に係わらず、一定時間 (52 秒/個程度) での検品が可能であるため、品質によらず安定した検査時間が計画可能となる。

- ・一次検品時間を比較した場合、現状の目視検品より外見検査機での検品時間が長く掛かっているが、下記施策により部品 A、B 共に約 16 秒／個の短縮が可能であり、52→26 秒／個（100 部品検品時：2,600 秒）まで能力の向上が見込まれる。
 - 1) ロボット動作速度の向上（30%：Override50%→80%）
 - 2) 撮像時のロボット動作一時停止をやめ、動作中の同期撮像に変更
- ・運用検証の KPI である二次検品時間についても、部品 A、B 共に目視検品に比較して倍近い検査時間を要しているが、下記施策により、今後短縮可能と考える。
 - 1) NG 箇所（画像）へのマーキング追加
 - 2) AI の解析画像に加え、目視に近い原画像を提供

■まとめ

今回の実証では各 KPI が目標値に達することができなかったが、上記の各施策実行により、同等の生産性を見込むことができ、ローカル 5G 環境を利用した画像検品システムを、現状の検品作業業務と置き換えが可能である判断する。

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

(1) 評価・検証項目

- 1 クラウド利用のアプリケーションを利用した評価
- 2 ローカル閉域網を利用した評価

(2) 評価・検証方法

クラウド利用した際のコンテンツの操作性を評価するために、以下の運用フローを設定し、操作性を評価した。

【想定する新たな運用フロー】

- 1 工場にいる未熟練者がスマートグラスを装着し、遠隔地にいる熟練者に対し、小ロット製品の概要を説明する。
- 2 熟練者は遠隔地からPC等を用いて、製品の加工手順や加工方法を指示する。
- 3 スマートグラスからの指示に従い未熟練者が作業を行い、操作性を確認する。



図 4-4-1-3 ③-1 遠隔地からの指示の様子

閉域網を利用した横展開の操作性を評価するために、以下の運用フローを設定し、操作性を評価した。

【想定する新たな運用フロー】

- 1 熟練者の作業コンテンツを作成し、MECサーバーに保存する。
- 2 未熟練者がMECサーバーのコンテンツを用いて作業を行い、操作性を確認する。



図 4-4-1-3 ③-2 MEC サーバーを利用し、確認するコンテンツのイメージ

(3) 実証結果及び考察

【クラウド利用した際のコンテンツの操作性を評価】

現状の業務フローは以下のとおりである。

- 受注から加工開始までの業務フロー
 1. 受注した加工図面を確認する。
 2. 加工手順を考える。
 3. 加工手順が問題なく想像できた場合、手順を入力する。
 4. 加工手順が想像できない場合熟練者に相談する。

5. 熟練者が在勤していない場合、待ち時間が発生する。
6. 加工手順を決定し、加工を開始する。
7. 加工途中で問題が発生する、又は確認が必要となった場合は熟練者に相談する。
8. 熟練者が在勤していない場合、待ち時間が発生する。
9. 熟練者が相談を受けて指導する。
10. 問題がある度に7、8を繰り返す。
11. 加工終了する。

今回実証環境での業務フローは以下のとおりである。

□ 受注から加工開始までの業務フロー

1. 受注した加工図面を確認する。
2. 加工手順を考える。
3. 加工手順が問題なく想像できた場合、手順を入力する。
4. 加工手順が想像できない or 不安な場合、スマートグラスを用いて熟練者に支援を求める。
5. 加工手順を決定し、加工を開始する。
6. 加工途中で問題が発生する、又は確認が必要となった場合は熟練者に相談する。
7. 熟練者が相談を受けて指導する。
8. 問題がある度に6、7を繰り返す。
9. 加工終了する。

未熟練者が作業時にスマートグラスを用いて熟練者の指導又はコンテンツによる支援を受けることで、指導を行う側の熟練者の指導時間削減につながることを確認できた。今回検証を行った HoloLens2 では、遠隔地からの作業支援に RemoteAssist というアプリケーションを使用し、MR 技術を用いて支援を行ったため、熟練者が空間に書き込んだ内容をスマートグラス越しに確認するという従来にない確認方法であったが、操作性に特に問題はなく、MR で表示された指示に従い作業を行うことができた。

【閉域網を利用したコンテンツの操作性を評価】

現状の業務フローは以下のとおりである。

□ 機械セッティングの業務フロー

1. 熟練者がいない場合、未熟練者が残されたメモを頼りにセッティングする。
2. 1. が困難な場合、熟練者の出勤を待って機械をセッティングする。
3. 加工を開始する。

□ バリ取りの業務フロー

1. バリ取りの方法が不安な場合、熟練者の指導を受ける。

2. バリ取りを行う。
3. 確認後 NG か OK かを確認する。

今回実証環境での業務フローは以下のとおりである。

□ 機械セッティングの業務フロー

1. 熟練者がいない場合、未熟練者がスマートグラスを用いてセッティング
2. 加工を開始する。



図 4-4-1-3 ③-3 スマートグラスを用いて機械セッティングを行う作業者

□ バリ取りの業務フロー

1. スマートグラスを用いて作業のコツを学びながらバリ取り
2. 確認後 NG か OK かを確認する。

スマートグラスを用いて閉域網中のMECサーバーに保存されたコンテンツを利用した作業を行ったところ、高精細な画像や映像を途切れることなく視聴することが可能であり、機械セッティング業務、バリ取り業務共に想定どおりの作業支援を実施することができた。

今回の実証では、コンテンツ通りに作業を行う事ができたが、コンテンツは静止画像や短い動画の方が扱いやすいとの意見があった。長時間の動画コンテンツを作成し、作業を実施した場合、作業動画を見落とした際にコンテンツ動画を止め、戻ってから再生を行うという作業は煩雑となるため、手間が増えた。

一方で、スマートグラスでコンテンツを確認するためには、コンテンツ作成業務が発生し、従来までの口頭での伝達やメモ書きに比べて時間を要する作業であった。そのため、コンテンツ作成業務については、作業内容が同一で、長期間継続して行う作業に対して行うこととし、単発の発注などに対しては、遠隔作業支援などを活用する方が良いと考えられる。

4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

4.4.2.1 ローカル 5G 活用モデルの構築・検証

ローカル 5G 活用モデルについて、図 4-4-2-1 のように仮説設定し、構築・検証を実施。仮説のポイントは、以下 3 点を設定している。

1. 今回導入する事業の継続利用と利用範囲拡大

導入環境の継続利用により、生産性向上や納期遵守などビジネス効果を積み上げる。効果最大化に向け、対象工程や設備を増やして利用範囲を拡大し、ローカル 5G や A I 活用により複数の工程・設備を効率よく管理・運営することで、高い生産性を実現する。

2. 利用シーンのサービス化による類似する事業者への利用拡大

今回導入したローカル 5G や A I 活用の利用シーン・コンテンツを、ネットワーク事業者や工作機械メーカー、システムインテグレータ等のステークホルダーでサービス化し、様々な地域企業へサービスビジネスを展開する。ステークホルダーについても地域の各企業の参入が見込める。
主なターゲットとしては、今回実証と同様に、地域に根差した製造業を想定している。

3. 共同事業体での導入モデル創出による中堅・中小企業を中心とした利用拡大

中堅・中小企業での利用拡大による地域や業界の活性化に向け、共同事業体で多くの企業が技術面や経済面で導入しやすいモデルを創出し、利用を拡大する。
例えば、地方公共団体やその請負事業者がローカル 5G や A I 活用に関する環境を構築し、地域企業へ技術面や経済面を支援しながら環境を提供する。地域企業からは、環境を利用した際の事業データを地方公共団体に提供し、地方公共団体は更なる地域活性化に向けて、データ分析と環境改善を行い、共同事業体での事業持続性を確保する。なお、環境提供やデータ提供はクラウドを活用して円滑に実施する。地域企業における導入コストは、サブスクリプション方式などでの費用設定を行うことで、少ない費用から利用できるサービス形態とする。

仮説の検討方法としては、本実証の内容をローカル 5G オファリングモデルとしてコンテンツとして整理し、類似する製造業への横展開を行うことで、活用レベルに至っているかの外部評価が可能となる。

費用対効果については、地域企業自らが必要な機能のみを選択し利用することで導入コストの抑制を図る。継続利用していく中で、地域企業における業務課題が変化する可能性があるが、活用モデルで提供するサービスの拡充を図ることで、幅広い課題に対応していく。

また、将来展望として、様々なステークホルダーを通じた事業シェアリングモデルの一環でローカル共有やクラウド共有を組合せることで、製造業だけではなく、様々な業種の利用者にとって効果的に活用できるモデルを構築し、社会実装の確度を高めることを想定している。

共同事業体での導入モデル例

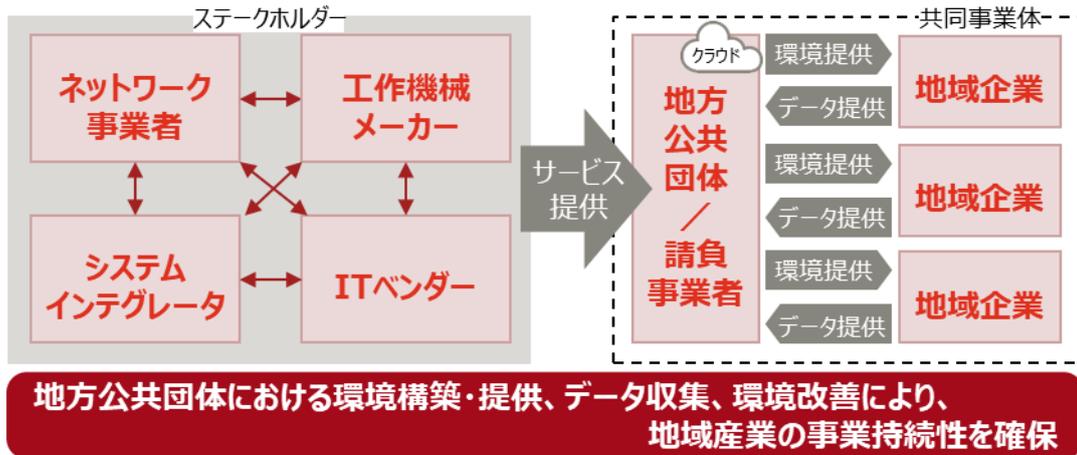


図 4-4-2-1 共同事業体での導入モデル例

<ローカル 5G活用モデル>

- ・ 想定される具体的な主体及びターゲット
 - 県内の金属加工事業者等

- ・ 対象となるシステム
 - ローカル 5G 地域シェアリング
 - HoloLens2、RemoteAssist、Guids 等のアプリケーション
 - AI 音響分析異常検知
 - AI 画像分析検品

- ・ 詳細の前提条件
 - ① 加工に利用する切削機械の部品寿命の判断が難しく、早期交換によるコスト増、交換が遅れた際の機械故障や不良品発生に繋がる。【設備の異常による不良品発生】
 - ② 生産の中心となる熟練技術者が他業務を兼務することから生産現場を離れる機会が多く、熟練技術を要する製品の検品が滞っている。【検品の停滞による出荷遅れ】
 - ③ 熟練技術者が多忙な上に業務内容が集中する状態である中小企業であり、熟練技術者の効率的な業務の推進と技術の伝承が求められている。

- ・ 標準モデル
 - <ユースケース①>
 - 機能要件：
 - (株)愛媛 CATV の地域シェアリングモデル、
 - A I 音響分析異常検知装置、エッジ PC、音響分析ソフトライセンス
 - 非機能要件：
 - 工具破損予兆検知確度：90%異常、伝送スピード：1.5Mbps

<ユースケース②>

機能要件：

(株)愛媛 CATV の地域シェアリングモデル、

A I 画像分析検品装置、エッジ PC、画像認識ソフトライセンス

非機能要件：

検品正答率：90%以上、伝送スピード：144Mbps 以上

<ユースケース③>

機能要件：

(株)愛媛 CATV の地域シェアリングモデル、HoloLens2、RemoteAssist、Guides

非機能要件：

熟練技術のマニュアル作成

- ・ 体制・事業スキームのモデル
 - (株)愛媛 CATV： 免許人・ネットワーク
 - (株)エクシオグループ：システム構築
 - 愛媛県産業技術研究所：導入支援（事前試験）
 - 富士通：ソリューションシステムの構築、導入・運用支援

- ・ 導入効果
 - 工具破損による不良品発生の低減
 - 検品滞留時間の短縮
 - 熟練技術者の指導時間削減

- ・ 課題と対応策

<ユースケース①>

工作設備や加工条件に合わせた音響診断アルゴリズムのパラメータ調整が必要であり、ユーザー企業においてデータ蓄積・分析を実施できるツールの提供・サポートを行う。

<ユースケース②>

検品対象部品に合わせた検品装置・検品アルゴリズムのパラメータ調整が必要であり、検品部品との機械的 IF の汎用化を図るとともに、装置改修・パラメータ調整サポートを行う。

<ユースケース③>

スマートグラスを使用して参照する熟練技術マニュアルを効果的に作れるかが課題。言語化できない部分を高精細な動画と合わせることにより、未熟練者へ伝わるコンテンツ作りのノウハウの蓄積が必要となる。

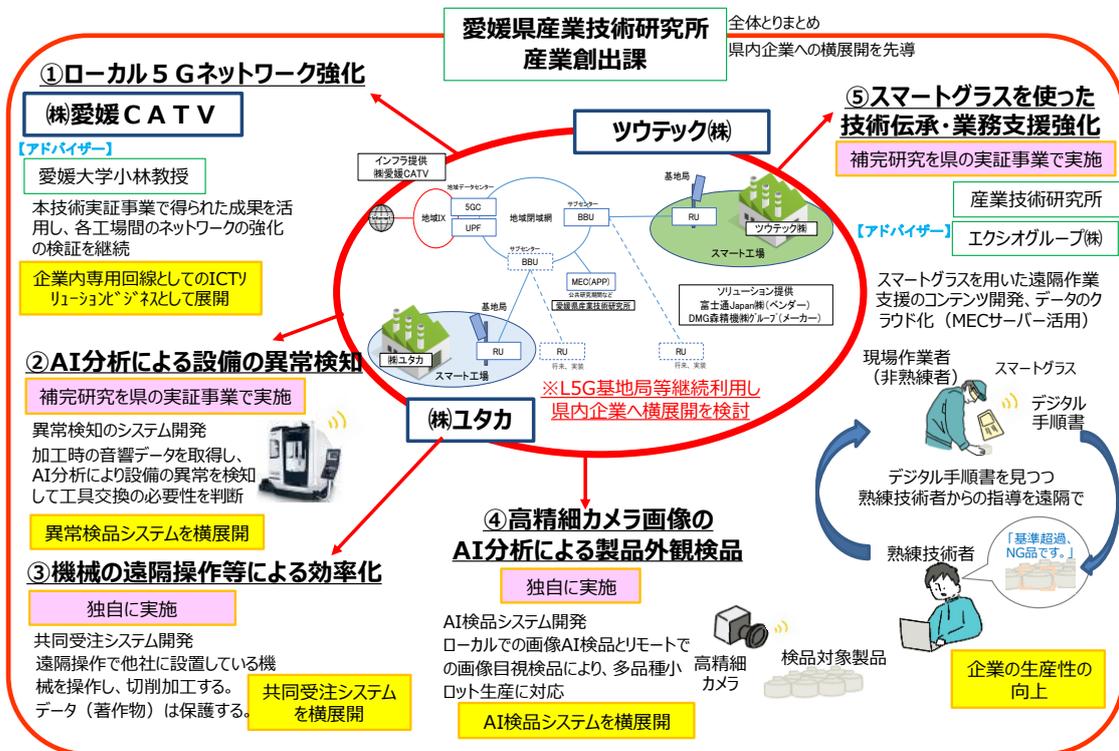
4.4.2.2 普及展開方策の検討

・ローカル 5G 地域シェアリングモデルの活用

ローカル 5G 地域シェアリングモデルを活用し、(株)愛媛 CATV を核とするネットワークを構築することで、まずは県内を中心にネットワークを広げていく。(株)エクシオグループは HoloLens 2 の導入支援やアプリケーション (RemoteAssist、Guides) の導入支援を行い、愛媛県産業技術研究所は導入前の検討段階での実証や、MEC サーバーを利用したコンテンツの作成支援、導入後のコンテンツ作成のノウハウ共有など運用に関する支援を行う。

富士通は、システムインテグレータ・IT ベンダーとして、AI 音響分析異常検知と AI 画像分析検品にかかわるシステムの提供および導入・運用を支援するサービスの提供を行う。

今後は本実証で得られた知見とインフラを活用し、下図の体制で実証事業を継続実施する。



・他業種への展開

遠隔技術支援・作業支援については、今回の検証により、熟練者の技術伝承における負担の削減効果を整理し、他業種の技術伝承の際に負担削減が可能であることを示す。

また、ローカル 5G を用いたスマートグラスの普及に関しては、利用する感覚が体験しなければわかりにくい側面があると考えられるため、愛媛県産業技術研究所において、スマートグラスを体感できる体制を整え、他業種の企業へ体験を働きかける。

負担の削減とスマートグラスの有用性を示すことで、金属加工業以外での工場における熟練技術の伝承を軸にしながも、農林水産業等の幅広い業種に対し利用を促していく。

4.4.3 ローカル 5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

<ユースケース①：音響・振動診断による設備の異常検知>

□実装上の課題

A) ネットワーク輻輳による伝送遅延の考慮

【課題】

地域の県内類似業者間でローカル 5G 閉域網を共有することを想定し、短時間での大容量音響データ転送の実現ならびにネットワーク輻輳による伝送遅延を抑止する。

【解決策】

工場間で転送する音響データのファイルサイズの圧縮、または転送する音響データを異常検知付近の時間のみトリミングしてファイルサイズを小さくする。

B) 予兆を検知する診断アルゴリズムの実装検証

【課題】

工具や加工条件の拡大を見越した製品不良の予兆検知確度を向上する。

【解決策】

工具劣化時あるいは損傷時には見られた回転周波数の低調波成分のエネルギー変化量を明らかにし、エネルギー変化量の推移から適正な異常予兆判定を行う診断アルゴリズムを構築する。

また、データの蓄積によるパラメータ最適化を行い、ユーザー企業の各種加工条件に対応可能な調整ツールを提供する。

□将来的な課題

C) 音響分析診断の対象設備の拡大と持続的な精度向上

【課題】

診断アルゴリズムの対象となる設備・工具・部材・加工条件の適用範囲を拡大する。

【解決策】

本実証内で構築した診断アルゴリズムにて適用可能な設備・工具・加工条件の範囲を特定し展開していく。適用範囲外の設備・工具・加工条件については、パラメータの設定値を変更する。

また、ユーザー企業の各種加工条件に対応可能な調整ツールを提供する。

<ユースケース②：検品対象の AI 画像解析>

□実装上の課題

A) 二次検品時の正答率向上と作業時間短縮

【課題】

運用検証の KPI 値である画像による二次検品での正答率向上、作業時間短縮を図る。

【解決策】

視認性向上のため、NG 箇所へのマーキングや原画像の提示、および連続画像による検品機能の追加を行う。

B) 検品画像蓄積サーバーの設置と運用

【課題】

外観検品装置での一次検品における、検品結果データ送信時間による一次検品作業の中断時間を低減する。

【解決策】

検査機能と画像データの管理、取得、提供機能を（物理的にも）分離することで、検品作業の中断を低減し、他端末からのアクセスによる画像データの活用も可能とする。

C) 二次検品結果と部品現物との紐づけ管理

【課題】

二次検品結果（画像）と部品検品の同一性を確保する。

【解決策】

各検品対象には、画像撮影時にトレーサビリティ可能な ID を付与し、プリンターで ID を印字したラベルを現品に貼付する。

D) 検品対象の適用拡大

【課題】

本実証での検品対象 2 種に留まらず、検品対象の適用範囲を拡大し、投資効果の最大化を図る。

【解決策】

適用範囲拡大に伴う AI 検品モデルの拡充と、外観検品装置での部品設置・把持方式の汎用化を図る。

□将来的な課題

E) 出張や自宅などでも、リモート検品を可能とする環境構築

【課題】

モバイル端末でのリモート検品作業を実現する。

【解決策】

社外からでもアクセス可能な画像蓄積サーバーの構築と、小さい画面でも効率的な作業ができるモバイル端末用のユーザーインターフェースを開発する。

F) 検品作業の更なる効率化

【課題】

外観検品装置の部品セット/リセットを自動化する。

【解決策】

外観検品装置に対し、部品ストッカーの設置、セットや反転作業等の自動化、検品撮像前のブローイング等の機能を追加する。

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

【課題】

スマートグラスを用いた熟練者技術の伝承についての、本実証を通しての課題は

- ・MR 技術の扱いが不慣れ。
- ・作業者視点とカメラ視点に差が生じる。
- ・説明動画の短縮と最適な配置。
- ・マニュアルの閲覧方法の改善。
- ・使用時の安全確認。

などの点があげられる。

【解決策】

スマートグラス使用時の課題への解決策として、

- ・MR 技術の扱いが不慣れという課題に対しては、すべてを MR 技術で対応するのではなく、従来の方法と合わせて使用することが有効と考えられる。例えば、本実証においては加工図面を用いて説明を行う際に、図面に対して MR 技術を用いた指示の書き込みではなく、MR 技術を用いて表示した PDF ファイルに、熟練者がマウス操作で書き込むことで、従来の PC 操作の延長で指導を行った。本実証では使用していないが、タッチディスプレイとタッチペンを使用することにより、さらに詳細なやり取りが可能となると考えられる。
- ・作業者視点とカメラ視点に差が生じるという課題は、スマートグラスのカメラ位置が額のあたりにあり、常に自分の目線より上側を映していることに作業者側では気づきにくいことから生じた。作業者側はスマートグラスで撮影した送信映像を確認できていないため、熟練者側でどのような映像を確認しているかがわからない。このため、度々熟練者側からもう少し下を向くように依頼を行っていた。このやり取りを減らす方法として、スマートグラスを深く、少し前方に傾けるように装着することで、少しでも実際の目線に近い映像を熟練者側に提供することができる。また、目線入力のポイントを表示することで、作業者側が視点を意識して使用するなどの方法も考えられる。
- ・説明動画の短縮と最適配置という課題に対して、要所に絞り複数の動画を作成し、なるべく連続した動画としない対策が考えられる。実証中に現場でスマートグラスの動画を確認した際、細かい内容を伝えるため詳細に説明した動画を作成したが、実際には作業者が動画を見ることに疲れるという問題があった。内容を端的に絞り、作業者が必要と思われる箇所だけを選べるようにコンテンツを配置していくことが、継続して使用

される上では必要と考えられる。

- ・マニュアルの閲覧方法の改善という課題に対しては、簡易な目線入力を使用したコンテンツ閲覧方法の改善が有効である。本実証では、マニュアルをPDFで表示する方法でも実証を行い、PDFをハンドジェスチャーでスクロールしてページを進める方法と、目線入力と音声入力を合わせた方法を用いた。作業員からハンドジェスチャーを使用する方法は物を持つことができないなどの理由から、目線入力の方が便利であるとの意見があった。目線入力もコンテンツにより目線を合わせるポイントが比較的大きなものと小さいものに分けられたが、小さなものでは、ポイントを合わせることに苦勞するため、ある程度大きな範囲で入力が可能な目線入力がコンテンツ作成には有効であると考えられる。
- ・使用時の安全確認という課題に対しては、スマートグラスの使用を想定し、安全に業務を行えるようにレイアウトを考慮する必要があると考えられる。本実証でスマートグラスの使用中に、足元への注意が散漫になり躓く、MRコンテンツの使用に夢中になり、機械に手が当たるなど、安全性への配慮が必要と思われる状態が確認された。特に足元への注意は散漫になりやすい傾向が確認できたため、使用場所に高さの低い物は置かない、機械近くでMR操作を手で行わないなどの対策が必要と考えられる。

以上の解決策について、今後のコンテンツ作成において反映すると共に、新たにスマートグラスを導入する企業にアドバイスを行っていく。

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

本事業は、本開発実証を通じて構築した実証環境や体制、得られた知見を継続的に利用し、令和4年度以降もフォローアップを実施する。

具体的には、愛媛県が経済労働施策（新事業分野の事業化促進）の一環で推進している「5G活用イノベーション創出事業費」を活用することを計画している。「5G活用イノベーション創出事業費」では、5Gの特徴を体感できる機器の整備やスマート工場実証事業、産学官共同研究を通じて、多くの産業に変革をもたらす5G製品の研究開発等を支援することにより、県内企業による5Gを活用した技術開発を促進する事業である¹。同事業を通じて、本開発実証において明らかになった各ユースケースの課題の解消も進めながら、本格的な実装・横展開の方向性を定めるものとする。なお、各ユースケースの継続利用・実装に当たっては、本開発実証で構築した「地域共有型ローカル5Gネットワーク」をコアネットワークとして利用する。

本項では、それぞれの課題実証ユースケースについて継続利用の見通し・実装計画案を説明し、それらのユースケースを支える「地域共有型ローカル5Gネットワーク」の活用と計画について説明する。

4.4.4.1 課題実証ユースケースの継続利用及び実装計画案

本事業で実証した課題解決システムの継続利用の見通し及び実装計画案は、次のとおりである。

<課題実証ユースケース①：音響分析診断による設備の異常検知>

【継続利用の見通し】

異常検知システムについては、工具や加工条件の拡大を見越した製品不良の予兆の検知確度を向上するとともに、ユーザー企業におけるニーズ多様化への迅速対応に向けた設備の異常検知システムの利用範囲拡大を目指すため、本実証範囲外の工具・部材・マシニングセンタへの適用範囲拡大を行い、効率的なシステム利用を実現化する。適用範囲外の設備・工具・加工条件については、パラメータの設定値を変更することで対応し、また、ユーザー企業の各種加工条件に対応可能な調整ツールを提供する。

その後、県内類似事業者が取り扱っている工具、部材、マシニングセンタに対して、工具の形状、部材の材質、面形状などの様々なパラメータに対応した診断アルゴリズムの学習及び適用展開を狙う。

【実装計画案】

年度	実施内容（予定）	対応課題（4.4.3 節参照）
令和4年度	ユーザー企業（株式会社ユタカ）での収録データ積み増しによる実業務での実証を実施	[4.4.3 ユースケース① (A),(B)]

¹ <https://www.pref.ehime.jp/h30100/2818/index.html>

年度	実施内容（予定）	対応課題（4.4.3 節参照）
	する。	
令和 5 年度	令和 4 年度実施の実業務での実証で得られた課題から、実証システムにおける課題の対策方針を策定する。課題に対する対策を実施し、実業務への適用を行う。	
令和 6 年度	ユーザー企業（株式会社ユタカ）にて、実証範囲外の工具・部材・マシニングセンタへの診断アルゴリズムの適用範囲拡大を行う。	[4.4.3 ユースケース① (C)]
令和 7～8 年度	本実証システムが、運用可能な異常予兆の診断確度となり、適切な工具交換時期および不良品発生率の低減を現場管理者が確認できたことで、ローカル 5Gを活用した設備の異常検知システムを実装可能と判断する。 実証への実施意欲がある県内類似業者にて、実証システムの適用展開を行う。実証システムの適用展開を行いながら、診断アルゴリズムの適用範囲を拡大し、更なる診断精度向上とシステム導入の容易性を確保する。	

<課題実証ユースケース②：検品対象の AI 画像解析>

【継続利用の見通し】

ユーザー企業において、ニーズ多様化への迅速対応に向けた外観検品システムの利用範囲拡大を目指すため、本実証範囲外の検品対象への適用範囲拡大を行い、効率的なシステム利用を実現化する。

その後、県内類似事業者が取り扱っている、検品対象と想定する加工部品の画像検品において、検品対象の材質、対象の面形状などの様々なパラメータに対応した画像検品アルゴリズムの AI 学習および適用展開を狙う。

【実装計画案】

年度	実施内容（予定）	対応課題（4.4.3 節参照）
令和 4 年度	ユーザー企業（ツウテック株式会社）にて、社会実装に向けた課題を解決し、実業務へ適用する。	[4.4.3 ユースケース②(A),(B),(C),(D)]
令和 5 年度～6 年度	ユーザー企業（ツウテック株式会社）にて、検品対象の適用範囲を拡大し、効率的なシステム利用を実現する。	[4.4.3 ユースケース② (E),(F)]

年度	実施内容（予定）	対応課題（4.4.3 節参照）
令和 7～8 年度	シェアリングシステムを活用し、県内企業への横展開を実施していく。	

<ユースケース③：熟練技術の伝承>

【継続利用の見通し】

ツウテック(株)において行ったスマートグラスの実証について、引き続き実施例を追加して効率的なコンテンツ利用の実証を行うと共に、(株)ユタカにおいても熟練技術者のスマートグラスによる指導の実証を行い、コンテンツの効率化を図る。

その後、当該企業の他に、県内類似事業者等にも実施例を報告することで横展開を進める。

【実装計画案】

年度	実施内容（予定）	対応課題（4.4.3 節参照）
令和 4 年度	本実証での結果を踏まえて、令和 4 年度には愛媛県予算等を活用して、ツウテック(株)の他、(株)ユタカにおいてもスマートグラスの実証を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・MR 技術の扱い ・説明動画の短縮と最適な配置 ・マニュアル閲覧方法の改善 ・使用時の安全確認。
令和 5 年度	愛媛県予算等を活用し、ツウテック(株)、(株)ユタカ等での実証を継続する。	<ul style="list-style-type: none"> ・MR 技術の扱い ・説明動画の短縮と最適な配置
令和 6 年度以降	実証結果を元にツウテック(株)、(株)ユタカ他、県内企業への横展開を進めていく。	



4.4.4.2 愛媛県内企業への横展開計画

産業技術研究所を中心とする県内への横展開は、(株)愛媛 CATV の基地局を活用し、産業技術研究所でローカル 5G の使用環境を整えることにより、県内企業が HoloLens2 の使用環境をいつでも体感できるようにする。横展開を希望する企業に対して、自社の想定するデモンストレーションを産業技術研究所内で実施し、本格的導入を促す。本格導入を検討する企業には、改めて(株)愛媛 CATV が基地局設置などを行い環境を整える。ローカル 5G の環境が整えば、閉域網を利用して、産業技術研究所に設置された MEC サーバーを利用した自社コンテンツの作成や、共有コンテンツの利用などの支援を行っていく。

A I 音響分析異常検知、A I 画像分析検品の導入を希望する企業に対して、課題の確認や適用コンサルティングを行い導入後イメージ・効果を具体化する。本格導入に際して

は、各企業の業務環境に合わせてシステム構築・調整を実施し、立ち上げ・運用サポートによりスムーズな実装を実現する。

4.4.4.3 地域共有型ローカル 5G ネットワークの利用

本実証で各ユースケースの課題解決策として「地域共有型ローカル 5G ネットワーク」が有用と検証できたことから、実証現場での継続利用のほか、愛媛県内及び全国への横展開を図る。

(1) 継続利用

ツウテック株式会社及び株式会社ユタカにおいては、実証終了後（令和 4 年度以降）、コンソーシアムメンバー産学官で引き続き具体的展開策を継続的に協議しながら、今回の実証結果をベースに様々な知見をコラボレーションし、検討⇒試作⇒実証⇒量産の流れで時間をかけて社会実装に向け着実にステップアップしていくイメージを想定。その上で、本事業で実証したネットワークやシステムの各社工場での継続利用と有効活用を図る。

また、両社は日常の精密機械部品加工において、互いに支援する関係にもあることから、両社連携による共通課題解決システムの実現に向けても具体的検討を進める。

(2) 愛媛県内の横展開

本事業で「地域共有型ローカル 5G ネットワーク」を構築した株式会社愛媛 CATV においては、今回の実証を通じて、本地域シェアリングモデルが高額な占有型モデルに対して 5G の品質を劣後するものではないことを検証できたことから、今後、本事業で得られたデータや知見を後ろ盾にして、本地域シェアリングモデル（第 1 章で説明した愛媛 CATV の「サブスクリプション型ローカル 5G 支援サービス」を利用）の更なるプロモーション活動の積極展開を図る。

具体的には、本実証モデルの令和 4 年度以降の実装横展開に当たり、引き続き愛媛県、愛媛県産業技術研究所と連動し導入促進を図る。本実証において設置した MEC サーバーを地域における汎用 IOT サーバーとして活用することにより愛媛県内同業種、他業種に対し 5G インフラと併せて普及促進を図る。

これらの取り組みにより、中小企業等の課題となっていた導入コスト等のハードルを下げ、各企業等の規模や課題に応じた適切なネットワークや課題解決ソリューションの導入を可能とし、実装横展開を加速させる。

愛媛 CATV としては、シェアリングする利用者が安心してネットワークを利用できるよう、引き続き、ネットワークの品質、安定性、セキュリティの確保に努める。

(3) 全国横展開

愛媛県外でのローカル 5G の実装横展開としては日本ケーブルテレビ連盟無線利活用委員会を通じて本実証の成果、知見を訴求・共有することにより全国の CATV 事業

者による横展開を目指す。また、愛媛 CATV は同委員会を通じて「サブスク型支援モデル」の訴求にも努める。本実証で活用した「業界コア」は本コンソメンバーである地域ワイヤレスジャパン、グレープワンにより拡販、運営されており、日本ケーブルテレビ連盟と連動することにより全国に展開する能力を十分に有している。

4.4.4.4 収支計画

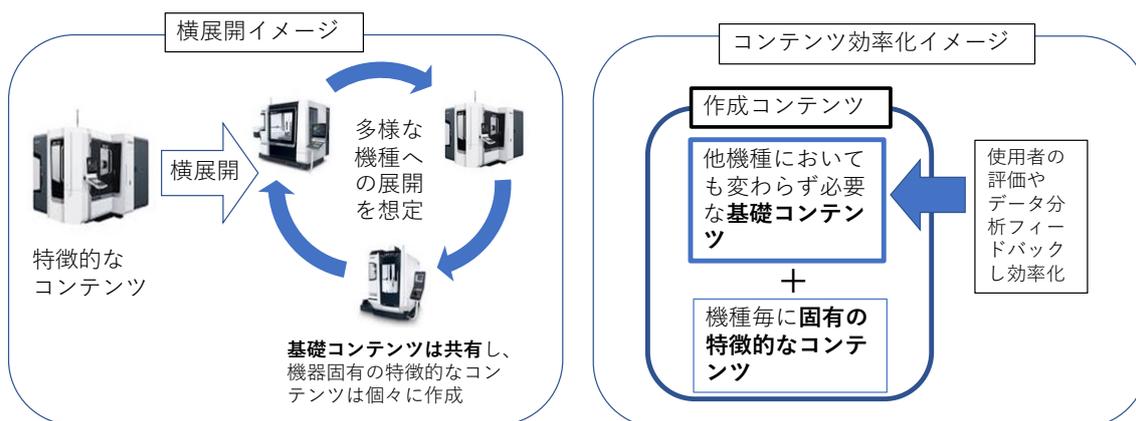
(1) 費用負担の想定

令和4年度、令和5年度については、(株)愛媛 CATV が実証としてローカル 5G 支援サービスの提供を継続する予定である。また、スマートグラスの運用費は、遠隔支援用の RemotoAssist、作業支援用の Guides 等のコンテンツ利用に 15,000 円/月（1 ユーザー）程度となる見通しである。これらの費用については、愛媛県事業である「5G 活用イノベーション創出事業費」で費用を負担することで利用を継続する。

ツウテック(株)、(株)ユタカ以外では(株)愛媛 CATV のローカル 5G 支援サービスを約 110,000 円/月で活用した上で、スマートグラスの運用費と合わせて約 125,000 円/月の費用が必要となる。また基本レクチャー・設定サービス等を含めたデバイス購入費等初期費用が約 800,000 円必要となる。(表 4-4-4-1 に反映)

横展開時の想定では、今回の実証結果で 13.65 時間/週の削減効果が確認できたことから、熟練者の時間単価が 3,000 円の場合、熟練者 1 人に付き 163,800 円/月の削減効果が期待できている。(表 4-4-4-2 に反映)

令和4～5年度にかけて、ツウテック(株)、(株)ユタカでの実証に必要なこれらの費用は愛媛県予算で確保し、令和6年度以降は、実証企業において実証結果を整理するとともに、改めて熟練者の出張状況等を精査し、継続利用を検討する。



(2) 運用費用のシミュレーション

本実証で実施したユースケース毎の5年間の運用費用は表4-4-4-1のとおりである。

表4-4-4-1 ユースケース毎の5年間の運用費用 (単位：円)

経費		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
ローカル5G運用費用 年間		1,320,000	1,320,000	1,320,000	1,320,000	1,320,000
ユース ケース①	異常検知装置初期費用	30,000,000	-	-	-	-
	ライセンス費用	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
ユース ケース②	AI検品装置初期費用	40,000,000	-	-	-	-
	ライセンス費用	750,000	750,000	750,000	750,000	750,000
ユース ケース③	スマートグラス等初期費用	800,000	-	-	-	-
	ライセンス費用	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000
各年の費用減額		74,050,000	3,250,000	3,250,000	3,250,000	3,250,000
2年間		77,300,000				
3年間		80,550,000				
4年間		83,800,000				
5年間		87,050,000				

また、本実証結果から得られた削減費用は表4-4-4-2のとおりであり、ユースケース①、②、③トータルでは5年目で投資を回収できる試算となった。

なお、個別のユースケース毎では、ユースケース①が7年目、ユースケース②が4年目、ユースケース③が1年目で回収できる試算となっており、ユースケース①については、今後の継続試験において、初期費用の削減を精査するとともに、さらなる削減効果も検証したい。

今回のサブスクリプション型ローカル5G支援サービスについては、企業の工場間を専用回線で繋ぐことによる効果も期待できることから、(株)ユタカのように各工場が離れて立地する企業においては更なる経費削減効果が期待できる。

表4-4-4-2 ユースケース毎の5年間の削減費用 (単位：円)

		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
ユース ケース①	機械の稼働時間削減効果※1	2,400,000	2,400,000	2,400,000	2,400,000	2,400,000
	不良品削減効果※2	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
	人件費削減効果※3	1,008,000	1,008,000	1,008,000	1,008,000	1,008,000
ユース ケース②	滞留時間改善による効果※4	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
	予備品削減額※5	12,000,000	12,000,000	12,000,000	12,000,000	12,000,000
ユース ケース③	年間削減効果※6	1,965,600	1,965,600	1,965,600	1,965,600	1,965,600
	各年の削減額	20,373,600	20,373,600	20,373,600	20,373,600	20,373,600
2年間		40,747,200				
3年間		61,120,800				
4年間		81,494,400				
5年間		101,868,000				

※1：実証試験で不良品発生削減率が20%であったことから、マシニングセンターが年間480時間削減できたと仮定。マシニングセンター稼働費は1時間5000円で算出

※2：10万円の部品20個のロスが削減できたと仮定

※3：実証試験で作業時間が21%削減できたことから月200時間の作業に対し、42時間削減可能となり、現場作業員時給2000円の場合、月8.4万円

※4：実証試験で滞留時間が31%削減できたことから、工数削減による生産性向上に寄与することができ、その効果を年間100万円と仮定

※5：表4-4-1-1 ②-11 予備品の削減額による

※6：実証試験で13.65時間/週の削減効果が確認できたことから、熟練者の時間単価が3,000円の場合、熟練者1人に付き163,800円/月

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作への協力

本コンソーシアムは、株式会社三菱総合研究所の指示に従い、実証映像の素材提供や関係者へのインタビュー撮影等に協力した。

5.2 実証視察会の実施

本コンソーシアムは、ローカル 5G の導入に関心のある企業や、地方公共団体、関係省庁等に対する普及啓発の一環として、次のとおり、オンラインでの実証視察会を主催した。

開催日時：令和 4 年 2 月 24 日（木）15:00～16:00

開催方法：オンライン開催

内 容：全体説明、挨拶、プロジェクトの説明、質疑応答

参加者：総務省・四国総合通信局・株式会社三菱総合研究所・コンソメンバー、他総通局や総務省から案内した企業・自治体等

5.3 その他普及啓発活動

本コンソーシアムは、次のとおり、実証事業開始について報道発表した。

発表日時：令和 3 年 12 月 3 日（金）10:15～10:45

発表場所：総務省四国総合通信局 2 階会議室

参加者：株式会社愛媛 CATV、愛媛県、愛媛大学、ツウテック株式会社、株式会社ユタカ、富士通 Japan 株式会社

6. 実施体制

本実証事業である愛媛県ローカル 5G 開発実証コンソーシアムの最終的な実施体制図は図 6-1 とおり。

< カテゴリー①の役割 >

- ・株式会社愛媛 CATV は本実証事業の請負契約主体として株式会社三菱総合研究所と請負契約を締結する。また、(一社)日本ケーブルテレビ連盟、株式会社地域ワイヤレスジャパン及び株式会社グレープワンと協力してローカル 5G ネットワーク環境を構築し実証環境を整えるほか、課題実証及び技術実証を統括する。

< カテゴリー②のメンバーの役割 >

- ・愛媛県産業創出課及び県産業技術研究所は本実証事業の全体統括を行うほか、ツウテック株式会社における熟練技術者作業動画の撮影及び編集等スマートグラスを用いた遠隔作業コンテンツ開発支援を行う。
- ・株式会社グレープワンはユースケースの横展開の支援及び電波伝搬に関する検証を行う。
- ・愛媛大学は、地域シェアリングモデルにおけるネットワーク品質の評価を行う。
- ・エクシオグループ株式会社は遠隔作業支援用スマートグラスの提供及び遠隔作業コンテンツ作成支援を行う。
- ・ツウテック株式会社及び株式会社ユタカはローカル 5G を用いた自社工場のスマート工場化による業務効率化の検証を行う。
- ・富士通 Japan 株式会社は、検品画像 AI 及び設備異常検知 AI に関する実証環境の構築を行う。

< カテゴリー③、④のメンバーの役割 >

- ・富士通株式会社、及び株式会社アニモ、株式会社アステクノスは、富士通 Japan 株式会社実施する、検品画像 AI 及び設備異常検知 AI に関する実証環境の構築の支援を行う。
- ・AK Radio Design 株式会社、アンリツカスタマーサポート株式会社、株式会社構造計画研究所は株式会社グレープワンが実施する電波伝搬に関する検証の支援を行う。

< コンソーシアムメンバーではあるがカテゴリー外のメンバーの役割 >

- ・愛媛大学大学院小林真也教授は、コンソーシアム全体のアドバイザーとして助言を行う。
- ・DMG 森精機株式会社グループは 2 社 (ツウテック、ユタカ) の工場に実証用機械を設置し、ローカル 5G への接続を行う。
- ・日本マイクロソフト株式会社はコンソーシアムメンバーに対して自社製品の技術提供を行う。
- ・(一社)日本ケーブルテレビ連盟、株式会社地域ワイヤレスジャパンは株式会社グレープワンが実施するユースケースの横展開の支援及び電波伝搬に関する検証の支援を行う。

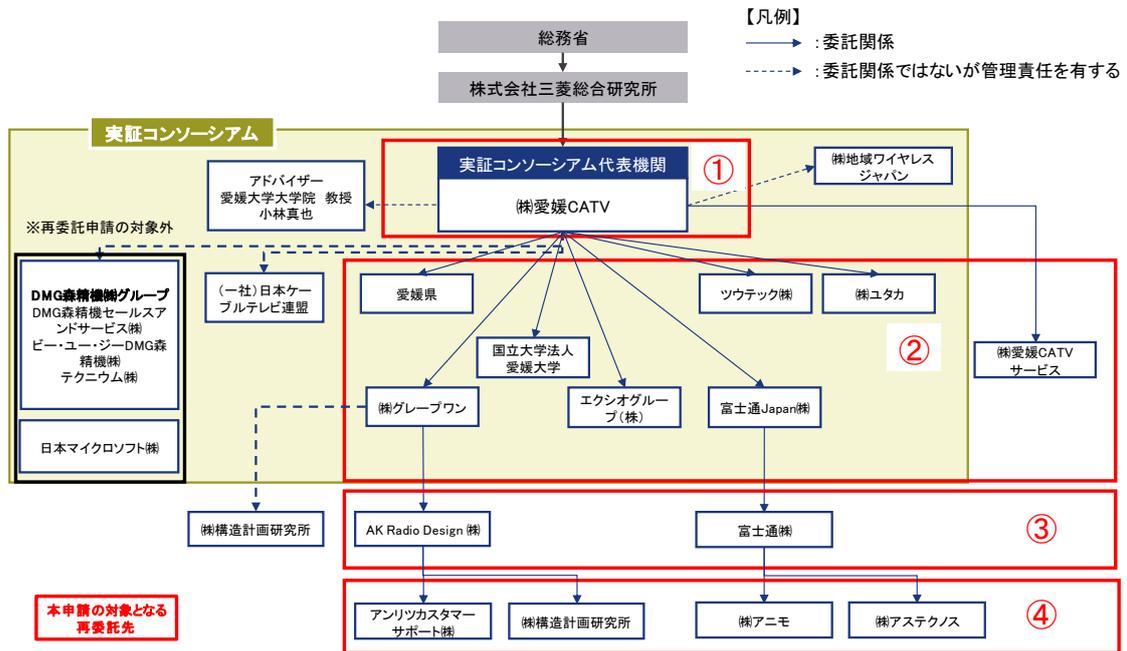


図 6-1 愛媛県ローカル 5G 開発実証コンソーシアム体制図

7. スケジュール

スケジュール概要と詳細スケジュール・WBSは下図のとおり。

【スケジュール概要】

No	大区分	小区分	備考	9月		10月				11月				12月				1月				2月				3月						
				6日	13日	20日	27日	4日	11日	18日	25日	1日	8日	15日	22日	29日	6日	13日	20日	27日	3日	10日	17日	24日	31日	7日	14日	21日	28日	4日	11日	18日
No07	実証環境の構築	実証環境の準備																														
		NW・システム構築																														
		機器設置・電源供給 免許及び各種承認可																														
	技術実証	電波伝播特性等の測定																														
		電波伝播モデルの精緻化																														
		反射板によるエリア構築の柔軟化																														
	課題実証①	有効性検証																														
		実証環境の構築																														
		課題アルゴリズム作成																														
	音響・振動診断による設備の異常検知	実証性検証																														
		実証に向けた課題抽出及び解決策の検討																														
		実証シナリオの見直し																														
	課題実証②	有効性検証																														
		実証環境の構築																														
		課題アルゴリズム作成																														
	検品対象のAI画像解析	実証性検証																														
		実証に向けた課題抽出及び解決策の検討																														
		実証シナリオの見直し																														
課題実証③	有効性検証																															
	実証環境の構築 (新機種併用コンテナ作成)																															
	実証性検証																															
熱線技術の伝承	実証に向けた課題抽出及び解決策の検討																															
	実証シナリオの見直し																															
	実証シナリオの見直し																															

【詳細スケジュール】

大項目	タスク	2021年				2022年			
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実証環境構築	無線環境の現場調査・基地局設計								
	無線局免許の取得								
	IPネットワーク構成の決定								
	機器の購入(リードタイム)								
	機器のパラメータ設計等								
	設置作業								
	動作テスト								
実証に必要な機械のNW接続	課題実証用機器購入								
	既存機器等のNW化								
	動作確認								
技術実証	エリア算出法によるカバーエリアの算出								
	ローカル5Gの電波伝播特性の測定								
	評価検証								
	エリア算出法/3次元レイトレースによるシミュレーション								
	ローカル5Gの電波伝播特性の測定								
	シミュレーション値と実測値から精緻化の実証								
	反射板によるエリア構築の柔軟化								
3次元レイトレース法によるシミュレーション									
シェアリングモデルの品質確保試験	オンプレ型、クラウドコア型実証								
	地域コア設備共有型実証								
	スループット、遅延の比較検証								
課題実証	要件確認・評価基準設定								
	データ分析								
	検知アルゴリズム検討・作成								
	システム設計・構築・実装・テスト								
	異常検知の実証								
	要件確認・評価基準設定								
	データ分析								
検品対象のAI画像解析	検品アルゴリズム検討・作成								
	システム設計・構築・実装・テスト								
	AI画像解析の実証								
技術伝承	スマートグラスの購入								
	テナント設計								
	テナント構築、環境設定等								
デジタルコンテンツの準備・作成									
技術伝承の実証									