

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた
開発実証に係る工場分野におけるローカル5G等の
技術的条件等に関する調査検討の請負
(地域の中小工場等への横展開の仕組みの構築)

成果報告書

2021年3月31日

沖電気工業株式会社

目次

1. 全体概要	1
1.1 背景・目的	1
1.1.1 背景	1
1.1.2 目的	1
1.2 実施事項及び実証目標	2
1.2.1 実施事項の概要	2
1.2.2 実証目標の概要	3
1.3 実施体制	4
1.3.1 実証の実施体制（コンソーシアム内外）	4
1.3.2 コンソーシアムの概要	5
1.4 実証のスケジュール	6
1.5 免許申請の概要	7
1.5.1 申請者、申請先、申請概要	7
1.5.2 次年度以降の申請対応	9
2. 実証地域	10
2.1 実証地域の概要	10
2.2 群馬県の特徴	11
2.2.1 豊かな自然環境と都心からのアクセス、多様で高度な産業集積	11
2.2.2 産業構造	12
2.2.3 群馬県の人口推移と労働問題等	14
2.2.4 デジタル技術導入支援に対する施策の状況	15
2.2.5 ロボットシステムインテグレーターの立地状況	16
2.3 実証環境	17
2.4 地域課題等	19
2.4.1 人口動向から見た労働力問題	19
2.4.2 現場の人手不足、デジタル技術導入に係る課題	23
3. 実証環境	51
3.1 ネットワーク構成	51
3.2 システム機能・性能・要件	72
3.3 実証環境の運用	86
3.4 関連事業	87
4. 課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）	88
4.1 前提条件	88
4.2 実証目標	90
4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析	91

4.4 課題解決システムに関する効果検証	98
4.5 課題解決システムに関する機能検証	109
4.6 課題解決システムに関する運用検証	123
4.7 まとめ	129
5. 課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）	130
5.1 前提条件	130
5.2 実証目標	132
5.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析	133
5.4 課題解決システムに関する効果検証	139
5.5 課題解決システムに関する機能検証	146
5.6 課題解決システムに関する運用検証	163
5.7 まとめ	170
6. ローカル 5G の性能評価の技術実証	171
6.1 前提条件	171
6.2 実証目標	179
6.3 ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価等	181
6.4 ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証等	216
6.5 その他ローカル 5 G に関する技術実証	239
6.6 まとめ	248
7. 実装及び横展開に関する検討	250
7.1 前提条件	250
7.1.1 実証事業の考え方	250
7.1.2 本事業における特徴	250
7.1.3 実装及び横展開の実施体制	251
7.1.4 その他の制約条件	252
7.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定	252
7.2.1 実装計画（実証の継続、実用に向けた工程とスケジュール等）	253
7.2.2 実証終了後の継続利用	255
7.2.3 事業モデル	261
7.2.4 その他考察	269
7.3 横展開に資する普及モデルに関する検討	270
7.3.1 普及モデル（想定ターゲット、モデル、想定される導入効果等）	270
7.3.2 推進対応方策	284
7.3.3 横展開計画	285
7.4 共同利用型プラットフォームに関する検討	288
7.4.1 本事業の課題解決システムを他の地域等で実装するために 5 G ソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能【P】	288

7.4.2 本事業の課題解決システムについて5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方【P】	288
7.4.3 課題解決システムが公開するAPI仕様ないしはPFとのインターフェース仕様...	289
7.4.4 共同利用を想定したクラウド処理での性能や費用に関する検討	290
7.5 まとめ	294
8. 会合等の開催（該当する活動がある場合）	295
9. まとめ	296
9.1 実証概要	296
9.2 課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）	298
9.3 課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）	300
9.4 ローカル5Gの性能評価等の技術実証	302
9.5 実装・横展開に関する検討	305
10. 参考資料	307

1. 全体概要

1.1 背景・目的

1.1.1 背景

第5世代移動通信システム（5G）は、超高速・超低遅延・多数同時接続といった特長を有しており、我が国の経済成長に不可欠な Society 5.0 を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での活用が期待されている。

総務省では、2019年6月18日、情報通信審議会から、「新世代モバイル通信システムの技術的条件」のうち、地域の様々な主体が自らの建物や敷地内でスポット的に柔軟にネットワークを構築できる第5世代移動通信システム（以下「ローカル5G」という。）の技術的条件について答申を受け、2019年12月24日、一部制度化を実施したことに引き続き、2020年12月18日には、その他の周波数帯を制度化を実施したところである。これにより、Sub6帯（4.6GHz～4.9GHz帯）およびミリ波帯（28.2GHz～29.1GHz帯）の全てが利用可能となった。

また、令和2年度から、様々な分野におけるローカル5Gのユースケースについて、多種多様なローカル5G基地局の設置・利用環境下でローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討を実施するとともに、ローカル5G等を活用した課題解決モデルの構築に取り組み、様々な分野でのローカル5G等の活用策とその導入効果等を明らかにし、ローカル5G等の導入の促進を図っている。

1.1.2 目的

本調査検討では、工場分野の製造現場が抱える人手不足や業務の効率化等の課題解決に資するローカル5G等の無線通信システムの具体的なユースケースを、地域の中核となる工場で実証することによって、ローカル5Gの電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施し、ユースケースを機能面・効果面・運用面から検証するとともに、地域の中小工場等に横展開する方策等を検討する。

1.2 実施事項及び実証目標

1.2.1 実施事項の概要

本調査検討では、自社工場を有するコンソーシアム参画企業から、異業種による複数の製造工場にて多面的な課題抽出が可能であり、かつ柔軟な電波測定評価が可能な地域として、群馬県及びその隣接地区を選定し実証を行った。

工場分野の課題解決に資するローカル5G等の無線通信システムの具体的なユースケースを地域の中核となる工場で実証し、課題の抽出及び解決方策の検討を行うとともに、その成果を活用して、当該中核企業の関連工場や地域の中小工場等に横展開する方策等を検討した。

通信装置等の電子機器の製造を行う沖電気工業株式会社（以下、OKI）の本庄工場と、コンデンサ等の電子部品の製造を行う太陽誘電株式会社（以下、太陽誘電(株)）の玉村工場において、それぞれのユースケースに基づく課題解決システムを構築して検証する課題実証と、ローカル5Gの電波伝搬特性や性能評価といった技術的検証（技術実証）を実施した。

本庄工場では、映像を用いた外観検査異常判定システムを現場に構築し、組立工程および検査工程における実証環境にて効果面、機能面、運用面の観点にて検証を行った。組立／検査工程における目視確認作業の自動化を目的とし、IPカメラからの高精細映像をローカル5Gを用いて上位のAI画像解析装置へ送信し、AI画像解析による外観異常などを検知するシステムを利用して検証した。

玉村工場では、製品データ管理の省人化・合理化を目的とし、工場における検査工程・製品データの効率的な高速転送の評価をするために、各検査設備からの検査画像データを集約し、ローカル5Gを用いてデータ収集サーバへ送信するための模擬システムを構築して検証した。

いずれの課題実証も、ローカル5Gの高速大容量無線通信によって、システム構築の柔軟性（端末配置の柔軟性など）や、配線レスによる工事コスト削減効果およびレイアウト変更等に伴う移動作業の効率化等の効果を期待したものとなっている。

また、技術実証については、工場建屋の構造や建屋内に設置されている生産設備などが異なる2つの工場（本庄工場、玉村工場）において、建物内の生産設備、パーティション、壁、作業等による回折・反射・遮蔽等を考慮した、見通し、物陰、壁際等の環境条件が異なる測定地点を選定して、各測定地点での電波伝搬特性を確認した。実環境における測定に当たっては、基地局の設置場所として、実証エリア内の中央付近、壁際等の複数の設置場所を選定したこと、また2つの工場での実証を計画したことから、基地局機器をキャスター付ラックへ収納し可搬性を向上させるような工夫を実施した。

地域の中小工場等への実装、横展開の検討に当たっては、本事業においての特徴である「自治体参画型」として、地方自治体（群馬県、群馬産業技術センター）が横展開の主体として参画し、実証終了後（令和3年度以降）5年間継続利用することを基本とした持続可能な事業モデル等の構築・計画策定を実施した。

1.2.2 実証目標の概要

課題実証では、地域の製造現場が抱える人手不足や業務効率化、品質向上などの課題を解決することを目標として、課題解決システムの導入効果を測定・評価した。

本庄工場においては、人手不足が深刻であり、かつ熟練者の技術ノウハウを必要とする組立工程、検査工程での目視確認作業・検査作業を、高精細映像や AI 画像解析を活用することによって解消することを検討テーマと位置付けた。

玉村工場においては、技術的な開発要素を含んだ検査工程における製造データの効率的な高速転送によって製造現場のデータ管理等を高度化し、業務効率および生産性の向上を実現することを検討テーマとした。

技術実証では、工場内へのローカル 5G 導入ガイドライン作成に資するデータの取得を目標として取り組んだ。

工場内の無線通信に影響を及ぼす、生産設備、パーティション、壁、作業者等の特性が異なる 2 つの工場において電波伝搬特性を測定することによって、エリア設計やシステム設計にあたっての基礎データを整理した。

地域の中小企業への横展開においては、その事業モデルを構築する上で、地域 SIer を伝道師役として見据えており、SIer に対して、ローカル 5G のエリア構築、システム構築に関する情報をガイドラインとして示すことは、SIer の活動を支援する上で有効なものと認識している。

1.3 実施体制

1.3.1 実証の実施体制（コンソーシアム内外）

<コンソーシアム体制>

OKI が、コンソーシアム構成の主体者となり運営した。同社が総務省および PMO との窓口となり、コンソーシアム定例会議の開催や、各進捗報告資料等のとりまとめを実施した。

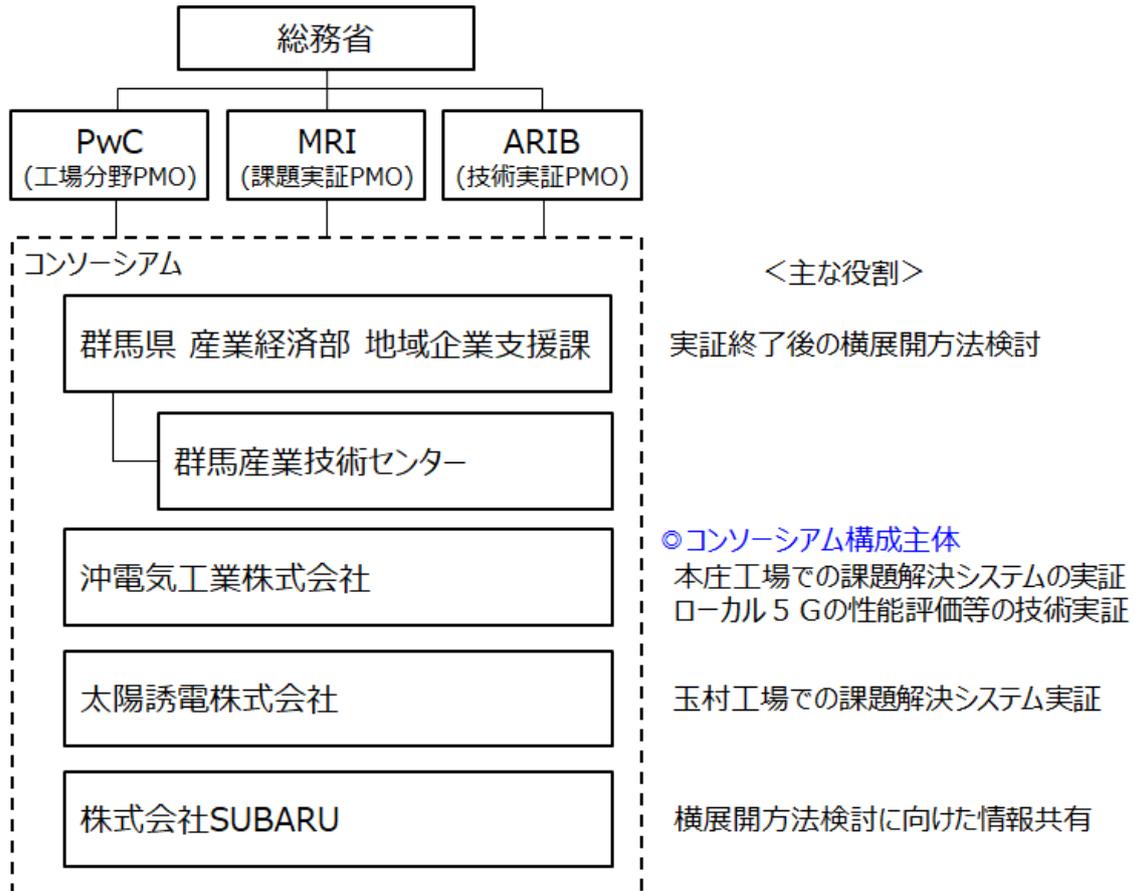


図 1.3.1-1 コンソーシアム体制

<実証実施体制>

実証実施場所は、OKI の本庄工場と太陽誘電(株)の玉村工場の2つの工場で実施し、課題実証はそれぞれ各社が担当することし、技術実証については、2つの工場ともに OKI が担当した。全体とりまとめとしての実証実施計画やスケジュール管理等については、コンソーシアム構成主体者である OKI が担当した。

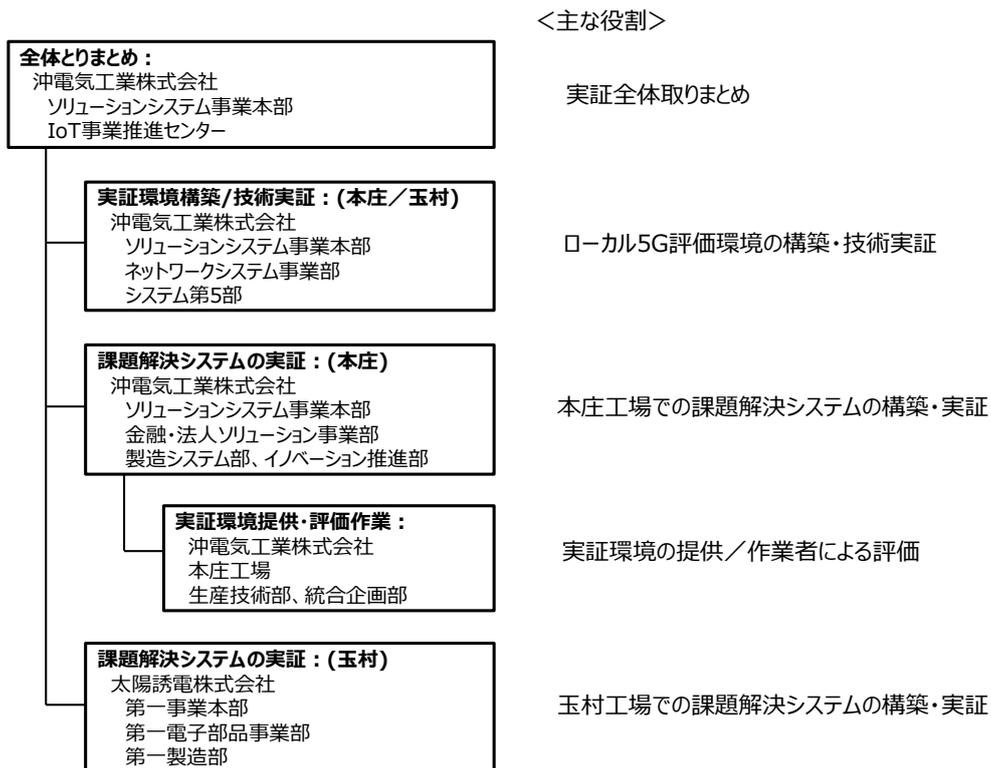


図 1.3.1-2 実証実施体制

1.3.2 コンソーシアムの概要

本調査検討の受託に伴い、OKI、群馬県、太陽誘電(株)、株式会社 SUBARU の4者は、「群馬県ローカル5G活用コンソーシアム」として、コンソーシアム協定書を締結し、主に以下の活動を実施した。

- ・コンソーシアム定例会（隔週での実施）
- ・OKI 本庄工場における課題実証、技術実証
- ・太陽誘電(株)玉村工場における課題実証、技術実証
- ・地域（群馬県）中小企業への実装および横展開に関する検討

1.4 実証のスケジュール

実証スケジュールについては、以下のタスクにより構成される。

- ・実証準備（実証環境構築、免許取得申請）
- ・課題実証（OKI 本庄工場と太陽誘電(株)玉村工場の2ヶ所）
- ・技術実証（同上）
- ・実装・横展開検討

当コンソーシアムは、2つの工場で実証する必要があるため、かつローカル5G機器の共用により移設することが前提となるため、以下を考慮して計画立案を行った。

- ・実証準備（ローカル5G環境構築、免許取得申請）を可能な限り早期に完了させること
- ・ローカル5G環境の移設を容易にするため、可搬性を高めるための環境設計に早期に着手すること
- ・課題実証および技術実証の再実施を極力避けるため、各実証計画の検討期間を十分に確保すること
- ・実装・横展開の検討タスクおよび検討メンバーは、実証タスクと切り離し並行して実施する計画とすること

また、マイルストーンは、以下の考え方に基づいて検討した。

- ・ローカル5G機器の正常動作が懸念されたため、動作検証を最優先に実施した
- ・技術実証を先行して実施することによって、実証エリアの電波伝搬特性を把握し、課題実証を実施する上での最適なエリア設計に応用した
- ・OKIがローカル5G実証環境構築を担当するため、先行してOKI本庄工場で実証を実施し、実証環境構築で生じる課題を早期に解決できるように計画した

No分野	区分	予実	10月				11月				12月				1月				2月				3月							
			5日	12日	19日	26日	2日	9日	16日	23日	1日	8日	15日	22日	29日	5日	12日	19日	26日	3日	10日	17日	24日	1日	8日	15日	22日	29日		
No5_地域中小工場横展開	実証準備	計画					申請				予備免許				落成				本免許											
		実績					申請				予備免許				落成				本免許											
		計画	設置(本庄)	接続試験(本庄)			システム試験									移設			設置(玉村)	接続試験(玉村)										報告書作成
	実績	設置(本庄)	接続試験(本庄)			システム試験									移設			設置(玉村)	接続試験(玉村)							移設・設置(本庄)			報告書作成	
	課題検証	計画									課題実証計画検討(本庄)				課題実証(本庄)								課題実証計画検討(玉村)				課題実証(玉村)			報告書作成
		実績									課題実証計画検討(本庄)				課題実証(本庄)								課題実証計画検討(玉村)				課題実証(玉村)			報告書作成
	技術実証	計画									技術実証計画検討(本庄・玉村)				技術実証(本庄)												技術実証(玉村)			報告書作成
		実績									技術実証計画検討(本庄・玉村)				技術実証(本庄)												技術実証(玉村)			報告書作成
	実装・横展開	計画									実装・横展開実施検討(県内企業ヒアリング調査等実施)												普及モデル等検討・プラットフォーム検討							報告書作成
		実績									実装・横展開実施検討(県内企業ヒアリング調査等実施)												普及モデル等検討・プラットフォーム検討							報告書作成

図 1.4-1 実証のスケジュール

1.5 免許申請の概要

1.5.1 申請者、申請先、申請概要

申請者、申請先、申請概要は下記の通りである。

- ・申請者：沖電気工業株式会社
- ・申請先：総務省 関東総合通信局
- ・申請概要：

表 1.5.1-1 申請概要

No.	項目	内容
1	無線局の種別	実験試験局 (EX)
2	常置場所	埼玉県蕨市中央1-16-8 沖電気工業株式会社 OKIシステムセンター (移動範囲を兼ねる)
3	移動範囲	埼玉県本庄市小島南4-1-1 沖電気工業株式会社 本庄工場 群馬県佐波郡玉村町大字川井1796-1 太陽誘電株式会社 玉村工場
4	申請する局数	3局 (基地局：1局, 端末：2局)
5	周波数	4800 MHz
6	帯域幅	100 MHz (4750~4850 MHz)
7	電波形式	N0N 4800MHz, 100M X7W 4800MHz
8	変調方式	OFDM
9	空中線電力	60mW (17.8 dBm)
10	空中線利得	2 dBi
11	ケーブルロス	0 dB
12	実効輻射電力	19.8 dBm
13	アンテナ指向性	無指向 (DP), 垂直偏波 (VH)
14	アンテナ本数	2本 (M, R)
15	空中線高	地上高：4 m
16	設備メーカー名	株式会社エイビット
17	同期方法等	非同期
18	備考	SA構成

※基地局と端末の諸元は同等

申請人を免許人とした理由は下記の通りである。

- ・申請人を免許人とした理由：
実証環境である沖電気工業(株)本庄工場の土地所有者であること、また他システムではあるが免許申請の経験があり、迅速な対応が可能と考えられたため。

図 1.5.1-1 に申請時におけるシステム構成、図 1.5.1-2 に無線設備系統図を示す。

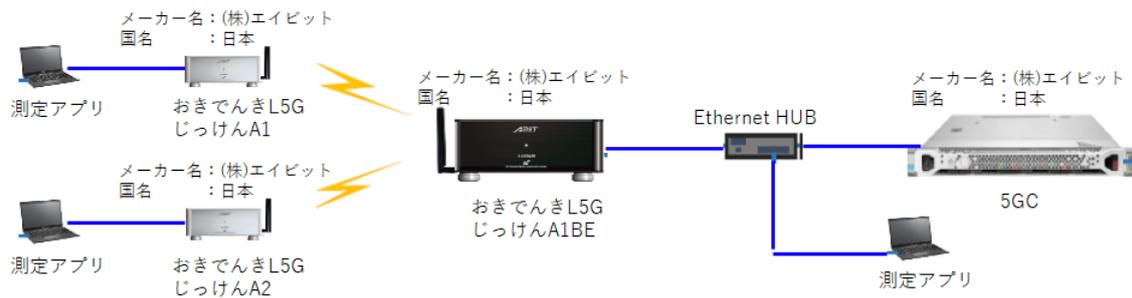


図 1.5.1-1 申請時におけるシステム構成

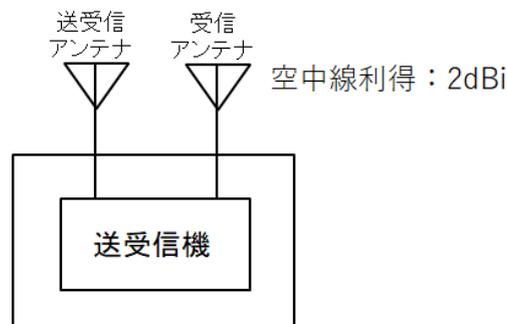


図 1.5.1-2 無線設備系統図

本実証のユースケースである工場（屋内）での電波伝搬を考慮し、ミリ波帯ではなく Sub6 帯を採用した。占有帯域幅は高速・大容量データ伝送を重視して 100MHz とした。また導入時のコストを鑑み、SA 構成とした。

本庄工場での干渉調整先は、キャリア 5G の NTT ドコモのみ（周辺にローカル 5G の運用なし）、玉村工場の干渉調整先は、キャリア 5G、ローカル 5G ともになかった。

非同期での動作のため、干渉調整の際にスペクトラムエミッションマスク値や帯域外スプリアス値の提出を求められたが、最終的には承諾を得ることができた。

1.5.2 次年度以降の申請対応

本実験試験局の有効期限は2021年5月31日であるため、以降も継続的に使用する場合は、改めて無線局（運用局）としての免許申請を実施する必要がある。その場合は、沖電気工業(株)が主体的に対応する予定である。

申請にあたって、本実証では実験試験局として免許を取得したため、基地局の場所を「移動範囲」内において自由に設置できたが、実験試験局以外の場合、現在の制度では設置場所（緯度・経度）を明記して申請する必要がある。工場内（建屋内）では、生産設備等のレイアウト変更により電波伝搬環境が変化することが想定され、申請時の基地局の設置場所を変更したいという要望があることが考えられる。現状は、基地局の設置場所を変更する都度、免許申請を実施する必要があるが、申請から取得までに要する期間は工場の稼働ができないという問題が発生する。工場内（建屋内）に関しては、例えば実験試験局のように、設置場所を「移動範囲」にする、または設置場所の変更時の免許申請を簡素化（短期間化）する等の措置（制度の緩和）が望ましいと考える。一方、今後の中小工場等への横展開に向けては、デモンストレーション実施のために展示会場等において一時的にローカル5Gを動作させたいケースがあると想定される。そのようなケースに関しても、同様に一時的な措置（制度の緩和）を期待したい。

また、ローカル5Gの利用形態に関しては、工場分野に限らずアップリンク重視のアプリケーション適用がメインになると想定される。現行の同期および準同期よりも、更にアップリンクを重視したフレーム構成の検討が必要と考える。

2. 実証地域

2.1 実証地域の概要

本調査検討を実施する地域として、コンソーシアム参画企業が自社工場を有し、柔軟な電波測定評価が可能であり、かつ異業種による複数の製造工場にて多面的な課題抽出が可能な地域である、群馬県及びその隣接地区において実証を行った。

特に群馬県は、以下に述べる地域特性から、本実証テーマにおいて掲げられた地域課題である、「工場分野」における「製造業が抱える人手不足や業務の効率化等」の解決を、地域の中小工場等へのローカル5Gの導入促進により図ろうとすることに適した地域であると捉え、実証地域として設定したものである。

2.2 群馬県の特徴

2.2.1 豊かな自然環境と都心からのアクセス、多様で高度な産業集積

群馬県は、日本列島のほぼ中央にあり、県西・県北の県境には山々が連なり、南東部には関東平野が開ける内陸県である。面積は約 6,362 平方キロメートルで、全国 21 番目、関東地方では栃木県につぐ 2 番目の大きさである。山林が県土の約 3 分の 2 を占め、平野部から山岳地帯まで変化に富んだ自然が特徴である。県のシンボルである上毛三山（赤城山、榛名山、妙義山）のほか、谷川岳や尾瀬など国内屈指の景勝地を有する国立・国定公園、ラムサール条約登録湿地である尾瀬、渡良瀬遊水地、芳ヶ平湿地群といった豊かな自然生態系を有し、草津、伊香保、水上、四万をはじめ 100 以上の名湯・秘湯に恵まれている。

また、流域面積日本一である利根川の水源地であるとともに、多くのダムを有し、豊富な水資源に恵まれていることから、首都圏の水がめとして重要な役割を果たしている。豊富な水資源と森林資源、さらには年間の日照時間が全国第 2 位であることから、再生可能エネルギーを活用した発電等に適した条件を備えている。

加えて、産業の地理的条件としては、我が国の経済活動の中心である東京から 100 km 圏という恵まれた立地条件にあり、関越、上信越、北関東、東北自動車道や上越、北陸新幹線による交通の結節点として、企業の立地件数は全国トップクラスとなっている。

また、特に近代以降は、世界文化遺産の富岡製糸場を中心とした絹産業の繁栄をルーツとするものづくりの長い歴史があり、戦前には中島飛行機（現(株)SUBARU）の主力工場が置かれ、航空機製造の高度な技術をもとに多くの中小企業が集積し、日本を代表する企業を多数輩出してきた。現在も、自動車関連産業を中心に、我が国有数の分厚い基盤技術関連産業の集積を誇っている。こうして長い年月を通じて継承されてきた高度な産業技術と人材の集積によって「ものづくり立県ぐんま」を形成し、現在も我が国の経済の成長・発展を牽引する原動力の一翼を担い続けている。



図 2.2.1-1 群馬県の地理的位置
出所) 群馬県ホームページより作成

2.2.2 産業構造

群馬県の産業構造をみると、全国と比較して県民総生産（GDP）に占める二次産業の割合が高く、特に自動車を主力とした輸送機器関連産業が製造業全体に占める割合で全国2位に位置している「ものづくり立県」である（表 2.2.2-1 参照。自動車を主力とする輸送機器の比率が圧倒的に高く、特化度は愛知県（55.3%）に次ぎ全国2位となっている。）。

群馬県の工業を支える企業の多くは金属を扱うところが多く（事業所数の割合で金属製品製造業がトップ）、「基盤技術」と呼ばれる金型、プレス、板金、切削、溶接、鍍金、鍛造、鋳造などに関する加工技術が発達しているほか、家電部品等製造のための樹脂成形技術なども発展しており、独自技術をもつ中小企業が数多く集積していることから、製造現場に係る多様なユースケースを検討することが容易な地域となっている。

なお、その他の特徴として、1事業所あたりの従業者数は45.9人で（表 2.2.2-2 参照）、同じ北関東エリアの茨城県（54.1）、栃木県（49.8）に比べ小規模企業が多いことが挙げられる。また、中小企業数は4,536所で全体の97.8%、従業者数は138,195人で全体の64.8%を占めている（表 2.2.2-3 参照）。一方、業種別事業所数では、金属製品、輸送機器、プラスチックが、業種別従業者数では、輸送機器、食料品、プラスチックが、上位を占めている（表 2.2.2-4 参照）。

表 2.2.2-1 主要産業（製造品出荷額等の産業中分類（業種）別構成比）

県名	1位	2位	3位	産業構造(GDP 構成比) (※)		
				1次	2次 (うち製造業)	3次
群馬県	輸送機器 38.7%	食料品 9.1%	化学 7.8%	1.5%	42.6% (37.4%)	55.4%
栃木県	輸送機器 15.6%	電気機器 10.9%	飲料 10.3%	1.9%	43.8% (39.7%)	53.9%
茨城県	化学 12.9%	食料品 11.2%	生産用機器 10.1%	2.4%	37.7% (32.3%)	59.5%
全国平均	輸送機器 21.1%	化学 9.0%	食料品 9.0%	1.1%	27.2% (21.4%)	71.3%

出所) 経済産業省「2019年工業統計調査結果確報」より作成。※は内閣府「平成28年度県民経済計算」より作成。なお、構成比計は、項目毎に四捨五入しているため、必ずしも100%ではない。

表 2.2.2-2 工業関係主要指標（群馬県）

項目	平成30年数値	対前年比	全国順位
事業所数	4,640 事業所	▲2.6%	16位
従業者数	213,151 人	0.7%	11位
製造品出荷額等	9兆1,360億円	1.2%	13位
付加価値額	3兆1,289億円	▲1.5%	10位

出所) 経済産業省「2019年工業統計調査結果確報」より作成。（従業者4人以上の事業所を対象）

表 2.2.2-3 従業員規模別事業所・従業者数 表 2.2.2-4 業種別事業所数（産業中分類）

従業員数	事業所数 (割合)	従業者数 (割合)
4～ 29 人	3, 383 (72. 9%)	41, 910 (19. 7%)
30～ 99 人	844 (18. 2%)	45, 141 (21. 2%)
100～299 人	309 (6. 7%)	51, 144 (24. 0%)
300 人以上	104 (2. 2%)	74, 956 (35. 1%)

順位	業種	事業所数 (構成比)
1 位	金属製品	699 (15. 1%)
2 位	輸送機器	487 (10. 5%)
3 位	プラスチック	462 (10. 0%)
4 位	食料品	439 (9. 5%)

出所) 経済産業省「2019年工業統計調査結果確報」より作成(従業者4人以上の事業所を対象)

2.2.3 群馬県の人口推移と労働問題等

本県の人口は2015年現在で197.3万人と全国第19位であり、我が国の中では中位に位置づけられるが、200万人に達した2000年代をピークに減少に転じ、さらに、2040年までの20年間で15%の減少が見込まれる。高齢者の人口は2040年頃のピークに向けて緩やかに上昇を続ける一方で、生産年齢人口の減少幅が拡大し、年齢構成の変容が続くことから、労働力の不足と医療や介護などの社会保障費の増加が深刻化する。2040年以降、高齢者人口も減少に転じ、年齢構成はそれほど変化しなくなることが予測されるが、75歳以上人口は増加を続ける。

また、本県の外国人住民数は1990年の入管法の改正を機に増加傾向が続き、2008年のリーマンショック以降、一時的に減少したものの、2013年から再び増加に転じ、2019年は過去最多の60,036人となった。人口に占める外国人住民の割合は3.05%と、全国で3番目に高い割合となっている。

群馬県内の中小製造業は、こうした人口減少社会の到来に加えて、隣県よりも低い最低賃金などの影響もあり（主に工業集積地域が平野部の他県との隣接地域に多く、かつ最低賃金が隣接他県よりも14円～91円安い（表2.2.3-1参照）、県内住民の他県就労が多く、県内中小企業からは人材採用が困難との声も上がっている）、既に深刻な労働力不足に陥っているほか、働き方改革、技術継承、生産技術高度化への対応など、様々な課題に直面している（なお、人口減少、労働力、デジタル化に関する課題は、「2.4 地域課題等」の項目で詳述する。）。

表 2.2.3-1 群馬県平野部隣接県との最低賃金額比較

県名	最低賃金額	群馬県との差額	発効年月日
茨城県	851	+ 14	2020/10/1
栃木県	854	+ 17	2020/10/1
埼玉県	928	+ 91	2020/10/1
群馬県	837	-	2020/10/3

出所) 厚生労働省ホームページより作成

2.2.4 デジタル技術導入支援に対する施策の状況

群馬県では、人口減少社会に対応しながら製造業の競争力を維持するためには、AI、IoT、ロボット等のデジタル技術を活用し、人手不足の克服及び生産性向上を図ることが不可欠と捉えている。具体的には、群馬産業技術センター及び産業経済部地域企業支援課において、中小製造業向けデジタル技術の導入支援施策を、平成 28 年度から継続的に実施してきており、行政の支援の下、中小製造業向けローカル 5 G 技術の導入促進に向けた、本実証終了後の横展開方法の検討を行うための環境も整っている。

(参考) 群馬県における主な中小製造業向けデジタル技術導入支援策

・ 群馬県 IoT・AI 推進研究会（群馬県 IoT 推進ラボ）（平成 28 年度～実施中）

中小事業者では対応困難な IoT・AI 技術の導入・活用を産学官が連携してサポートすることで、技術の高度化、生産性の向上を図り、地域経済の活力向上に寄与することを目的に設置した会議体（設置年月：平成 28 年 12 月）。平成 29 年 8 月には同研究会の取組を基に、経済産業省「地方版 IoT 推進ラボ」に選定された。

群馬産業技術センター等の活動と連携し、研究開発、情報提供、人材育成事業を実施している。

・ 群馬産業技術センターによる研究開発事業

群馬産業技術センターでは、国・県等の競争的資金等を活用し、県内中小企業との共同研究や独自研究を実施している。平成 28 年度から令和 3 年 1 月末までの実績で、延べ 112 社と研究開発事業を実施済み又は実施中である。

・ スマートものづくりコーディネート事業（平成 30 年度～実施中）

（公財）群馬県産業支援機構に「スマートものづくりコーディネーター」を配置し、企業の現場における IoT 導入に向けた技術アドバイスや情報発信事業等を実施している。平成 30 年度から令和 3 年 1 月末までの実績で、延べ 136 社の IoT 導入支援を実施済み又は実施中である。

・ ロボットシステムインテグレータ [SIer] 講座（平成 30 年度～実施中）

県内企業の製造現場等へのロボット導入・活用に備え、システム構築・設計を担うロボットシステムインテグレータ及び関連人材を育成する実践的な講座を実施している。平成 30 年度から令和 2 年度までの実績で、延べ 50 名が受講した。

2.2.5 ロボットシステムインテグレーターの立地状況

また、本実証において構築したローカル5G等活用システムの展開に当たっては、中小企業におけるエンジニアリングやFA（ファクトリー・オートメーション）導入に際してのパートナーである地元中小S I e r（システム・インテグレータ、生産システム設計・製造事業者）を地域への横展開における拡散役として見据えている。この検討に至った背景として、全国的にみても中小ロボットS I e rの立地件数が多いため（FA・ロボットシステムインテグレータ協会の会員数が全国5番目（全国192社、うち群馬県11社。図2.2.5-1参照）、地域内への面的な導入支援を展開しやすい環境にあることが挙げられる。

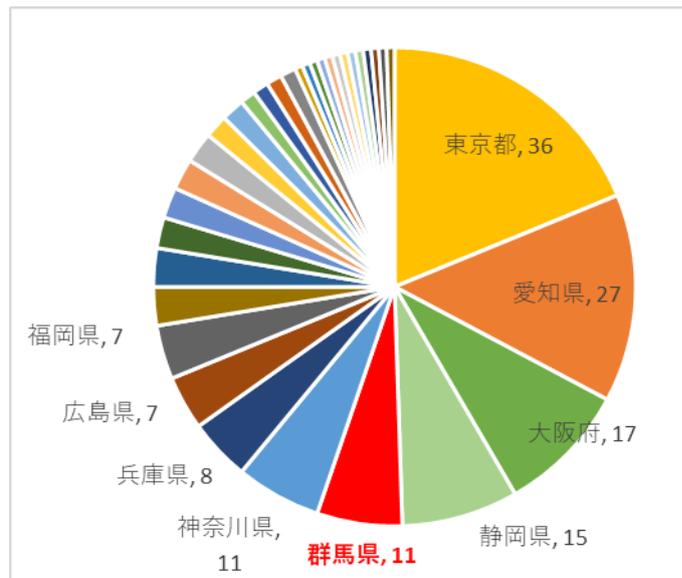


図 2.2.5-1 都道府県別・S I e r協会会員数（令和3年1月1日現在）
出所）FA・ロボットシステムインテグレータ協会ホームページより作成

2.3 実証環境

本実証では、群馬県および隣接地域に立地する OKI 本庄工場と太陽誘電(株)玉村工場を実証環境とする。

〒367-8686 群馬県本庄市小島南 4-1-1 沖電気工業株式会社 本庄工場

〒370-1117 群馬県佐波郡玉村町大字川井 1796-1 太陽誘電株式会社 玉村工場

図 2.3-1 に OKI 本庄工場の立地場所、図 2.3-2 に太陽誘電(株)玉村工場の立地場所を示す。

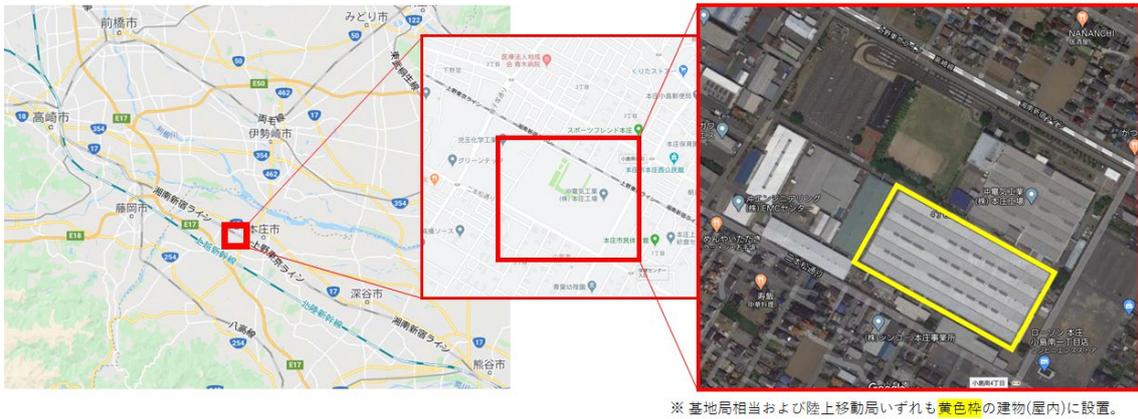


図 2.3-1 OKI 本庄工場



図 2.3-2 太陽誘電(株) 玉村工場

いずれの実証環境も、当コンソーシアムメンバーが保有している自社工場である。実証実施の観点より、当コンソーシアムメンバー以外より実証環境を提供してもらうことは難しく、当コンソーシアムメンバーの自社工場であれば、稼働中の工場であっても、ある程

度の融通が利くことが期待できる。また実証環境の観点より、工場の内部構造や生産設備の種類や生産ラインの規模等が異なる工場での実証は、電波伝搬環境を比較検証する上で有用であると考えられる。更に、同様の工場を保有する実証地域以外の地域の利用においても有益な成果が得られるという観点からも、複数の電波伝搬環境でのローカル 5G の無線通信特性を評価・検証することとする。

以下に、各工場の特徴を記載する。

(1) OKI 本庄工場

- ・ 製造物：通信装置等の電子機器
- ・ 屋内面積：約 4,800 m²（約 80m×60m）
- ・ 天井の高さ：最大で 4.5m 程度
- ・ 生産設備の高さ：最大で 3m 程度
- ・ 外壁の材質：鉄骨鉄筋コンクリート製
- ・ 人の作業場所はほぼ同一
- ・ 出荷品を人が台車を引いて搬送

(2) 太陽誘電(株) 玉村工場

- ・ 製造物：コンデンサ等の電機部品
- ・ 屋内面積：約 635 m²（約 32.5m×19.6m）
- ・ 天井の高さ：最大で 3m 程度
- ・ 生産設備の高さ：最大で 2m 程度
- ・ 内壁の材質：鉄骨・石膏ボード
- ・ 人の作業場所は状況により異なる
- ・ 人手による出荷品の搬送なし

特徴として、本庄工場では人の作業場所はほぼ一定であることに対し、玉村工場では状況に応じて作業場所が異なることが挙げられる。また本庄工場では出荷品を人が台車を引いて搬送するが、玉村工場では人手による出荷品の搬送はない。また本庄工場の実証環境は外壁に面しているが、玉村工場の実証環境は外壁に面しておらず、建物の内部の部屋である。

工場（屋内）での電波伝搬特性を考慮し、ミリ波帯ではなく Sub6 帯のローカル 5G にて実証することとした。本庄工場での干渉調整先は、キャリア 5G の NTT ドコモのみ（周辺にローカル 5G の運用なし）、玉村工場の干渉調整先は、キャリア 5G、ローカル 5G ともになかった。

2.4 地域課題等

2.4.1 人口動向から見た労働力問題

2.4.1.1 全国の場合

我が国の人口は、少子高齢化を背景として 2010 年をピークに減少を続けており、特に年少人口（0 歳～14 歳）の減少が、この傾向を加速させる形となっている。

年少人口は、1970 年代半ばの第二次ベビーブームを背景にいったん増加に転じたが、1980 年代半ばから再び減少に転じ、現在も減少し続けている。国立社会保障・人口問題研究所が実施した推計によれば（平成 29 年推計）、2015 年の 1,594 万人から、2030 年には 1,312 万人（2015 年比 273 万人の減少）、2040 年には 1,193 万人（同比 400 万人の減少）が見込まれ、引き続き減少し続けることが予測されている（図 2.4.1.1-1 参照）。

これを受けて、生産年齢人口（15 歳～64 歳）は、1995 年の 8,716 万人をピークに減少に転じ、2015 年の 7,628 万人から、2030 年には 6,875 万人（2015 年比 852 万人の減少）、2040 年には 5,977 万人（同比 1,750 万人の減少）に落ち込むものと推計されている。外国人労働者等の動向を考慮せず、単純に捉えた場合、我が国の労働力は、2015 年と比較して 15 年間で 11.0%、25 年間で 22.7%が失われることが想定されている（図 2.4.1.1-2 参照）。

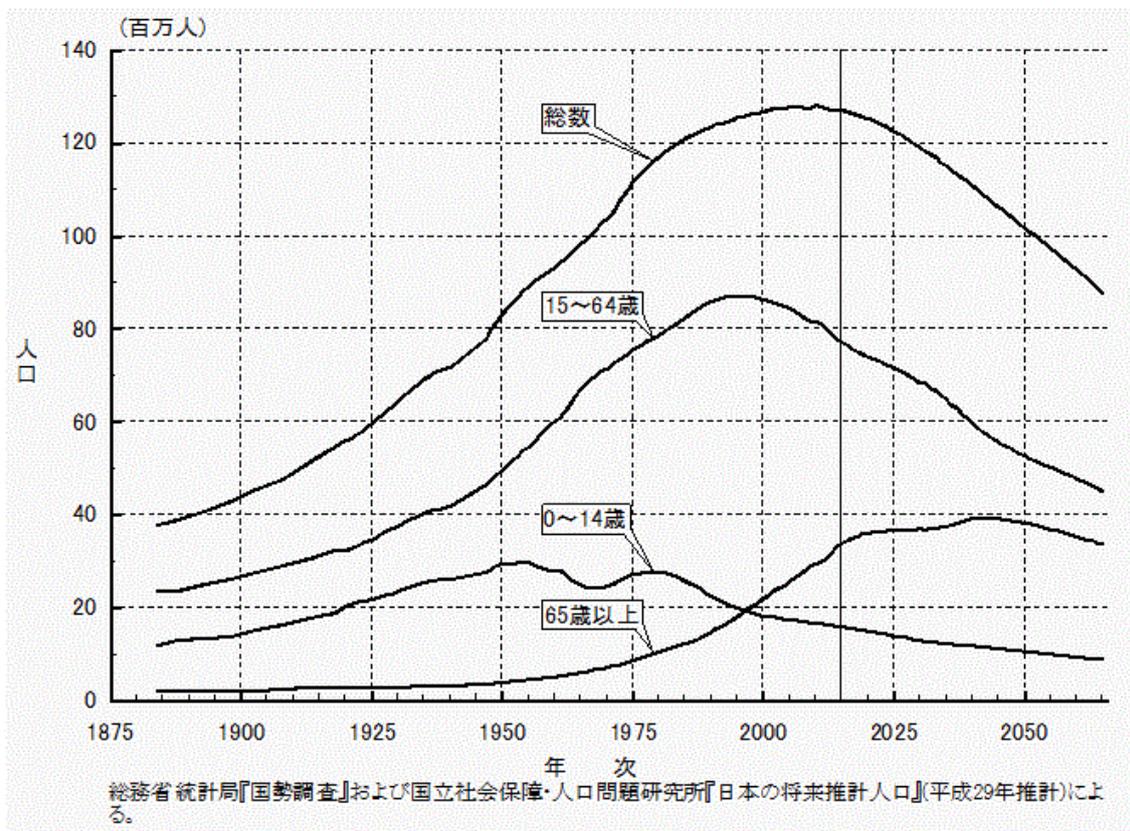


図 2.4.1.1-1 年齢3区分別人口：1884 年～2065 年
出所）国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集 2020 年版」より作成

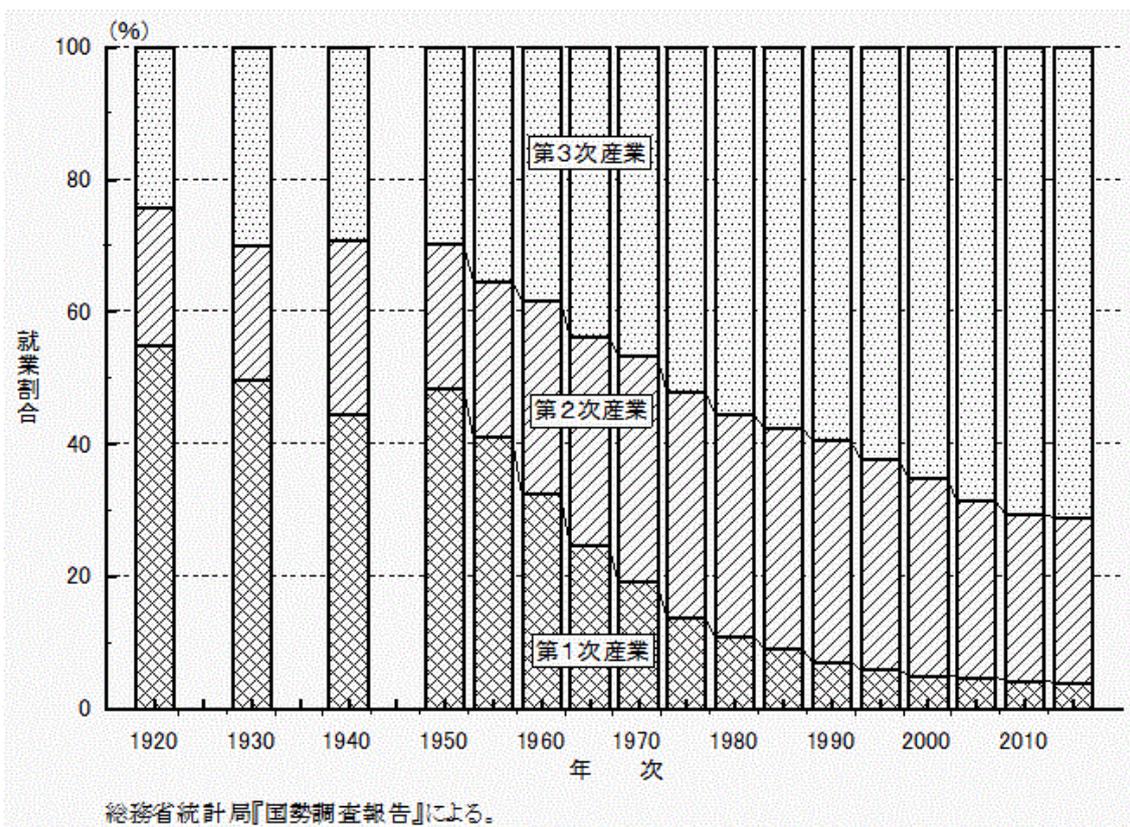


図 2.4.1.1-2 産業（3部門）別就業割合：1920～2015年
出所）国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集 2020年版」より作成

2.4.1.2 全国の就業人口の状況

我が国の就業人口の状況に目を転じると、今回の調査テーマとなっている製造業を含む第2次産業は、就業構造上の割合としては、1970年代半ばをピークとして徐々に減少し、1975年の34.1%から、2015年には23.6%となり、40年間で10.5ポイント減少している（総務省統計局『国勢調査報告』）。一方、就業者数は、1990年代前半をピークに減少に転じ、1990年の2,024万人から、2015年には1,392万人と、25年間で662万人が減少している。

一方、2015年現在の産業大分類別の就業人口をみると、就業人口総数5,881万人に対して、製造業は955万人と、全体の16.2%を占めており、産業大分類別では最も高い比率となっている（表2.4.1.2-1参照）。

国民の雇用の場として、製造業は引き続き重要な位置を占めている一方、少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少を起因として、労働力不足が中長期的な課題となっていくことがうかがえる。

表 2.4.1.2-1 性、産業（大分類）別就業人口および割合：2015 年

産 業（大分類）	就 業 者 数 (1,000人)			産 業 別 割 合 (%)		
	総 数	男	女	総 数	男	女
総 数	58,919	33,078	25,841	100.0	100.0	100.0
農 業 ， 林 業	2,068	1,240	828	3.5	3.7	3.2
漁 業 ， 採 石 業 ， 砂 利 採 取 業	154	116	37	0.3	0.4	0.1
建 設 業	22	19	3	0.0	0.1	0.0
製 造 業	4,341	3,650	692	7.4	11.0	2.7
電 気 ・ ガ ス ・ 熱 供 給 ・ 水 道 業	9,557	6,620	2,937	16.2	20.0	11.4
情 報 通 信 業	283	242	41	0.5	0.7	0.2
運 輸 業 ， 郵 便 業	1,680	1,231	449	2.9	3.7	1.7
卸 売 業 ， 小 売 業	3,045	2,452	592	5.2	7.4	2.3
金 融 業 ， 保 険 業	9,001	4,288	4,713	15.3	13.0	18.2
不 動 産 業 ， 物 品 質 貸 業	1,429	640	789	2.4	1.9	3.1
学 術 研 究 ， 専 門 ・ 技 術 サ ー ビ ス 業	1,198	723	474	2.0	2.2	1.8
宿 泊 業 ， 飲 食 サ ー ビ ス 業	1,919	1,263	656	3.3	3.8	2.5
生 活 関 連 サ ー ビ ス 業 ， 娯 楽 業	3,249	1,226	2,023	5.5	3.7	7.8
教 育 ， 学 習 支 援 業	2,072	821	1,251	3.5	2.5	4.8
医 療 ， 福 祉 業	2,662	1,149	1,512	4.5	3.5	5.9
複 合 サ ー ビ ス 事 業	7,024	1,695	5,329	11.9	5.1	20.6
サ ー ビ ス 業（他に分類されないもの）	483	291	192	0.8	0.9	0.7
公 務（他に分類されるものを除く）	3,544	2,164	1,379	6.0	6.5	5.3
分 類 不 能 の 産 業	2,026	1,464	562	3.4	4.4	2.2
	3,182	1,781	1,380	5.4	5.4	5.3

出所) 国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集 2020 年版」より作成

2.4.1.3 群馬県の状況

群馬県の人口は、2015 年現在で 1,973,115 人であり、全国 19 位の多さとなっている。

群馬県の人口は、全国より早くピークアウトし、2000 年代前半から減少に転じている。

年少人口は、1970 年代半ばの第二次ベビーブームを背景にいったん増加に転じたが、1980 年代前半から再び減少に転じ、現在も減少し続けている。国立社会保障・人口問題研究所が実施した推計によれば（平成 30 年推計）、2015 年の 25 万人から、2030 年には 19 万 1 千人（2015 年比 1 万 5 千人の減少）、2040 年には 16 万 7 千人（同比 9 千人の減少）が見込まれ、引き続き減少し続けることが予測されている。

これを受けて、生産年齢人口（15 歳～64 歳）は、1995 年の 136 万人をピークに減少に転じ、2015 年の 116 万 5 千人から、2030 年には 100 万 9 千人（2015 年比 5 万 5 千人の減少）、2040 年には 85 万 2 千人（同比 8 万 9 千人の減少）に落ち込むものと推計されている。外国人労働者等の動向を考慮せず、単純に捉えた場合、群馬県の労働力は、2015 年と比較して 15 年間で 4.8%、25 年間で 7.7%が失われることが想定されている（図 2.4.1.3-1 参照）。

また、2015 年現在の産業大分類別の就業人口をみると、就業人口総数 96 万 6 千人に対して、製造業は 22 万 6 千人と、全体の 23.5%を占めており、産業大分類別では最も高い比率となっている。都道府県別の就業人口総数に占める製造業の割合では、全国 8 番目の高さとなっており、2.1 実証地域の概要等で記載したとおり、就業人口上でも「ものづくり立県」の特徴が見て取れる（図 2.4.1.3-2 参照）。

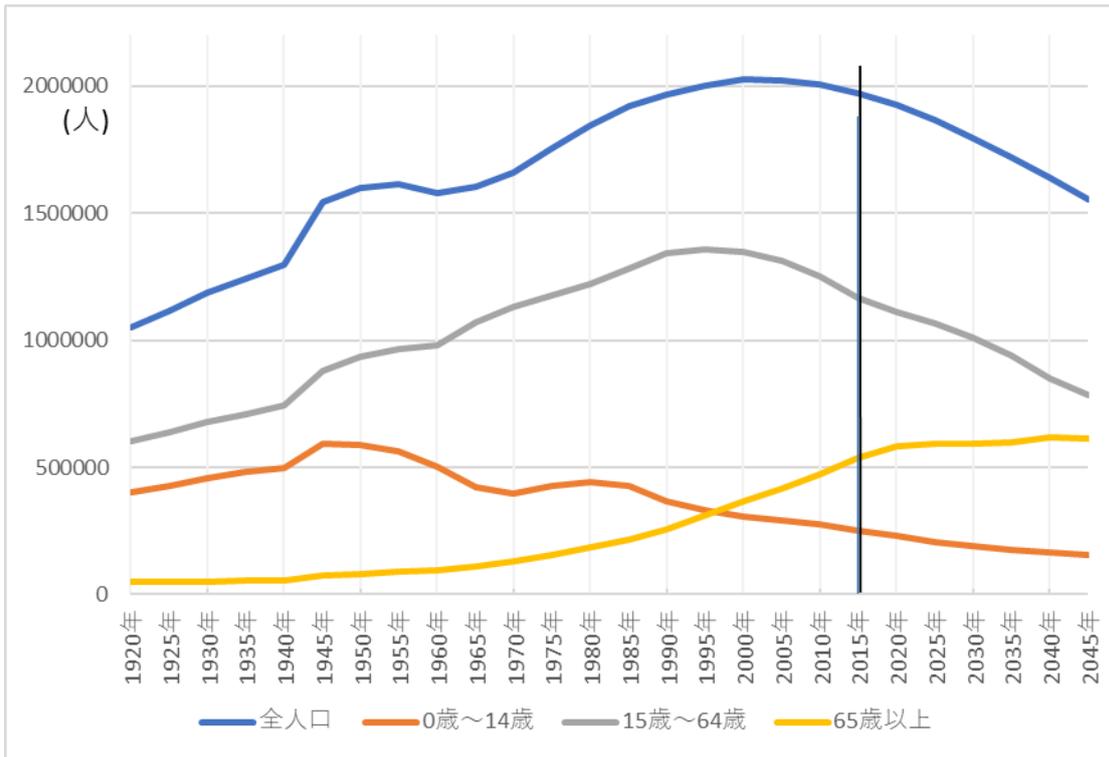


図 2.4.1.3-1 群馬県の人口動態及び推計

出所) 1920年～2015年は総務省統計局「国勢調査報告」、2020年～2045年は国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口(平成30(2018)年推計)」より作成

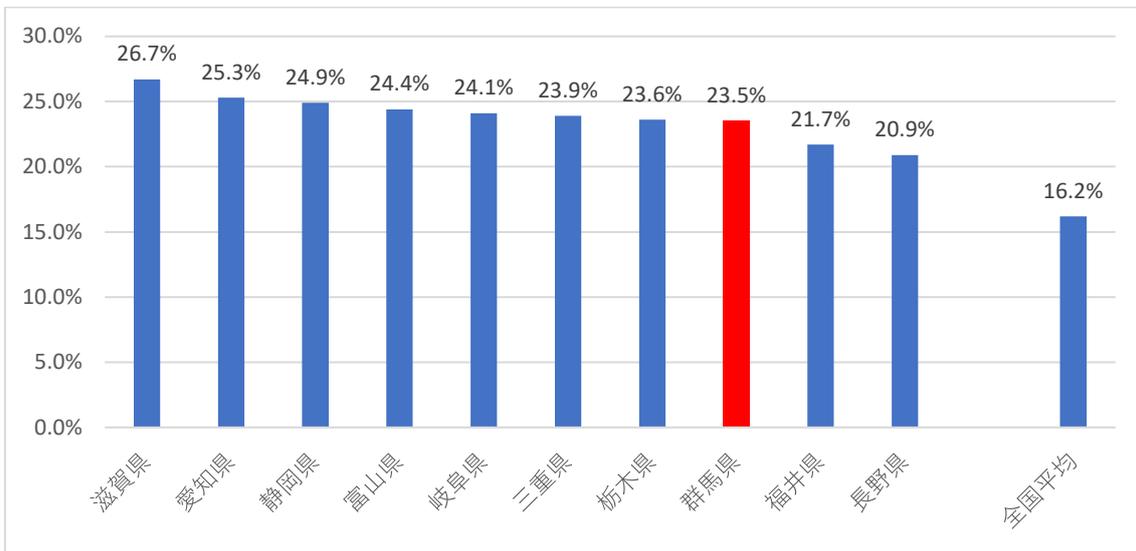


図 2.4.1.3-2 産業大分類別の就業人口に占める製造業の割合が高い都道府県

出所) 総務省統計局「2015年 国勢調査報告」より作成

2.4.2 現場の人手不足、デジタル技術導入に係る課題

2.4.2.1 我が国のものづくり企業における状況

人口の少子高齢化が進む中、中小企業における人材確保は厳しさを増している。特に課題となっているのが、ものづくり現場の人手不足である。

(独)労働政策研究・研修機構が2019年11月～12月に実施した『デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査』によれば、企業規模を問わず、ものづくり企業の大きな経営課題となっているのは「人材育成・能力開発」や「人手不足」であり、いずれも4割を超えている(図2.4.2.1-1参照)。

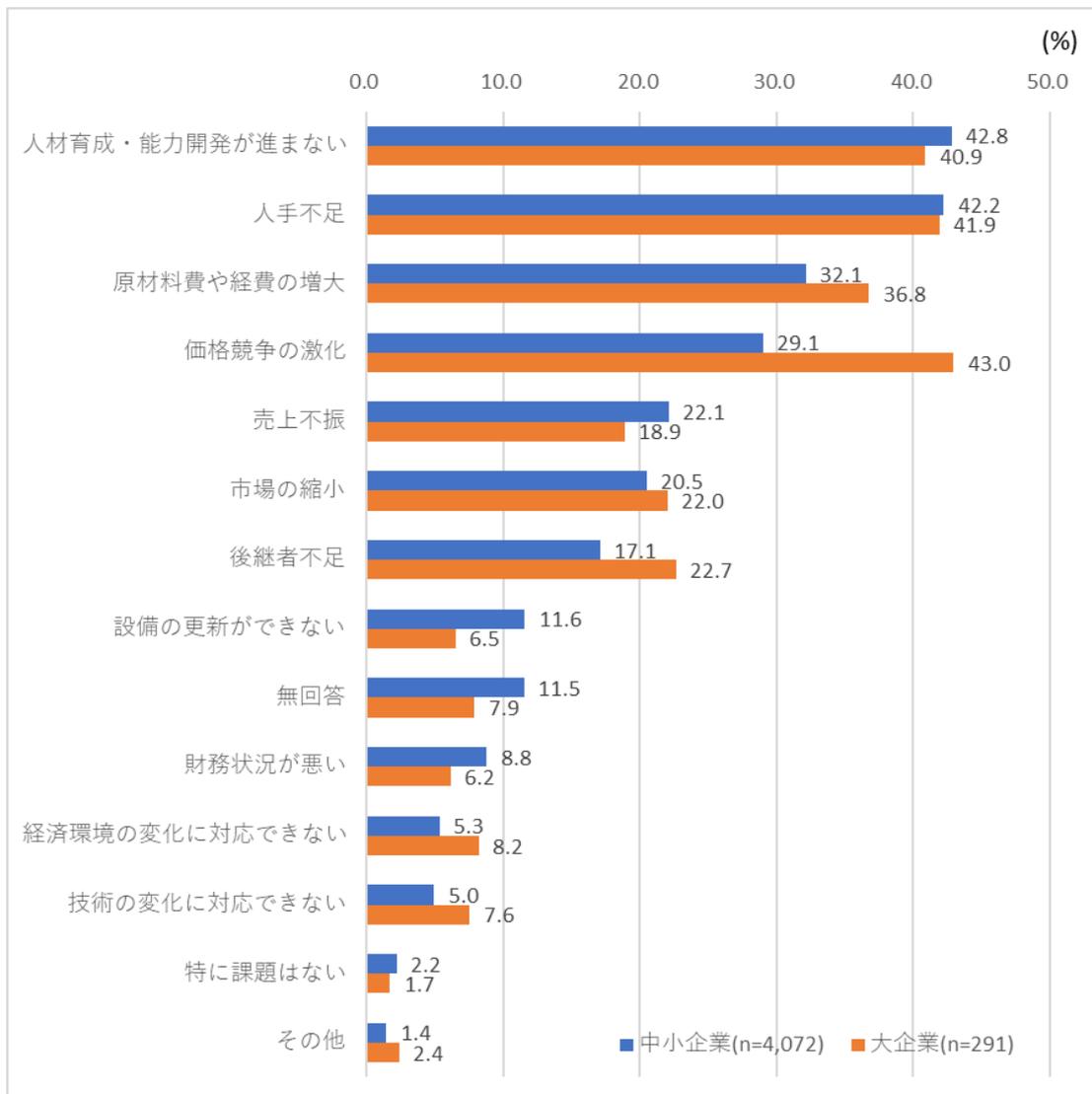


図 2.4.2.1-1 ものづくり企業の経営課題 (企業規模別)

出所 (独)労働政策研究・研修機構「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査」より作成

同調査では、ものづくり人材の過不足状況について聴取しているが、「不足」「やや不足」と回答した企業は、中小企業 64.5%、大企業 69.4%と、企業規模を問わず7割弱の企業が「人手不足」を足元の課題と捉えていることが分かる（図 2.4.2.1-2 参照）。

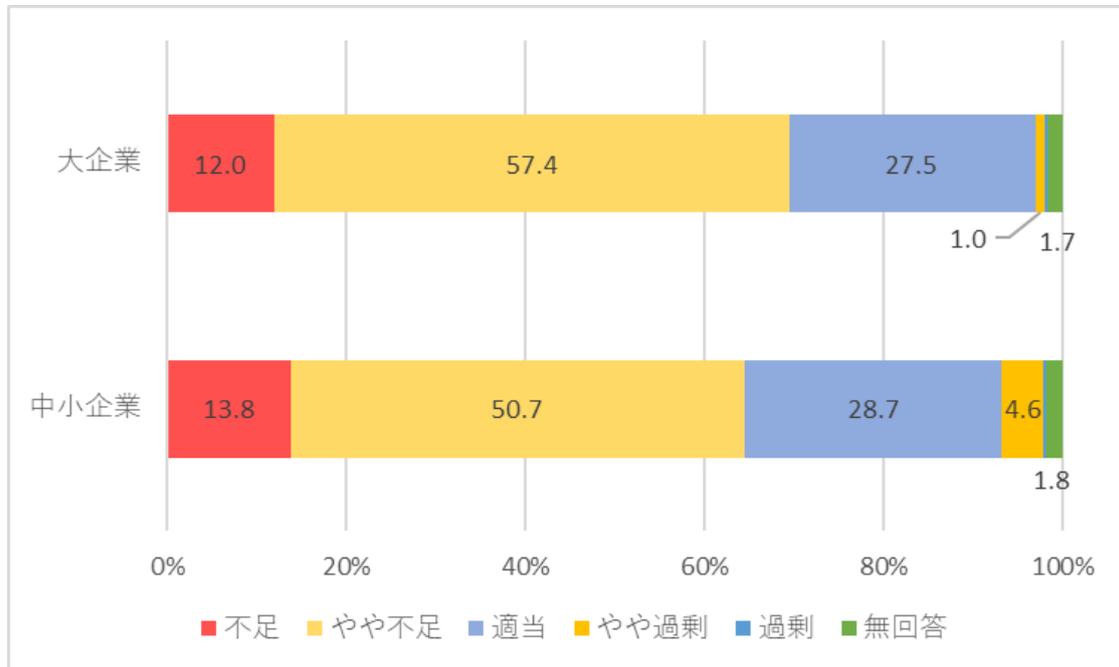


図 2.4.2.1-2 ものづくり人材の過不足状況（企業規模別）

出所) (独) 労働政策研究・研修機構「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査」より作成

他方、同調査においては、人手不足解消策を聴取しているが、中小企業は「中途採用の強化」、大企業は「新卒採用の強化」がトップ回答となっており、中長期的な視点で人材そのものを確保することが最善策と捉えられている。一方、本実証事業の本旨である「デジタル技術活用」による解消は、大企業でも 23.0%、中小企業では 8.6%という結果になっている（図 2.4.2.1-3 参照）。

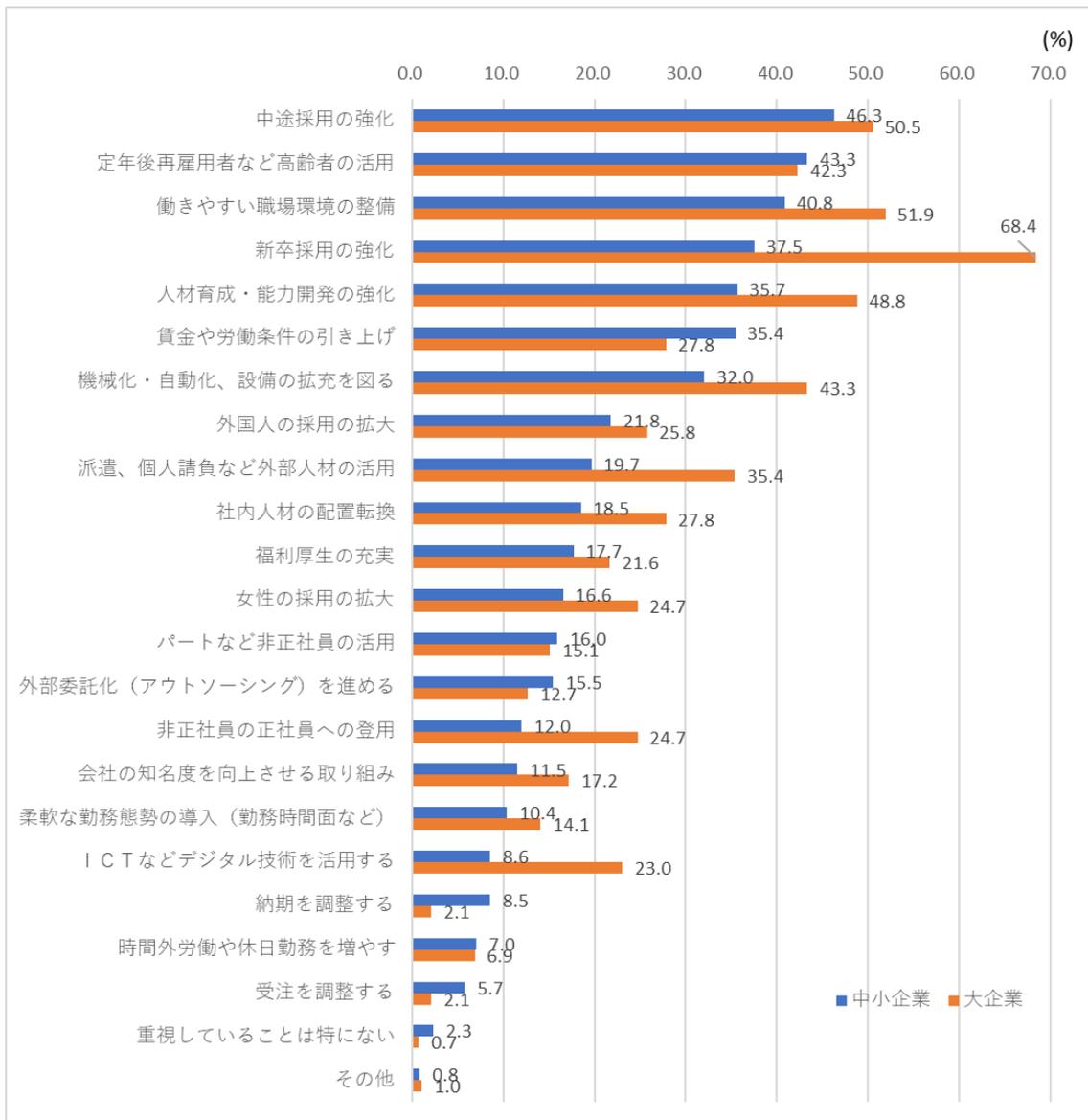


図 2.4.2.1-3 ものづくり人材確保などの人手不足解消策（企業規模別）

出所）（独）労働政策研究・研修機構「デジタル技術の進展に対応したもののづくり人材の確保・育成に関する調査」より作成

同調査では、ものづくり企業が競争力を高めるための従来の取組と、今後重要度が増す取組とを聴取しているが、最もギャップが大きかった回答は「製造・生産等への ICT などデジタル技術の積極的な活用」で、25.1 ポイントのプラスとなっている（従来 9.6%、今後 34.7%）。ここからは、ものづくり企業の競争力強化に資するとの認識がありながら、取り組んでいないと考えている最たるものが「デジタル技術活用」であると見て取れる（図 2.4.2.1-4 参照）。

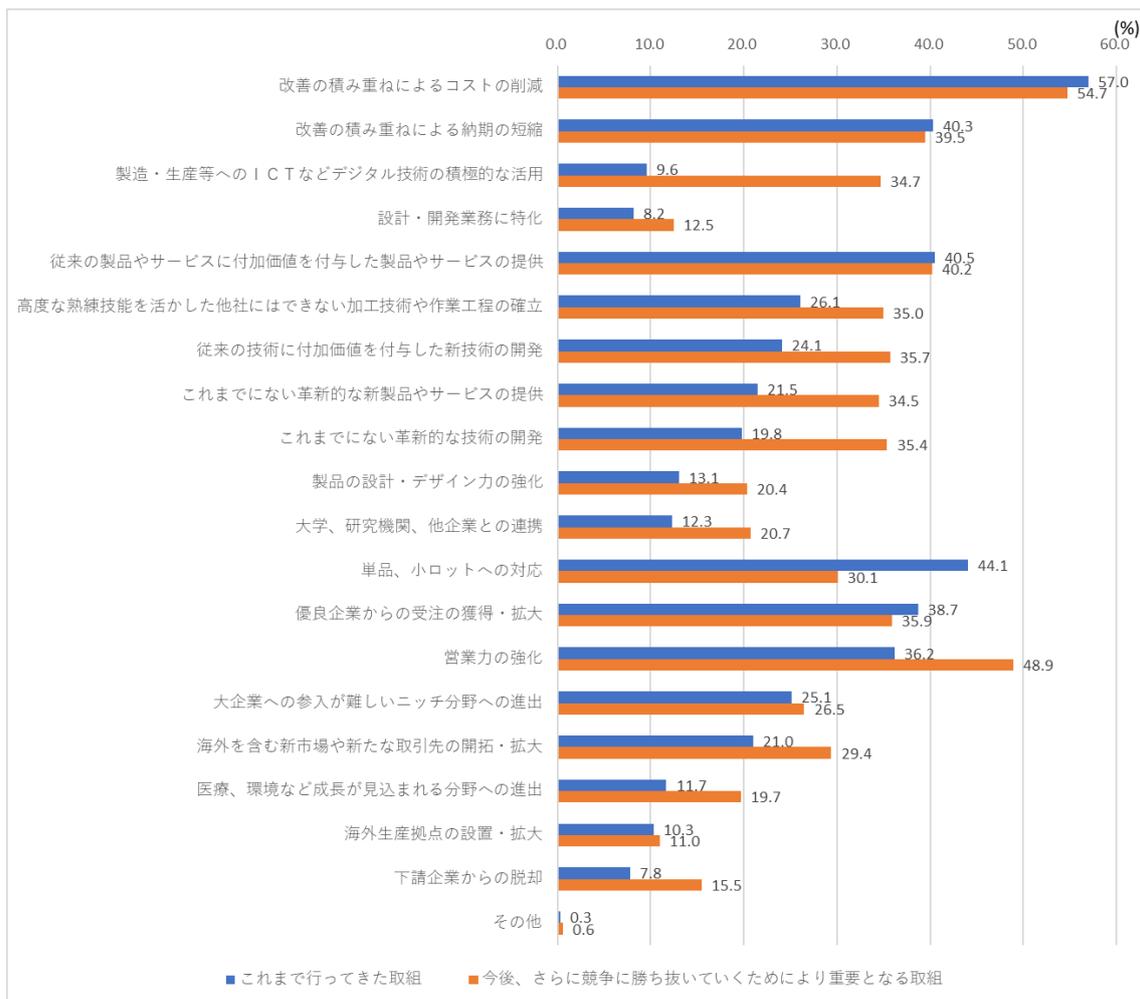


図 2.4.2.1-4 競争力を高めるための従来／今後の取組

出所) (独) 労働政策研究・研修機構「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査」より作成

実際、ものづくりの工程・活動においてデジタル技術を『何らかの形で活用している』との条件であっても、活用している企業は大企業で 60.8%、中小企業 48.5%に留まっており、課題と認識しながら対応できていない状況がうかがえる (図 2.4.2.1-5 参照)。

こうした中、デジタル技術を活用している企業は、3年前と比較して労働生産性が「向上した」「やや向上した」との回答が 56.8%に上り、デジタル技術を活用していない企業と比較して「向上」を感じる比率が 15.0 ポイント上回っていることから、デジタル技術を導入した企業ほど、その効果を実感できていることが見て取れる (図 2.4.2.1-6 参照)。

このように、生産性の高い製造現場を実現するためには、人材の確保や育成等に加えて、デジタル技術の利活用も欠かせない要素となっていることが分かる。

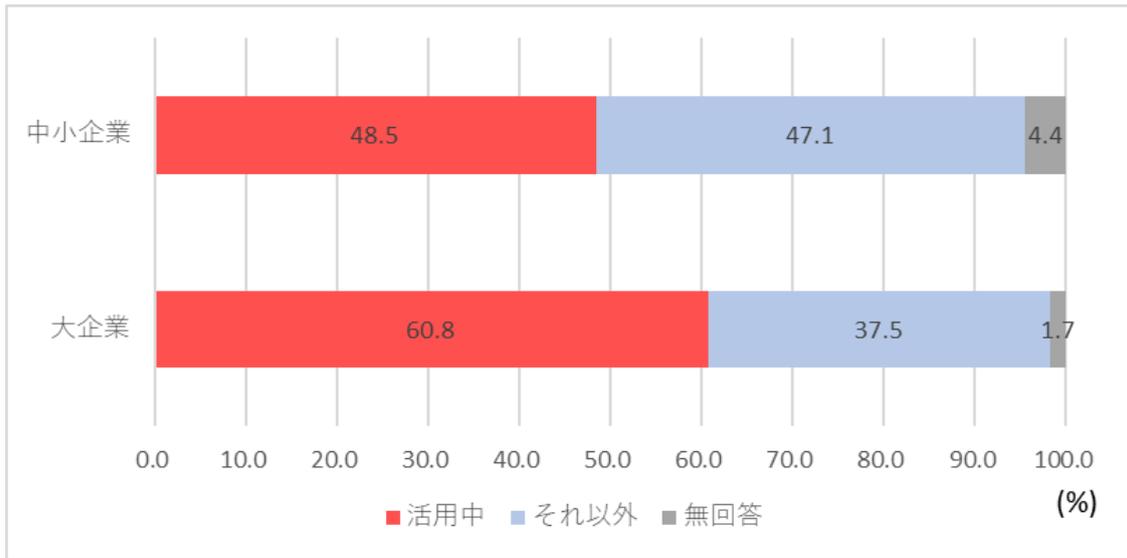


図 2.4.2.1-5 デジタル技術の活用状況（企業規模別）

出所）（独）労働政策研究・研修機構「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査」より作成

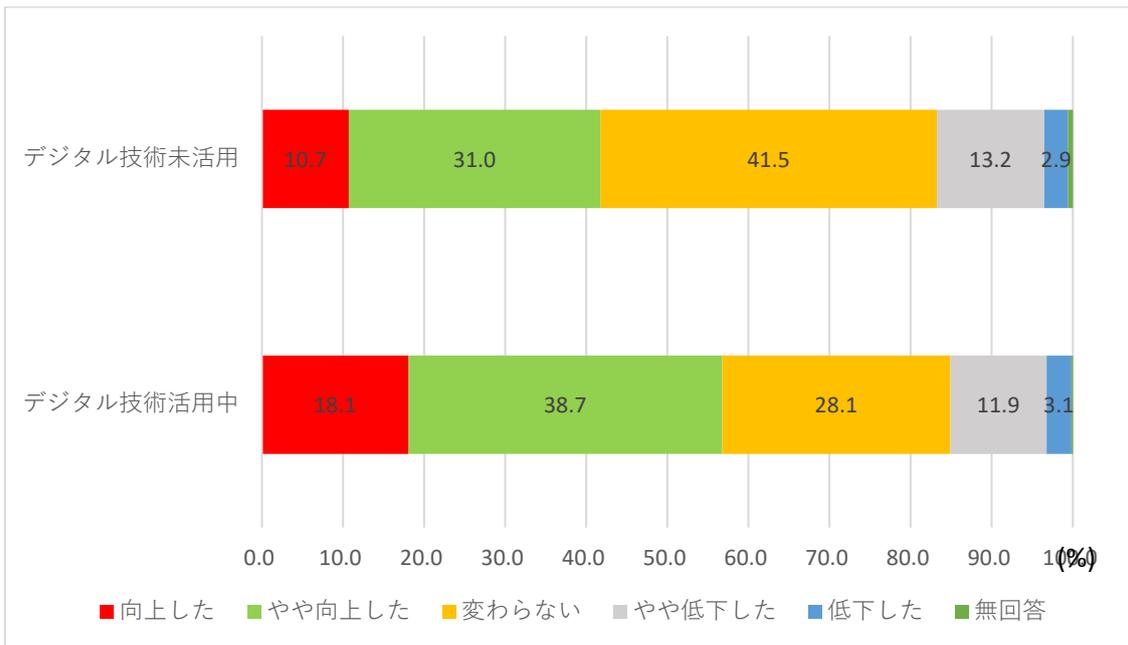


図 2.4.2.1-6 3年前と比較した自社の労働生産性の状況（デジタル技術の活用・未活用別）

出所）（独）労働政策研究・研修機構「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査」より作成

2.4.2.2 群馬県における課題

(1) 群馬県におけるデジタル技術の活用状況

前述のとおり、群馬県は、人口構造、産業構造の面からみて、自動車関連産業を中心とした製造業を基幹産業とする「ものづくり立県」であることから、国内製造業における人手不足の問題、デジタル技術導入の課題を代表的に体現しているものと推測される。

県内製造業におけるデジタル技術の活用状況の一端がうかがえる調査として、2019年9月に群馬県産業経済部工業振興課が実施した「IoT導入状況に係るアンケート調査」から引用する。同調査では、施策効果を測るため、県内中小製造業に対してIoT導入・検討の状況を確認した（2019年9月1日～9月30日、県内中小製造業103社に電子メールにて調査を実施し、63社から回答を得た（回答率61.1%））。

結果、IoT導入に対しては95.2%が関心を持っており、関心の高さがうかがえた。一方、検討まで含めて導入に着手した企業は52.4%（導入済み38.1%、導入予定1.6%、検討中12.7%）であった一方、「関心はあるが導入予定なし」と回答した企業は42.9%、「必要性を感じない」と回答した企業は4.8%であった（図2.4.2.2-1参照）。（独）労働政策研究・研修機構が実施した調査とは設問の内容が異なることから単純な比較はできないが、前述の「デジタル技術の活用状況」における全国中小企業の状況（活用中48.5%、それ以外47.1%、無回答4.4%）と同様の状況に陥っていることがうかがえる。

また、「関心はあるが導入予定なし」と回答した企業に、IoT導入ができない要因を確認したところ、「IoTの導入を先導する組織・人材の不足」を51.9%、「インフラ整備や維持管理に係るコスト」を44.4%が挙げており、デジタル技術の導入には、人材、コストが大きな課題となっていることが確認できたところである（図2.4.2.2-2参照）。

生産性の高い製造現場を実現するためには、デジタル技術の利活用も欠かせないことは理解されている。モチベーションの選択理論を例にとれば、県内中小製造業においてデジタル技術導入を推し進めるには、経営層のモチベーションを「魅力度（導入したい）×達成可能性（導入できそう）×危機感（導入しなければならない）」との方程式に見合う形で高める必要があるが、前述のアンケート調査結果のとおり、このうち「達成可能性」の部分に如何に訴求していくかがポイントとなる。

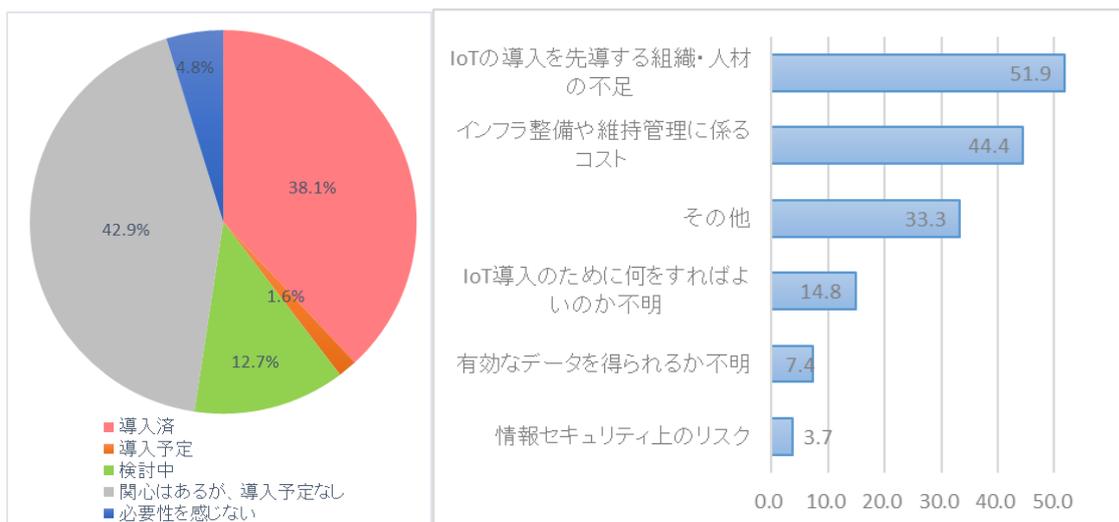


図 2.4.2.2-1 IoT 導入・検討の状況 図 2.4.2.2-2 「導入予定なし」企業が導入できない要因(出所) 群馬県工業振興課「IoT 導入状況に係るアンケート調査」より作成

群馬県では、こうした状況を踏まえて、最先端のデジタル技術である 5G、ローカル 5G の活用まで見据えた、製造現場へのデジタルソリューション導入に繋がる施策展開の検討を、令和元年後半からスタートした。

検討に当たっては、既に製造現場へのデジタルソリューション導入が先駆的に進んでいる県内立地大手メーカーとの官民共創も見据えて、本事業の活用を企図し、採択に至ったものである。

なお、群馬産業技術センター等と実施する導入支援事業の中で、AI を活用した外観検査等に対する高いニーズを経験的に得ていたが、本事業において、中小製造業への横展開・実装を検討するに当たり、改めて、人手にまつわる課題やデジタル技術へのニーズ、無線通信やローカル 5G に対する導入・関心等の実態を定量的あるいは定性的に把握するため、次の実態調査を実施した。以下に調査結果を記載する。

- ・デジタル技術・無線通信を活用した技能・生産性向上に関する調査（アンケート調査）
- ・ロボットシステムインテグレータ等に対するヒアリング調査

(2) デジタル技術／無線通信を活用した技能・生産性向上に関する調査

1) 調査概要

a) 背景・目的

群馬県では、デジタル技術によって現場の「人手作業」にまつわる課題を解決し、生産性向上などを図るための支援を、県内立地の大手メーカーの協力も得て強化していきたいと考えている。また、最先端の 5G、ローカル 5G 技術を県内企業が体感でき、新製品開発等に活かせる環境も整えて、将来的な県内ものづくり産業DXの実現に貢献していくことも検討しているところである。

こうした中、令和 2 年度総務省事業「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開

発実証」の課題テーマ「工場分野（地域の中小工場等への横展開の仕組みの構築）」について、OKI 及び太陽誘電株式会社と共同提案し、採択を受けた。

そのため、同実証事業の検討に資する調査として、改めて「人手作業」や「デジタル技術・無線技術の活用状況」など、現場の直近の状況を把握した上で、県内中小製造業が抱える課題解決に役立つ施策を展開していくことを目的に、「デジタル技術・無線通信を活用した生産性向上に関する調査」を実施したものである。

b) 調査方法等

ア. 調査対象

以下の団体に会員として加入している企業 181 社に調査を依頼した。

- ・群馬県中小企業モデル工場経営研究会（会員数 26 社）
- ・群馬県ものづくり技術研究会（会員数 80 社）
- ・群馬県プラスチック工業振興協会（会員数 115 社）

※なお、各団体に重複して加入している企業があるほか、メールアドレスがない等特別の事由がある企業は調査対象から除外している。

イ. 調査期間

2020 年 12 月 15 日（火）～2020 年 12 月 28 日（月）

ウ. 調査方法

群馬県から調査対象企業あて、電子メールに調査票を添付して実施した。

エ. 調査項目

主な調査項目は次のとおり。

- 企業属性（業種、資本金、従業員数）
- 人材確保と技能承継・作業支援について（人材不足の課題感、確保困難な人材、技能承継や教育・作業支援のため導入・関心のある取組）
- 無線通信の利用状況について（無線通信の導入状況、導入済み無線通信、導入効果・期待する効果、過去のトラブル・懸念材料）
- ローカル 5 G について（認知度、既知の特徴、魅力を感じる特徴、関心度、導入・活用への期待と不安材料）

2) 調査結果

a) 回答企業の属性について

ア. 有効回答数

53 社（回答率 29.3%）

イ. 業種

製造業が 92.5%（49 社）を占めた。

なお、上位業種は、プラスチック製品製造業 22.6%（12 社）、輸送用機械器具製造業 15.1%（8 社）、金属製品製造業 13.2%（7 社）、生産用機械器具製造業 9.4%（5 社）、電気機械器具製造業 7.5%（4 社）であった（表 2.4.2.2-1 参照）。

表 2.4.2.2-1 回答企業の業種

項目	回答数（回答割合、N=53）
プラスチック製品製造業	12 (22.6%)
輸送用機械器具製造業	8 (15.1%)
金属製品製造業	7 (13.2%)
生産用機械器具製造業	5 (9.4%)
電気機械器具製造業	4 (7.5%)
はん用機械器具製造業	3 (5.7%)
その他の製造業	3 (5.7%)
非鉄金属製造業	2 (3.8%)
業務用機械器具製造業	2 (3.8%)
食料品製造業	1 (1.9%)
ゴム製品製造業	1 (1.9%)
情報通信機械器具製造業	1 (1.9%)
卸売・小売業	2 (3.8%)
情報通信業	1 (1.9%)
上記以外の業種	1 (1.9%)

ウ. 企業規模（資本金・従業員数）

企業規模を資本金の観点から見ると、1千万円～1億円の範囲内に8割強(83.0%)の企業が満遍なく分布している。一方、従業員数の観点から見ると、50人以上100人未満が34.0%(18社)となっており、回答のボリュームゾーンとなっている(表2.4.2.2-2, 表2.4.2.2-3参照)。

なお、いわゆる「中小企業」に該当する企業を集計したところ、48社(回答全体の90.6%)であった。

表 2.4.2.2-2 回答企業の規模（資本金別）

項目	回答数（回答割合、N=53）
50人未満	13 (24.5%)
50人以上100人未満	18 (34.0%)
100人以上300人未満	13 (24.5%)
300人以上	9 (17.0%)

表 2.4.2-2-3 回答企業の規模（従業員数別）

項目	回答数（回答割合、N=53）
1,000万円以下	10（18.9%）
1,000万円超～3,000万円以下	13（24.5%）
3,000万円超～5,000万円以下	10（18.9%）
5,000万円超～1億円以下	11（20.8%）
1億円超～3億円以下	4（7.5%）
3億円超	5（9.4%）

b) 人材確保と技能承継・作業支援について

まず、調査大項目として「人材確保と技能承継・作業支援について」を掲げ、製造業における人材不足の課題感、確保困難な人材、技能承継や教育・作業支援のため導入・関心のある取組について調査した。

ア. 人材・労働力不足の課題感

「特に課題はない」と回答した企業は 11.3%（6社）に留まり、約9割弱の企業は、何らかの形で人材確保を課題視している（表 2.4.2.2-4 参照）。

イ. 特に確保が課題となっている人材

上位5種は、技能人材（加工）39.6%（21社）、設計・デザイン人材 24.5%（13社）、技能人材（組立）18.9%（10社）、研究開発人材 17.0%（9社）、IT人材 17.0%（9社）となっている（表 2.4.2.2-5 参照）。

回答企業のボリュームゾーンが基盤技術を担う中小製造業のため、加工技術が約4割を占めているが、設計、研究開発や、IT人材といった中小企業レベルでは得がたいともいえる分野の人材を課題として挙げているものもみられる。

表 2.4.2.2-4 人材・労働力不足の課題感

項目	回答数（回答割合、N=53）
大きな課題となっており、ビジネスにも影響が出ている	13 (24.5%)
課題ではあるが、ビジネスに影響が出ているほどではない	18 (34.0%)
課題が顕在化しつつある	16 (30.2%)
特に課題はない	6 (11.3%)

表 2.4.2.2-5 特に確保が課題となっている人材

項目	回答数（回答割合、N=53）
技能人材（加工）	21 (39.6%)
設計・デザイン人材	13 (24.5%)
技能人材（組立）	10 (18.9%)
研究開発人材	9 (17.0%)
I T人材	9 (17.0%)
技能人材（検査）	7 (13.2%)
経営人材	7 (13.2%)
営業・アフターサービス人材	6 (11.3%)
その他の人材	5 (9.4%)
臨時従業員・派遣社員	2 (3.8%)

ウ．熟練技能を承継するに当たっての課題

技能を伝える側の従業員の指導力不足 66.0%（35 社）、技能を伝えられる側の従業員の能力不足 54.7%（29 社）と、人のコミュニケーションとキャパシティに起因する部分で大きな課題となっていることがうかがえる（表 2.4.2.2-6 参照）

表 2.4.2.2-6 熟練技能を承継するに当たっての課題

項目	回答数（回答割合、N=53）
技能を伝える側の従業員の指導力不足	35（66.0%）
技能を伝えられる側の従業員の能力不足	29（54.7%）
技能承継を行う時間が取れない	25（47.2%）
技能を伝えられるべき従業員が確保できない	23（43.4%）
従業員間のコミュニケーション不足	22（41.5%）
コストが高い	2（3.8%）

エ. 技能承継や教育・作業支援のため導入・関心のある取組

技能承継や教育・作業支援に資する取り組みとして、既に導入されているものや高い関心がありそうなものへの意向を伺った。特にデジタル技術に関しては、5Gと親和性の高い取り組みをピックアップして確認した（表 2.4.2.2-7 参照）。

まず、技能承継を進める入口となる取り組みとして重要である、熟練技能の標準化やマニュアル化による「見える化」については、導入済み 37.7%、導入検討 22.6%で全体の6割強（60.3%）が対応を進めている状況である。また、関心あり（20.8%）も含めて、全体の8割強で必要性が理解されているところである。あくまで“ツール”に過ぎないデジタル技術を検討する以前に、こうした自社内の作業工程を洗い出し、デジタル技術導入によって更なる生産性や品質の向上等に繋げられる箇所を見定めていくことが重要であるが、県内企業の多くはこうした点を十分理解されていることがうかがえる。

また、先端機械やデジタル技術での代替や支援に係る関心等を伺ったところ、全体の2割以上で既に導入が進んでいるのは、「作業手順・指示のデジタル化」（導入済み 22.6%、導入検討 20.8%、関心あり 32.1%）、「ロボット導入による生産工程の省力化・自動化」（導入済み 22.6%、導入検討 18.9%、関心あり 32.1%）であった。

一方、“最も関心があり、導入までは至っていない”技術のトップは、「AI活用による外観検査工程の省力化・自動化」であった（関心あり 47.2%、導入検討 17.0%、導入済み 3.8%）。また、「組立作業の目視検査システム」への関心も高い（関心あり 39.6%、導入検討 9.4%、導入済み 17.0%）。特に前者の技術については、今後導入が進んでいくものとみられ、群馬産業技術センターにおいても県内企業向けの技術支援策として力点が置かれている“未来技術”ともいえる。また、同技術は、この度のローカル5G実証事業における課題実証の中でローカル5Gシステムに組み込むことによる有用性が試行されるものとなっており、未来技術の導入とローカル5Gの導入とを同時に加速化させて

いく点で大いに期待できるものと考えられる。

なお、各デジタル技術の導入段階別の上位回答は、次のとおりであった。

「導入済み」は、「作業手順等のデジタル化」「ロボット導入」でいずれも 22.6% (12社) であった。

「導入検討」は、「作業手順等のデジタル化」 20.8% (11社)、「ロボット導入」 18.9% (10社) であった。

「関心あり」は、「AI活用による外観検査工程の省力化・自動化」 47.2% (25社)、「組立作業の目視検査支援システム」 39.6% (21社)、「ロボット導入」 32.1% (17社) であった。

最後に、「専用ゴーグル・XRを使った遠隔指示」は、導入済みの例がなく、「関心なし」 26.4% (14社)、「わからない」 22.6% (12社) となっており、具体的なイメージ喚起や導入検討には至っていない未来技術であることが分かった。

表 2.4.2.2-7 技能承継や教育・作業支援のため導入・関心のある取組

上段：回答数、下段：回答割合(N=53)

	導入済み	導入検討	関心あり	関心なし	わからない
1.熟練技能の見える化（標準化・マニュアル化）	20 (37.7%)	12 (22.6%)	11 (20.8%)	3 (5.7%)	0 (0.0%)
2.先端機械やデジタル技術での代替・支援					
(1)作業手順・指示のデジタル化（工順飛ばし、ポカヨケ対処等）	12 (22.6%)	11 (20.8%)	17 (32.1%)	2 (3.8%)	1 (1.9%)
(2)組立作業の目視検査支援システム（組付け位置確認等）	9 (17.0%)	5 (9.4%)	21 (39.6%)	4 (7.5%)	4 (7.5%)
(3)AI活用による外観検査工程の省力化・自動化	2 (3.8%)	9 (17.0%)	25 (47.2%)	3 (5.7%)	3 (5.7%)
(4)ロボット導入による生産工程の省力化・自動化	12 (22.6%)	10 (18.9%)	17 (32.1%)	0 (0.0%)	3 (5.7%)
(5)専用ゴーグル・XR（※）を使った遠隔指示	0 (0.0%)	3 (5.7%)	9 (17.0%)	14 (26.4%)	12 (22.6%)
(6)その他	0 (0.0%)	2 (3.8%)	0 (0.0%)	1 (1.9%)	3 (5.7%)

※XR…VR（仮想現実）,AR（拡張現実）,MR（複合現実）の総称。CG等で作った仮想世界を現実世界に反映

c) 無線通信の利用状況について

次に、「無線通信の利用状況について」として、無線通信の導入状況、導入済み無線通信、導入効果・期待する効果、過去のトラブル・懸念材料などを調査した。

ア. 無線通信の導入状況

無線通信の利用状況を確認したところ、「導入済み」が67.9%（36社）の一方、「導入検討」「関心あり」の合計が28.3%（15社）であり、無線通信を利用している企業は全体の3分の2であった（表2.4.2.2-8参照）。

表 2.4.2.2-8 無線通信の導入状況

項目	回答数（回答割合、N=53）
導入済み	36（67.9%）
導入を検討している	3（5.7%）
導入に関心がある	12（22.6%）
関心がない	1（1.9%）
わからない	1（1.9%）

イ. 無線通信の今後の活用意向

無線通信の今後の活用意向を伺ったところ、「今後は増やしたい」50.9%（27社）、「現状のまま」24.5%（13社）であり、無線通信の活用ニーズは高いことがうかがえる（表2.4.2.2-9参照）。

表 2.4.2.2-9 無線通信の今後の活用意向

項目	回答数（回答割合、N=53）
1. 今後は増やしたい	27（50.9%）
2. 現状のまま	13（24.5%）
3. 今後は減らしたい	0（0.0%）
4. わからない	2（3.8%）

ウ. 導入済み又は関心のある無線通信システム

導入済み又は関心のある無線通信システムを確認したところ、「Wi-Fi」が81.1%（43社）で全体の8割強を占めた。その他の上位回答は「Bluetooth」20.8%（11社）、「4G/LTE」15.1%（8社）、「5G/ローカル5G」11.3%（6社）であった（表2.4.2.2-10参照）。

表 2.4.2.2-10 導入済み又は関心のある無線通信システム

項目	回答数（回答割合、N=53）	
Wi-Fi	43	81.1%
Bluetooth	11	20.8%
4 G / L T E	8	15.1%
5 G / ローカル 5 G	6	11.3%
3 G	3	5.7%
LPWA (SIFGFOX、LoRA、NB-IoT等)	3	5.7%
特定小電力無線 (900MHz帯)	3	5.7%
わからない	3	5.7%
ISA100	2	3.8%
ZigBee	1	1.9%
Wi-SUN	1	1.9%
WirelessHART	1	1.9%
特定小電力無線 (300MHz帯)	1	1.9%
特定小電力無線 (400MHz帯)	1	1.9%
特定小電力無線 (2.4GHz帯)	1	1.9%
特定小電力無線 (その他帯域)	1	1.9%

現状、通信の安定性や敷設コスト等を鑑み、産業用機器の通信手段は有線通信が前提であること、また、本設問から多くの企業が Wi-Fi を現に活用していることを踏まえると、ローカル 5 G 導入のメリットを中小製造業等に理解いただくためには、現在活用されている通信諸手段との比較が容易に行える情報の整理等が欠かせないものとする。

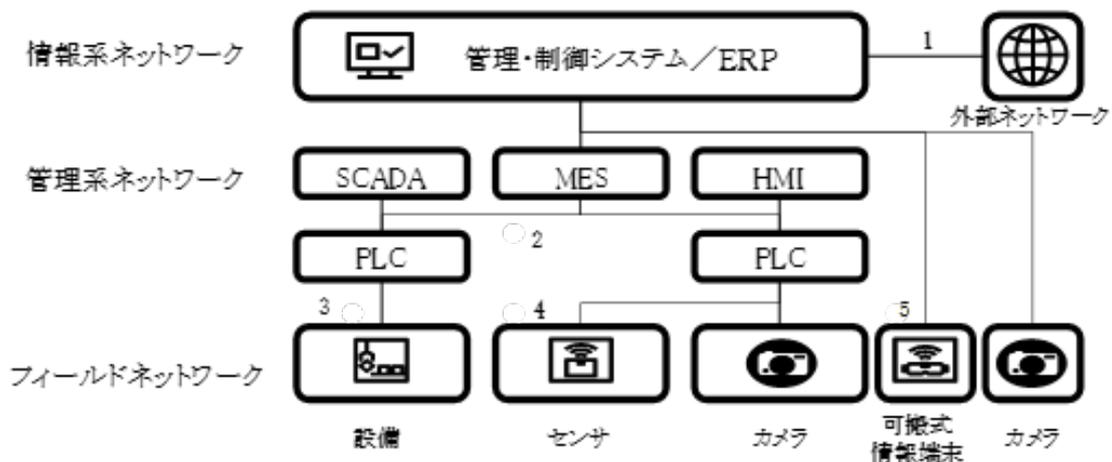
エ. 無線通信を導入済み・導入検討している通信対象

社内において無線通信を導入済み又は導入検討している通信対象を確認したところ、「管理ネットワークの通信」(ME S—P L C間)が 58.5% (31 社)、「可搬式の情報端末に関する通信」(情報系ネットワーク—タブレット端末などの間) 50.9% (27 社)、「工場と外部ネットワークとの通信」(管理・制御システムやE R Pより外部のネットワークとの間) 49.1% (26 社)、「データ収集に関する通信」(P L C—センサ、カメラ等の間)が 41.5% (22 社)、「設備の制御に関する通信」(P L C—ロボット等の間)は 26.4% (14 社)であった (表 2.4.2.2-11 参照)。

表 2.4.2.2-11 無線通信を導入済み・導入検討している通信対象

項目	回答数（回答割合、N=53）
②管理ネットワークの通信	31 (58.5%)
⑤可搬式の情報端末に関する通信（タブレット等）	27 (50.9%)
①工場と外部ネットワークとの通信	26 (49.1%)
④データ収集に関する通信（センサ、カメラ等）	22 (41.5%)
③設備の制御に関する通信	14 (26.4%)
わからない	2 (3.8%)

【工場内ネットワーク イメージ図】



出所) PwC コンサルティング合同会社から提供

オ. 無線通信の導入効果、期待する効果

無線通信の導入が進んでいるのは「設備の生産性向上」「業務の効率化」（いずれも18.9%）だが、全体の2割弱に留まっている。導入検討では「設備の稼働率の向上」（15.1%）「設備の生産性向上」（13.2%）が上位であった。「関心あり」で回答が2割を超えたのは「製造工程の適正化」（24.5%）、「業務の効率化」（24.5%）、「改善活動の調査」（20.8%）、「製品の品質向上」（20.8%）、「人件費の削減」（20.8%）、「省エネルギー」（20.8%）であった（表 2.4.2.2-12 参照）。

表 2.4.2.2-12 無線通信の導入効果、期待する効果

上段：回答数、下段：回答割合(N=53)

項目	導入済み	導入検討	関心あり	関心なし	わからない
1.設備の生産性向上（時間当たりの生産量の向上など）	10 (18.9%)	7 (13.2%)	8 (15.1%)	0 (0.0%)	4 (7.5%)
2.省配電による断線リスクの低下・管理の効率化	6 (11.3%)	2 (3.8%)	5 (9.4%)	1 (1.9%)	7 (13.2%)
3.設備の稼働率の向上（故障やメンテナンス回数の削減、停止時間削減など）	6 (11.3%)	8 (15.1%)	8 (15.1%)	0 (0.0%)	4 (7.5%)
4.改善活動の調査（ボトルネック箇所の発見など）に要する時間の短縮	5 (9.4%)	6 (11.3%)	11 (20.8%)	0 (0.0%)	5 (9.4%)
5.製造工程の適正化（工程内の待ち時間削減、より良い製造方法へ繋がった等）	3 (5.7%)	5 (9.4%)	13 (24.5%)	0 (0.0%)	3 (5.7%)
6.製品の品質向上	3 (5.7%)	4 (7.5%)	11 (20.8%)	0 (0.0%)	5 (9.4%)
7.出荷製品の不具合やリコールの改善（手戻り費用など）	2 (3.8%)	3 (5.7%)	5 (9.4%)	0 (0.0%)	7 (13.2%)
8.原材料の適正化（原材料の過不足改善、廃棄ロス削減など）	2 (3.8%)	1 (1.9%)	5 (9.4%)	0 (0.0%)	8 (15.1%)
9.人件費の削減（監視人員の削減など）	6 (11.3%)	3 (5.7%)	11 (20.8%)	0 (0.0%)	5 (9.4%)
10.業務の効率化（より生産性の高い作業方法の提案、ノウハウの継承など）	10 (18.9%)	4 (7.5%)	13 (24.5%)	0 (0.0%)	3 (5.7%)
11.省エネルギー（節電、節水など）	2 (3.8%)	1 (1.9%)	11 (20.8%)	0 (0.0%)	5 (9.4%)
12.安全性（従業員を巻き込む事故発生率の低減など）	1 (1.9%)	2 (3.8%)	10 (18.9%)	0 (0.0%)	6 (11.3%)

カ. 無線通信に関する過去のトラブル・懸念課題

無線通信に関する過去のトラブル・懸念課題を確認したところ、上位回答となったのは「通信の信頼性（通信遅延）」が56.6%（30社）、「コスト・費用対効果」が45.3%（24社）、「ネットワーク、無線通信等に関する知識不足」が41.5%（22社）、「通信のセキュリティ」が39.6%（21社）、「通信距離」が28.3%（15社）であった（表2.4.2.2-13参照）。

ローカル5Gの特徴として超低遅延・多数同時接続・高速大容量のほか、「専用帯域による通信干渉の回避、稼働の安定性」や「高セキュリティ」が上げられるが、この設問で回答が多かった「通信の信頼性」や「通信のセキュリティ」といった課題の解決に直

接貢献できる技術として、ローカル5Gは有効な手段となるものと言える。

一方、後述する「ローカル5Gを導入するに当たっての「技術」「体制・知識」の面における不安」として、「コスト・費用対効果」「導入費用が分からない」「投資に見合ったメリットが得られるか分からない」「人材が不足している」との回答が全体の過半を超える企業から寄せられているが、これらはもとより従来からの無線通信に係る課題としても取り沙汰されてきたものであることが、この設問への回答から明らかとなっている。ローカル5Gのコストやスペックに関する具体的な情報や、従来技術との比較検証等が行える環境等なくして、ローカル5Gの普及も困難と言える。

表 2.4.2.2-13 無線通信に関して過去に発生したトラブル・懸念課題

項目	回答数 (回答割合、N=53)
通信の信頼性 (通信遅延)	30 56.6%
コスト・費用対効果	24 45.3%
ネットワーク、無線通信等に関する知識不足	22 41.5%
通信のセキュリティ	21 39.6%
通信距離	15 28.3%
電波干渉	12 22.6%
通信方式を複数利用する場合の機器の設置方法	7 13.2%
電源供給	5 9.4%

d) ローカル5Gについて

最後に、「ローカル5Gについて」として、ローカル5Gの認知度、既知の特徴、魅力を感じる特徴、関心度、導入・活用への期待と不安材料などについて調査した。

ア. ローカル5Gの認知度

ローカル5Gの認知度を確認したところ、「知っていた」が20.8% (11社)、「聞いたことがあった」が41.5% (22社)、「知らなかった」が37.7% (20社)であった。

県内企業におけるローカル5Gそのものの認知度はまだ高いとは言えず、具体的な導入検討へと引き込むための関心層を増やしていく普及啓発の取り組みがまずは肝要といえる (表 2.4.2.2-14 参照)。

表 2.4.2.2-14 ローカル 5 G の認知度

項目	回答数 (回答割合、N=53)
知っていた	11 (20.8%)
聞いたことがあった	22 (41.5%)
知らなかった	20 (37.7%)

イ. ローカル 5 G の特徴のうち、既知のもの、魅力を感じるもの

ローカル 5 G の特徴のうち、既に知っているものは「高速大容量」が 49.1% (26 社)、「多数同時接続」30.2% (16 社)であったが、魅力を感じる特徴は「多数同時接続」56.6% (30 社)、「超低遅延」49.1% (26 社)、「高速大容量」45.3% (24 社) が上位を占めた (表 2.4.2.2-15 参照)。

表 2.4.2.2-15 ローカル 5 G の特徴のうち、既知のもの、魅力を感じるもの

上段：回答数、下段：回答割合(N=53)

項目	既知	魅力
超低遅延 (モーショントラッキング等に活用)	8 (15.1%)	26 (49.1%)
多数同時接続 (多端末によるセンサーネットワークの構築等に活用)	16 (30.2%)	30 (56.6%)
高速大容量 (高精細な動画の送受信、XR等に活用)	26 (49.1%)	24 (45.3%)
高セキュリティ	6 (11.3%)	8 (15.1%)
専用帯域による通信干渉の回避、稼働の安定性	8 (15.1%)	19 (35.8%)
企業等が自ら局所的な 5 G システムを構築し、プライベートネットワークとして導入・利用が可能	7 (13.2%)	15 (28.3%)

ウ. ローカル 5 G に対する考え

ローカル 5 G に対する考えを伺ったところ「関心あり」が 41.5% (22 社) と 4 割強を占めた一方、「わからない」と回答した企業も 26.4% (14 社) あり、未来技術としての関心が高い一方で、具体的なイメージが持てない企業も少なくないことがうかがえる (表 2.4.2.2-16 参照)。

なお、ローカル 5 G を導入済みの製造業はなかった。

表 2.4.2.2-16 ローカル 5 G に対する考え

項目	回答数 (回答割合、N=53)
導入済み	1 (1.9%)
導入検討	3 (5.7%)
関心あり	22 (41.5%)
関心なし	6 (11.3%)
わからない	14 (26.4%)

エ. ローカル 5 G を含めたデジタル技術を活用し、導入したい業務

ローカル 5 G を含めたデジタル技術を活用し、導入したい業務について、管理、制御、安全・品質等の各分野ごとに確認した。全体の 3 割以上から回答があったのは、「管理」面では、「手順・指示のデジタル化による工程管理・教育時間の短縮」が 50.9% (27 社)、「工場内の設備やモノに関する資産管理」が 35.8% (19 社)、「保全情報システムによる生産管理」が 30.2% (16 社) が上位回答であった。また、「制御」面では、「工作機械に関する動作制御」が 30.2% (16 社) であり、「安全・品質等」面では、「在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の検知」が 43.4% (23 社)、「動画像による異常検知」が 35.8% (19 社) であった (表 2.4.2.2-17～表 2.4.2.2-19 参照)。

これらは必ずしもローカル 5 G 導入を前提とした技術活用意向ではないものの、中小製造業を中心とした企業において、現状解決を望む課題群が網羅されているとも言えるものであり、行政としても、こうした課題の中から、企業の関心が高く、かつローカル 5 G の特徴が解決に貢献できる技術支援の題材をピックアップしていくことが肝要と言える。

表 2.4.2.2-17 ローカル5Gを含めたデジタル技術を活用し、導入したい業務（管理）

項目	回答数（回答割合、N=53）
手順・指示のデジタル化による工程管理・教育時間の短縮	27（50.9%）
工場内の設備やモノに関する資産管理	19（35.8%）
保全情報システムによる生産管理	16（30.2%）
工場内環境に関する管理（塵埃、CO ₂ 、温湿度、照度等の管理）	15（28.3%）
作業工程漏れ防止のための動作数カウント	15（28.3%）
製造した製品数カウント	12（22.6%）
プラントやデータセンタ向けの電力消費量の管理	7（13.2%）
分散型電圧制御の管理	3（5.7%）
その他管理関係	3（5.7%）

表 2.4.2.2-18 ローカル5Gを含めたデジタル技術を活用し、導入したい業務（制御）

項目	回答数（回答割合、N=53）
工作機械に関する動作制御	16（30.2%）
センサおよびアクチュエータに関する双方向通信の制御	11（20.8%）
組立ロボットや切削ロボットに関する制御	10（18.9%）
移動ロボットに関する制御	9（17.0%）
動画像による遠隔ロボットの制御	8（15.1%）
機器に対するエネルギー供給量の制御	6（11.3%）
クレーンやポンプなど固定された機器に関する制御	2（3.8%）
梱包機械に関する動作制御	1（1.9%）
印刷機械に関する動作制御	1（1.9%）
風力プラントなど、エネルギー関連設備の制御	1（1.9%）

表 2.4.2.2-19 ローカル 5 G を含めたデジタル技術を活用し、導入したい業務（安全・品質等）

項目	回答数（回答割合、N=53）
在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の検知	23（43.4%）
動画像による異常検知	19（35.8%）
生産物ごとのデータ伝送	15（28.3%）
温湿度に関する情報収集による予防保全（故障検知）	12（22.6%）
空気環境（ガス、CO2、有害物質等）による異常検知	9（17.0%）
非常停止スイッチ操作	9（17.0%）
移動ロボットのための動画像通信	3（5.7%）
ARのための動画像通信	2（3.8%）
高所作業などの遠隔作業のための遠隔作業用動画通信	2（3.8%）
Sercos, PROFINET, EtherCAT, OPC UA などのプロトコル通信で管理、制御される機器のための通信	1（1.9%）

オ. ローカル 5 G を導入するに当たっての「技術」「体制・知識」の面における不安

ローカル 5 G を導入するに当たり、「技術」「体制・知識」の面における不安となるポイントを伺ったところ（表 2.4.2.2-20～表 2.4.2.2-21 参照）、まず、「技術」面では「コスト・費用対効果」が 81.1%（43 社）、「体制・知識」では「導入費用が分からない」が 60.4%（32 社）、「投資に見合ったメリットが得られるか分からない」が 60.4%（32 社）となった。

一般に 5 G 関連の装置類は現状たいへん高額であるとの情報が聞こえるものの、具体的な価格情報が容易に手に入る状況にはなく、ローカル 5 G のスペックと併せて、検討の俎上に載せられる情報を発信することなくしては、普及そのものが困難な状況と言える。このあたりは、「体制・知識」面の「ローカル 5 G によって自社で目指していることが実現できるか分からない」39.6%（21 社）、「導入するシステム・機器が分からない」37.7%（20 社）という回答からも傾向がうかがえるところである。

また、「人材が不足している（ローカル 5 G 導入に詳しい人材がいない）」が 52.8%（28 社）との回答もあり、現状、ローカル 5 G という通信そのものを検討するというよりは、あまりにローカル 5 G に関するシステムや機器の具体的な情報が不足している上、それを検討できる人材も不足しており、検討のステージ自体に移行していないことが分かる。

表 2.4.2.2-20 ローカル 5 Gを導入するに当たっての「技術」の面における不安

項目	回答数（回答割合、N=53）
コスト・費用対効果	43 (81.1%)
通信のセキュリティ	15 (28.3%)
通信距離	12 (22.6%)
電波干渉	11 (20.8%)
通信方式を複数利用する場合の機器の設置方法	10 (18.9%)
通信の信頼性（通信遅延）	6 (11.3%)
電源供給	5 (9.4%)

表 2.4.2.2-21 ローカル 5 Gを導入するに当たっての「体制・知識等」の面における不安

項目	回答数（回答割合、N=53）
導入費用が分からない	32 (60.4%)
投資に見合ったメリットが得られるか分からない	32 (60.4%)
人材が不足している（ローカル 5 G導入に詳しい人材がいない）	28 (52.8%)
ローカル 5 Gによって自社で目指していることが実現できるか分からない	21 (39.6%)
導入するシステム・機器が分からない	20 (37.7%)
ローカル 5 Gの制度が分からない	16 (30.2%)
ローカル 5 Gを導入するために、どのような体制を設ければよいのか分からない	15 (28.3%)
ローカル 5 Gの特徴が分からない	14 (26.4%)
システム・機器の運用に不安がある	12 (22.6%)
導入資金が不足している	8 (15.1%)
協業する相手や調達先が分からない	5 (9.4%)
その他体制・知識面	4 (7.5%)

e) ローカル 5 Gに関する今後の研究開発への期待、行政への要望等（自由記述）

ローカル 5 Gに関する行政への要望等について自由記述を求めたところ、14 社から回答があった。全体的には、ローカル 5 Gの具体的なイメージやメリットが現状見いだせないことから、中小企業レベルでも活用が可能な技術、運用面での支援、普及啓発事業や人材育成研修などを行政主導で取り組む必要がある、との傾向が読み取れる。

(回答)

- ・技術面、運用面での支援をお願いします。中小企業向けの低コスト、低人材での導入に対応頂ければありがたいです。(非鉄金属製造業)
- ・導入の為の知識や方法などの教育・研修等を行政主導で行っていただきたい。(生産用機械器具製造業)
- ・補助金など、導入促進のための制度を希望します。(金属製品製造業)
- ・ローカル 5G という高スペックな環境が必要になる状況がまだ見えない。特に速さを活かせるアウトプットのイメージがわからない。無線という意味では、センサや RFID などを利用した原価管理は余裕があれば取り組んでみたい案件。活用事例など案内を都度いただけたらと思います。(金属製品製造業)
- ・専門知識や専門要員等が特に必要なく、誰もが簡単に導入できるようになることを期待する。(ゴム製品製造業)
- ・弊社の環境としては工場内（屋内）使用となり、データ量的に見ても、現状の Wi-Fi（最近の機器はかなり高速化してきております。）利用で十分と考えております。現状ではローカル 5 G のメリットが見い出せません。メリット情報を宣伝いただけると助かります。(電気機械器具製造業)
- ・ローカル 5 G 導入にあたり、大掛かりな設備ではなくコンパクトな設備で社内間で管理ネットワークとして利用でき、それが外部とのネットワークとの通信が可能になると情報収集域が大きく広がると思います。内容が十分に理解できないため、導入はできないが我々が利用できるレベルまで是非詳細実例の実績を積み重ねていただき、ご教授ください。(輸送用機械器具製造業)
- ・基地局になって収入を得るなど興味あり。(はん用機械器具製造業)
- ・単品製作が多いので生産のみでいえば通信は不要と思う。(業務用機械器具製造業)
- ・具体的なイメージを持つことができるような、丁寧な説明会や検討分科会を企画していただきたい。(プラスチック製品製造業)
- ・製造、品質に IoT を組み込んでいくのと一緒に取り組むことだと感じている。まだ具体的なイメージができないが、取り組んでいくための指南や補助金などの支援を期待しています。(金属製品製造業)
- ・イニシャルコストとランニングコストがわからないので何とも言えないが、今までの面倒な LAN（または無線 LAN）設置や設置場所の変更や移動しながら通信することの制限を考えるとメリットはあるかもしれない。ただし、通信容量自体が多いわけではないので 5G じゃなくても代用は出来ると思う。(プラスチック製品製造業)

- ・単にデータ通信の品質向上でも十分に意味のあるものと存じますが、データを出力するセンサ等デバイスの機器能力が備わって初めて大いなる価値を生むとも思いますし、特に事業免許等の取得などの障害の大きさも不明ですので、専門事業者に委託依存しながら進めるものであらうと推察しています。(プラスチック製品製造業)
- ・ローカル 5G が、当社に必要なかどうか、分からない。(プラスチック製品製造業)

3) 考察

中小製造業における人手にまつわる課題を解決する手段として、デジタル技術の活用による活路を見出す動きが加速していることは明らかである。また、今回の調査で、「AI 活用による外観検査工程の省力化・自動化」技術に高い関心が寄せられたように、これまで熟練工によって担保されてきた品質保証の工程でさえも、AI など最先端のデジタル技術の利活用によって省人化が図られることが現実に可能となる中、コストや技術導入のハードルが徐々に下がることで、中小製造業における活用可能性も期待されている。

一方、ローカル 5G という未来技術については、社会的関心自体が高い一方で、具体的な活用イメージが現状では乏しく、コストやスペックは装置類に依存している中、イメージ先行と捉えられている様子も見受けられる。特に、本調査の結果においても、ローカル 5G を導入するに当たっての「技術」「体制・知識」の面における不安として、「費用対効果」「コスト」が強く訴えられている。こうしたことを踏まえても、装置類個別に依存している情報自体は出せないにせよ、少なくとも導入モデルケースや標準パッケージ等を例示していくことなくして、活用・導入への検討自体が進まないものとみられる。

他方、コストに関する検討軸はともかく、具体的な活用イメージ自体は、それを“実感”いただける場を設けることによって、先行して膨らませていただくことができる。群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアムでは、今回の調査結果や考察を踏まえ、製造業の 99% を占める中小企業においても、ローカル 5G が活用可能な技術であることを、まずは“実感”いただける施策展開を官民協働で進めていくことが肝要と考える。

(3) ロボットシステムインテグレータ等に対するヒアリング調査

1) 概要

群馬県では、ローカル 5G 技術の伝道師役、横展開の担い手は、第 7 章にて後述しているとおり「ロボットシステムインテグレータ」と想定している。このため、OKI の協力を得て、県内ロボットシステムインテグレータ（以下、県内中小 SIer という。）に対して、対面式ヒアリング調査を実施した。実施に当たっては、OKI の協力を得て、ローカル 5G 導入に必要な技術を整理した上で、県内中小 SIer が、OKI とのパートナーシップの下、協業・補完できる事業モデルの可能性等を調査したものである。

調査は 2 社に対して実施した（桐生市 A 社、太田市 B 社。令和 2 年 12 月～令和 3 年 2 月に実施）。

2) 調査内容

まず、OKI の協力を得て、本プロジェクトの課題実証の基となっている①人手作業の課題解決に繋がるDXソリューション（製造業DXの考え方、プロジェクション・アッセンブリー・システム等）及び②ローカル5Gソリューション（ビジョン、スペック、コスト、ビジネスモデル等）を紹介した。

その上で、①人手作業の課題解決に繋がるDXソリューションへの意見、及び②ローカル5Gソリューションへの意見を聴取したものである。

特に②ローカル5Gソリューションへの意見は、次の2点の観点から聴取した。

ア. ローカル5Gのユーザー視点

- ・自ら活用する場合に考えられるユースケース
- ・検討の俎上に載せられるコストの規模感

イ. ローカル5Gを組み込むロボットS I e r 視点

- ・ローカル5Gを扱うS I e rとしてのビジネスモデル上、OKIのパートナーと想定した場合に生み出せる価値提案
- ・ビジネスモデル構築に必要な技術、情報、補完し合える強み等

3) ヒアリング概要

a) コストについて

ローカル5Gの導入コストについて、太田市B社からは、「数百万円台なら導入可能性を検討できるレベル」であるとの意見があった。

これに対して、OKIから、“5G-Coreをクラウド化することでコストを下げられる”可能性を提案したところ、桐生市A社、太田市B社とも、負担感を大幅に下げられる内容であるとして、高い関心を得たところである。

<5G-Coreのクラウド化>

- ・認証システムである5G-Coreを、データセンター側で共同認証する方式
- ・基地局・アンテナ等のハード整備は客先にて必要（数百万円台）
- ・その後は月々の利用料金で使用できるサービスプランを提供する形

また、太田市B社から、免許取得に係る1基地局あたりのコスト感について確認があったほか、桐生市A社からは、（保守費用を除く）初期費用としてどのくらいかかるか。また、基地局を一つ投資すれば、以降端末を増やす分には過大なコストは不要となるのか、確認があったところである。

b) ローカル5Gの特徴、比較優位について

ローカル5Gの対Wi-Fiの面からのメリットとして、OKIから「免許制であることに伴う低い干渉リスク、安定通信」、「高速大容量通信（ただし装置仕様に依存）」「広範囲通信（遮蔽物なければ）」「認証方式によりセキュリティ強度高い」との比較優位を紹介

した。

これに対して、太田市 B 社から、通信障害、通信の不安定さは、無線通信の大きな課題であり、5Gを活用することでどれくらい安定してデータの送受信ができるのかテストしたい。現状で明らかな情報があれば、提供してほしい、との意見があった。

また、太田市 B 社からは、ユーザー視点として、社内の通信環境の大幅な改善に繋がるのではないかと、その期待も寄せられた。現状、原則として有線に依っており、Wi-Fiも活用しているが、ローミングが上手くいかず断続的に接続が切れやすいことが難点とされている。仮に期待通りの通信環境が整えば、デスクのフリーアドレス化によるコミュニケーションの活性化や、工場と事務所間での大容量データ資料のやりとりもストレスなく対応できることになるだろう、と期待が寄せられたところである。

なお、同席した群馬県から、ローカル5Gの優位性として“有線LANと同等の性能が出せる無線”という点に優位性と差別化が期待されていると推定されるので、有線LANとの比較も検討してもらいたい、と OKI に依頼したところである。

c) ビジネスモデルについて

OKI から、ローカル5Gのネットワーク設計や構築、電波知識や免許取得等に関するベンダーと、地域企業との総合窓口役、(ローカル5Gを利用する外の) ユーザーシステム開発、保守サービスを提供する県内中小SIer とでパートナーシップを組むビジネスモデル案を提示した。

また、そもそもローカル5Gに関するコスト・スペックの情報がないと、客先との検討自体が困難と考えられるところ、OKI から、コスト・スペック共に「装置」に依存しており、シミュレーションはできても、実際にスペックどおりの性能が出るかは現場環境等にも依存する、と補足した。

この説明を受けて、桐生市 A 社からは、ユーザーシステムの開発・提案を行うに当たり、将来的にコスト、スペック等に関する「標準パッケージ」を何パターンか用意してもらえると検討しやすい。「いくらくらいで導入できます」という材料があれば、提案技術としてセレクトしやすくなる、との意見があったところである。

また、太田市 B 社からは、最終工程として治具・設備の組付完了、お客様立ち合いの元でのトライ実施、お客様の現地工場でのライン設置支援工程があり、これらを5G、ローカル5Gを活用してバーチャルで実施できれば、次のようなメリットを享受できるとの期待が寄せられた。お客様が B 社まで来社することなくトライを実施できる、また、お客様の生産拠点でのライン設置支援も B 社社員が現地に出向くことなく支援できることによって、コロナ禍のような移動制限が強いられる環境下にあっても、滞りなく業務遂行できるメリットが享受できるというものである。なお、この場合、高解像度のXRや動画の高速通信機能が必要となるため、客先側の通信環境も同等に整備されないと、機能を発揮できない、という制約も併せて意見として出されたところである。

2.4.2.3 コンソーシアム構成企業における課題

(1) OKI

地域課題や地域の関係者のニーズを把握するために、群馬県にて、製造業 49 社を含む 53 社に対して「人材確保と技能承継・作業支援について（人材不足の課題感、確保困難な人材、技能承継や教育・作業支援のため導入・関心のある取組）」についてヒアリングを行った。

一方、本検証工場である OKI 本庄工場においても熟練技能の見える化、AI 活用による外観検査工程の省力化・自動化、ロボット導入による生産工程の省力化・自動化への取り組みや関心は非常に高い。

ヒアリング結果より、中小製造業における人手にまつわる課題を解決する手段として、デジタル技術の活用に活路を見出す動きが加速していることが明らかであり、AI や IoT の活用により、これまで熟練工によって担保されてきた品質保証の工程でさえも、AI など最先端のデジタル技術の利活用によって省人化が図られることと中小製造業における活用可能性が期待されている事が分かった。

本検証では、オペレーションの省力化を実施すべく、作業ナビゲーションを行いながら、常に高精細映像を伝送している中で解析が自動的に行われるシステムにすることにより、現場課題を解消することを課題解決システムとして設定した。

(2) 太陽誘電株式会社

積層セラミック市場の旺盛な需要により工程改善、工程増強を図る中で、検査工程の強化は製品歩留まりに影響するため重要なテーマである。検査用の画像データは大量であり、解析作業のために同データを伝送するため、信頼度の高いネットワークで確実に送付することが必要となる。

従来のシステムでは、社内 LAN とネットワークを共用していたためトラフィックがひっ迫し、しばしば転送エラーが発生し、転送作業の再試行および人を介在して復旧するというロスが生じている。

そのため、仮説検証を実施する課題解決システムとして「工場における検査工程・製品データの効率的な高速転送の検証システム」を設定した。

3. 実証環境

3.1 ネットワーク構成

3.1.1. ネットワーク・システムの構成

3.1.1.1 構成要素

表 3.1.1.1-1

No.	分類	機器名	用途	機器諸元	数量
1-1	ローカル5Gシステム	5Gコア	gNB、UE制御用のサーバ	表3.1.1.1-2参照	1
1-2		gNB	UE接続用の基地局	表3.1.1.1-3参照	1
1-3		UE	5G端末		2
1-4		L3スイッチ	中継用通信機器	表3.1.1.1-4参照	1
1-5		スイッチングHUB PoEHUB	中継用通信機器	-	3
1-6		技術実証PC	測定用PC	表3.1.1.1-5参照	6
2-1	本庄工場 課題解決 システム	リモートメンテナンスPC	管理用PC	表3.1.1.1-6参照	1
2-2		OKIイントラ接続 L3スイッチ	中継用通信機器	表3.1.1.1-7参照	1
2-3		OKIイントラ接続 ファイアウォール	中継用通信機器	表3.1.1.1-8参照	2
2-4		AE2100	エッジ端末	表3.1.1.1-9参照	1
2-5		管理サーバ	システム管理用サーバ	表3.1.1.1-10参照	1
2-6		課題実証PC	プロジェクト・アッセンブリー・システム用PC／外観異常判定用PC	表3.1.1.1-11参照	2
2-7		照明用電源	照明制御機器	表3.1.1.1-12参照	2
2-8		IPカメラ	映像撮影機器	表3.1.1.1-13参照	2
3-1	玉村工場 課題解決 システム	リモートメンテナンスPC	管理用PC	表3.1.1.1-14参照	2
3-2		リモートメンテナンスPC	管理用PC		1
3-3		課題実証PC	サーバ用、クライアント用共通	表3.1.1.1-15参照	2

ローカル5Gシステムの構成要素についての諸元を下表に示す。

表 3.1.1.1-2

項目	5Gコア
外観	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 前面  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 背面  </div> </div>
メーカー	株式会社エイビット
機種	AU-500サーバ
CPU	Xeon x 6Core 3.4GHz
Memory	16GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 2
OS	Microsoft Windows Server 2019 Standard Version 1809(OSビルド:17763.1282)
備考	※筐体は日本HP製: HPE Proliant DL20 Gen10を使用

表 3.1.1.1-3

項目	gNB
外観	<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;"> 前面  </div> <div style="text-align: center;"> 背面  </div> </div>
メーカー	株式会社エイビット
機種	AU-500gNB
備考	—
項目	UE
外観	<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;"> 前面  </div> <div style="text-align: center;"> 背面  </div> </div>
メーカー	株式会社エイビット
機種	AU-500UE
備考	—

表 3.1.1.1-4

項目	L3スイッチ
メーカー	シスコシステムズ 合同会社
機種	C9500-16X (モジュール搭載 : C9500-NM-8X)
CPU	-
Memory	-
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 1 10Gigabit Ethernet SFP+ × 24
スイッチング容量	480Gbps
OS	Cisco IOS XE Software Version 16.08.01a
備考	-

表 3.1.1.1-5

項目	技術実証PC	
メーカー	株式会社 東芝	パナソニック 株式会社
機種	PG83MYACGL7AD11	CF-SV8TDLVS
CPU	Intel Core i3-8130U	Intel Core i5-8365U
Memory	8GB	8GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 1 IEEE802.11a/b/g/n/ac	10/100/1000BASE-T × 1 IEEE802.11a/b/g/n/ac
OS	Windows10 Pro(64bit)	Windows10 Pro(64bit)
備考	-	-

本庄工場課題解決システムの構成要素についての諸元を下表に示す。

表 3.1.1.1-6

項目	リモートメンテナンスPC
メーカー	パナソニック 株式会社
機種	CF-SV8TDLVS
CPU	Intel Core i5-8365U
Memory	8GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 1 IEEE802.11a/b/g/n/ac
OS	Windows10 Pro(64bit)
備考	-

表 3.1.1.1-7

項目	OKIイントラ接続L3スイッチ
メーカー	シスコシステムズ 合同会社
機種	WS-C3650-24TS
CPU	-
Memory	4GB (※DRAM容量)
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 24 Gigabit Ethernet SFP × 4
スイッチング容量	88Gbps
OS	Cisco IOS XE Software Version 16.06.07
備考	-

表 3.1.1.1-8

項目	OKIイントラ接続ファイアウォール
メーカー	フォーティネットジャパン株式会社
機種	FortiGate 60E
CPU	-
Memory	2GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 10
FWスループット	3Gbps/4.5Mpps (64バイトUDPパケット)
FWレイテンシ	3 μ s (64バイトUDPパケット)
同時セッション	1.3M (TCP)
新規セッション/秒	30,000 (TCP)
OS	Forti OS 6.0.6 FW build0272-190716
備考	-

表 3.1.1.1-9

項目	AE2100
メーカー	沖電気工業株式会社
機種	AE2101-8
CPU	Intel Atom [®] x7-E3950プロセッサ (1.6GHz/4コア)
Memory	4GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 2
OS	Yocto Linux 2.5.1
備考	-

表 3.1.1.1-10

項目	管理サーバ
メーカー	日本ヒューレット・パッカード株式会社
機種	ML110 Gen10
CPU	Xeon Silver 4210 (2.2GHz/10コア)
Memory	32GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 6
OS	Windows Server 2019 Standard
備考	—

表 3.1.1.1-11

項目	課題実証PC
メーカー	株式会社マウスコンピュータ
機種	MousePro-S201X
CPU	Intel Corei7 4.8GHz
Memory	16GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 1
OS	Windows10
備考	—

表 3.1.1.1-12

項目	照明用電源
メーカー	株式会社レイマック
機種	IDGB-100M2-TP/PI
容量	100W
CH数	2CH
入力電圧	AC100～240V
出力電圧	DC12V
備考	—

表 3.1.1.1-13

項目	IPカメラ
メーカー	株式会社リンクス
機種	acA5472-5gc
画素数	5472 x 3648
ピクセルサイズ	2.4 um (H) x 2.4um (W)
フレームレート	5fps
電源電圧	12-24VDC
備考	—

玉村工場課題解決システムの構成要素についての諸元を下表に示す。

表 3.1.1.1-14

項目	リモートメンテナンスPC	
メーカー	パナソニック 株式会社	パナソニック 株式会社
機種	CF-SV8TDLVS	CF-QV9RDAVS
CPU	Intel Core i5-8365U	Intel Core i5-10310U
Memory	8GB	8GB
Network Interface	10/100/1000BASE-T × 1 IEEE802.11a/b/g/n/ac	10/100/1000BASE-T × 1 IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax LTE (USB Dongleタイプ)
OS	Windows10 Pro(64bit)	Windows10 Pro(64bit)
備考	—	—

表 3.1.1.1-15

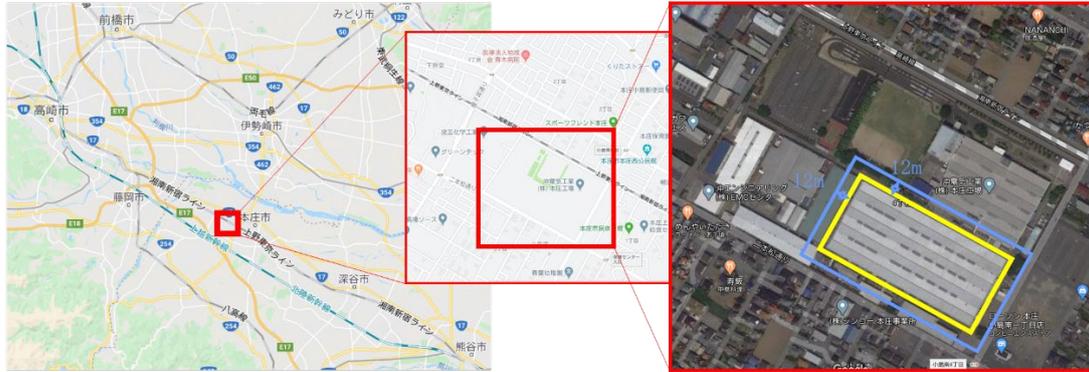
項目	課題実証PC
メーカー	株式会社 日本HP
機種	ML30 Gen10 8SFF モデル
CPU	Xeon E-2224 3.4GHz
Memory	64GB
NetworkInterface	10/100/1000BASE-T×8ポート
OS	Windows Server 2019 Version 1809
備考	—

3.1.1.2. 本庄工場の構成

○設置環境（建物の場合の見取り図、構造）

図3.1.1.2-1

〒367-8686 埼玉県本庄市小島南4-1-1 沖電気工業株式会社 本庄工場(屋内)



※ 基地局相当および陸上移動局いずれも黄色枠の建物(屋内)に設置。
※ 屋外への電波の漏れ：12m程度(水色枠にて表示)
(鉄筋コンクリートの壁150mm厚の5GHz帯透過減衰を約40dBと想定)

○干渉調整

干渉調整先事業者名：株式会社NTTドコモ

干渉調整結果

：非同期での運用を前提として干渉調整を行った。

壁による透過損失見込みが40dBであり、また4.5～4.6GHzおよび3.7GHz以下へのスプリアスレベルが-50dBm/MHzであるため、いずれの移動範囲においても、周辺の屋外局に対しては特段問題無いと判断された。

○電波測定環境

無線基地局の設置場所や高さを変更し、端末を各地点1～25に配置し測定を行った。

図3.1.1.2-2

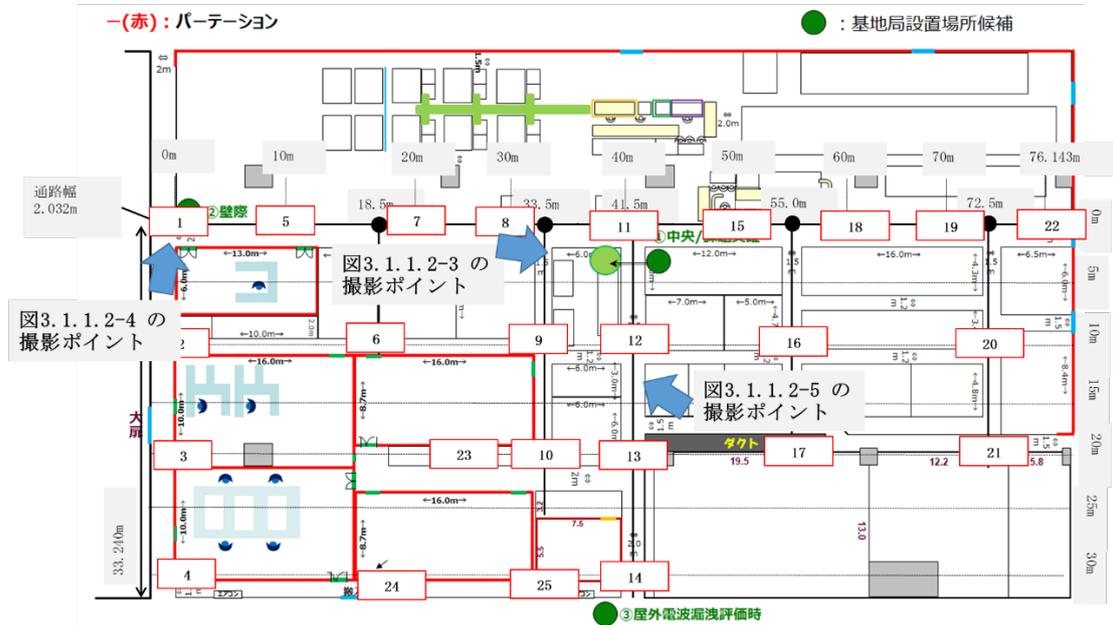


図3.1.1.2-3
gNB 中央3m 設置状態



図3.1.1.2-4
gNB 壁際3m 設置状態

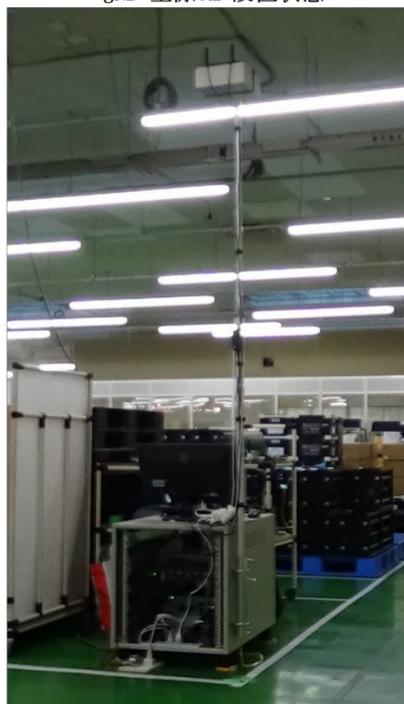


図3.1.1.2-5

UE設置状態



3.1.1.3. 玉村工場の構成

○設置環境（建物の場合の見取り図、構造）

図3.1.1.3-1

〒370-1117 群馬県佐波郡玉村町大字川井1796-1 太陽誘電株式会社 玉村工場



- ※ 基地局相当および陸上移動局いずれも黄色枠の建物(屋内)に設置。
- ※ 屋外への電波の漏れ：12m程度(藍色枠にて表示)
(鉄筋コンクリートの壁150mm厚の5GHz帯透過減衰を約40dBと想定)

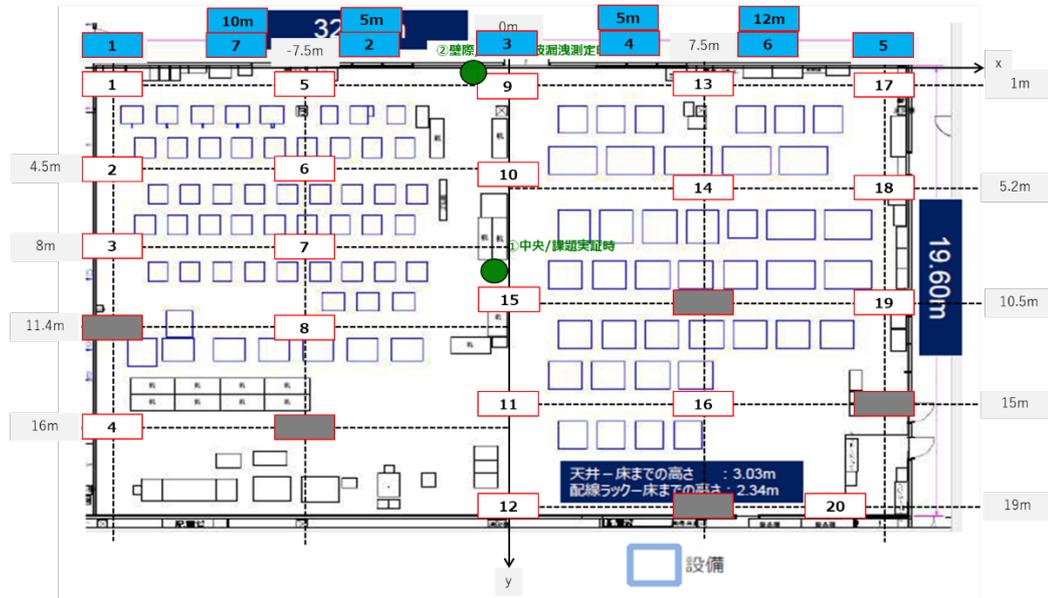
○干渉調整

干渉調整先事業者名：キャリア 5G, 他のローカル 5G ともになし

○電波測定環境

無線基地局の設置場所や高さを変更し、端末を各地点1～20に配置し測定を行った。

図3.1.1.3-2



※工程レイアウトは今回の電波伝搬、データ転送の実証用として
使用した工程モデルであり、画像判断データ転送システムの工程設備
ではない。

(gNB の設置状態 写真なし)

(UE の設置状態 写真なし)

3.1.1.4. 構築スケジュール

1.4 節の実証スケジュールの計画に基づき、次の通り環境構築を行った。

<凡例>

実証準備
技術実証
課題実証

構築スケジュール: 10月

日	月	火	水	木	金	土
				1	2	3
					▲免許申請	
4	5	6	7	8	9	10
	▲ローカル5G機器搬入 (本庄) ▲機器搭載・通電確認					
	設置 (本庄)					
11	12	13	14	15	16	17
	▲ローカル5G機器動作確認・IPレベル通信試験 (有線接続)					
	接続試験					
18	19	20	21	22	23	24
	▲技術実証測定ツール動作確認 (有線接続)					
	接続試験					▲接続試験完了
25	26	27	28	29	30	31

- ・実証準備 (ローカル 5G 環境構築、免許取得申請) を可能な限り早期に完了させることを目指し、速やかに免許申請を行った。
- ・ローカル 5G 機器の正常動作が懸念されたため、動作検証を最優先に実施するという考え方に基づき、免許交付待ちの間に有線接続でローカル 5G 機器の動作確認を行った。

構築スケジュール: 11月

日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7
					▲予備免許交付	
	システム試験					
8	9	10	11	12	13	14
	▲ローカル5G機器動作確認・IPレベル通信試験 (OTA)		▲技術実証測定ツール動作確認 (OTA)		▲gNB・UE設置確認、実証エリア下見 (本庄)	
	システム試験					
15	16	17	18	19	20	21
	▲課題実証システム接続試験					
	システム試験					
22	23	24	25	26	27	28
		▲登録点検			▲課題実証システム切り離し	
		システム試験				
29	30	12/1	2	3	4	5

- ・予備免許交付後、速やかに OTA でローカル 5 G 機器の動作確認を行った。10 月中に有線接続で動作確認していたため、OTA での動作確認は短時間で完了できた。
- ・スムーズに実証を開始するため、gNB、UE の設置場所確認、実証エリアの下見（測定ポイントのマーキングなど）を事前に十分に行った。
- ・実証着手後の手戻りを防止するため、実証着手前に課題実証システムとの接続試験を十分に行った。

構築スケジュール: 12月

日	月	火	水	木	金	土
11/29	30	1	2	3	4	5
		技術実証 (本庄)				
6	7	8	9	10	11	12
	技術実証 (本庄)					
13	14	15	16	17	18	19
	▲課題実証システム接続					
	課題実証 (本庄)					
20	21	22	23	24	25	26
	課題実証 (本庄)					
27	28	29	30	31	1/1	2

- ・ 11 月中に gNB、UE の設置場所確認、実証エリアの下見（測定ポイントのマーキングなど）を行っていたため、技術実証をスムーズに開始することができた。また、課題実証システムのシステム試験も十分に行っていたため、実証中のインシデントはゼロ件であった。

構築スケジュール: 1月

日	月	火	水	木	金	土
12/1	2	3	4	5	1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
			▲ローカル5G機器搬送 本庄→玉村	▲機器搭載・通電確認		
		▲課題実証システム切り離し		▲gNB・UE設置確認、実証エリア下見 (玉村)		
		移設		設置 (玉村)		
17	18	19	20	21	22	23
	▲課題実証システム接続試験				★技術実証 (本庄)	
		▲課題実証システム切り離し			再測定の必要性発覚	
	接続試験					
			技術実証 (玉村)			
24	25	26	27	28	29	30
					▲課題実証システム接続	
			技術実証 (玉村)			

- ローカル5G機器を玉村工場に移設し、玉村工場で環境構築を行った。その際、本庄工場と同様事前に、gNB、UEの設置場所確認、実証エリアの下見（測定ポイントのマーキングなど）、課題実証システムのシステム試験、を行った。
- 可搬性を高めた環境設計を行っていたため、玉村工場でのローカル5G機器設置、接続試験は計画の約半分の期間で完了した。

<1月22日に発覚した技術実証（本庄）再測定の原因と対応について>

原因：オペレーションミスによる測定結果の保存失敗。

対応：玉村工場での技術実証/課題実証を終了した後に、ローカル5G機器一式を再度、OKI本庄工場へ移設して再測定を実施。

構築スケジュール: 2月

日	月	火	水	木	金	土
1/31	1	2	3	4	5	6
	課題実証 (玉村)					
7	8	9	10	11	12	13
	課題実証 (玉村)					
14	15	16	17	18	19	20
	▲課題実証システム接続 ▲ローカル5G機器輸送 玉村→本庄					
	課題実証 (玉村)		移設	技術実証 (本庄:再測定)		
21	22	23	24	25	26	27
28	3/1	2	3	4	5	6

- 1月中に課題実証システムの接続試験を十分に行っていたため、実証中のインシデントはゼロ件であった。
- 1月22日に本庄工場での技術実証再測定の必要性が発覚していたが、玉村工場での実証実験が計画より前倒しで進んだため、遅延なく実証実験を完了した。

3.1.2. ネットワークの物理構成

3.1.2.1 本庄工場

可搬性ラックに5GCと基地局（gNB）を配置し、「組立」、「検査」を行う作業場所に無線端末（UE）および組立工程 IP カメラ、PAS 用 PC 等を設置した。また、AE2100 は専用ラックに配置し、これらの機器はサーバ室のファイアウォール経由で OKI イン트라ネットへ接続し、OKI イン트라ネット経由でリモートアクセスによる状態確認が可能な構成とした。

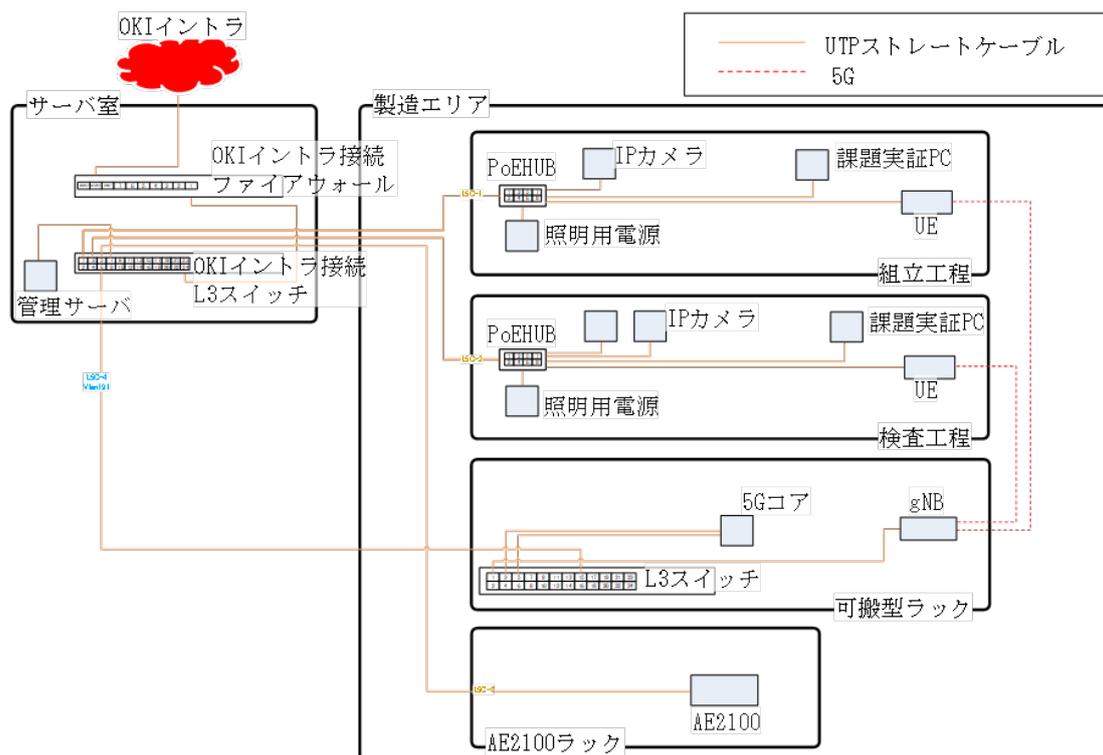


図 3.1.2.1-1 ネットワーク物理構成図（本庄工場）

3.1.2.2. 玉村工場

可搬性ラックに 5GC と基地局 (gNB) を配置し、作業場所となるポイントに無線端末 (UE) および「画像判定データ転送システム検証 PC」を設置した。また、データ収集サーバ検証 PC は可搬性ラック内の L3 スイッチに接続した。各所には管理用 PC を配備し、閉域 LTE 網経由で蔵管理用 PC からリモートアクセスによる状態確認が可能な構成とした。

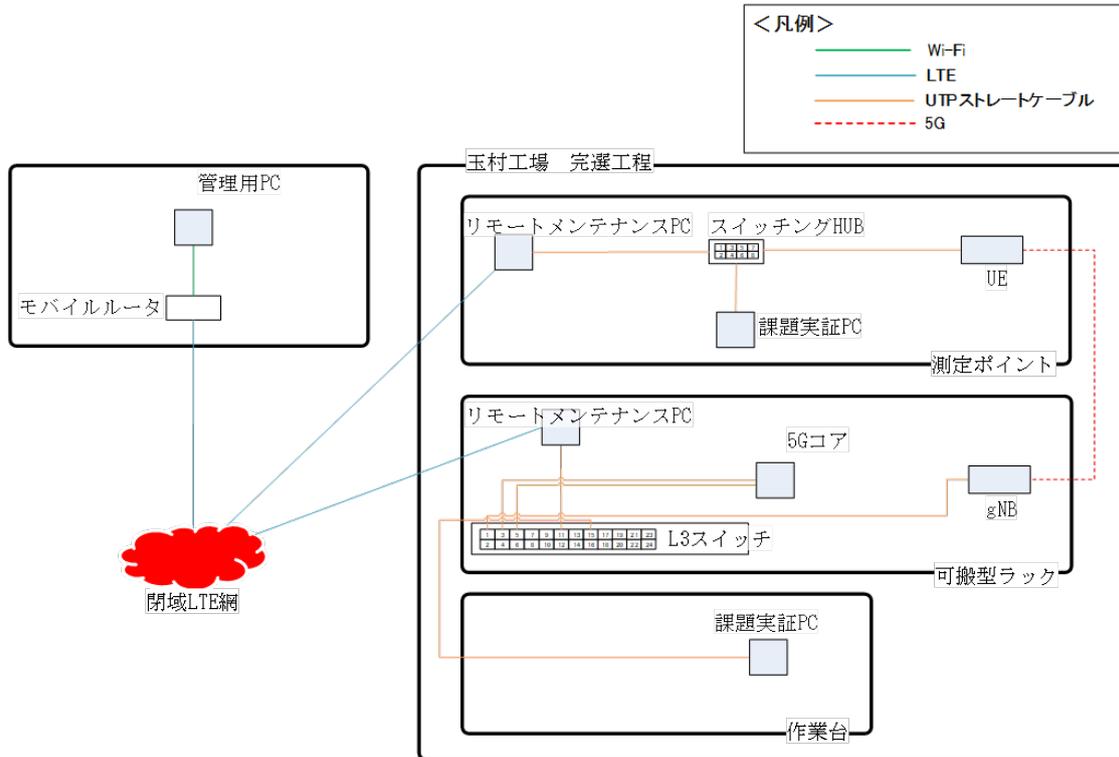


図 3.1.2.2-1 ネットワーク物理構成図 (玉村工場)

3.1.3. ネットワークの論理構成

3.1.3.1. 本庄工場

ローカル5Gシステムは、ユーザデータ用セグメント、管理用セグメント、制御用セグメントで構成した。5GCは2つのLANインターフェースを有し、管理用、制御用の各セグメントに接続した。

また、ローカル5Gシステムと社内イントラネットの境界をファイアウォールで接続した。

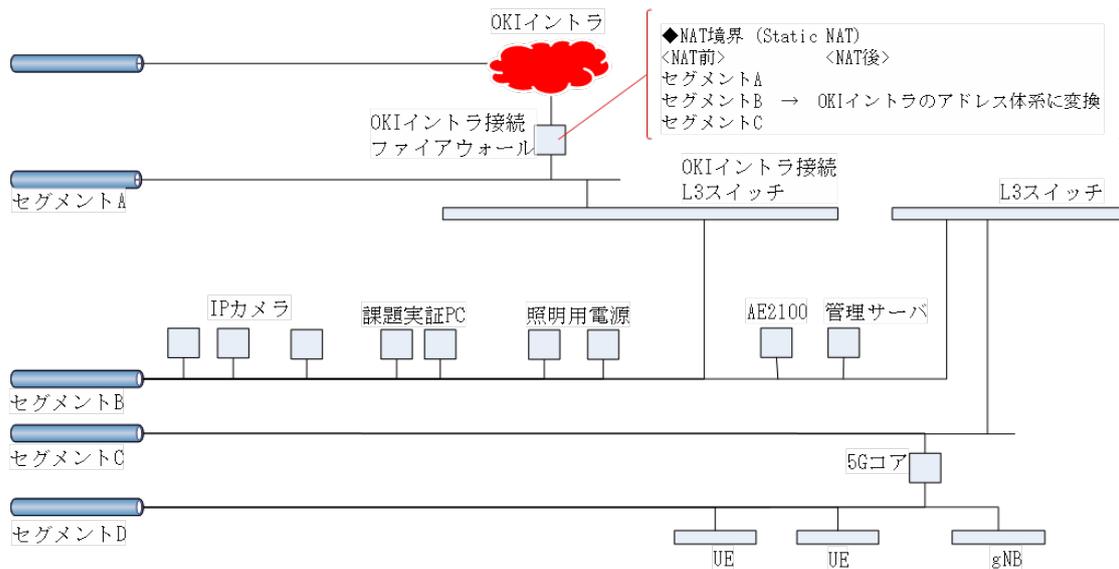


図 3.1.3.1-1 ネットワーク論理構成図 (本庄工場)

3.1.3.2. 玉村工場

ローカル5Gシステムは本庄工場同様に、ユーザデータ用セグメント、管理用セグメント、制御用セグメントで構成した。5GCは2つのLANインターフェースを有し、管理用、制御用の各セグメントに接続した。

また本庄工場とは異なり、ローカル5Gシステムと社内イントラネットとは接続せず、独立したネットワークとした。

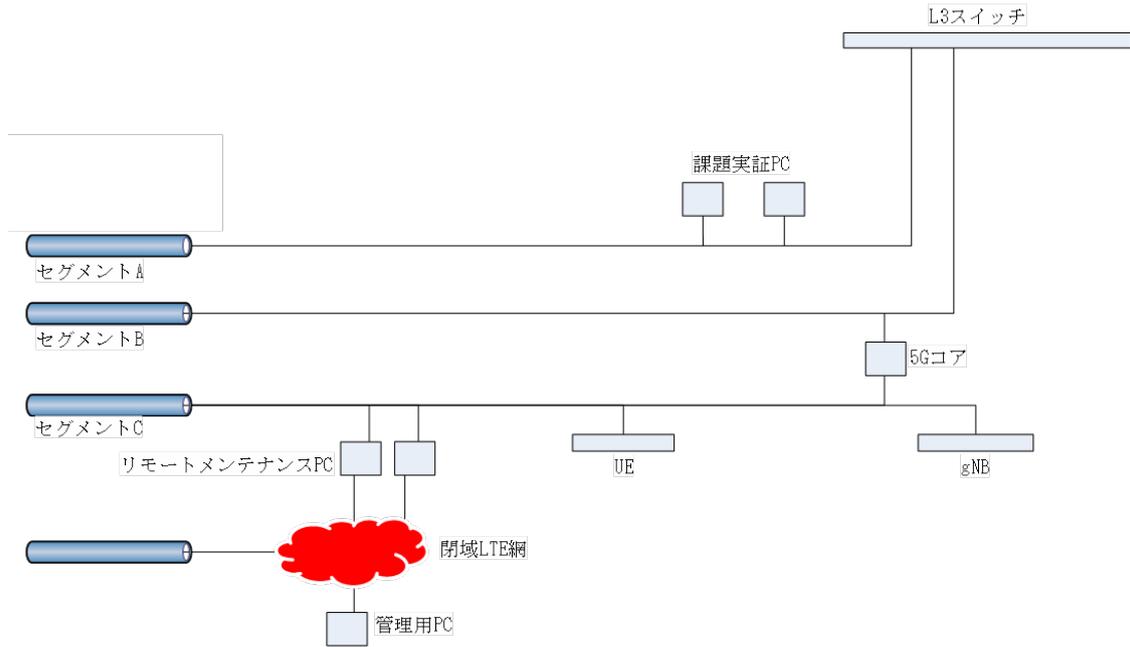


図 3.1.3.2-1 ネットワーク論理構成図（玉村工場）

3.1.4. ネットワークの機能

表 3.1.4-1 コアネットワーク性能

項目	コアネットワーク性能
機種	ABIT AU-500システム
TDD Config	PDSCH 3/20slot, PUSCH 12/20slot
最大スループット (理論値)	UL : 110.64Mbps DL : 27.66Mbps
同時接続数	2台
備考	SIM認証、時刻同期

表 3.1.4-2 基地局無線部特性

項目	基地局無線部特性	
3GPPバージョン	Release15	
アプリケーション	eMBB	
システム構成	SA	
送信周波数	4800 MHz	
占有帯域幅	100 MHz 以下	
電波の形式	NON 4800MHzの1波	
	100M X7W 4750~4850MHzの1波	
変調方式コード	OFDMA / TDD	
送信出力	60 mW 以下 (17.8 dBm以下)	
空中線の利得	2 dBi 以下 (水平無指向, 垂直偏波)	
実効放射電力	19.8 dBm e. i. r. p. 以下	
空中線の高さ	地上3~4m	
スペクトラム・ エミッション・ マスク	4.5GHz帯における5G移動局の技術的条件に準拠	
	帯域端±(0~1MHz)	-22dBm/30kHz以下
	帯域端±(1~5MHz)	-8dBm/MHz以下
	帯域端±(5~100MHz)	-11dBm/MHz以下
	帯域端±(100~105MHz)	-23dBm/MHz以下
スプリアス	4.5GHz帯における5G移動局の技術的条件に準拠	
	帯域端±105MHzより外側	-30dBm/MHz以下
	携帯電話の受信帯域(4.5-4.6GHz帯含む)	-50dBm/MHz以下
備考		

3.1.5. 制約事項等

今回採用したローカル5Gシステムの制約事項は次のとおり。

- 1) gNB1 台に接続できる UE の最大数は 2 台である。
- 2) gNB、UE で転送可能な MTU は 1500byte であり、イーサネットジャンボフレームは非対応である。

3.2 システム機能・性能・要件

3.2.1. 本庄工場のシステム機能・性能・要件

本庄工場の課題解決システムのシステム通信性能を表 3.2.1-1 に、データの特徴を表 3.2.1-2 に、設計の妥当性を表 3.2.1-3 に、それぞれ示す。

表 3.2.1-1

	機能	性能
外観異常判定システム	●組立/検査工程における目視確認作業の自動化	-
プロジェクション・アッセンブリーシステム	・組立手順のナビゲーション機能および作業内容のデジタル化	指示応答1S以内
検査端末	・判定結果表示	-
IPカメラ	・映像データ送信	高精細カメラ(5472 px x 3648 px)
AE2100	・画像解析による外観異常検知 ・PAS連携による工程制御	・画像解析 設計上の目標レスポンス4S以内
管理サーバ	・画像判定項目設定(解析モデル生成) ・検査履歴、画像データの取得 ・外部システム連携	-
生産管理システム(社内イントラ)	・プロジェクション・アッセンブリーシステムへの製品情報転送	レスポンス1S以内
工場管理者端末(社内イントラ)	・検査結果検索	レスポンス1S以内

表 3.2.1-2

宛先	PASシステム	検査端末	IPカメラ	AE2100	管理サーバ	生産管理システム(社内イントラ)	工場管理者端末(社内イントラ)
送信元							
PASシステム	-	-	-	-	製品情報データ /数bps /数十msec /1製品組立作業当たり1回	-	-
検査端末	-	-	-	-	製品情報データ /数bps /数十msec /1製品組立作業当たり1回	-	-
IPカメラ	-	-	-	ストリーミング動画 /~103Mbps(1台当たり) /数十msec /常時	-	-	-
AE2100	映像判定結果・画像 /数bps /数十msec /1製品組立作業当たり2回	映像判定結果・画像 /数bps /数十msec /1製品組立作業当たり3回	-	-	映像判定結果・画像 /数bps /数十msec /1製品組立作業当たり5回	-	-
管理サーバ	-	-	-	映像モデル /数bps /数十msec /任意(モデル生成時のみ)	-	-	WEB検索 /数bps /数十msec /任意
生産管理システム(社内イントラ)	製品情報データ /数bps /数十msec /1製品組立作業当たり1回	-	-	-	-	-	-
工場管理者端末(社内イントラ)	-	-	-	-	-	-	-

※表内の性能は、データの特徴/伝送帯域/遅延/通信頻度、の順で記載

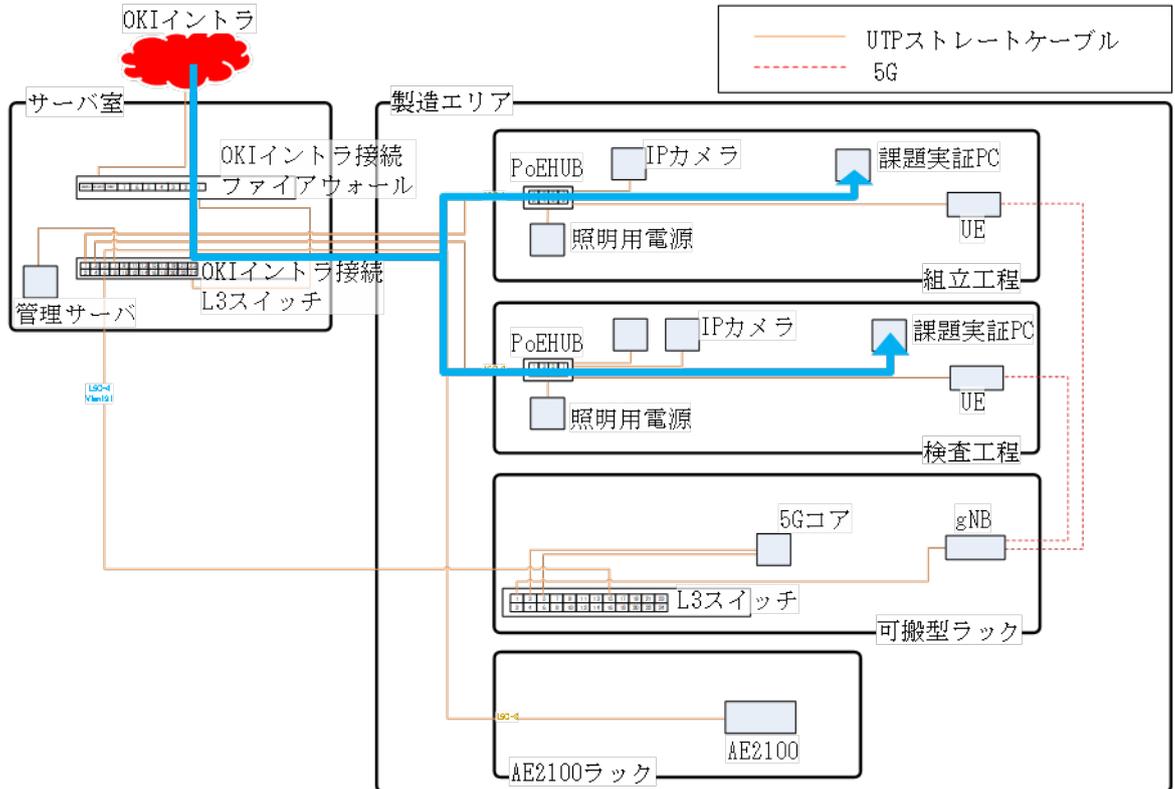
表 3.2.1-3

宛先	伝送帯域	遅延	妥当性
システム全体	約103Mbps(想定)*1台(カメラ)=103MMbps(想定IPカメラ・AE2100区間)	1秒(目標)	現場作業待ち時間を考慮。IPカメラ以外の通信量は微量のため、システム全体と無線区間で伝送帯域に差はない。
無線区間	数bps(想定)*3台(AE2100)=数bps(管理サーバ/AE2100区間)	1秒以内(目標)	

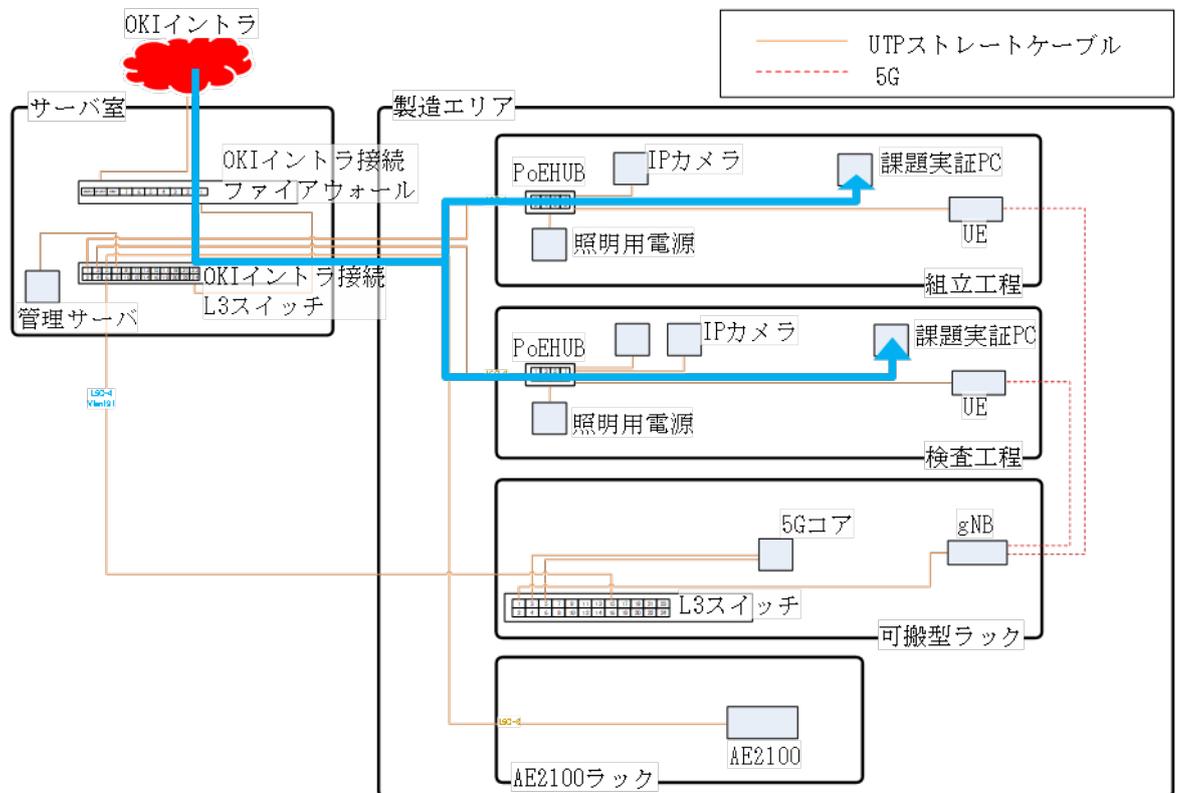
3.2.2. 本庄工場のトラフィックフロー

本庄工場の課題解決システムのトラフィックフローを本項で示す。

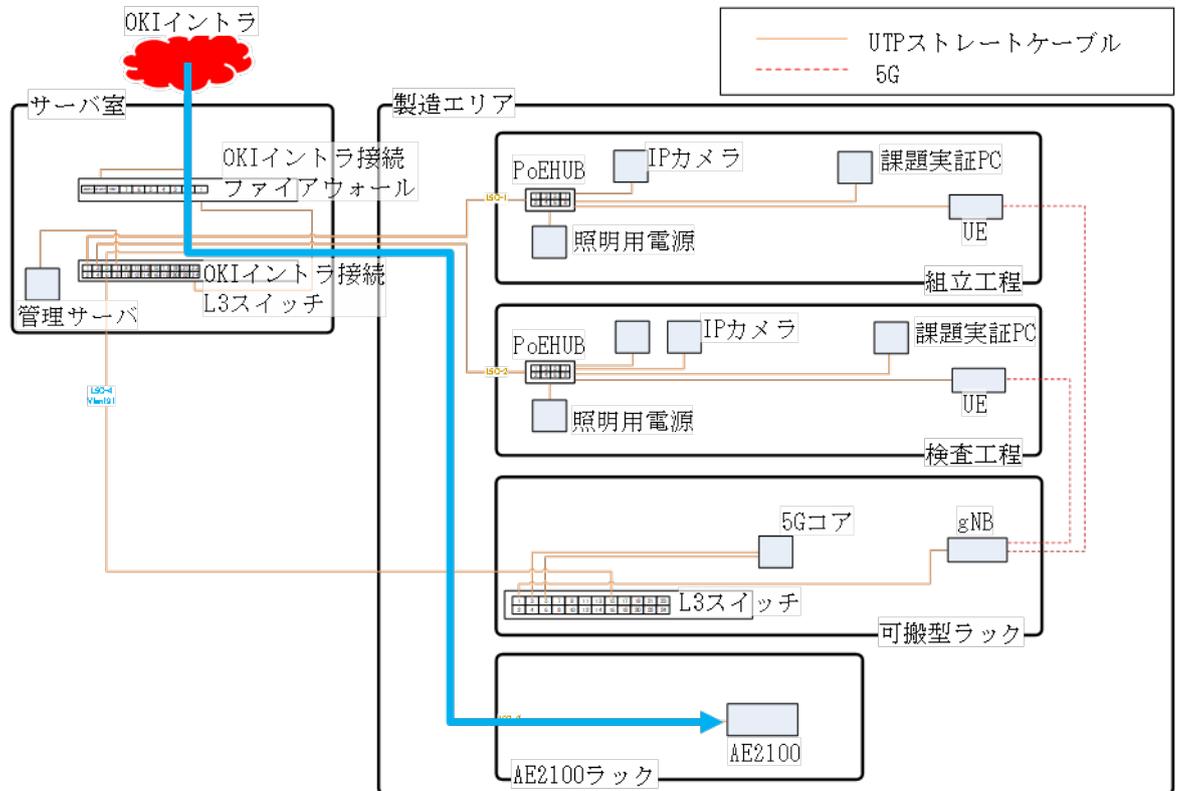
From:イントラサーバ To:課題実証PC Protocol:TCP FTP(21)



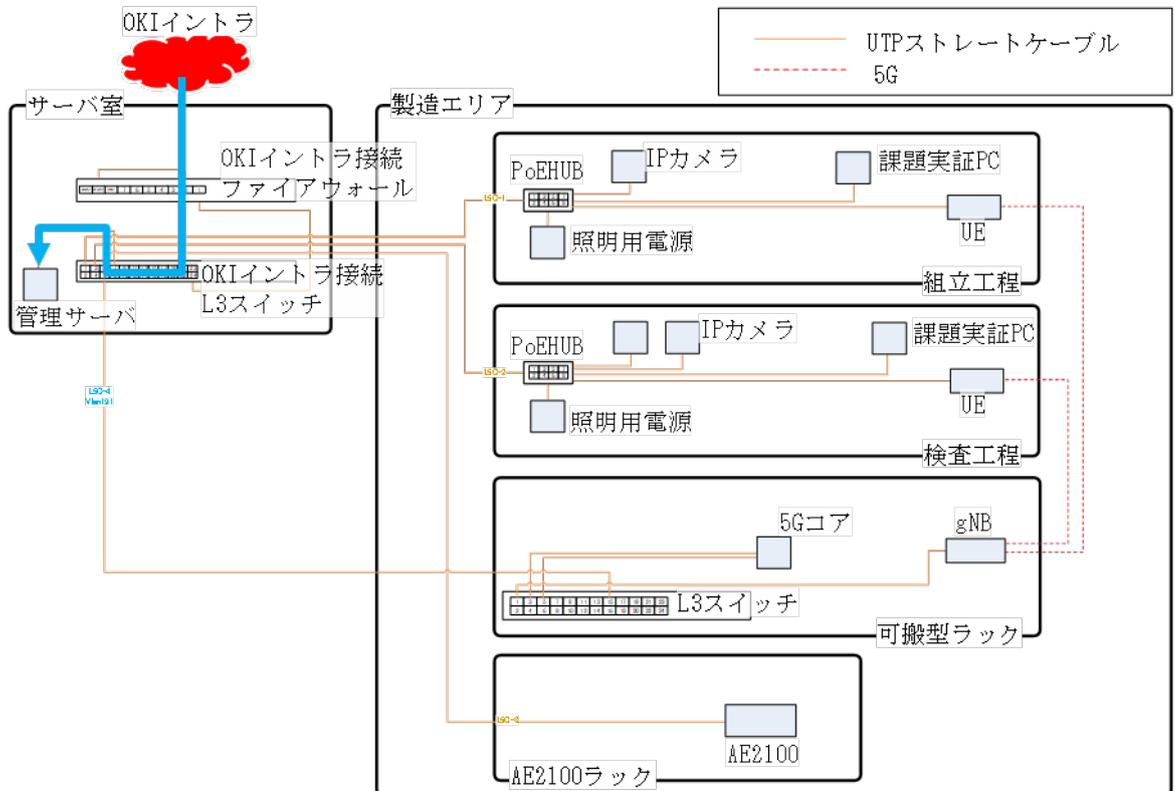
From:イントラPC To:課題実証PC Protocol:TCP SSH(22),RDP(3389)
RDP(3389)



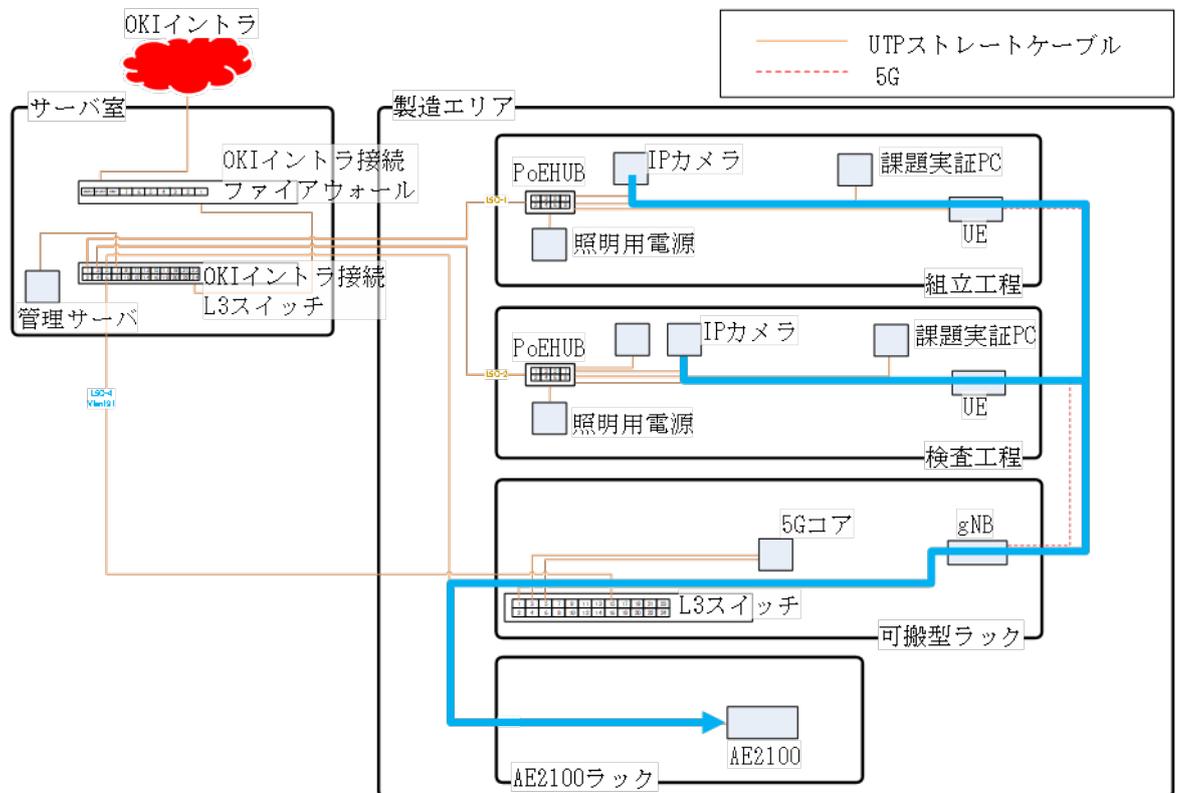
From:イントラPC To:AE2100 Protocol:TCP SSH(22, 23), RDP(3389)



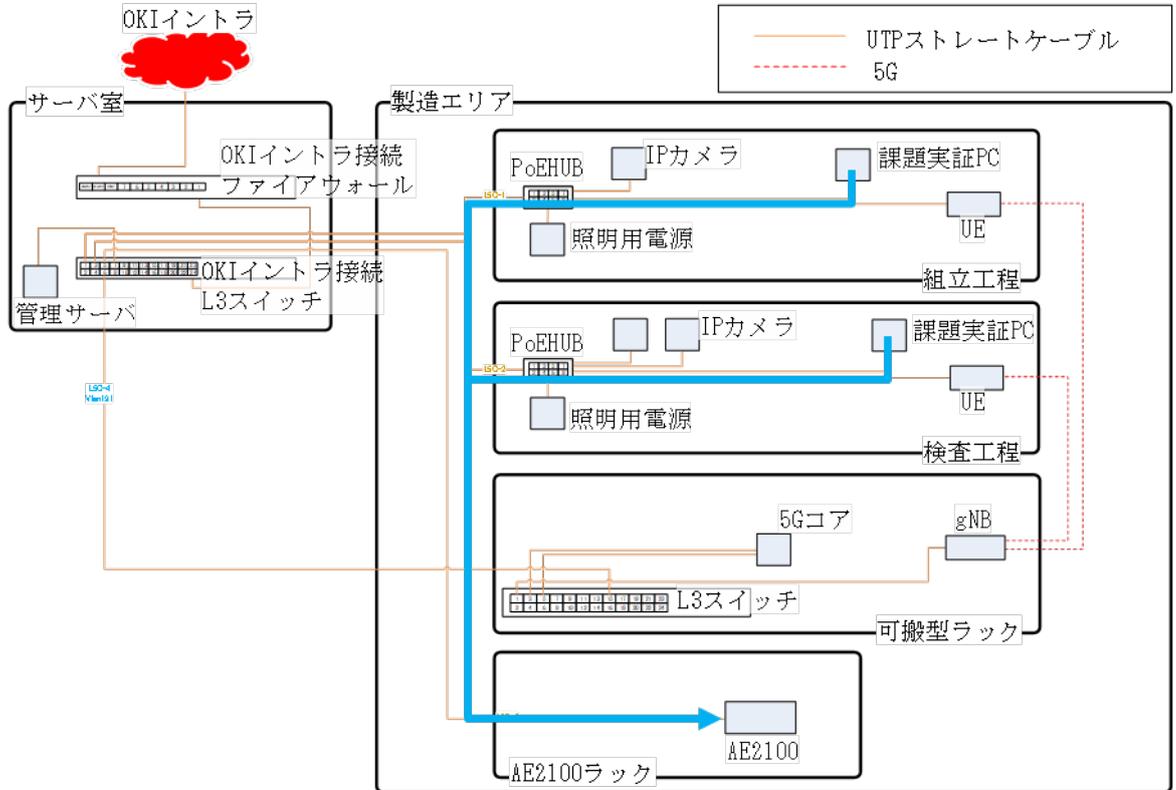
From:イントラPC To:管理サーバ Protocol:TCP SSH(22), http(3000)
RDP(3389)



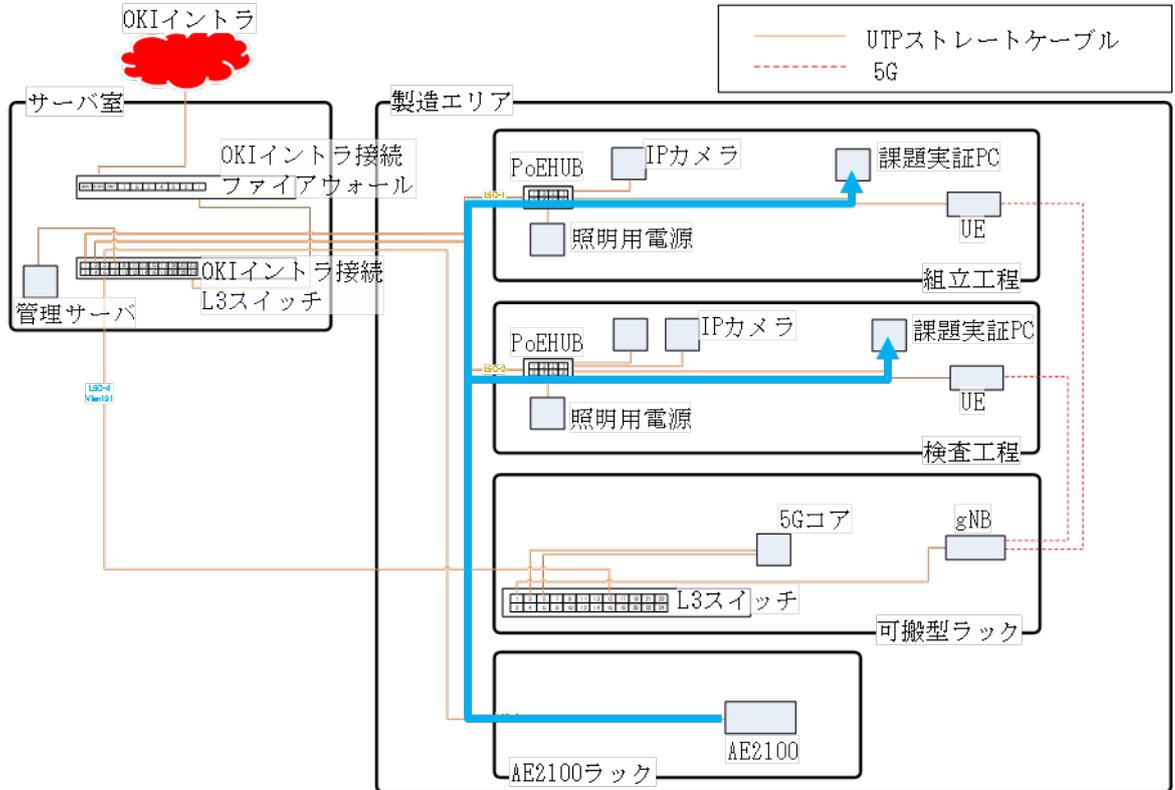
From:IPカメラ To:AE2100 Protocol:UDP GigE Vision(3956)



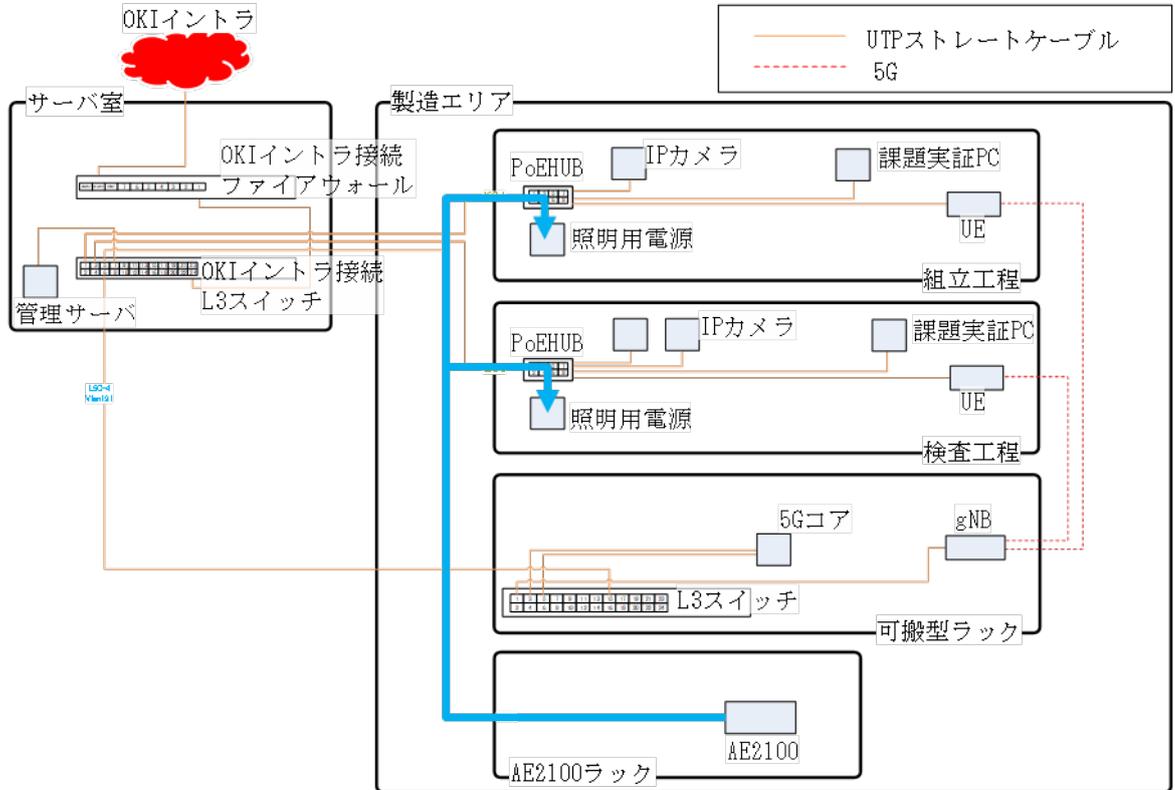
From: 課題実証PC To: AE2100 Protocol: TCP SCP(23), http(23)



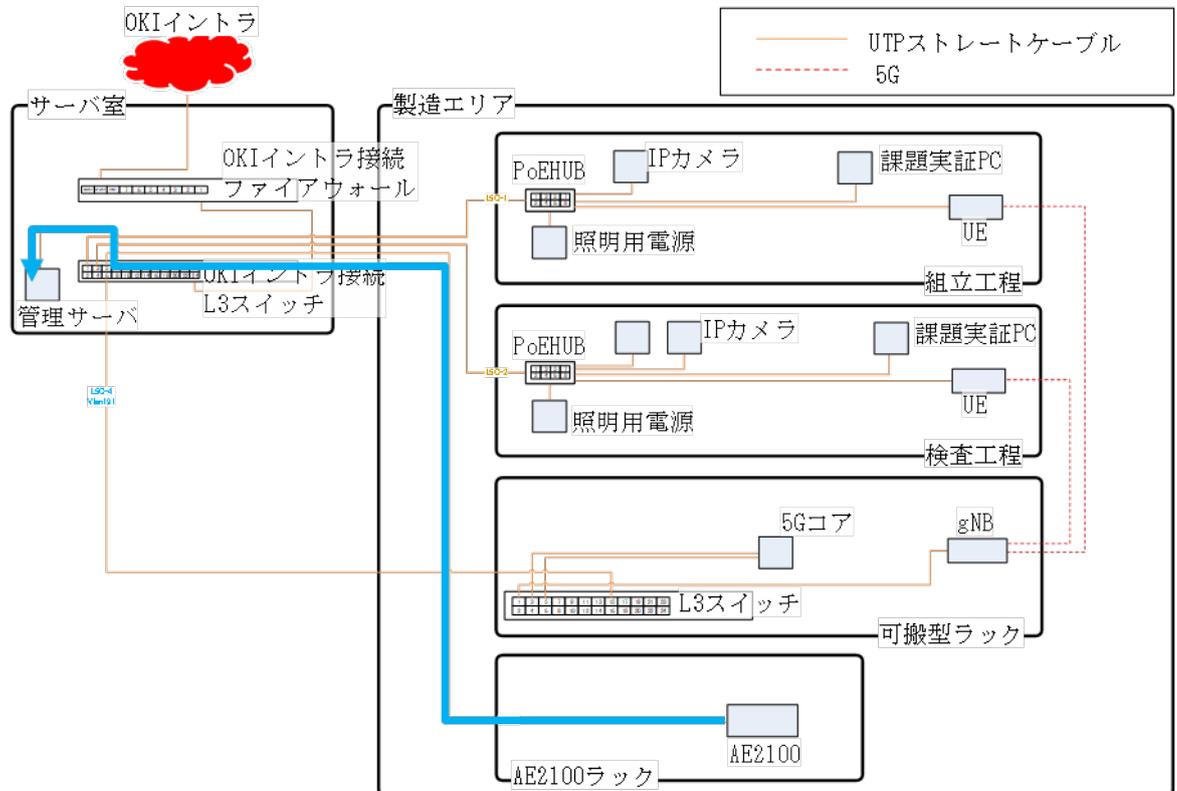
From:AE2100 To:課題実証PC Protocol:TCP http(23)



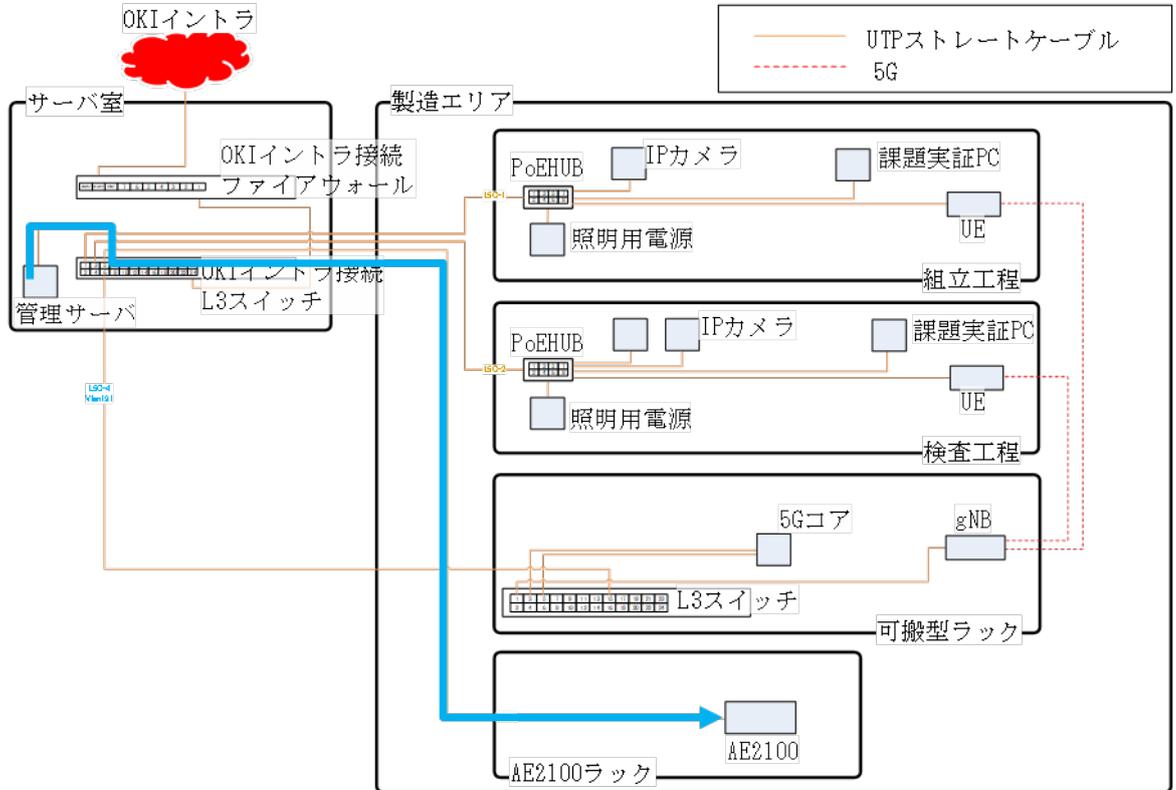
From:AE2100 To:照明用電源 Protocol:TCP http(23),Socket(1000)



From:AE2100 To:管理サーバ Protocol:TCP http(23)



From:管理サーバ To:AE2100 Protocol:TCP http(23)



3.2.3. 玉村工場のシステム機能・性能・要件

玉村工場の課題解決システムのシステム通信性能を表 3.2.2-1 に、データの特徴を表 3.2.3-2 に、設計の妥当性を表 3.2.3-3 に、それぞれ示す。

表 3.2.3-1

	機能	性能
AI画像判断データ転送システム	<ul style="list-style-type: none"> 検査設備から送られてきた検査画像データを流動形状単位に取得し、それらをまとめてzipで圧縮する。(zipファイルの平均サイズは数GB) 圧縮が完了したzipファイル毎にこのシステムでFTPを用いデータ収集サーバへ転送する。 	<ul style="list-style-type: none"> 検査設備1台毎にzipファイルは数百個/日作成している。(検査設備は数台あるので合計すると数千個/日のzipファイルが作成される。) 数TB/日のデータ転送を行っている。
検査設備	<ul style="list-style-type: none"> 検査画像データを取得。 AI画像判断データ転送システムに取得した検査画像データを送付。 	<ul style="list-style-type: none"> 全部で数台が並列に稼働。
データ収集サーバ	<ul style="list-style-type: none"> AI画像判断データ転送システムからFTP経由送られたzipファイルを受信。 	<ul style="list-style-type: none"> zipファイル(数GB)を合計数千回/日(数TB)で受信する。

注) 非公開部分を含むため、表 3.2.3-1 の一部文章を変更。

表 3.2.3-2

送信元 \ 宛先	検査設備	データ収集サーバ
検査設備		JPEG、PNGのZIP圧縮ファイルをFTP転送/200Mbps(1回のデータ転送量は数GB、通信頻度より60秒/回で転送完了とする) /期待値なし /1日数百回、1日=数時間の場合、2.1分に1回の頻度でファイル転送が発生する
データ収集サーバ	—	

※表内の性能は、データの特徴/伝送帯域/遅延/通信頻度、の順で記載

注) 非公開部分を含むため、表 3.2.3-2 の一部文章を変更。

表 3.2.3-3

	伝送帯域	遅延	妥当性
システム全体	2.5Gbps	1000msec	検査設備全数台が同時並列で稼働した場合を考慮。
無線区間	3Gbps	100msec	

注) 非公開部分を含むため、表 3.2.3-3 の一部文章を変更。

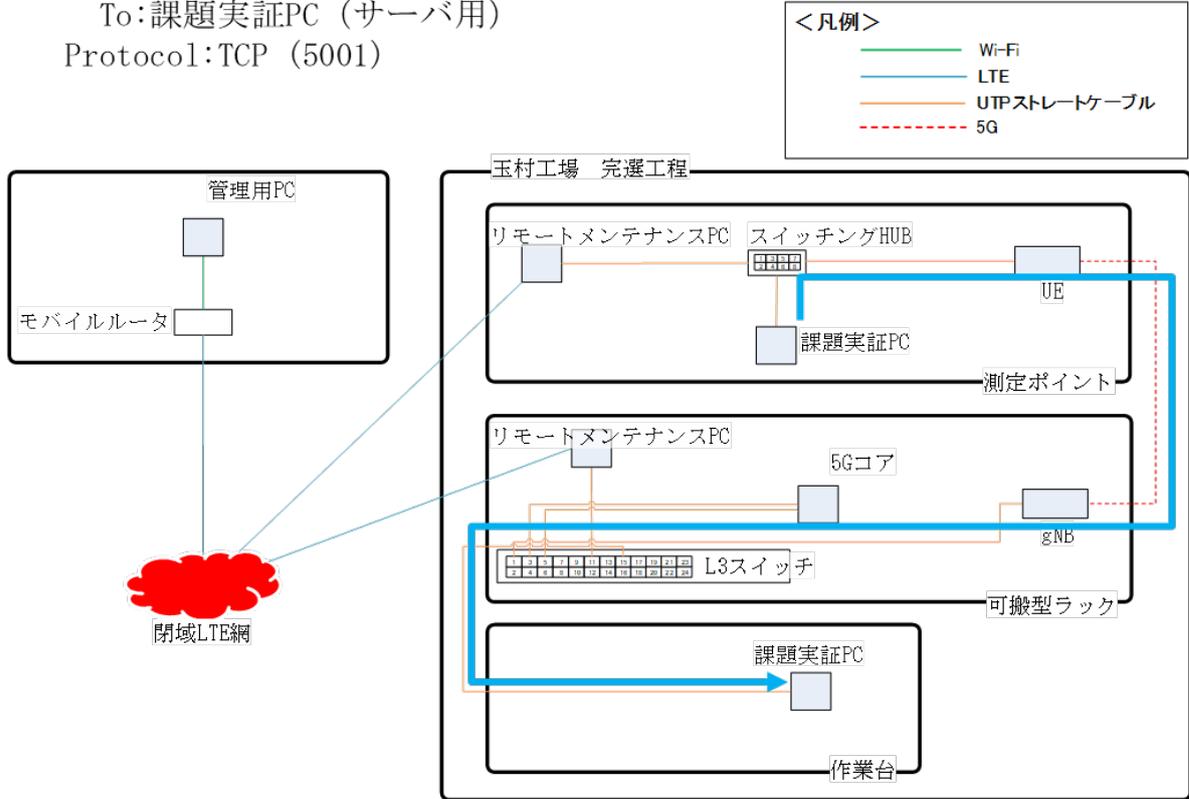
3.2.4. 玉村工場のトラフィックフロー

玉村工場の課題解決システムのトラフィックフローを本項で示す。

From: 課題実証PC (クライアント用)

To: 課題実証PC (サーバ用)

Protocol: TCP (5001)



3.2.5. サイバーセキュリティ対策

FA（ファクトリーオートメーション）システムに対するサイバー攻撃は、不正アクセスによる操業の停止や情報の搾取等を引き起こす可能性がある。

今回の実証環境では、ローカル 5G システムに対して以下の不正アクセス防止対策を講じた。

1) SIM 認証

5G で IMSI による SIM 認証を行い、登録された SIM のみの接続を許可した。

2) アカウント管理

5G や実証環境で使用する PC はユーザー ID / パスワードによるログイン認証を行った。

3) 専用セキュリティルームに限定した運用オペレーション

管理用 PC は OKI 蕨システムセンター内のソリューションルーム（登録されたプロジェクトメンバーのみが入室可能な部屋）に設置した。

4) ウィルス対策

実証環境で使用する PC にはコンピュータウィルス対策ソフトを導入した。

5) 外部ネットワーク接続におけるセキュリティ対策

本庄工場では、OKI イントラネットとの接続境界にファイアウォールを導入してアクセス制御を行った。

玉村工場では、管理用 PC と接続するための回線に閉域 LTE 網を採用した。

3.3 実証環境の運用

3.3.1. 運用方針

FA システムにおいてネットワークの停止は、生産ラインの停止等操業への影響が大きいと捉えている。そのため、障害発生から復旧までの時間を短縮することを運用方針とした。

3.3.2 システム環境

OKI 蕨システムセンター内に設置した管理用 PC から、5 GC、gNB、UE、その他ネットワーク機器に対しリモートアクセス可能な環境を構築し、以下の運用を実施できるようにした。

- ・再起動等のリモートオペレーション
- ・gNB、UE の状態監視
- ・RSSI/BLER のモニタリング

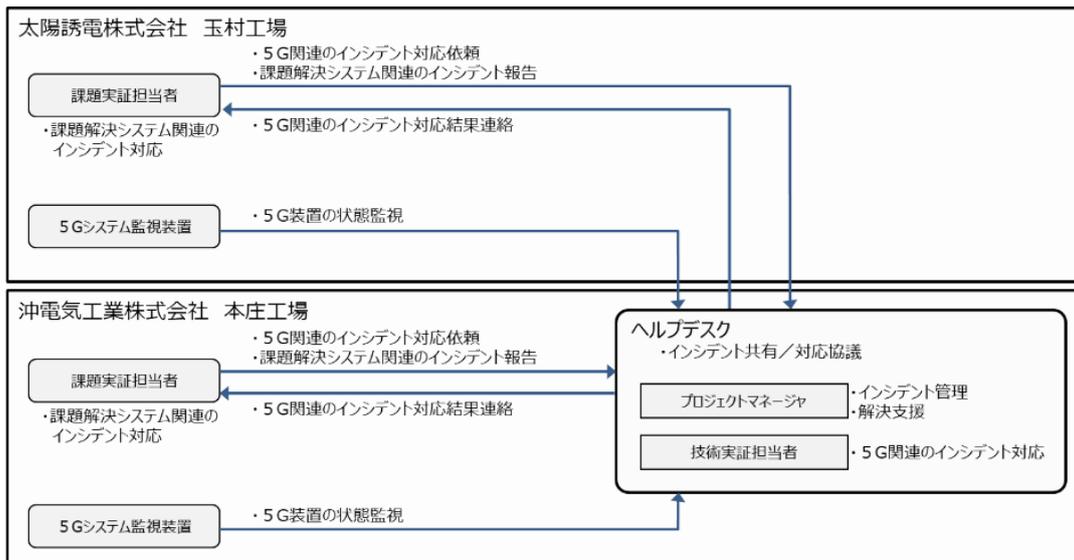
3.3.3. 実証参加者への研修

課題実証担当者に対して、実証環境全体の説明、LED 状態の確認、および現場での手動再起動方法についての研修を行った。

3.3.4. ヘルプデスク体制

コンソーシアム内では下図のヘルプデスク体制を構築し、インシデント対応を行った。

また、ローカル 5 G システムにおける想定外の不具合時にも迅速に対応できるように、メーカーへのエスカレーション体制も構築した。



3.4 関連事業

3.4.1. 本事業と一緒に取り組む他省庁、自治体等の事業施策 (例：スマート農業加速化プロジェクト)

- ・特になし。

4. 課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）

4.1 前提条件

課題解決システムの実証にあたり、地域課題や地域の関係者のニーズを把握するために群馬県の中小企業および OKI の本庄工場に対してヒアリングを実施した。その中で、課題解決に資する最も効率的かつ効果的なシステムの検討を行い、課題解決システムとして、「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を構築し、効果面・機能面・運用面の観点で検証を行った。

(1) 製造現場の課題

地域課題や地域の関係者のニーズを把握するために、群馬県にて、製造業 49 社を含む 53 社に対して「人材確保と技能承継・作業支援について（人材不足の課題感、確保困難な人材、技能承継や教育・作業支援のため導入・関心のある取組）」についてヒアリングを行った。（第 2 章）

一方、本検証工場である OKI 本庄工場においても熟練技能の見える化、AI 活用による外観検査工程の省力化・自動化、ロボット導入による生産工程の省力化・自動化への取り組みや関心は非常に高い。

ヒアリング結果より、中小製造業における人手にまつわる課題を解決する手段として、デジタル技術の活用に活路を見出す動きが加速していることが明らかであり、AI や IoT の活用により、これまで熟練工によって担保されてきた品質保証の工程でさえも、AI など最先端のデジタル技術の利活用によって省人化が図られることと中小製造業における活用可能性が期待されている事が分かった。

続いて、このような人手不足が深刻かつ熟練者の技術ノウハウを必要としている外観検査工程、組立工程に対して、完全人手作業で行っている現場ではどのような作業ミスや業務上、運用上の問題が起こりうるかを現業務フローについて調査した。

外観検査工程では以下の作業ミスが起こりうる。

- ・ ラベル文字の欠損／欠落の見落とし
ラベル検査を行う際、ラベルに印字される文字が欠けていないか、文字が不足していないか確認を行う。文字の大小問わず不良がないか確認する必要があるが、人手作業である以上、見落としは起こりうる。
- ・ 筐体の傷見落とし
完成品検査を行う際、筐体に対して傷がないか確認を行う。ラベル同様、各製品に設定される外観基準に沿って傷が生じていないか確認する必要があるが、人手作業である以上、見落としは起こりうる。

組立工程では以下の作業ミスが起こりうる。

- ・ 工程飛ばし（ねじや部品の取付漏れ）
複数個所のねじ締めを行う際、ねじ位置合わせのために仮留めを行った後、本締めを行う。本締め作業が行われなかった場合、仮留め状態になるため、ねじが外れる事象が発生する。本作業ミスは作業手順が標準化されていても、人手作業である以上起こ

りうる。

改修作業による業務作業上の手戻りが起こりうる。

- ・ 完成品の最終検査工程において、品質不良と判定された製品に対する修理や改修が必要となり、再度、製品をばらす（リバースエンジニアリング）を実施する必要があるため、不良箇所によっては、大幅な手戻りが発生する。

システム運用上のオペレーションミスが起こりうる。

- ・ 外観検査において、良品・不良品の写真撮影や目視検査、検査項目の確認を実施し、対象フォルダへの取得画像などを保存するといった一連のオペレーションの中での間違いや漏れが発生する。

このような課題を解決するために組立工程、外観検査工程における組立内の目視確認作業・検査作業を高精細映像伝送やAI画像解析を活用するシステムにて人手作業の省力化・自動化を検証する。

(2) 課題解決システムにおける留意点、制約事項

本検証では、オペレーションの省力化すべく、作業ナビゲーションを行いながら、常に高精細映像を伝送している中で解析が自動的に行われるシステムにすることにより、現場課題を解消することを検討テーマと設定し検証を実施した。

なお、目視確認作業・検査作業では、品質基準に準拠した微細な異常を検知するために画像を細部まで分析する必要があることから、定常的に流れる高精細映像データをローカル 5G を活用して伝送することとした。伝送ネットワークでの大容量データの低遅延伝送やエッジデバイスでの分散処理など技術的に必要な機能要素を活用して低遅延での処理を行うこと、若年作業員でも熟練作業員と同一品質、標準時間で実現することで、他の中小企業でも課題視されている人手不足解消や製造現場の省力化や効率化の実現を目指すこととした。特に群馬県下で多く占めている加工・組立製造業へ展開出来る参照モデルにすべく、本システム構成（4.3.2 項）をフレームワークとして、工場環境（撮像環境など）を考慮して検証を実施することにした。

4.2 実証目標

前項記載の完全人手作業で行っている現場での作業ミスや業務遂行上の問題に対して、作業ナビゲーションや目視検査の自動化は作業ミス低減/作業負担軽減につながるであろうという仮説の元、課題解決システムの効果を検証にて確認する。

課題解決モデルとして、「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を OKI の本庄工場に構築する。

検証内容および目標は以下記載の通りである。

- ・ 効果検証：システムの効果を評価するにあたり、現在の生産ラインとシステムに置き換えた検証環境を用いて、作業時間・作業ミス発生回数の測定、および肉体的/心理的に与える影響を測定した。詳細な検証内容と結果は 4.4 節に記載する。
- ・ 機能検証：システムに実装される機能を評価するにあたり、精度、品質、リアルタイム性、実装の柔軟性、将来拡張性に関して検証を行った。詳細な検証内容と結果は 4.5 節に記載する。
- ・ 運用検証：実装したシステムを運用するにあたり、「使い勝手」、「環境面・安全面」、「維持メンテナンス」の観点で課題抽出・課題解決策の考察を行った。詳細な検証内容と結果は 4.6 節に記載する。

また、横展開の仕組みを構築するにあたり、本システム構成（4.3.2 項）をフレームワークとして、課題に対する効果、機能、運用検証の各章にて課題解決モデルの検証結果を考察する。

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

本節では、課題解決システムの概要と検証及び評価・分析について纏める。

4.3.1. 課題解決システムの選定理由

4.1 節および 4.2 節に記載の通り、現場課題を元に仮説検証を行う課題解決システムとして「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を設定する。

4.3.2. 課題解決システムの概要（全体・構成要素別）

本節では課題解決システムの概要について説明する。

課題解決システムである「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」は、プロジェクション・アッセンブリー・システムを用いて作業ナビゲーションを行い、目視検査においては AI 画像解析を活用した外観検査異常判定システムにて実施する。

実際の組立工程の中には、自作業の良否判定の為に、いくつかの目視検査作業が含まれている。

プロジェクション・アッセンブリー・システムには、外観検査異常判定システムとの連携機能を有しており、実際の作業ナビゲーションの中で適切に良否判定検査（映像 AI 解析）を行うように指示が出される。

良否判定は、外観検査異常判定システムにて自動的に判定実施され、その解析結果に応じた次作業のナビゲーション指示を行う事も可能となっている。

（OK 結果の場合は、次工程に進む事になるが、NG 判定の場合は、「該当作業に戻る」「新たな確認作業へ遷移」等の工順設定を施す事が可能。図 4.3.2-1）

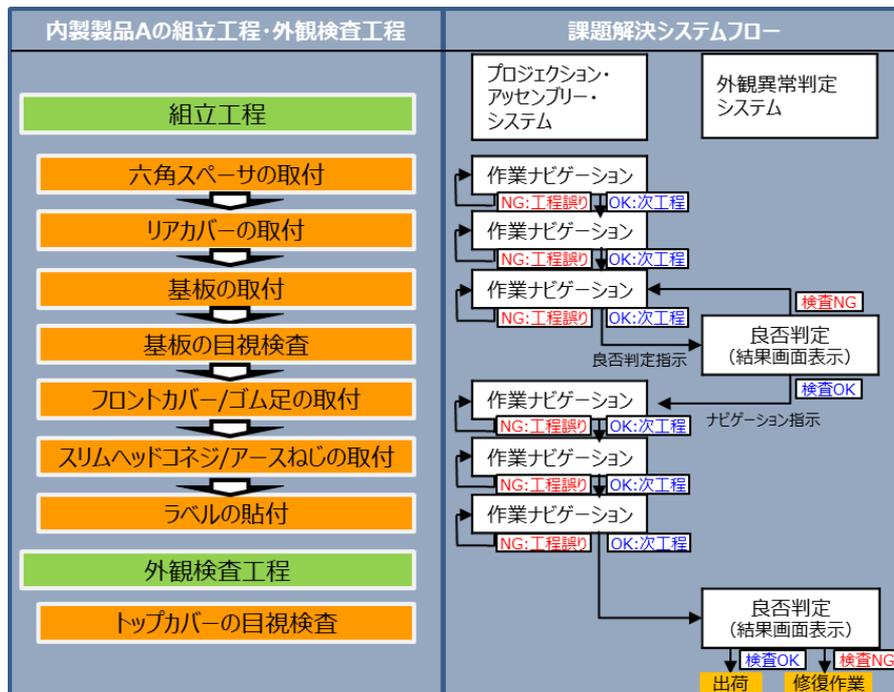


図 4.3.2-1 システム遷移図

(1) プロジェクション・アッセンブリー・システム

プロジェクション・アッセンブリー・システムとは、プロジェクタによる作業ナビゲーション機能と画像認識技術による部品の取り間違い防止により、作業者の組立作業を支援するシステムである。システム概要図を図 4.3.2-2 に示す。プロジェクション・アッセンブリー・システムは、基本的に PC、プロジェクタ、3 台の USB カメラで構成される。作業ナビゲーションは、工程管理から指示された作業手順をバーコードを介して PC で読み込み、どの部品をどの部品棚から取得するか、部品を取得した後どのような手順で組み立てるかなどの情報をプロジェクタで作業台・作業棚に投影する。作業者は、その投影された部品を同様に投影された手順で組立作業を行う。この時、プロジェクション・アッセンブリー・システムは、左右に設置された 2 台の USB カメラから取得した画像を解析することにより、作業者が正しい部品棚から部品を取得しているか検知することが可能である。正しい操作が行われた場合、次の作業手順を表示し、一方、誤った手順を検知した場合には警告表示を行う。また、デジタル I/O デバイスを接続してその信号を監視することで、電動ドライバでねじ締めが正しい圧力値で実施されたかも検知することが可能である。プロジェクション・アッセンブリー・システムでは、これらの作業ログを蓄積する機能も有しており、そこから作業手順ごとに要した時間なども確認することができる。作業の任意の箇所で他システムに要求をだし、その結果を受け取ることができる。この機能を活用して、外観検査異常判定システムと連携を行い、組立作業における目視検査をシステムで実行する。

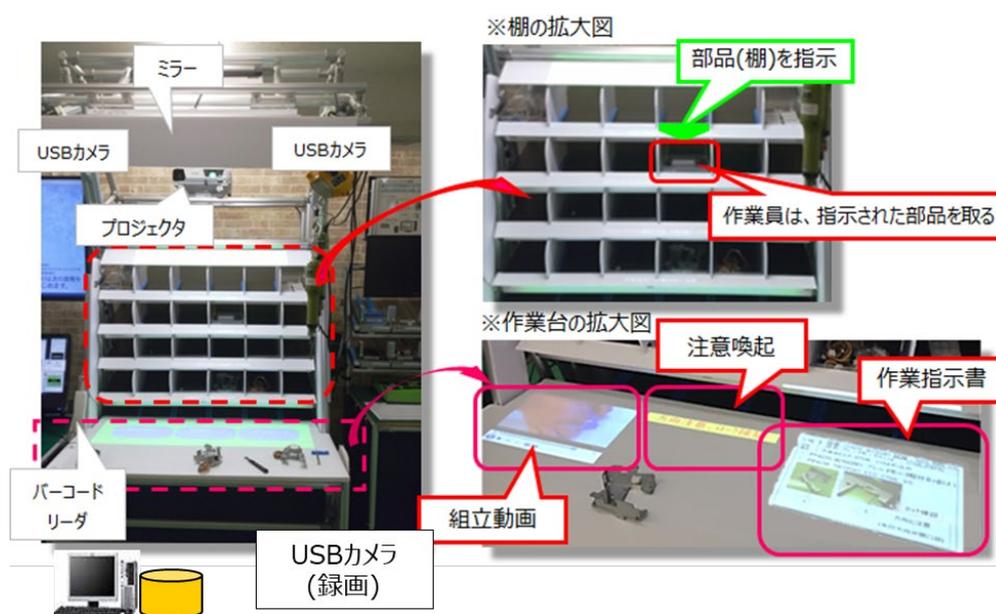


図 4.3.2-2 システム概要図 (プロジェクション・アッセンブリー・システム)

(2) 外観検査異常判定システム

外観検査異常判定システムは、組立工場等における目視検査工程において、作業台上に設置した IP カメラから検査対象の映像を取得して、映像解析用エッジ端末上で外観異常判定を行い、その結果を上位の管理サーバや作業台上に設置した PC (作業台 PC) に表示するシステムである。システム概要は図 4.3.2-3、カメラの撮影条件を表 4.3.2-1 に示す。

本検証では、予め画像を元に特徴量を抽出して映像解析を行う学習モデルを生成し、エッジ端末に配置する。ルールベースの手法を用いた学習モデルを採用しており、予め学習したモデルとの差を用いて異常判別を実施している。

検査エリアに設置された IP カメラが検査対象物の映像を取得し、ローカル 5G ネットワークを経由してエッジ端末にて受信する。エッジ端末では受信した映像データを元に画像前処理 (検査対象の画像抽出)、AI 画像解析して外観異常判定を行い、判定結果をプロジェクトン・アッセンブリー・システムまたは検査用 PC に送信する。このとき、外観検査では、精度向上の工夫として、照明制御を行う。照明は、通常時は消灯状態として、検査画像を撮影する瞬間のみ点灯する。受信した判定結果は、判定結果画面で確認可能で、判定結果が NG の場合には、NG 箇所の画像での確認や結果詳細から NG 結果に対する対応方法を確認できる。また、判定結果は、上位の管理サーバに工程情報とともに送信する。管理サーバでは、受信した判定結果の画面表示や過去の判定結果の検索と照会が可能である。これにより、ユーザーが本情報を用いて品質管理/分析に活用することができる。

※管理サーバの機能については、本検証の範囲外である。

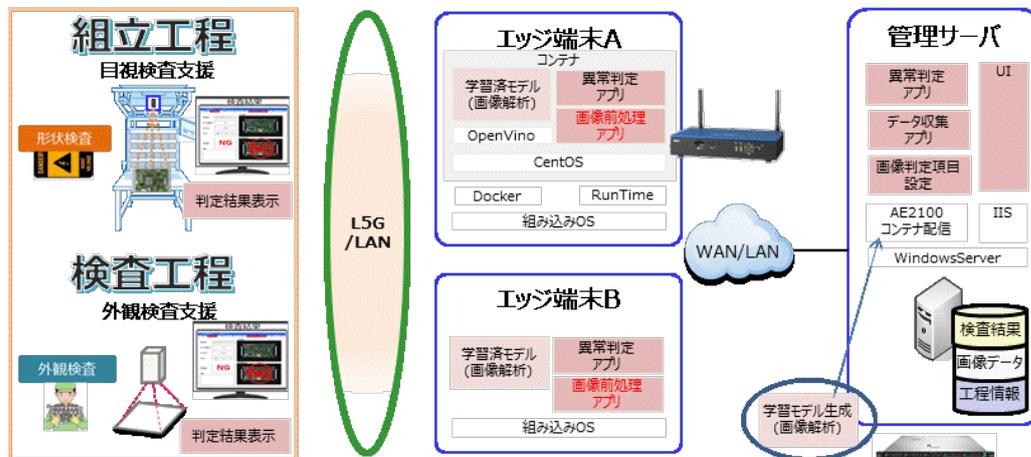


図 4.3.2-3 システム概要図 (外観検査異常判定システム)

表 4.3.2-1 カメラの撮影条件

	撮影条件	備考
画素数	4パターン 単位:ピクセル ①5472×3648 ②4104×2736 ③2736×1824 ④1368×912	対象事象:1mm以下の微細な事象を検出するため、対象
映像形式(コーデック)	無圧縮	高精細画像を保証するため、無圧縮にて実施
帯域	①伝送帯域:685.32[Mbps] (平均値) - 画像データ量: 5472×3648×3÷1024÷1024≈57.11[MB] - 伝送頻度(平均値): 57.11×1.5フレーム≈85.665[MB/S] - 伝送帯域: 85.665×8=685.32[Mbps] ②伝送帯域:385.5[Mbps] (平均値) - 画像データ量: 4104×2736×3÷1024÷1024≈32.125[MB] - 伝送頻度(平均値): 32.125×1.5フレーム≈48.1875[MB/S] - 伝送帯域: 48.1875×8=385.5[Mbps] ③伝送帯域:171.36 [Mbps] (平均値) - 画像データ量: 2736×1824×3÷1024÷1024≈14.28[MB] - 伝送頻度(平均値): 14.28×1.5フレーム≈21.42[MB/S] - 伝送帯域: 21.42×8=171.36[Mbps] ④伝送帯域:42.84 [Mbps] (平均値) - 画像データ量: 1368×912×3÷1024÷1024=3.57[MB] - 伝送頻度(平均値): 3.57×1.5フレーム=5.355[MB/S] - 伝送帯域: 5.355×8=42.84[Mbps]	アプリ側でパケットとパケットとの間の伝送待ち時間を設定できる パケット間遅延(Inter-Packet Delay)機能を活用した。 このことにより、パケットを送ってから次のパケットを送るまでに待ちを入れることで、データ伝送に余裕を持たせ安定化を図かる。 アプリ側の設定: Inter-Packet Delay機能 設定したパケットの転送間において遅延を出すことができる。 パケット間の遅延をティック単位で設定し、デフォルトでは、1ティックは8 ns。 設定値:6,600 遅延:6,600×8=52,800ns ※遅延幅としては、軽微のため、画像解析(システム応答時間)への影響は無いことは事前に確認済み。
フレームレート	1.5fps(平均値)	連続動画データから静止画を取り出す方式のため、フレームレートは落している
シャッタースピード	—	動体物の検査ではないため、焦点を上げる必要がなく、今回は未設定
絞り(F値)、ISO感度	F2.0	工場の輝度環境に即して標準値を設定
画角	36度	対象物に対してカメラを垂直に設置した際の標準値を採用

4.3.3. 評価・分析項目

本検証の測定は、組立工程および検査工程の両方に目視検査作業が存在する内製製品 A の製造工程を対象として、効果検証、機能検証、運用検証の 3 種類の検証を行う。各検証の詳細な項目については、4.4～4.6 節に記載する。

4.3.4. 評価・分析方法

効果検証、機能検証、運用検証に関する詳細な検証、評価・分析方法は、4.4～4.6 節に記載する。

4.3.5. 既存の手法との比較

現運用とシステム導入後の本検証環境における組立作業及び外観検査の一連の作業内容について表 4.3.5-1 に示す。また、本組立で使用する部品（部品配膳キット）と筐体パーツ部品を図 4.3.5-1 と図 4.3.5-2 に示す。

まず現運用での各工程の組立時の注意点や作業ポイントについて説明する。初めに、リアカバーの取付けでは、4 箇所（ねじ留め箇所）のうち 2 箇所に仮留めを行い、リアカバーの取り付け位置を固定してからねじの本締めを行う。ねじの本締め後、全ねじが正しく本締めされているかを確認するために、ねじの増し締めを行っている。基板のねじ留めでは、手順書記載通りの順番でねじ締めを行う。順番通りにねじ締めを行わなかった場合、ねじを取り外し、再度初めから順番通りにねじ締めを行う。ねじ締め後、本締め忘れ防止のために、増し締めを行う。そして、基板に全てねじがついているか目視で確認する。次に、フロントカバーの取付けでは、4 箇所仮留めを行い、フロントカバーの取り付け位置を調整しながら決める。フロントカバーの取り付け位置が決まった後にねじの本締めを行う。最後にスリムヘッドコねじとアースねじを取り付けて組立作業は完了となる。出荷前には、最終外観検査として、再度各カバーに傷、汚れがないか目視で確認する。現運用での全てのねじ締め作業は、手動ドライバで行い、太さが異なる 2 種類のドライバを使い分ける。また、各筐体パーツや部品は図 4.3.5-1 と図 4.3.5-2 に示すように、キット化されており、作業員自身がその工程に必要な部品を判断して取得している。ここで、取得部品や組立手順が分からない場合には、紙媒体にて当該型番の組立手順が記載された作業手順書から該当箇所の作業内容を確認して作業を実施している。

システム導入による作業内容の変化点について 4 点述べる。1 つ目の変化点は、各工程で行っている手動ドライバのねじ締め作業を電動ドライバに置き換えることである。但し、一部のねじ締め工程は現運用通り手動ドライバを使用する。ここで、電動ドライバによるねじ締めとプロジェクション・アッセンブリー・システムによる電動ドライバの使用有無の検知により、ねじが本締めされたか確認可能なため、システム導入後に増し締め作業および作業確認は不要となる。2 つ目の変化点は、各工程で使用する部品をシステムがナビゲーションする点である。また、工程ごとの作業指示注意点をきめ細かに指示・喚起することが可能となる。現運用では、多量にある作業指示書の中から必要なページを探す手間が省ける。3 つ目の変化点は、目視検査をナビゲーションする点である。これにより目視検査漏れをなくすことが可能となる。4 つ目の変化点は検査項目をシステムが自動化することである。基板のねじ有無検査でねじが無いことやカバーに傷があることを即座にシステムで検出することが可能となる。本検証では、検査としては、基板のねじ有無検査とトップカバーの傷有無検査のみを検証することとする。

表 4.3.5-1 組立作業及び外観検査の作業内容一覧

作業工程	作業手順	現運用内容	システム導入後運用内容	備考
六角スペーサの取付	トップカバーに六角スペーサを取付	トップカバーの裏面に六角スペーサを指でネジ留めする。	現運用通り	
リアカバーの取付	外観点検	トップカバー、リアカバーの傷、汚れ有無を目視で確認	現運用通り	
	トップカバーにリアカバーをねじ留め	リアカバーを仮留め後、本締めを行う	本締めを電動ドライバーで行う	M2.5ドライバー使用
	ねじの増し締め	本締め忘れ防止として、増し締めを行う	増し締め作業なし	M3ドライバーを使用
基板の取付	基板をねじ留め	基板をトップカバーにねじ留めする	電動ドライバーでねじ締めを行う	M3ドライバーを使用
	ねじの増し締め	本締め忘れ防止として、増し締めを行う	増し締め作業なし	M3ドライバーを使用
	目視検査	基板のねじ有無確認を行う	外観異常判定システムでねじ有無確認を行う	
フロントカバー/ゴム足の取付	外観点検	フロントカバーの傷、汚れ有無を目視で確認	現運用通り	
	フロントカバーをねじ留め	リアカバーにフロントカバーを仮留め後、本締めを行う	本締めを電動ドライバーで行う	M3ドライバーを使用
	ゴム足取付け	手動ドライバーでゴム足を取り付ける	電動ドライバーでねじ締めを行う	M2.5ドライバー使用
スリムヘッドコネジ、アースねじの取付	ねじ取付け	トップカバーにスリムヘッドコネジを、リアカバーにアースねじを取り付ける	現運用通り	スリムヘッドコネジは、M2.5ドライバー、アースねじは、M3ドライバーを使用
ラベル貼付	銘板ラベルの貼付	フロントカバーの所定位置に銘板ラベルを貼り付ける	現運用通り	
最終外観検査	トップカバー	出荷前の最終確認として、再度各カバーに傷、汚れの有無を確認する	外観異常判定システムで傷有無確認を行う	
	リアカバー		現運用通り	
	フロントカバー		現運用通り	

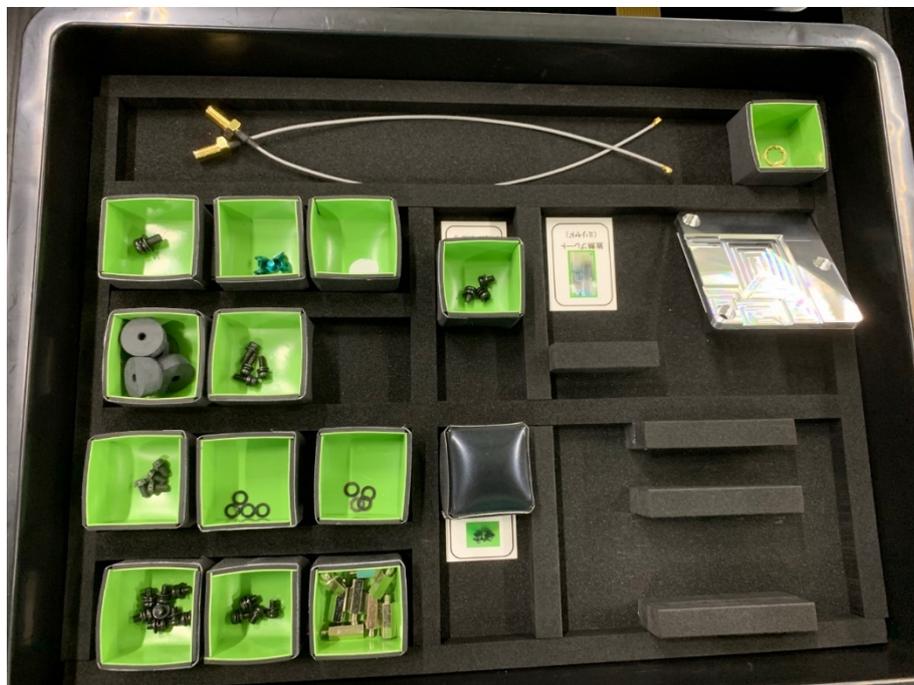


図 4.3.5-1 部品配膳キット

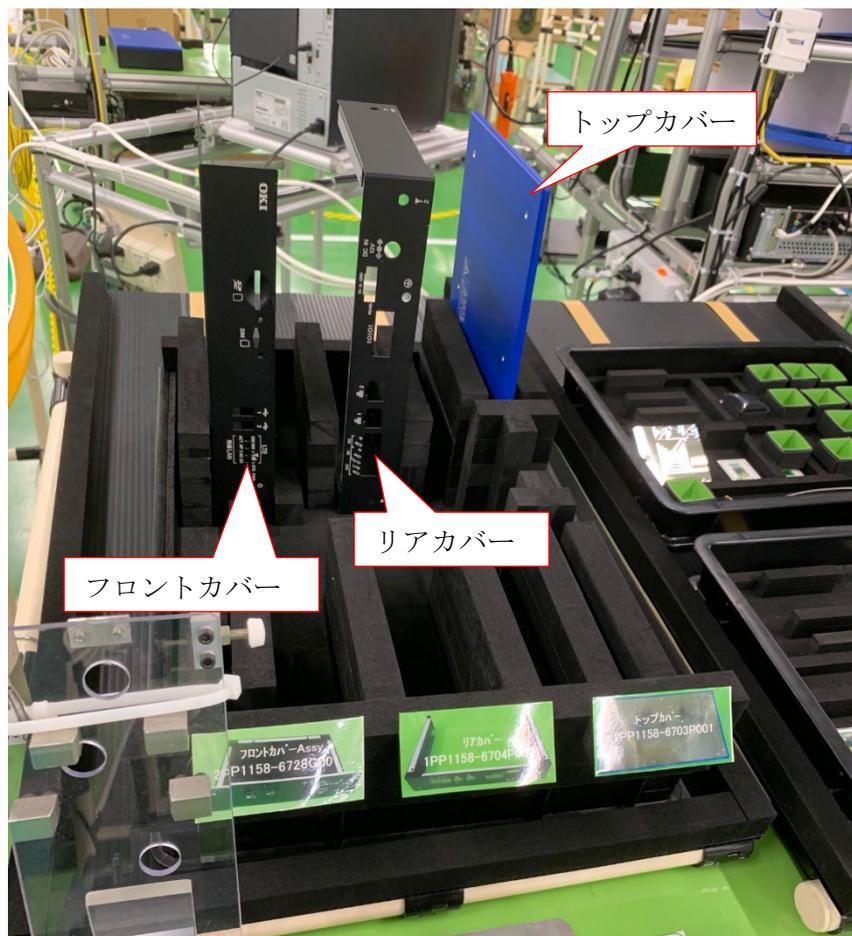


図 4.3.5-2 筐体パーツ部品

4.3.6. 予想される事故などの整理、解決策

本庄工場へ本項に関するヒアリングを行った結果を、4.6.4.項の(2)環境面・安全面に記載する。

4.4 課題解決システムに関する効果検証

本節では、課題解決システムについて定量的かつ定性的な面から、作業時間／作業ミス及びアンケート調査を行い検証・評価・分析を行う。

4.4.1. 検証項目

4.3 節に記述した課題解決システムを用いてシステム導入前（完全人手作業による製造）とシステム導入後（課題解決システムを用いた製造）の効果を測定するにあたり、「定量的」な面と、「定性的」な面で測定項目を設定した。

(1) 定量的な測定項目

以下のデータ測定を行い、課題解決システムの効果を評価する。

- ・ 作業時間測定：作業時間／組立・検査工程
- ・ 作業ミス（誤判断数）測定：工程飛ばし、目視確認時の判断ミス

(2) 定性的な測定項目

以下の観点で被験者へアンケート調査を行い、課題解決システムの効果を評価する。

- ・ 人手作業ミスの要因分析
- ・ 作業難易度の変化
- ・ 肉体的な負担軽減
- ・ 心理的な負担軽減
- ・ 管理面でのデータ活用

4.4.2. 検証方法

被験者は5名選定し、システム導入前の生産ラインとシステム導入後の検証環境で、各被験者に内製製品 A の製造を10回ずつ行ってもらった。システム導入前の生産ラインを図4.4.2-1、システム導入後の検証環境を図4.4.2-2に示す。被験者5名の内1名は、工場内で内製製品 A の製造を担当している熟練作業員である。残り4名は、内製製品 A の組立トレーニング実施後、製造工程に入る前段階である若年作業員である。



図 4.4.2-1 システム導入前の生産ライン



図 4.4.2-2 システム導入後の検証環境

データ測定を行う対象工程を図 4.4.2-3 に記載する。内製製品 A の組立工程では、六角スペーサの取付、リアカバーの取付、基板の取付／目視検査、フロントカバー／ゴム足の取付、スリムヘッドコネジ／アースねじの取付、ラベルの貼付といった一連の作業を行う。検査工程では、組立完了後のトップカバーを目視検査する。各作業内容は表 4.3.5-1 に記載する。

内製製品Aの組立工程・検査工程	課題解決システム適用有無	
組立工程	プロジェクション・アッセンブリー・システム	外観異常判定システム
六角スペーサの取付	○	-
リアカバーの取付	○	-
基板の取付/目視検査	○	○
フロントカバー/ゴム足の取付	○	-
スリムヘッドコネジ/アースねじの取付	○	-
ラベルの貼付	○	-
検査工程		
トップカバーの目視検査	○	○

図 4.4.2-3 データ測定の対象工程

システム導入前のデータ測定は、監視役を1名立てストップウォッチで作業時間を測定し、作業ミスは監視役が都度記録した。システム導入後のデータ測定は、システムログで作業時間を測定し、作業ミスは監視役が都度記録した。システム導入前とシステム導入後の製造の様子は、カメラで撮影し個々の作業時間の正確性を確認した。

4.4.3. 課題解決システムに対する効果目標

工場現場からヒアリングした効果目標を以下に記載する。

- ・ システムを導入することで、作業時間が短縮できる。
- ・ システムを導入することで、作業ミスの発生回数を減少することができる。
- ・ システムを導入することで、作業難易度／肉体的負担／心理的負担が軽減できる。

4.4.4. 検証結果と考察

(1) 作業時間測定結果

被験者 5 名から測定した内製製品 A の 1 台あたりの作業時間を図 4.4.4-1 に記載する。図内の縦軸は作業時間、横軸は各被験者を表しており、10 回分の作業時間の平均値を青色のグラフ（システム導入前）、橙色のグラフ（システム導入後）で示す。各グラフのエラーバーは、10 回測定した作業時間の最大値・最小値を示している。

各被験者の作業時間をシステム導入前後で比較した結果、システム導入前に比べてシステム導入後の作業時間は短縮された。被験者 5 名の平均で 1 台あたり 15.2%の削減効果が得られた。

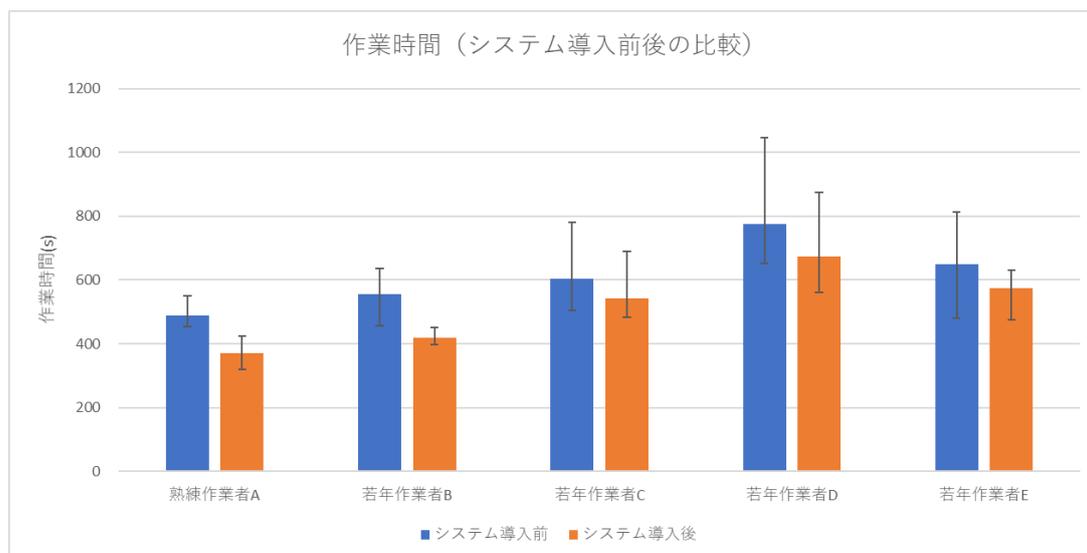


図 4.4.4-1 作業時間（システム導入前後の比較）

続いて各工程の作業時間の結果を表 4.4.4-1 に記載する。表内には、被験者 5 名のシステム導入前とシステム導入後の作業時間平均を記載する。

表 4.4.4-1 各工程の作業時間

作業工程	システム導入前	システム導入後
組立工程		
六角スペーサの取付	72(s)	72(s)
リアカバーの取付	94(s)	78(s)
基板の取付け	127(s)	82(s)
基板の目視検査	10(s)	2(s)
フロントカバー、ゴム足の取付	199(s)	143(s)
スリムヘッドコネジ、アースねじの取付	98(s)	96(s)
ラベルの取付	17(s)	22(s)
検査工程		
トップカバーの目視検査	5(s)	1(s)

システム導入前から作業時間が短縮された作業は、「リアカバーの取付」、「基板の取付」、「基板の目視検査」、「フロントカバー、ゴム足の取付」、「トップカバーの目視検査」であった。本作業の作業時間が短縮された要因は、システム導入前後の作業内容（表 4.3.5-1）とアンケート結果（4.4.4 項(3)）より、以下であると考えられる。

- ・ プロジェクション・アッセンブリー・システムにて作業指示書を作業台やモニターに投影することにより、作業指示書から都度作業手順を探し出し確認する手間がなくなった。
- ・ プロジェクション・アッセンブリー・システムにて電動ドライバによるトルク制御やねじ締め回数を管理することで、手動ドライバによるねじ締め作業の簡易化、ねじの増し締めの作業が不要となった。
- ・ 目視確認を自動化することで、「基板の目視検査」と「トップカバーの目視検査」における、作業指示書との照らし合わせや指差し確認の手間が省けた。

(2) 作業ミス測定結果

システム導入前後の作業ミス回数を図 4.4.4-2 に示す。

図内の縦軸は作業ミス回数、横軸は各被験者を表している。

各被験者の作業ミス回数をシステム導入前後で比較した結果、システム導入後はシステム導入前よりも作業ミス回数を削減することが出来た。

システム導入前とシステム導入後に測定された作業ミスの内容/回数の変化を記載する。

(表 4.4.4-2、表 4.4.4-3)

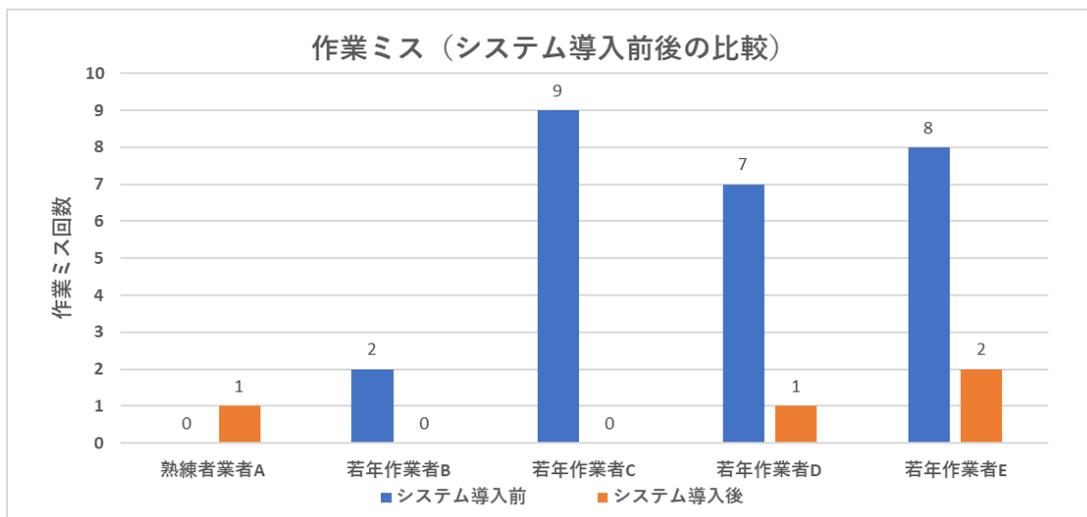


図 4.4.4-2 作業ミス (システム導入前後)

表 4.4.4-2 作業ミス (システム導入前)

No	作業工程	内容	回数
1	基板の目視検査	ねじ有無の確認行為忘れ	7
2	リアカバーの取付	ねじ仮留め忘れ	7
3	基板の取付	ねじ増締め忘れ	6
4	スリムヘッドコネジ、アースねじの取付	ドライバの間違い	2
5	基板の目視検査	ねじ有無の目視判断ミス	2
6	基板の取付	ねじ締め順番ミス	2

表 4.4.4-3 作業ミス (システム導入後)

No	作業工程	内容	回数
1	リアカバーの取付	ねじ仮留め忘れ ※システム側で工順飛ばしを検知	2
2	基板の取付	ねじ締め順番ミス	2

- ・ 作業ミス回数について

システム導入前は被験者 5 名の作業ミスが合計 26 回発生していたのに対して、システム導入後は作業ミスの合計が 4 回となった。

作業ミス回数を低減できた理由について記述する。「ねじ有無の確認行為忘れ」と「ねじ有無の目視判断ミス」は、プロジェクション・アッセンブリー・システムのナビゲーションに沿って、外観検査異常判定システムが基板の外観検査を自動的に行うため、作業ミスの発生リスクが低減できたと考える。また、「ねじ増し締め忘れ」は、プロジェクション・アッセンブリー・システムで電動ドライバによるねじ締めのトルク量と回数を管理してくれることから、工程から作業そのものをなくすことが出来た。そのため、仮留め状態で次工程に進むことはなくなった。

熟練作業員 A は、システム導入前の作業ミスが 0 回だったのに対して、システム導入後は作業ミスが 1 回発生した。作業ミスは「ねじ仮留め忘れ」で発生し、仮留めを行わずに電動ドライバによる本締めが行われた。システムにて作業指示は作業台に投影されていたが、注意不足により見落としが発生した。但し、本作業ミスはプロジェクション・アッセンブリー・システムが工順飛ばしを検知し、正しい手順に戻るよう誘導出来ているため、完成品に不良は生じていない。

- ・ 作業ミス内容の変化について

システム導入前では、「ねじ有無の確認行為忘れ」、「ねじ仮留め忘れ」、「ねじ増し締め忘れ」、「ドライバの間違い」、「ねじ有無の目視判断ミス」、「ねじ締め順番ミス」が発生した。本作業ミスの要因を被験者にヒアリングした結果、直接的な原因は被験者が検査指示書の読み取りを怠った点であった。本原因は被験者の集中力の欠如、悪い意味での慣れ、品質に対する意識の薄さによって起こったと考えられる。

一方システム導入後では、「ねじ仮留め忘れ」と「ねじ締め順番ミス」が発生した。「ねじ仮留め忘れ」に関しては、作業ミス回数で記載した考察の通り、プロジェクション・アッセンブリー・システムで工順飛ばしを検知できることから、不良は発生していない。

システム導入後でも発生しうる作業ミスは、「ドライバの間違い」、「ねじ締め順番ミス」の 2 つである。課題解決システムでは、全ての作業手順まで管理できないため、作業員の手順書確認不足に起因した作業ミスは検知できない。そのため、今後は骨格推定と行動認証（※）を用いた行為判定を機能追加することで、本作業ミスの発生リスクを低減する必要がある。

※映像より人の骨格情報と時系列情報を用いて、正しい作業行為と作業手順を予め学習し、実作業との差分を判定する機能。

(3) アンケート結果

本検証に協力してもらった被験者 5 名に対してアンケートを行い、作業難易度の変化／肉体的な負担軽減／心理的な負担軽減／管理面でのデータ活用に関して回答してもらった。各アンケート結果ともに熟練者と若年作業員で感じる違いは見られなかった。

- 作業難易度について

システム導入前後で内製製品 A の製造に伴い、作業難易度がどのように変化したかアンケートした結果、難易度が下がったと回答したのが 1 名、やや難易度が下がったと回答したのが 4 名であった（表 4.4.4-4）。

作業難易度が下がった要因を以下に記載する。

- システム導入前は作業指導書／作業メモで作業手順を確認しながら製造を実施していたが、システム導入後はプロジェクション・アッセンブリー・システムにより作業手順が表示されながら実施できるため、都度確認の必要がなくスムーズに製造を実施することが出来た。【熟練者業者 A、若年作業員 B、C、D、E】
- システム導入後はトップカバーの細かい傷まで検出する事ができるので、経験が少ない人でも作業ができると感じた。【若年作業員 B】

表 4.4.4-4 アンケート結果（作業難易度）

Q1. システム導入前後で作業難易度の変化はありましたか？				
<input type="checkbox"/> 1. 難易度が上がった	<input type="checkbox"/> 2. やや難易度が上がった	<input type="checkbox"/> 3. どちらともいえない	<input type="checkbox"/> 4. やや難易度が下がった	<input type="checkbox"/> 5. 難易度が下がった
-	-	-	4名	1名

- 肉体的な負担について

システム導入前後で内製製品 A の製造に伴い、肉体的負担がどのように変化したかアンケートした結果、やや負担が減ったと回答したのが 3 名、どちらともいえないと回答したのが 2 名であった（表 4.4.4-5）。

肉体的負担が減った要因を以下に記載する。

- 1 日中作業を実施することを想定すると電動ドライバの導入により肉体的な負担は低下した。また、電動ドライバの使用可否をプロジェクション・アッセンブリー・システムで制御できるため、ねじの増し締め工程が不要になり負担は低下した。【熟練作業員 A、若年作業員 B、C、E】

肉体的負担が増えた要因を以下に記載する。

- 外観検査時の照明が明るく、目の負担を感じた。【熟練作業員 A】
→ 検査エリアを暗幕で覆い、作業員の目に直接光が入らないように対策する。
- 導入前に比べてプロジェクション・アッセンブリー・システムの作業棚の高い位置に配置された部品を取り出す必要があるため負担が増えた。【若年作業員 B、E】
→ 工順に沿って高い位置にある部品を低い位置に変更できるように、作業棚を可動式に変更し対策する。

表 4.4.4-5 アンケート結果（肉体的負担）

Q2. システム導入前後で肉体的な負担軽減はありましたか？				
□1.負担が増えた	□2.やや負担が増えた	□3.どちらともいえない	□4.やや負担が減った	□5.負担が減った
-	-	2名	3名	-

・ 心理的な負担について

システム導入前後で内製製品 A の製造に伴い、心理的負担がどのように変化したかアンケートした結果、負担が減ったと回答したのが 2 名、やや負担が減ったと回答したのが 2 名、やや負担が増えたと回答したのが 1 名であった（表 4.4.4-6）。

心理的負担が減った要因を以下に記載する。

- ・ プロジェクション・アッセンブリー・システムで作業内容を投影してくれる事で作業ミスの発生が極端に減少するため、作業を実施する立場での心理的な負担は減った。
【熟練作業員 A、若年作業員 B、C、D、E】
- ・ 基板検査で、プロジェクション・アッセンブリー・システムでねじ締め確認と外観検査異常判定システムでねじ有無確認の両方がチェックされるため、筐体を閉じてからねじ締りをちゃんと実施したか不安になることがなくなった。
【若年作業員 C】

心理的負担が増えた要因を以下に記載する。

AI を用いた映像解析結果の信頼性に不安が残る。【若年作業員 D】

→AI に関する知識を深めてもらい、課題解決システムが人の目に代わって検査出来る事／出来ない事を理解してもらう。

表 4.4.4-6 アンケート結果（心理的負担）

Q3. システム導入前後で心理的な負担軽減はありましたか？				
□1.負担が増えた	□2.やや負担が増えた	□3.どちらともいえない	□4.やや負担が減った	□5.負担が減った
-	1名	-	2名	2名

・ 管理面でのデータ活用について

システムによって収集される作業実績（作業時間／作業ミス）や外観検査の判定結果（良品／不良品の結果、不良品の理由）が、管理面で活用できるかアンケートした結果、活用できると回答したのが 2 名、やや活用できる回答したのが 3 名であった（表 4.4.4-7）。

活用できる要因を以下に記載する。

- ・ 外観検査の判定結果に関しては、現在履歴を管理しておらず、各個人の感覚に依存していたものをデジタルに判断して結果を残せるのはよい。【若年作業員 C】
- ・ 各工程の作業時間を分析出来る事から、遅れが生じている工程を洗い出し改善に繋げる事ができると思う。【若年作業員 B、E】
- ・ 実際の作業状況の録画も残せるし、システムで判定した作業ログで作業別の傾向分析も行えることから、担当者別にクセによる作業効率の相関性の分析へも期待ができる。
【熟練作業員 A、若年作業員 D】

表 4.4.4-7 アンケート結果（管理面でのデータ活用）

Q4. システム（PAS/外観検査）によって収集されたデータは、管理面で活用いただけそうか？				
□1.活用できない	□2.あまり活用できない	□3.どちらともいえない	□4.やや活用できる	□5.活用できる
-	-	-	3名	2名

本検証結果より、課題解決システムを組立・検査工程に適用することで下記の効果が確認できた。

- 作業時間の短縮
 - ナビゲーション機能：工順に沿った作業をナビゲーションする。
 - 自動化：目視検査作業を自動化する。
- 作業ミスの低減
 - ナビゲーション機能：工順に沿った作業をナビゲーションする。
 - チェック機能：画像判定にて、作業完了／良否判定をチェックする。

課題解決システムにより、下記のような発生リスクを低減できると考える。

- 検査で不良が発覚した場合、リバーエンジニアリングにより全解体・修復が必要となり、手戻りコストが発生する。
- 製品の内部部品の不良検知は、カバー等の外装の組立が完了すると再検査が困難になるため、不良品の出荷の原因となる。
- 不良品を出荷してしまうと、リコールにより製品回収コストや解体・修復コスト、最悪の場合、損害賠償のような損害が発生する可能性がある。

(4) 異なる製造現場に対する比較検討

利用条件が異なる製造現場においても、本庄工場で得られた効果が見込めるかを確認するために、他工場へヒアリングを行った。ヒアリングした対象は、外観検査が多く行われている内製製品 B である。

内製製品 B の作業プロセスは、下記の通りである。

- ・ 完成品の対象部品（モジュール）を、取り揃える。（図 4.4.4-3：工程①）
- ・ 証跡を残すために、4つの角度から検査対象箇所の写真撮影を行う。（図 4.4.4-3：工程②）
- ・ 目視検査のチェック項目を作業台 PC へ表示する。（図 4.4.4-3：工程③）
- ・ 目視検査のチェック項目に沿って筐体とボードの目視外観検査を実施し、撮影した写真に不良箇所があればチェックを入れる。（図 4.4.4-3：工程④）
- ・ 撮影した写真を PC 上へ保存する。（図 4.4.4-3：工程⑤）

写真撮影は、作業者がデジタルカメラで実施することから、撮影ルールへ基準に満たしていない画像に対する取り直しや撮像画像に個人差が出てしまうという課題がある。また、目視外観検査では、不良の見落としや判定基準の捉え方に個人差が出てしまうという課題がある。

本作業工程に課題解決システムを適用した場合、以下の改善効果を見込めることを現場担当者より確認した。

- ・ 写真撮影は、外観検査で使用する固定カメラを用いて、同一撮像環境で撮影するため、ヒアリングした課題解決および作業時間の短縮が見込める。
- ・ チェック項目の表示は、システム側で該当製品のチェック項目を自動的に作業台/モニター上に表示するため作業時間の短縮が見込める。
- ・ 目視外観検査は、システム側で判定基準に沿って自動的に対象箇所の外観検査を行うため、ヒアリングした課題解決および作業時間の短縮が見込める。
- ・ フォルダ保存は、システム側で外観検査完了後に、結果をサーバ保存するため作業時間の短縮が見込める。

内製製品Bの外部検査工程	各作業における作業時間と課題	作業効果	
		現行	自動化後
①外観検査製品の準備	作業時間:5分 <課題> なし	5分	5分
②対象箇所の写真撮影	作業時間:15分/1台/1機種 <課題> ①撮影環境の変動による撮り直し発生 ②撮影画像が同一ではない	15分	1分
③対象製品のチェック項目を作業台PCへ表示	作業時間:5分 <課題> なし	5分	0分
④作業台にてチェック項目を元に、目視外観確認	検査項目: 方向確認、傷、汚れ、カスレ、剥がれ、印字相違 作業時間:15分/1台/1機種 <課題> ①見落とし発生(ボカミス) ②判定基準が一定ではない	15分	1分
⑤取得写真を対象フォルダへ保存	作業時間:5分/1台/1機種 <課題> なし	5分	0分

図 4.4.4-3 内製製品 B の作業工程および作業時間

他工場からのヒアリング結果より、目視検査に対する作業効率化を、以下の理由から実現できると考える。

- ・ 作業者毎の処理時間のばらつきがなくなる。
- ・ 判断基準を一定化できる。
- ・ 人手作業の省力化
 - 写真撮影／保存が自動化できる。

4.5 課題解決システムに関する機能検証

製造現場に求められる精度面、品質面、リアルタイム性の面、実装の柔軟性の面に対して検証・評価・分析を実施する。

4.5.1. 課題解決システムの機能説明

本項では、機能検証で使用する課題解決システムの機能について説明する。課題解決システムでは、主に、「プロジェクション・アッセンブリー・システム」、「外観検査異常判定システム」で構成され、映像伝送に関しては、「ローカル 5G ネットワーク」を使用する。

課題解決システムを使用した時のシステムで行う処理と現場作業の一連の流れを以下に記載する。

1. プロジェクション・アッセンブリー・システムにて、組立ナビゲーションを開始する。
2. 各工程の組付け作業において、各部品のピッキング場所や作業指示書などを表示することでナビゲーションを行う。
3. ナビゲーションを行う中で目視検査工程に着手した際は、プロジェクション・アッセンブリー・システムからエッジ端末に対して、検査対象製品の外観異常判定のリクエストを送信する。
4. エッジ端末は、プロジェクション・アッセンブリー・システムから外観異常判定リクエストを受信したら、IP カメラから受信している画像を取得する。ここで、IP カメラは、ローカル 5G ネットワークを通して常時エッジ端末に映像を伝送している。
5. エッジ端末は取得した画像から解析を行い、判定結果をプロジェクション・アッセンブリー・システムに送信する。(映像解析の詳細については、4.5.2 に後述する)
6. プロジェクション・アッセンブリー・システムは、受信した判定結果を判定結果画面にて表示する。
7. 組立作業完了後、製品の最終外観検査では、検査エリアに検査対象製品を設置する。
8. エッジ端末は、IP カメラから常時受信している映像を監視し、検査エリアに検査対象製品が設置されたことを検知する。
9. 検査対象製品の外観異常判定を行い、判定結果を作業台 PC に送信する。
10. 作業台 PC は、エッジ端末から受信した判定結果を判定結果画面にて表示する。

各工程にて、上記の一連の作業を実施するために必要なプロジェクション・アッセンブリー・システムと外観検査異常判定システムの機能について以下の表にまとめた。(表 4.5.1-1)

表 4.5.1-1 課題解決システム機能一覧

システム名	構成機器	機能	機能詳細
プロジェクション・アッセンブリー・システム	プロジェクション・アッセンブリー・システムPC	作業指示書表示	指定エリアに該当手順の指示書画像を投影
		注意表示	指定エリアに注意事項テキストを投影
		部品位置指示（緑矢印）	当手順で使用する部品の枠位置に緑矢印を投影
		手座標検知（部品取得検知）	手を入れた枠位置を検知して、正常なら次手順へ移行
		誤り検知(赤表示)	手を入れた枠位置を検知して、異常なら赤色投影でエラー表示
		手順キャンセル	手順を1つ前の手順へ移行
		作業完了（次作業検知）	指定エリアに手をかざしたことを検知し、当手順終了として次の手順へ移行
		外部IO連携	電動ドライバーなどの外部機器からのOK信号をトリガに、次の手順へ移行
外観異常判定システム	IPカメラ	映像データ送信	ローカル5Gネットワークなどを通してデータをエッジ端末に送信IPカメラに付随する機能を使用
		外部アプリ起動	各工程の任意のタイミングで外部アプリケーションを起動
	プロジェクション・アッセンブリー・システム/作業台PC	外観異常判定呼び出し	HTTPリクエストにより、エッジ端末の外観異常判定処理を呼び出し
		判定結果表示	エッジ端末から受信した判定結果を画面に表示
	エッジ端末	画像前処理	IPカメラから送信されるデータの解析前処理
		映像監視	IPカメラから送信されるデータを監視して、外観異常判定を行う条件を満たした場合に処理を起動
		外観異常判定	指定されたモデルに従い映像解析を行い、外観異常判定を実施
		判定結果送信	映像解析した判定結果をプロジェクション・アッセンブリー・システム/作業台PCに送信

4.5.2. 映像解析方法

本項では、映像解析の一連の流れについて述べる。

初めに、エッジ端末が映像解析を開始する方法として、以下に記載する 2 通りの方法がある。

1.外部から HTTP リクエストをエッジ端末で受信することで映像解析を開始する方法。

本システムでは、プロジェクション・アッセンブリー・システムから任意のタイミングで HTTP リクエストをエッジ端末に送信することで、映像解析が開始される。

ねじの有無検査はこの方式を利用した。

2.エッジ端末がカメラの映像を定期的に監視して、検査対象物が所定の検査エリアに設置されたこと検知して映像解析を開始する方法。

本システムでは、内製製品 A が所定の検査エリアに設置されると、映像解析が開始される。

トップカバーの傷有無検査はこの方式を利用した。

次に、解析開始指示を受けたエッジ端末は、入力された画像から解析を行う。

今回検証する基板のねじ有無検査とトップカバーの傷有無検査の映像解析では、事前に NG と判定される特徴を定義して外観異常判定を行うルールベースを使用する。

・基板のねじ有無検査の解析方法

画像上のねじ締付位置の色とサイズの違いを利用して、ねじの有無を解析させる。

ねじ穴（濃い黒、小）とねじ頭（薄い黒、大）

解析は以下の流れで処理を実施

- ① 取得画像からねじ締付エリアを指定
- ② 画像全体を二値化処理
- ③ エリア指定した箇所の輝度値を測定

- ④ 測定した輝度値を事前に設定した輝度値と比較
 - ⑤ ねじ穴の輝度値の違いが出る箇所の面積を測定し、ねじ穴かねじ頭と判断
- 基板にねじがついていない場合の特徴として、ねじ穴は影のように限りなく黒（低い輝度値）に近い色になるので、画像上のねじ穴の輝度値の範囲を予め指定しておく。
- 基板のねじ有無検査では、初めにねじの位置を特定して、特定した位置の輝度値を測定し、ねじ穴の輝度値の範囲内の箇所に注目する。
- 更に、ねじがついていない場合のもう一つの特徴として、ねじ穴とねじ頭のサイズに違いがある。黒色部分のサイズを画素数単位で指定することにより、ねじ有無箇所の判定精度を向上させている。

トップカバーの傷有無検査の解析方法

今回対象とした製品のカバーは青色塗装されているため、傷がつくと塗装が剥がれて塗装前の素材（白色）が表面に現れる。

トップカバーの表面（青色）と傷（白色）がついた時の輝度値の変化を利用して解析を行う。

解析は以下の流れで処理を実施

- ① 画像全体を二値化処理
- ② 二値化した画像の輝度値を測定
- ③ 測定した輝度値を事前に設定した輝度値と比較して白色部分を抽出
- ④ 白色部分の画素単位で面積値を算出
- ⑤ その面積値が一定の閾値範囲を超えた場合は、傷と判断

予め傷の白色の輝度値の範囲を設定しておき、トップカバーの青い面の箇所に、白い部分がある箇所を抽出する。

その箇所の品質基準を元に、面積を画素数単位で閾値設定を行う。

その閾値を超えた場合にその箇所を傷があると判定する。

最後に、映像解析が終了すると、その解析結果の詳細ファイルと判定結果画像をプロジェクト・アセンブリ・システムまたは検査用 PC に送信する。

作業者はその画面を確認し、次工程へ移行可能かどうかの判断を行う。

NG 判定が出た場合は、その後の作業方法をプロジェクトアセンブリで指示したり、管理者を呼ぶ等の工程の運用に合わせた設定も可能となる。

4.5.3. 検証項目

機能検証では、製造現場に求められる精度、品質、リアルタイム性、実装の柔軟性の観点で検証する。各観点での詳細な検証項目を下記に記載する。また、本検証では、ローカル 5 G ネットワーク帯域（およそ 100Mbps）での画像データ転送の実力値の可能性を確認する為に、IP カメラの解像度を 5472×3648、4104×2736、2736×1824、1368×912 の 4 パターンを検証する。

解像度を小さくするメリットとしては、エッジ端末に送信する情報量を削減できるため、ネットワークに必要な帯域幅が狭くなる。一方、デメリットとしては、検査画像の情報量が削減され画質が粗くなるため、AI 画像解析の精度が落ちる可能性がある。

将来的な運用を考慮すると、ネットワーク帯域を十分に確保できない環境で外観検査異常判定システムを運用することも想定される。そのため、今回の検証では、4つの解像度で下記のそれぞれの検証を行い、解像度の変化に対する映像伝送に必要なローカル5Gネットワーク帯域とAI画像解析の精度の相関関係を確認する。

－精度

精度面における機能検証では、事前に用意した不良品のAI画像解析を行い、その検査結果から解析精度を確認する。

－品質

品質面における機能検証では、今回の検証で設定した検知精度は、現場のヒアリングを元に下記の基準を設けて、それに対して実際の検知精度がどれだけ満たしているか検証する。

基板の検査では、以下の基準を満たせなかった場合、品質を確保できていないものとする。

トップカバーの検査では、以下の基準の傷は、不良品（NG判定）の傷として検知する。

・基板のねじ有無検査

→ねじが無い箇所を全て検知する事

→ねじが有る箇所をねじ無しと判断しない（誤検知なし）

・トップカバーの傷有無検査

→傷の幅が0.1mmを超えて、 $\Phi 0.6\text{mm}$ （ $\approx 0.3\text{mm}^2$ ）超えの傷

→傷の長さ20mm以上の傷

－リアルタイム性

リアルタイム性における機能検証では、外観検査のリクエストを出してから画面に結果が出力されるまでのシステム応答時間を測定する。

その応答時間が現行の目視検査時間より短縮されているかどうかを検証する。

現場の管理者へのヒアリングから、実際の目視検査作業の作業時間は、基板のねじ有無検査は「10秒」、カバーの傷有無検査は「5秒」となっている。

システム応答時間は、この数値以下となる事を目標とする。

また、リアルタイム性の検証では、CPUのスペックに対する解析速度の影響度を検証するために、エッジ端末として、2種類用意し比較検証も行う。2種類のスペックを比較したものを表4.5.3-1に示す。

表 4.5.3-1 エッジ端末の比較

	エッジ端末A	エッジ端末B
CPU	Intel Atom® x7-E3950 プロセッサ	Core i5-6440EQ プロセッサ
コア数	4コア	4コア
動作周波数	1.6GHz	2.7GHz
メモリ	DDR3L 4GB	DDR4 8GB

－実装の柔軟性

ネットワーク環境と現場の解析精度や処理速度に応じて柔軟に環境構築可能か検証するために、映像伝送に必要なネットワーク帯域と映像解析の精度の相関関係について考察する。

さらに、工程内で要求される解析応答時間（処理速度）により、柔軟にエッジ端末が選定可能か考察する。

－将来機能拡張

機能拡張性については、運用面の定性的な観点での検討も必要な為、運用検証の節にて考察する。

4.5.4. 検証方法

4.5.3 項で述べた各観点における検証項目の検証方法について下記に記載する。

ー精度

・基板のねじ締め状態検査

11箇所の内2箇所ねじを外した状態で検査する。検査回数は10回とし、何回正常（ねじが無い箇所をねじが無いと判断できた）に検査できたか確認する。（図 4.5.4-1）

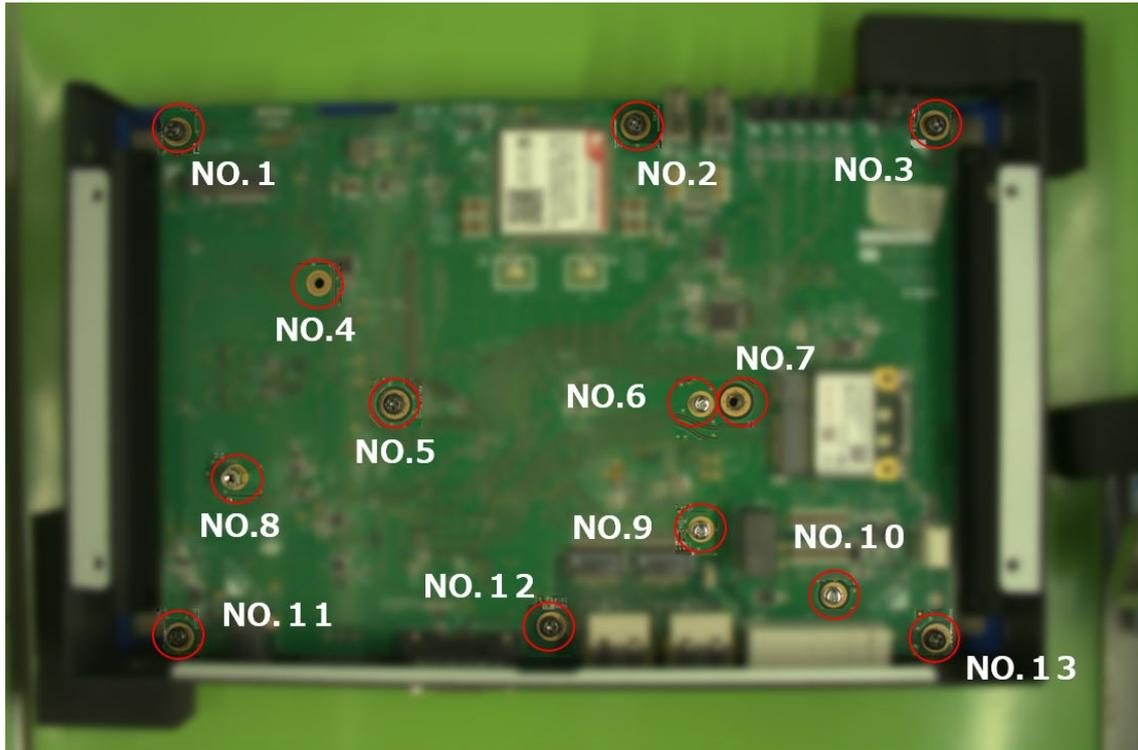


図 4.5.4-1 基板のねじ締め状態

・トップカバーの傷有無検査

12箇所傷がついた状態で検査する。検査回数は、基板の検査同様に10回とし、何箇所傷を検知できたか確認する。（図 4.5.4-2）

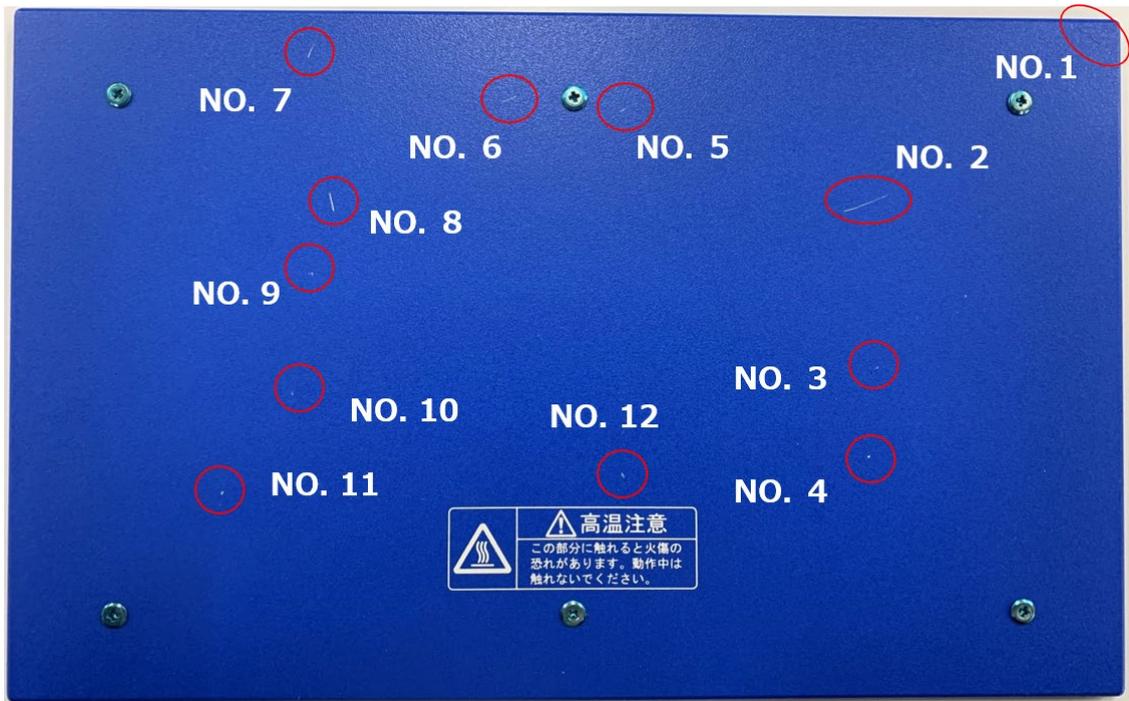


図 4.5.4-2 トップカバーの傷状態

－品質

・基板のねじ締め状態検査

図 4.5.4-1 の基板に取り付けられているねじのうち、No5 と No7 の 2 箇所のねじ無しを検知対象として、検知状況を確認する。

・トップカバーの傷有無検査

図 4.5.4-2 のトップカバーについての傷のうち、4.5.3 項で設定した判定の基準上 NG と検知すべき傷は 7 個 (2,5,6,7,8,11,12) である。今回はこの 7 個の傷を検証の対象として検知状況を確認する。

－リアルタイム性

基板、トップカバーのシステム応答時間の測定方法としては、外観異常判定の各処理に要する時間をログから解析して算出する。測定回数は 10 回で、そのうちの最大値と最小値を切り捨てた 8 回の測定時間の平均をシステム応答時間とする。そして、算出したシステム応答時間と実際の目視検査時間を比較する。

－実装の柔軟性

精度、品質、リアルタイム性の観点での検証結果から、設定した検証項目に対して考察する。

－将来機能拡張性

機能拡張性については、運用面の定性的な観点での検討も必要な為、運用検証の節にて考察する。

4.5.5. 検証結果と考察

4.5.3 項で述べた精度、品質、リアルタイム性、実装の柔軟性、それぞれの検証項目に対する結果と考察を以下に記載する。また、機能検証における検証結果を以下の表にまとめた。(表 4.5.5-1)

基板、トップカバーそれぞれの検査に対する解像度ごとの必要帯域、システム応答時間、判定結果をまとめた。

表 4.5.5-1 検証結果

検査項目	カメラ解像度パターン		システム応答時間 (秒)	ローカル5G伝送可否	判定結果
	解像度	必要帯域 (Mbps)			
1 基板のねじ有無検査	5472×3648	500~800	2.9 (エッジ端末A)	×	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
			1.0 (エッジ端末B)		
	4104×2736	200~450	2.8 (エッジ端末A)	×	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
			1.0 (エッジ端末B)		
	2736×1824	90~200	2.0 (エッジ端末A)	○	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
			1.0 (エッジ端末B)		
	1368×912	20~60	1.7 (エッジ端末A)	○	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
			1.0 (エッジ端末B)		
2 トップカバーの傷有無検査	5472×3648	500~800	3.6 (エッジ端末A)	×	全体：10/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷：7/7
			1.9 (エッジ端末B)		
	4104×2736	200~450	3.4 (エッジ端末A)	×	全体：10/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷：7/7
			1.6 (エッジ端末B)		
	2736×1824	90~200	1.0 (エッジ端末A)	○	全体：9/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷：6/7
			1.0 (エッジ端末B)		
	1368×912	20~60	1.0 (エッジ端末A)	○	全体：6/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷：5/7
			0.9 (エッジ端末B)		

一精度

- ・ローカル5Gでの映像転送の制限

現状のローカル5Gネットワークの帯域制限は、およそ100Mbpsとなっている。

映像データをローカル5Gネットワークに流す事を考慮すると、解像度は2736×1824が限界となっている。

より微細な事象を映像解析で捉えようとする高解像度の画像にて解析を実施する必要があると考える。

高解像度画像での解析が必要となる場合のネットワーク構成については、「実装の柔軟性」にて考察する。

下記に、解像度と解析精度の相関について結果を記す。

ローカル5Gネットワークに流せない高解像度の映像データについては、ローカル5Gネットワークから切り離し、有線LANで検証実施した。

・基板のねじ有無検査における判定結果

全ての解像度でねじが無い箇所を正常に検知できていることが分かる。

今回の基板の検査では、ねじ穴は4mmであった為、低解像度での映像解析でも十分なサイズとなり、正確に検知可能となったことが考えられる。

検知させたいねじ/ねじ穴のサイズが微小になっていくと、カメラ選定時の解像度を考慮する必要が出てくると考えられる。

・トップカバーの傷有無検知における判定結果

解像度が小さくなるに従い、検知できる傷の数が減少していることが分かる。

これは、解像度の低下により、画質が粗くなるため、傷が小さくなるにつれて検知が困難になることが考えられる。

今回の判定の基準でいうと、解像度が5472×3648と4104×2736の時は、判定の基準上NGと検知させるべき傷はすべて検知できているため、最低でも4104×2736の解像度のカメラを選定する必要があると判断できる。

さらに解像度を落とすと、NGと判定すべき傷は、2736×1824で1つ、1368×912で2つを検知漏れしている。

両解像度で検知できなくなったのは、NO.5の傷である。

「5」の傷は、判定の基準と同レベルのサイズの傷である。

図4.5.5-4のように、人の目で見ても画像のぼやけが確認できるレベルとなっており、解析画像の画質が粗くなる事から、微細な傷が鮮明に映らず、検知できなくなる。

解像度を下げていくにつれて、判定の基準の当落線上の傷から順次検知漏れを起こすようになっていく。

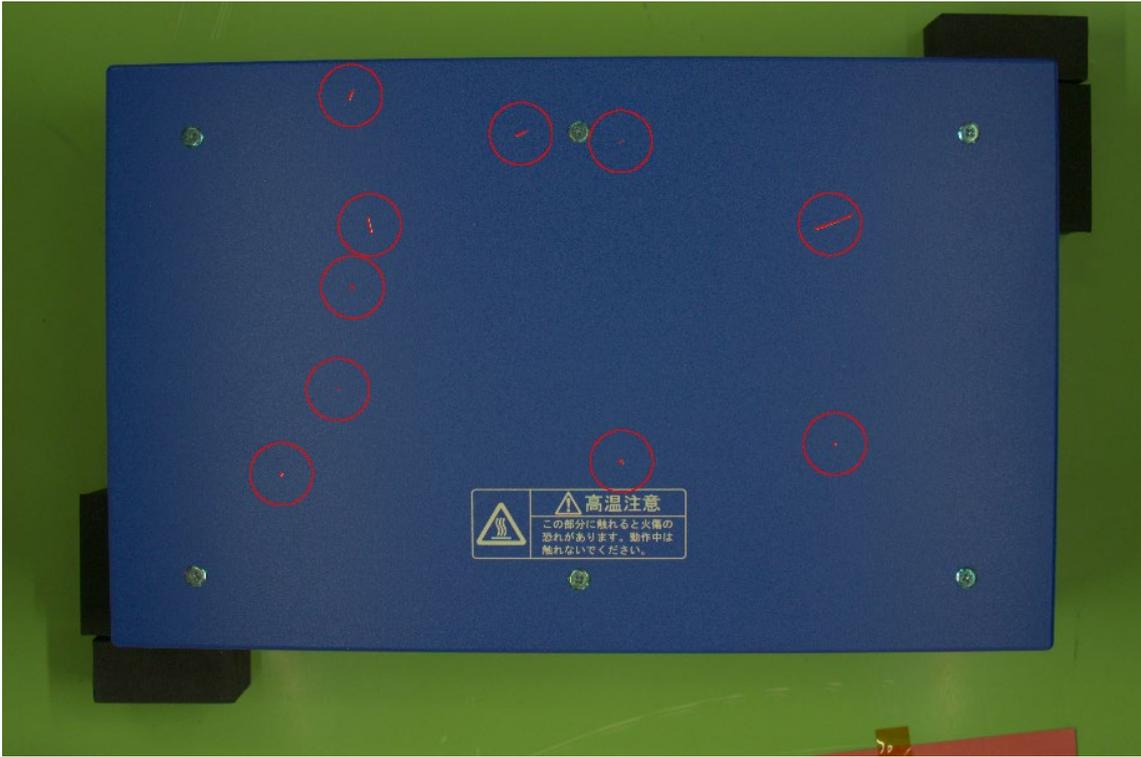


図 4.5.5-1 トップカバーの傷検知 (5472×3648)



図 4.5.5-2 トップカバーの傷検知 (4104×2736)

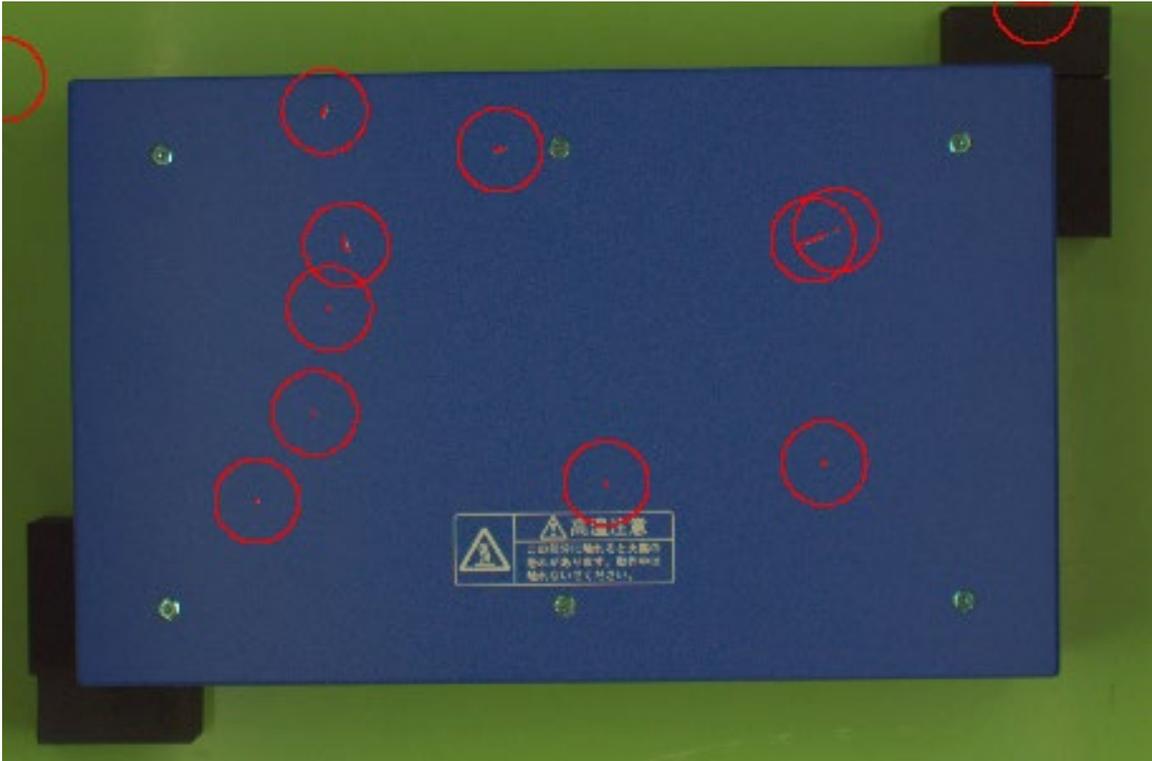


図 4.5.5-3 トップカバーの傷検知 (2736×1824)

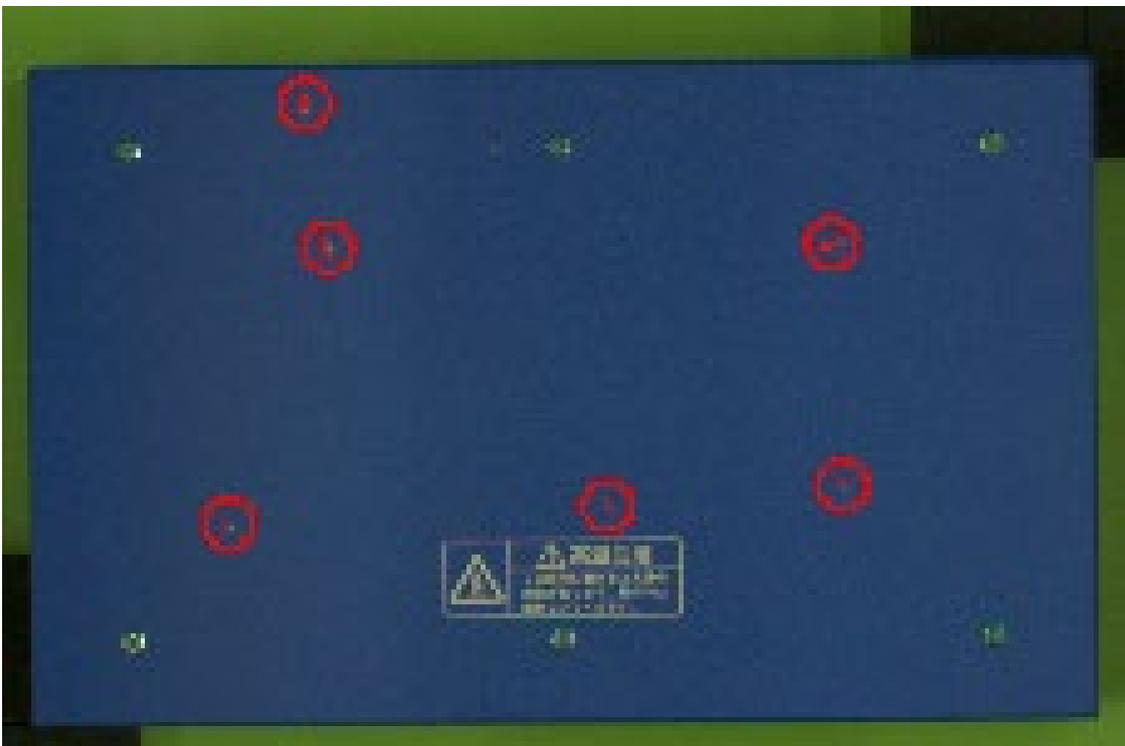


図 4.5.5-4 トップカバーの傷検知 (1368×912)

一品質

・基板のねじ有無検知における判定結果

基板の判定結果から、全てでねじが無い箇所を判断できているため、品質面の評価としては、問題ないと考えられる。また、解像度を低くした場合でも、ねじが無い箇所を判断できているため、低解像度でもねじ有無の検査は品質面に関して問題ないと考えられる。

・トップカバーの傷有無検知における判定結果

トップカバーの判定結果から、解像度が 5472×3648 と 4104×2736 のとき、品質の判定の基準上で、NG 判定とすべき傷は全て検知できた。

したがって、解像度が 5472×3648 と 4104×2736 の場合、今回対象とした製品の判定基準に対しては、問題ないレベルと考えられる。

ただ、解像度を小さくした場合は、品質判断に近いサイズの微小な傷は検知漏れを起こしている。さらに解像度を落としていくにつれ、検知すべき傷の検知率も低下している。

以上から、システムの品質向上の為には、検知したい対象の特徴やサイズに応じて、カメラ選定（解像度設計）を行う事の重要性を確認できた。

検証範囲外としていた判定の基準上にはない傷（1,3,4,9,10）の中で気になる事があった。

傷サイズが極小（人の目で確認するのが困難）、傷のつけ方が薄い（塗装剥がれがなく、白色が出てこない）ような傷の検知状況の確認を行った。

検知は難しいと思われる基準外の傷については、検知していない場合と検知できている場合とバラつきがあった。

特徴的なのは「3」の傷であるが、これは、傷が小さくかつ、色も他の傷と比べると薄い傷として設定した。こちらは、撮像環境の輝度の変化等の外乱影響により、学習モデルのプログラム上で設定している事前設定した RGB 値の白色の範囲基準を満たせない時もあり、検知にバラつきが出ていると思われる。

今回学習モデルには、撮像環境の照度レベルのパラメータを持たせているが、微細な照度環境の変化に追従する自動チューニング機能の実装が課題となると考える。

ーリアルタイム性

・解像度の違いによるレスポンス時間

2種類のエッジ端末に共通している点としては、解像度が低くなるに伴いシステム応答時間が短くなっていることである。これは、解像度が低くなるに伴い、映像解析に利用する情報（画素）が削減されるためである。

解析対象の品質面と合わせて、実作業の効率面であるのリアルタイム性の観点の両面から、適切なカメラ選定（解像度設計）を行う必要がある事が確認できた。

・基板検査、トップカバーの検査のシステム応答時間の作業効率の観点

実際の目視検査時の作業目安時間が、基盤検査が「10 秒」、トップカバー検査が「5 秒」であるが、両エッジ端末ともにシステムのレスポンス時間が各々の目視検査時間の半分以上で完了している事から、作業効率面で十分に導入効果があると考えられる。

- ・エッジ端末の性能による違い

2種類のエッジ端末による、基板、トップカバーの検査それぞれのレスポンス時間を比較すると、基板、トップカバーどちらの場合も高性能のエッジ端末の方のレスポンス時間が約半分程度早くなっていることが分かる。

したがって、映像解析のレスポンス時間は端末の性能に依存し、高精細画像を利用した映像解析が必要となる工程において、高速なレスポンス時間が求められる場合には、高性能なCPUで映像解析を行う必要がある。

—実装の柔軟性

- ・カメラの選定について

高解像度のカメラを選定する事で、より微細な事象を捉える事が可能となる。

求められる精度に応じて、カメラを選定し、その解像度を元に学習モデルを生成する事になる。

そのため、学習モデル生成する前に、現場視察/業務要件ヒアリング/解析対象分析を事前に実施した上で、カメラ性能の設計を行う必要が出てくる。

- ・ネットワーク帯域の制限について

解像度の違いにより、映像解析精度・システム応答時間とネットワーク帯域にはトレードオフの関係がある。したがって、ネットワーク環境と解析対象の求める精度や処理時間に応じて柔軟にカメラ選定（解像度設計）を行う必要がある。

どうしてもネットワーク帯域が確保できない場合は、よりデバイス(カメラ)に近い所でエッジ処理（映像解析）を行う事により、ネットワーク帯域を有効活用する事が出来る。

基幹NWやローカル5Gネットワークには、解析結果のみ伝送させる事になり、ネットワーク帯域を節約させることになる。

その結果、ローカル5Gネットワーク配下のエッジ領域にて映像解析デバイス（カメラ+エッジ端末）を大量につなげる構成を実現できる。

また、サーバで映像解析するのではなく、エッジ領域で映像解析を行う為、サーバ側の処理は、解析結果のデータベースとしての機能だけでよく、処理負荷を軽減することも可能となる。

その構成での課題としては、エッジ領域に設置する端末が増える事で、現場の物理的な設置/配線等の制約が出てくる可能性がある。工場の工程現場は、劣悪環境（帯電/粉塵等、狭小、設置スペースがない等）な場合がある為、適切な端末選定/環境整備が必要となる。更には、端末増加により、端末の死活監視のような運用管理面での負担が増える。集中監視システムと連携し、エッジ領域での端末動作状況を監視する事は有効と考える。

- ・エッジ端末の選定について

要求するシステム応答時間に応じて、映像解析を行うエッジ端末を柔軟に選定する必要がある。今回の機能検証では、実際の目視検査作業時間を目安として「10秒以下」、トップカバーの検査で「5秒以下」と目標設定したが、実際に要求されるシステム応答時間は、工

場ごとや製造工程ごとに異なる。より短い処理時間を要求される現場では高性能なエッジ端末を選定する事で要件を満たす事が出来る。

端末のスペックで映像解析速度が変化することから、映像解析を適用する製造工程や費用対効果などに応じて柔軟に機器選定を行う事が出来る。

一将来機能拡張性

効果検証/機能検証/運用検証の結果をふまえて、運用検証の節にて記載する。

4.6 課題解決システムに関する運用検証

「使い勝手」、「環境面・安全面」、「維持メンテナンス」の観点で、かつ、製造現場の作業員目線で運用項目を設定する。それぞれの項目に対して、検証・評価・分析を実施する。

4.6.1. 運用作業一覧とその説明

実運用を想定した場合の課題解決システムの運用作業を以下に記載する。想定される運用作業としては、「システムの起動/終了」、「初期設定」、「定期メンテナンス」、「障害対応」が考えられる。

■日々のシステムの起動/終了

■初期設定

- ・ 検査対象物に対するカメラの高さ/位置/角度の調整
- ・ 検査対象物に対する照明の照度や向き/角度の調整
- ・ モデルのパラメータ調整

■定期メンテナンス

- ・ 精度確認
 - 検査対象物に対するカメラの高さ/位置/角度の再調整
 - 検査対象物に対する照明の照度や向き/角度の再調整
 - モデルのパラメータ再調整

■障害（システム停止時、ネットワークにつながらないなど）対応

- ・ 熟練作業員が代行して、目視検査する

初期設定では、外観検査を行うための撮像環境及びモデルの構築を行う。具体的には、設置したカメラ、照明を使用して、実際に検査対象物の画像を取得して、モデルのパラメータ調整を行う。モデルのパラメータ調整では、4.5.1 項で述べた輝度値や面積などのパラメータを調整する。

撮像環境の変化で解析精度が低下することが考えられるため、定期メンテナンスで解析精度を確認する必要がある。撮像環境の変化としては、カメラや照明に人が接触することによる位置ずれ、レイアウト変更による外乱影響の変化が考えられる。そこで、解析精度が低下した場合には、カメラや照明の位置の再調整や撮像環境に合わせたモデルのパラメータの再調整が必要となる。

障害対応では、システム停止時やネットワークにつながらない場合でも、業務が停止しないように、熟練作業員がすぐにサポートに入れる体制を構築する必要がある。

4.6.2. 検証項目

運用検証では、「使い勝手」、「環境面・安全面」、「維持メンテナンス」のそれぞれの

観点で以下の検証項目を設定し、本庄工場にヒアリングを行う。

(1) 使い勝手

実際の製造現場に課題解決システムを適用した場合に、従来と同等以上の業務遂行が可能か、または、従来と同等以上の業務遂行するために必要な改善点を検証する。具体的には、下記の項目に対してヒアリングを行う。

- ・日々の課題解決システムの起動（立上げ）、業務終了後のシステム終了（立下げ）操作に運用上の問題がないか。
- ・作業者にとって理解しやすい UI（ユーザーインターフェース）・操作性が提供できているか、または本庄工場に導入している他システムで UI・操作性が工夫している点はあるかどうか。
- ・システムの応答時間は、現行の目視検査時間よりも短くなっており、作業効率が向上しているか。
- ・撮像環境の変化（カメラや照明の位置がずれるなど）があった場合に、一定の解析精度を保つためにシステムのチューニングが必要になるときがあるが運用上の問題はないか。
- ・外観検査のオペレーション作業に不便な点はなかったか。
- ・作業の手戻りを未然に防止できるようにすることで工数削減につながるか。

(2) 環境面・安全面

課題解決システムを工場に新規に持ちこむ、あるいは移設する場合において、当該システムの設置・据付調整に問題がないことを検証する。また、システムを使用する上で現場作業に支障がでないか検証する。具体的には、下記の項目に対してヒアリングを行う。

- ・工場の一角にシステム設置・移設するにあたり、特別な環境配慮が必要ないかどうか。
- ・工場の一角にシステム設置・移設するにあたり、安全面での配慮・考慮事項が必要ないかどうか。
- ・システムの設置・移設に伴う周囲の製造ラインへの影響など、工場内のその他エリアを圧迫していないかどうか。
- ・検査画像を撮影するときに、照明が点灯することにより、業務に支障がでないか。

(3) 維持メンテナンス

課題解決システムを日常的に活用していくにあたり必要となる維持メンテナンスに関する運用作業に問題がないことを検証する。具体的には、下記の項目に対してヒアリングを行う。

- ・定常的な運用で、業務開始前にシステムのメンテナンス時間を設けることで作業者に負荷が生じるなど運用上の問題がないかどうか。
- ・障害時の対応など、非定常的な運用事項に関して、作業者にとって新たに生じる負荷など運用上の問題がないかどうか。
- ・レイアウト変更で撮像環境の変化により、モデルのチューニングが必要になった場合、新たに IT 管理者やシステム保全者などの体制強化やスキル強化が必要ないか。

4.6.3. 検証方法

本庄工場の方に 4.6.2 項で設定した検証項目に対するヒアリングを行う。ヒアリング対象者として、現場作業員、システム保全責任者、運用責任者の方々に協力いただいた。

4.6.4. 検証結果

4.6.2 項で述べた使い勝手、環境面・安全面、維持メンテナンスそれぞれの検証項目に対するヒアリング結果を以下に記載する。

(1) 使い勝手

- ・ 課題解決システムの起動、業務終了後のシステム終了操作に運用上の問題がないか。
(ヒアリング項目)
→システムの起動・終了に関しては、現場作業員でも起動・終了ができるように、システムの自動起動や GUI などによる起動が望ましい。理由としては、IT スキルが乏しい現場作業員でもシステムの起動終了が簡単にできる必要があるため。(ヒアリング結果)

- ・ 作業員にとって理解しやすい UI (ユーザーインターフェース)・操作性が提供できているか、または本庄工場に導入している他システムで UI・操作性が工夫している点はあるかどうか。(ヒアリング項目)
→工場に導入している他システムで UI や操作性で工夫している点として、検査プログラムで NG が出力されると画面がロックされ、次の作業に進めない仕様になっている。これは、検査で NG が出力された製品を出荷できないようにするためである。(ヒアリング結果)

- ・ システムの応答時間は、現行の目視検査時間よりも短くなっており、作業効率が向上しているか。(ヒアリング項目)
→基板、カバーともにシステム応答時間は問題ない。今回の検証で測定したシステム応答時間と若年作業員の目視検査時間を比較すると、システム応答時間の方が早い。(ヒアリング結果)

- ・ 撮像環境の変化 (カメラや照明の位置がずれるなど)があった場合に、一定の解析精度を保つためにシステムのチューニングが必要になるときがあるが運用上の問題はなにか。(ヒアリング項目)
→問題ない。定常的な運用で業務開始前にシステムが正常に動作しているか確認できる運用ルールを構築する必要があると考えている。カメラ、照明機器のずれや生産ライン変更による撮像環境の変化などで、常に外観検査の判定結果が正しい結果か分からないため。(ヒアリング結果)

- ・ 外観検査のオペレーション作業に不便な点はなかったか。
→不便な点はなかった。外観検査の開始指示は、作業台に検査対象物を置く事でシス

テム側が自動的に設置を検知し、検査を開始~結果をモニター上に表示してくれるため使いやすいつと感じた。

(2) 環境面・安全面

- ・ 工場の一角にシステム設置・移設するにあたり、特別な環境配慮が必要ないかどうか。(ヒアリング項目)
→特別な環境への配慮は必要ない。(ヒアリング結果)
- ・ 工場の一角にシステム設置・移設するにあたり、安全面での配慮・考慮事項が必要ないかどうか。(ヒアリング項目)
→プロジェクト・アッセンブリー・システムのプロジェクトが地震などで落下しないように考慮する必要がある。他には特に安全面で考慮することはない。(ヒアリング結果)
- ・ システムの設置・移設に伴う周囲の製造ラインへの影響など、工場内のその他エリアを圧迫していないかどうか。(ヒアリング項目)
→現行の作業エリアと同程度のサイズのため、置き換えても影響はない。(ヒアリング結果)
- ・ 検査画像を撮影するときに、照明が点灯することにより、業務に支障がでないか。(ヒアリング項目)
→現場作業者の声で照明の光がまぶしいという声があった。照明の光を直接目視してしまうことにより、次の作業に支障がでる可能性もある。また、他工程の現場作業者の目に照明の光が入ることも考えられる。(ヒアリング結果)

(3) 維持メンテナンス

- ・ 定常的な運用で、業務開始前にシステムのメンテナンス時間を設けることで作業者に負荷が生じるなど運用上の問題がないかどうか。(ヒアリング項目)
→工場に導入している他システムでも業務開始前のメンテナンス時間は設けているため、問題ない。業務が開始される前にシステムが正常に動作しているか確認することが重要である。(ヒアリング結果)
- ・ 障害時の対応など、非定常的な運用事項に関して、作業者にとって新たに生じる負荷など運用上の問題がないかどうか。(ヒアリング項目)
→障害時にシステムが停止しても、熟練作業者が代行して目視検査するので、運用上問題ない。(ヒアリング結果)
- ・ レイアウト変更で撮像環境の変化により、モデルのチューニングが必要になった場合、新たに IT 管理者やシステム保全者などの体制強化やスキル強化が必要ないか。(ヒアリング項目)

→モデルのチューニングが必要になる度に開発元に依頼するのは手間がかかるので、工場側でモデルのチューニングができるような体制をとる必要があると考えている。また、簡単にモデルのチューニングができるようなツールがあると便利である。(ヒアリング結果)

4.6.5. 運用面及び横展開に関する課題と解決策

本項では、効果検証、機能検証、運用検証の結果を踏まえて、課題解決システムの現状の運用面及び横展開に関する課題を整理して、それらの課題に対する解決策について述べる。また、それらの解決策が他の工場に横展開するために将来的に必要となる機能となる。各検証で抽出した課題を番号付きの箇条書きで整理し、その番号に対応する解決策を記載する。

初めに、効果検証で整理した課題とその解決策について述べる。

■課題

- ① 検査画像を撮影の際の照明の光が、現場作業者の業務に支障をきたす可能性がある。
- ② 本課題解決システムでは、全ての作業手順まで管理できないため、作業者の手順書確認不足に起因した作業ミスが発生する危険性がある。

作業ミス例：基板のねじ締め順序間違い、基板の各種ケーブル差込の順序間違い

■解決策

- ① 検査エリアを暗幕で覆うようにして、作業者の目に直接光が入らないように対策する。また、検査エリアを暗幕で覆うことにより、撮像環境を安定させることができるため、検査精度を安定させることが可能となる。
骨格推定と行動認証を用いた行為判定（※）を機能追加することで、作業者の手順書確認不足に起因した作業ミスの発生リスクを低減する。
※映像より人の骨格情報と時系列情報を用いて、正しい作業行為と作業手順を予め学習し、実作業との差分を判定する機能。

次に、機能検証で整理した課題とその解決策について述べる。

■課題

- ① 高解像度を使用した映像解析を行うと、広域なネットワーク帯域が必要となる。

■解決策

- ① 解析に利用する画像解像度（解析精度・システム応答時間）とネットワーク帯域にはトレードオフの関係があるため、ネットワーク環境と解析対象の求める精度やシステム応答時間に応じて柔軟にカメラ選定（解像度設計）を行う必要がある。
どうしてもネットワーク帯域が確保できない場合は、よりデバイス(カメラ)に近い所でエッジ処理（映像解析）を行う事により、ネットワーク帯域を有効活用する事が出来る。
基幹 NW やローカル 5G ネットワークには、解析結果のみ伝送させる事になり、ネッ

トワーク帯域を節約させることになる。

その結果、ローカル5G ネットワーク配下のエッジ領域にて映像解析デバイス（カメラ+エッジ端末）を大量につなげる構成を実現できる。

最後に、運用検証で整理した課題とその解決策について以下に記載する。

■課題

- ① システムの起動・終了操作を簡便化する必要がある。
- ② 各工場や工程によっては、解析結果が NG になった場合の運用ルールが異なるため、次工程の制御や運用に柔軟性が必要である。
- ③ 定期メンテナンスルールにおいて、映像解析の精度を確認する方法を構築する必要がある。
- ④ レイアウト変更等による撮像環境の変化により、モデルのチューニングが必要になった場合、開発元に依頼して、モデルの再チューニングが必要となる。

■解決策

- ① エッジ端末の電源ボタン押下により、内部のシステムやプロセスが自動起動・終了されるようにする。
- ② 組立工程で NG の判定結果が出力された場合、以下機能が必要である。
 - ・該当する作業にナビゲーションする。
 - ・作業者の判断で次工程に進まないように、ナビゲーションにロックをかける。
 - ・運用管理者へアラーム通知をあげる。
- ③ 下記のような定期メンテナンスルールが必要である。
 - ・判定結果の基準となる良品、不良品のサンプルを用意して判定処理を行い、判定精度を確認する。
 - ・判定精度が基準に満たない場合、カメラや照明の設置環境が設計書通りになっているか確認する。
 - ・基準画像と現在の画像とのマッチング差異による調整。
(マッチングスコア値を表示する機能により調整サポートが可能。)
 - ・学習モデルのチューニングを行う。
(パラメータ設定の GUI 化)
- ④ ・モデルのパラメータ調整が可能なツール/GUI を作成する。
 - ・ディープラーニングを使用した外観検査機能も有効と考えられる。照明の照度を変化させるなどの様々な撮像環境で撮影した画像からディープラーニングで学習モデルを生成し、撮像環境の変化などを吸収できるような汎用的なモデルを生成する。

4.7 まとめ

本検証では、課題解決システムの実証にあたり、地域課題や地域の関係者のニーズを把握するために群馬県の中小企業および OKI の本庄工場に対してヒアリングを実施した。その中で、課題解決に資する最も効率的かつ効果的なシステムの検討を行い、課題解決システムとして、「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を本庄工場に構築し、効果面・機能面・運用面の観点で検証を行った。

それぞれの検証において特筆すべき事項を記載する。

■ 効果検証

課題解決システムを組立・検査工程に適用することで、作業時間の短縮・作業ミスの低減が確認できた。

作業時間は、工順に沿った作業ナビゲーションと目視検査の自動化により時間短縮の効果が確認できた。また、作業ミスは、工順に沿った作業ナビゲーションと画像判定による作業完了／良否判定チェックにより作業ミス低減の効果が確認できた。本検証で確認できた効果は、不良品発覚時の手戻りコストや、不良品出荷時のリコールに伴う解体・修復コスト・損害賠償といったコスト発生リスクを低減できると考える。

■ 機能検証

画像解像度（解析精度・システム応答時間）とネットワーク帯域にはトレードオフの関係があるため、構成の工夫が必要である。

高精細な画像にて精度の高い画像解析処理を行うには、大容量の映像転送が必要となるためネットワーク帯域の負荷が非常に大きくなる。そのため、デバイス（カメラ）に近いエッジ領域で AI 画像解析処理（エッジ処理）を行える構成にする事が有効である。

基幹 NW やローカル 5G ネットワークには、解析結果のみ伝送させる事になり、ネットワーク帯域／サーバ処理の負担を軽減することになる。

その結果、ローカル 5G ネットワーク配下のエッジ領域にて映像解析デバイス（カメラ＋エッジ端末）を大量につなげる構成を実現できる。

■ 運用検証

高精度な映像解析を維持するためには、定期的な維持メンテナンスが必要である。

映像解析は撮像環境の変化により、AI 画像解析精度は大きく影響を受ける。そのため、運用の中でも定期的なメンテナンスが必要となる。客観的評価基準をもとに作業員による調整方法やスケジューリング等の運用ルール、パラメータチューニング等をサポート可能なツール／GUI を整備する必要がある。

5. 課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）

5.1 前提条件

(1) 課題解決

地域課題や地域の関係者のニーズによる工場が抱える課題等の解決を助ける効果的なシステムや中小工場への横展開に向けた仕組みを実証する。

地域課題としては、群馬県全体の人口は 2000 年前半にピークアウトし就労人口は減少している。少子高齢化は全国的な問題であるが、地方においてはさらにこの傾向は加速されている。このような状況から人材確保が厳しくなっている。

地域ニーズとしては、2 章の群馬県の企業への聞き取り調査により工場分野においてデジタル技術の利活用が必要と考えられている。

太陽誘電(株)の玉村工場では、市場需要の増加により設備増強を図る必要があるが、人材不足が深刻化しており、当該設備が扱うデータ管理の省力化、効率化を推進しなければならないという課題がある。

(2) ローカル 5G の実証の必要性

1) 有線 LAN では問題となる工程レイアウトの自由度、および小規模な専用ネットワークの実現を図ること、セキュリティ上の安全確保（盗聴の恐れが無いこと）が必要である。

2) 今後の展開として、他の無線方式より優れている「高速大容量」「低遅延高信頼性」「多数同時接続」を活かし、特に多数同時接続を期待した有線接続ではさらに工事が複雑となるので無線化が必要とされる。

(3) 安全対策

実証にあたっては、安全性確保に十分に配慮するとともに、必要な安全対策等を行った上で実施する。

(4) 本件の制約事項

電子部品（積層セラミックコンデンサ）の製造工場の検査データを扱うネットワークについての実証である。

本課題解決システムは工程検査設備からの画像データを AI 判断するシステムの一部として設定した。ただし、日々生産を行っている工程検査データシステムとの接続はリスクがあるためラインから切り離れた模擬システムでの検証を実施する。

考察モデルとして、データ転送サーバと検査設備のローカル 5G 接続例を想定し考察する。（実際の転送実験は行わない。）

(5) 生産および製品品質に影響がある背景

積層セラミックコンデンサ市場の旺盛な需要により工程改善、工程増強を進めている状況である。製造関連のテーマは多岐にわたり人員不足となるため自動化が可能な箇所はさらに進めたいと考えている。検査用の画像データの解析が遅れることにより、生産への影響、また検査工程の結果が正確に伝わらない場合、製品歩留まりに影響が出てくることが予想される。従って、信頼度の高いネットワークで確実に AI 画像判断用データを転送することが必要である。

(6) 工程レイアウト、工程ネットワークについて

工程レイアウトは今回の電波伝搬、データ転送の実証用として模擬的に構築した工程モデルであり、画像判断データ転送システムの工程設備ではない。

課題設定時に工程ネットワーク障害がありローカル 5G 活用の検討を始めることとなったが、工程のネットワーク障害は別の方法により既に解決済みである。

5.2 実証目標

積層セラミックコンデンサを製造する中核工場（太陽誘電(株)の玉村工場）において、ローカル 5G の無線通信システムを用いた課題解決モデルとして「工場における検査工程・製品データの効率的な高速転送の検証システム」を構築し、膨大な検査データの管理の省力化、無人化の課題と無線系の利点を生かしたモデルの構築を目指す。

また、工場におけるローカル 5G 無線システム構築の中小企業への展開へ貢献できるような情報の整理を行う。

本ユースケースにおける仮説の検証

仮説としてローカル 5G を活用することで、その特徴である高速大容量、信頼性の高さ、無線による設置の自由度により、人によるデータ転送に係る工数の削減および設置の自由度による工事費用の削減ができるのではないかと考えて検証を行う。

5.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

現場課題より仮説検証を実施する課題解決システムとして「工場における検査工程・製品データの効率的な高速転送の検証システム」を設定した。

画像判断データ転送システムにおいて工程内のローカル 5G によるネットワークの活用検証を行う。

ローカル 5G の信頼性を活かし、通信経路が確立されることによりメンテナンスフリーでデータ転送システムとして高稼働率の可能性を期待する。加えて、端末の設置位置、測定データにより最良の設置方法を探索した。

5.3.1. 課題解決システムの概要（全体・構成要素別）

(1) 課題解決システムの全体構成

課題検証のモデルとなるシステム全体構成を説明する。課題検証はこのシステム全体の模擬システムとして検証した。

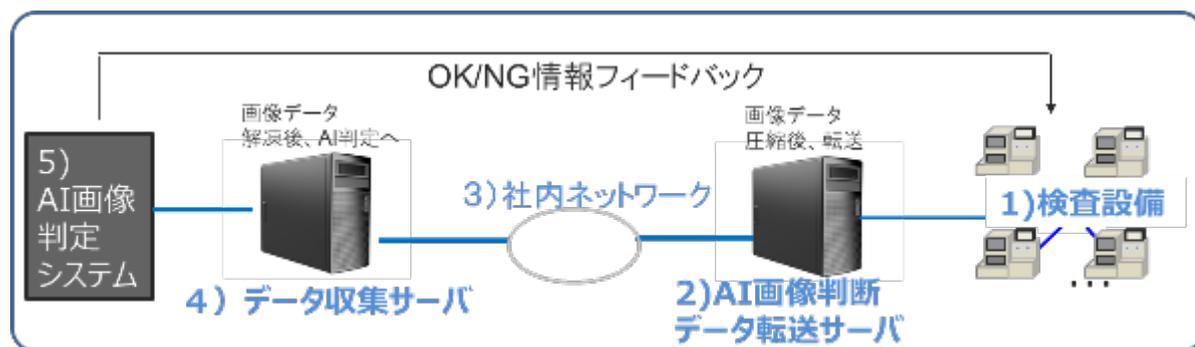


図 5.3.1-1 システム構成図

(2) 各機能の機能

1) 検査設備

完成品前の製品の画像を取得して JPG 形式の画像として AI 画像判断データ転送サーバへ送る。検査設備は数台～数十台の場合があるが、15 台のケースを想定する。

2) AI 画像判断データ転送サーバ

検査設備ごとの画像データを、本サーバへ一旦格納する。決められた量の画像データが収集されたところで、データ収集サーバへ送付する。

3) 社内ネットワーク

AI 画像判断データ転送サーバとデータ収集サーバ間のネットワークである。

既存システムでは、社内 LAN と共用のネットワークとなっており、本実証では社内ネットワークをローカル 5G の無線ネットワークへ置き換えることを想定して検証を行うこととする。

4) データ収集サーバ

社内ネットワークを介して受信した画像データを本サーバへ格納する。

5) AI 画像判定システム

データ収集サーバの画像データを使用して AI 画像判断を行う。OK/NG 判定をして検査設備へフィードバックする。

システム概要を表 5.3.1-1 へ示す。提案書内容抜粋。

表 5.3.1-1 システム概要

システム概要：AI画像判断データ転送システム

- ・各検査設備からの検査画像データをAI画像判断データ転送システムにて集約し、単位ファイル毎に圧縮したファイルをローカル5Gを用いてデータ収集サーバへ送信する。

	機能	備考
検査設備	<ul style="list-style-type: none"> ・製品の検査画像データ（JPEG形式、PNG形式）を取得。 ・検査画像データを流動形状単位にてAI画像判断データ転送システムへ送信 	数台以上が並列に稼働
AI画像判断データ転送システム	<ul style="list-style-type: none"> ・各検査設備（数台以上）から受信した検査画像データ（JPEG形式、PNG形式）を流動形状単位にZIP形式にて圧縮し、大容量のファイルを生成。 ・大容量のZIP形式の圧縮ファイルごとに、FTPを用いてデータ収集サーバへ転送。 	<ul style="list-style-type: none"> ・各検査設備から流動形状単位を多数/日を受信。 ・対象の検査設備は数台以上のため、大容量多数のZIP形式の圧縮ファイルを作成。 ・数TB以上/日のデータ転送を実行。
データ収集サーバ	<ul style="list-style-type: none"> ・AI画像判断データ転送システムよりFTPを用いて受信したZIP形式の圧縮ファイルを保管。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大容量ZIP形式の圧縮ファイルを多数/日（数TB以上）受信する。

注) 非公開部分を含むため、表 5.3.1 の一部文章を変更。

(3) システム全体から課題抽出

従来のシステム全体では、大容量の画像データを転送した場合に、社内 LAN とネットワークを共用していたためトラフィックが逼迫し、転送エラーがしばしば発生している。

転送作業の再試行および人を介在して復旧するという事象はロスとなることが問題である。

そこで、ローカル 5G システムの大容量高速、低遅延高信頼性、多数同時接続などの利点を活かして、ローカル 5G で専用の無線ネットワークで効率的なデータ転送、データ管理を行うことができないかを検証したいと考えた。

解決したい課題として以下を掲げる。

- 1) 解決したい課題（目標値） 「ローカル 5G システムに期待すること」
 - A) ファイル転送の自動化、省力化、無人化
 - 1 日に 1 回、転送完了を確認。中断時人手で再送。(メンテナンスゼロ⇒工数換算)
 - B) 無線活用により、設置の自由度を活かすこと。(工程内工事低減。⇒工事費換算)

5.3.2. 評価・分析項目

横展開を視野に入れ、中小企業が IT 化を推進し、さらにローカル 5G の必要性を感じて導入を検討するための基本情報の整理および全体システムへの影響検証を行った。

- (1) 無線通信ネットワーク状態
 - 1) スループット
 - 2) パケットエラーレート
 - 3) 通信停止状況（停止→復帰）
- (2) 工程内へローカル 5G を設置する場合の最適点探索
 - 1) 設置方法、位置の決定方法検討
 - 2) 工程内面積規模と通信の関係
- (3) 横展開における汎用性
 - 1) 汎用機器を使用した場合の可否
- (4) 本件ユースケース全体へ考えられる影響について
 - 1) 判定用画像データが転送されないことにより、AI 画像判断による OK/NG 判定が遅れ生産全体への遅れを生じる。

5.3.3. 評価・分析方法

評価・分析については、前節で示したシステム全体構成を模した模擬システム（評価システム）を構築し、以下の方法で課題実証を実施した。

(1) 評価システム

評価システムの構成を以下に示す。

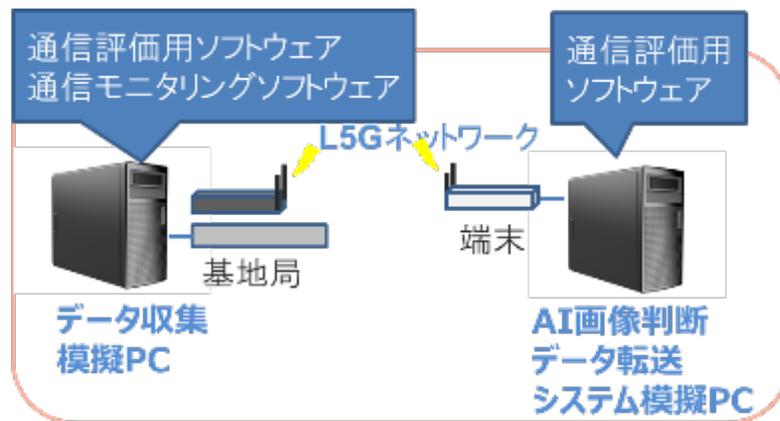


図 5.3.3-1 評価システム

(2) 測定場所・測定地点

測定場所は、「太陽誘電(株)の玉村工場」
 工程内の測定地点を以下に示す。

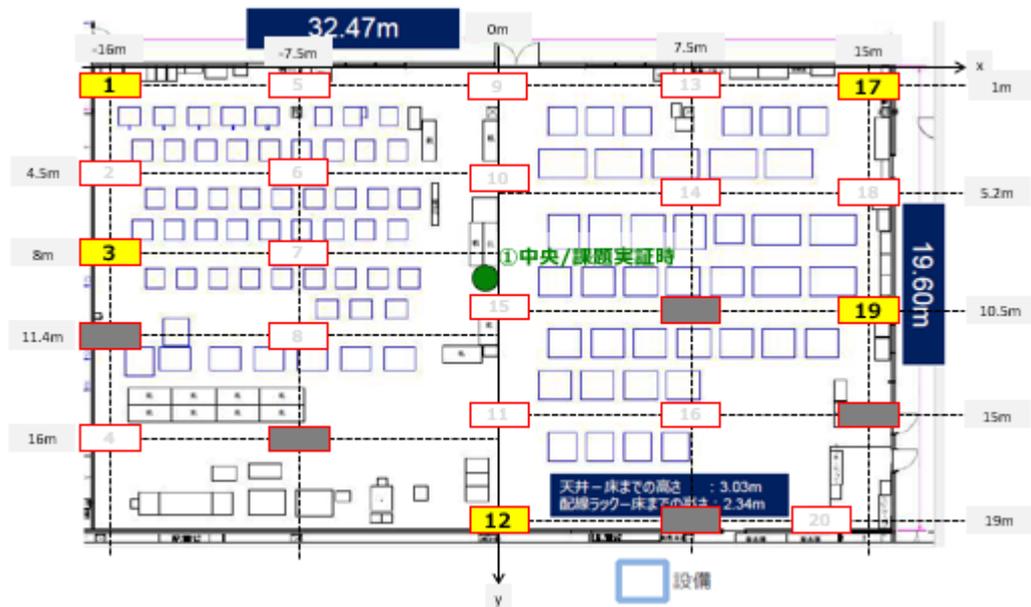


図 5.3.3-2 工程レイアウト

測定地点は技術実証の結果を参考にして、基地局との位置関係を考慮しながら決定した。技術実証で測定した 20 地点のうちの 5 地点を選定した。

基地局のアンテナの高さは、2.5m 高とした。端末のアンテナの高さは 2.05m 高と 1.12m 高に設定した。

以降、端末のアンテナの高さは、2.05m 高を「2m 高」、1.12m 高を「1m 高」と表現する。

(3) 評価方法

(ア) 本システムの通信状態の確認

- ・高速転送性能：下記条件にて検証を行い、課題の有無を整理して実装に必要な機能を抽出した。

表 5.3.3 評価項目

測定箇所	取得項目	プロトコル	UL/DL	連続データ 送信時間	データ取得間隔	目標値
完選工程内5箇所 (技術実証後に決定)	スループット	TCP	UL	4時間	1分	70Mbps
	パケットエラーレート					0.05%

- 2) 実装の柔軟性：専用ハードウェアではなく、汎用ハードウェア上にスクリプト等のソフトウェアを実装して検証を行った。
- 3) 通信停止、人の介在が必要であったかを記録した。
- 4) 良好な通信条件を探索した。

(4) 社会実装・中小企業への展開への検討

- 1) 工程内への設置の可能性の可否を検証する。
- 2) 設置事例の提示の一助となる情報を整理する。
- 3) 汎用的なシステムの例としてのまとめを行う。

5.3.4. 既存の手法との比較

(1) 従来のデータ転送システムと本実証のモデルシステムの比較

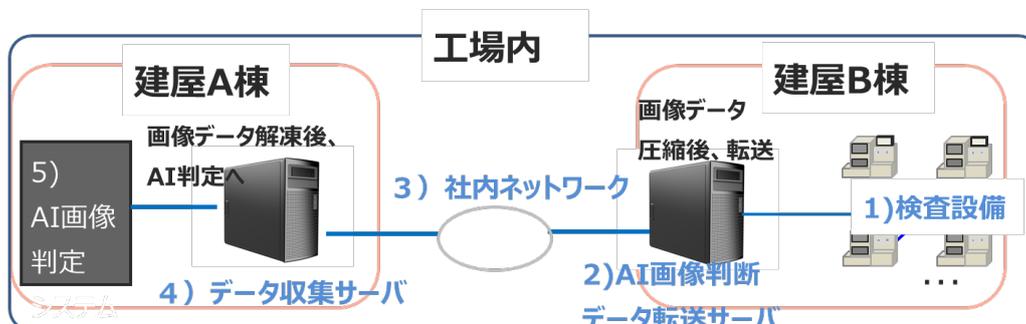


図 5.3.4-1 従来のデータ転送システム

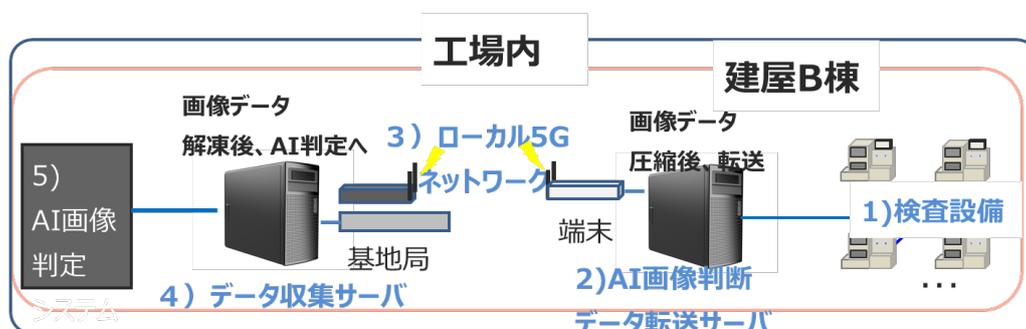


図 5.3.4-2 本実証のモデルシステム

従来システムと本実証システムの差異は以下の通りである。

システム配置

従来システム：別棟に分散

本実証システム：同一建屋内にシステムを収容

ネットワーク

従来システム：有線 LAN（社内ネットワーク）

本実証システム：ローカル 5G ネットワーク

本実証システムを設定した背景は、事前に第 5 世代移動通信システム「5G」では 10Gbps 以上の伝送性能が出せるとの情報を得たことであった。将来的にローカル 5G システムの価格が下がれば、工場でも十分使えるものになると期待し実証を行うこととした。

また、本実証システムの設定は、実証にて用いたローカル 5G システムの電波到達距離の制約上、同一建屋内であることが必須であった。加えて、検査設備から AI 画像判断までのネットワークにローカル 5G を使ったセキュリティ上、安全でコンパクトなシステム構成の構築の一例を想定して本実証システムを設定した。

(2) 現状のネットワークを無線化する必要性

現状の社内ネットワークを無線化する必要性は以下の通りである。

- 1) 工程レイアウト変更時の影響がなく自由度が高い
同一建屋内のネットワーク工事は初回のみ。
(玉村工場では、工程内のレイアウト変更が定期的に行われ。また増産に向けた検査設備の増設が頻繁に行われるため。)
- 2) 小規模な専用ネットワークとしたい。
セキュリティ上、安全である。(盗聴の恐れが無いこと)
今後の展開として、検査設備が増設された場合、それに伴って AI 画像判断データ転送サーバが増加し、特に多数同時接続を期待した有線接続ではさらに工事が複雑となるので無線化を進めたい。

5.3.5. 予想される事故などの整理、解決策（安全確保等の観点から）

- (1) 生産現場における安全確認を始業時行う。
- (2) 測定中であることを明示し注意喚起する。工程メンバーへ周知徹底。
- (3) 機器の設置方法、電源ケーブル類の整理整頓の実施。
- (4) 機器の動作確認、異常時の確認が必要となる。

5.4 課題解決システムに関する効果検証

5.4.1. 検証項目

基地局と端末間の通信の観測により、以下 2 項目の検証を実施した。
ローカル 5G をネットワークに使用することにより、通信の安定性を得られ設置位置が自由に設定できるという仮説に基づき検証した。

(1) 自動化・省力化・無人化

データ転送のためのメンテナンス工数が必要になるかどうかを検証した。検証のポイントとして、データ転送が始まってから通信の中断があるかどうか、中断があった場合に復旧するかどうか、復旧しない場合に人が手作業で再起動し転送プログラムを始動する等の工数が発生したかどうか、に着目して検証した。

下記の表を作成し、各測定地点での測定時間、停止回数、停止時間、再起動工数を記録した。

表 5.4.1-1 検証項目

測定位置		測定時間 (時間)	停止回数	停止時間 (積算)	再起動工数 (分)	完了/未完	備考
No	高さ						
1	1m	4					
	2m	4					
3	1m	4					
	2m	4					
12	1m	4					
	2m	4					
17	1m	4					
	2m	4					
19	1m	4					
	2m	4					

(2) 測定地点において設置の自由度を確認することによる工数の削減



図 5.4.1-1 工程レイアウト

図 5.4.1-1 の工程レイアウト図において、測定地点は 1, 3, 12, 17, 19 の 5 箇所とし、基地局は中央に設置した。

端末のアンテナの高さは 1m 高と 2m 高、基地局のアンテナの高さは 2.5m 高とした。

- 1) 設定した位置での通信状態から設置可能位置か確認をした。
- 2) 端末の設置可能位置が限られるかどうかを確かめた。
- 3) 設置可能な位置へ端末を設置する時の工事費用を算出し LAN 工事との比較を行った。

5.4.2. 検証方法

基地局と端末間にてデータ転送を行い、以下の項目を確認するためのデータ取得と動作記録を実施した。

- (1) 自動化・省力化・無人化の要件（人の工数算出）

表 5.4.1-1 への記録とデータ転送状況に加えてメンテナンス、トラブルシューティングへ要した時間を記録した。人が介在したことによる工数を算出し、従来の工数との比較を行った。

- (2) 設置の自由度（工事費用算出）

5 箇所の測定地点におけるデータ転送状況が良好か否かを記録した。

狙った場所への設置を行うことができるかどうか、配線工事等で有利な場所となっているか、等を考慮しつつ従来の有線 LAN の工事費用と比較を行った。

5.4.3. KPI・SLA 等の達成状況

「ローカル 5G システム活用により、工場での工数削減、顧客サービスレベルの向上可否」について確認をした。

- (1) ファイル転送の自動化、省力化、無人化

1 日に 1 回、転送完了を確認。中断時人手で再送。（メンテナンスゼロ⇒工数換算）

- (2) 無線活用により、設置の自由度を活かすこと。（工程内工事低減。⇒工事費換算）

上記(1)のメンテナンス工数が減ることにより製品コストである人件費の一部が軽減されると考える。また、無線活用による設置の自由度においては、基地局と端末間の通信が確保できる位置関係であれば従来、有線 LAN 工事が発生していた箇所がなくなった。

工数削減が可能となり、この業務に関する費用は削減できる。工場の直接費用が下がるため製品コストへの貢献が見込め、顧客へのコスト要求へお応えする一助となると考える。

5.4.4. 検証結果

- (1) 自動化・省力化・無人化 の要件（人の工数算出）

- 1) 通信遮断によるメンテナンス工数発生

通信の中断による工数は発生しなかった。一度ローカル 5G での通信が確立され、データ転送が始まることにより 4 時間の転送動作は最後まで行われた。

2) 機器の再起動による工数について

POC (Proof of concept) システムであるため、安定動作を確保するため何日かに1回は再起動をする必要がある。この工数は必要と考える。1週間に1回再起動の工数は1人0.5Hを必要とする。ただし、この工数はPOCシステムだけに限られると考えられる。よって、ローカル5Gシステム量産機では工数は発生しないと想定している。

3) 結果

通信が確立され転送が始まった時点からは人による再起動の工数は発生しなかった。5箇所にて測定を行ったが、再起動が必要な回数はゼロであった(表5.4.4-1を参照)。新規に発生するローカル5G機器の起動・停止・再起動についての工数は初期のPOCシステムのみでの発生とし、参考として表へ示すこととした。

表5.4.4-2の結果より、工数削減効果は132時間/年であった。

表 5.4.4-1 検証結果

測定位置		測定時間 (時間)	停止回数	停止時間 (積算)	再起動工数 (分)	完了/未完	備考
No	高さ						
1	1m	4	0	0	0	完了	
	2m	4	0	0	0	完了	
3	1m	4	0	0	0	完了	
	2m	4	0	0	0	完了	
12	1m	4	0	0	0	完了	
	2m	4	0	0	0	完了	
17	1m	4	0	0	0	完了	
	2m	4	0	0	0	完了	
19	1m	4	0	0	0	完了	
	2m	4	0	0	0	完了	

表 5.4.4-2 工数確認

目標	確認項目	目標値	今回の結果 工数		従来工数		
自動化 省力化 無人化	転送終了確認回数	0回/日	1回/日1分	0.5H/月	1回/日10分	5H/月	
	中途停止回数	0回	0		5回/月	2.5H/月	
	停止復旧作業時間	0	0		30分		
	再転送設定確認	なし	なし		20分	5H/月	
	機器再起動		1回/週30分	2H/月			
	小計(月)				2.5H/月		12.5H/月
	年間工数合計				18H/年		150H/年

工数の効果は、従来工数(150H/年) - 今回の工数(18H/年) = 132H/年

(2) 設置の自由度（工事費用算出）

5箇所での測定地点でのデータ転送状況はスループット値を確認したところ、良好な値を示した。各測定地点の平均スループットは最良地点では105Mbps、低い地点では88Mbpsという結果であった。端末のアンテナの高さに関しては、1m高と2m高で比較した場合は2m高のほうが若干良好であった。

測定結果の詳細は5.5節の機能検証で述べる。2m高ではスループットが低いところでも98.5Mbpsと良好であった。5箇所ともに2m高の位置を採用することにより、この範囲における設置の自由度はあると結論づける。

レイアウト変更毎に端末位置が測定した5箇所の位置を移動する場合は、主回線（基地局-端末間）の工事は無くなる。この工事を1回50,000円として年間4回のレイアウト変更を実施する場合、50,000円×4回=200,000円/年の効果が得られる。

5.4.5. 考察（今後の課題等）

(1) 本件に関する考察

ネットワークの不具合でのメンテナンス工数について検証したが、一旦接続してデータ転送が始まると、設定した時間の間は切断することなく完了した。死活監視（ping）状況結果では、無線レベルでのネットワーク切断は発生しているが、TCPレベルでの再送制御機能によりパケットロスなく最後までデータ転送が完了した。ただし、電波状況によりスループットが落ちるため有線のように最高のパフォーマンスを持続することが難しいことがわかった。詳細は5.5節で述べる。本実証の工程内では通信は成立しており、ほぼこの場所でもデータ転送が可能と考える。最高のパフォーマンスを得たい場合は、見通しがある場所への設置が必要となるため設置の自由度はなくなる。但し、今回選定した測定地点はいずれも設置の自由度はあったとの結果であった。

本実証では、汎用性を持った一般のPCをサーバとして活用した。横展開を考慮すると高価な専用機ではなくても可能ということがわかった。

AI画像判断データ転送サーバとデータ収集サーバの1対1の通信をモデルとして実証を行ったが、今後の工程のニーズから検査設備からローカル5G端末までの有線ネットワークのラインの引き回しが煩雑となるため、各検査設備から無線端末を接続するケースを考察した。以下にネットワークモデル毎の比較を示す。

(2) 今後のモデルを考えた追加考察

ローカル5Gを検査設備とAI画像判断データ転送サーバ間の使用を想定したときの、効果の考察を行った。



図 5.4.5-1 考察対象

本実証でのネットワーク区間は上記の通り、①AI 画像判断データ転送サーバと②データ収集サーバ間を対象とする。

① AI 画像判断データ転送サーバと③検査設備の間のネットワーク区間について述べる。

1) 考察モデル 1

同一建屋内 基地局 1 : 端末 1 の Case

AI 画像判断データ転送サーバと基地局が接続されている。検査機は n 台あり hub でローカル 5G 端末と接続されている。

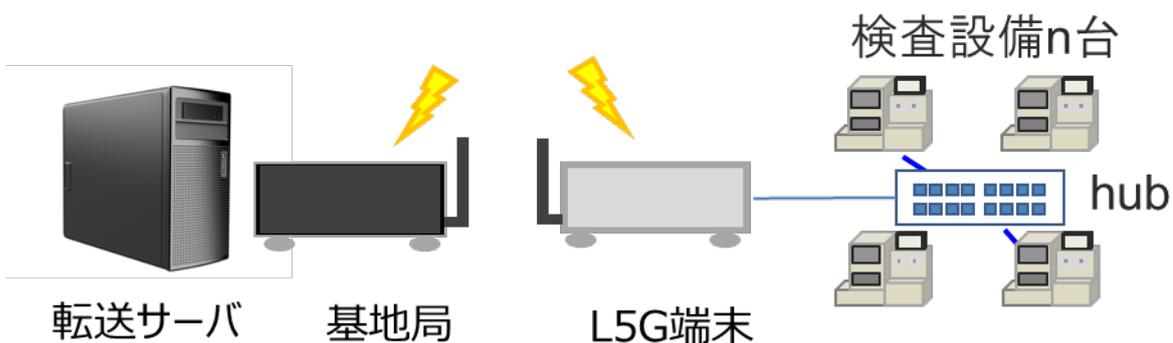


図 5.4.5-2 考察モデル 1

2) 考察モデル2

同一建屋内 基地局 1 : 端末 n の Case

AI 画像判断データ転送サーバと基地局が接続されている。検査設備 1 台にローカル 5G 端末が 1 台接続されており各々 n 台ある。

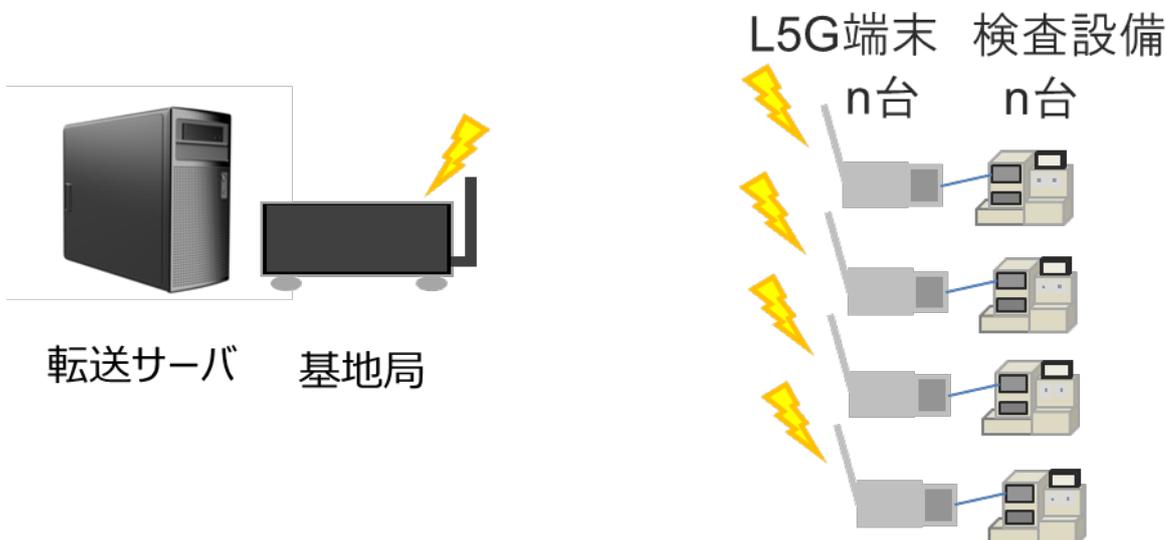


図 5.4.5-3 考察モデル 2

表 5.4.5-1 考察モデル比較

	課題実証システム	考察モデル 1	考察モデル 2
システム構成			
接続数	基地局 1 : 端末 1 (サーバ間)	基地局 1 : 端末 1 (検査機 n 台)	基地局 1 : 端末 n (検査機 n 台)
スループット	~105 Mbps	~105 Mbps	~105 Mbps
接続性	良い (良好地点設置)	左に同じ	条件出し大変 (端末検査機一体、各端末最良地点探索必要)
安定性	良い	良い	良い
設置位置自由度	端末-検査機間LAN煩雑	Hub-検査機間LAN必要	あり。各所電波良点
ローカル5G 設置Needs適合性	△転送速度Gbpsレベル	△LAN配線煩雑	○ (LAN配線不要)
ローカル5Gシステム 機器コスト	基地局 + 端末	左に同じ	× (検査機毎に端末を用意する必要あり)

接続方法のモデル比較を表 5.4.5-1 へ示す。

本件の課題実証モデルと、考察モデル 1 ではローカル 5G 端末が 1 台となり電波条件の良い場所に設置することで、接続性と安定性を確保でき、スループット値を Max まで使用することができる。考察モデル 2 で問題となるのは、各検査設備にローカル 5G 端末

を接続、各端末すべて電波伝搬状況のよい位置へ設置調整することが難しいことである。この場合の課題としては、工程設備に設置することへの小型化、また設備台数分の端末が必要となるのでコストを抑えること。良好な電波伝搬状態の位置探索のための通信状態の監視・測定の簡易化できる機能が必要となる。しかしながら、設置のニーズから考えると考察モデル2が今後要求される形になると考える。ローカル5Gの小型端末の開発が待たれる。

5.5 課題解決システムに関する機能検証

5.5.1. 機能一覧機能説明

(1) データ転送機能

1) データ送受信 PC サーバ 2 台

端末側 AI 画像判断データ転送サーバ模擬 PC クライアント

基地局側 データ収集サーバ模擬 PC サーバ

2) ソフトウェア

- ・通信用ソフトウェア…iperf3(Ver.3.9)(出力：スループット)

- ・データ転送スクリプト(自社開発)

データ送信、受信・・・iperf3 へ設定する設定値の読み込み（転送時間、接続先 IP アドレス、バインドする IP アドレス）、iperf3 への設定値の引数設定、iperf3 の実行。

- ・通信モニタソフトウェア・・・OpManager(出力：パケットエラーレート)

実証に用いた PC の詳細を以下に示す。

表.5.5.1-1 課題実証 PC 詳細

項目	課題実証 PC(サーバ、クライアント共通)	
外観		
メーカー	株式会社 日本 HP	
機種	ML30 Gen10 8SFF モデル	
CPU	Xeon E-2224 3.4GHz	
Memory	64GB	
NetworkInterface	10/100/1000BASE-T×8 ポート	
OS	Windows Server 2019 Version 1809	
備考	—	

以下に課題実証環境の構成図を示す。

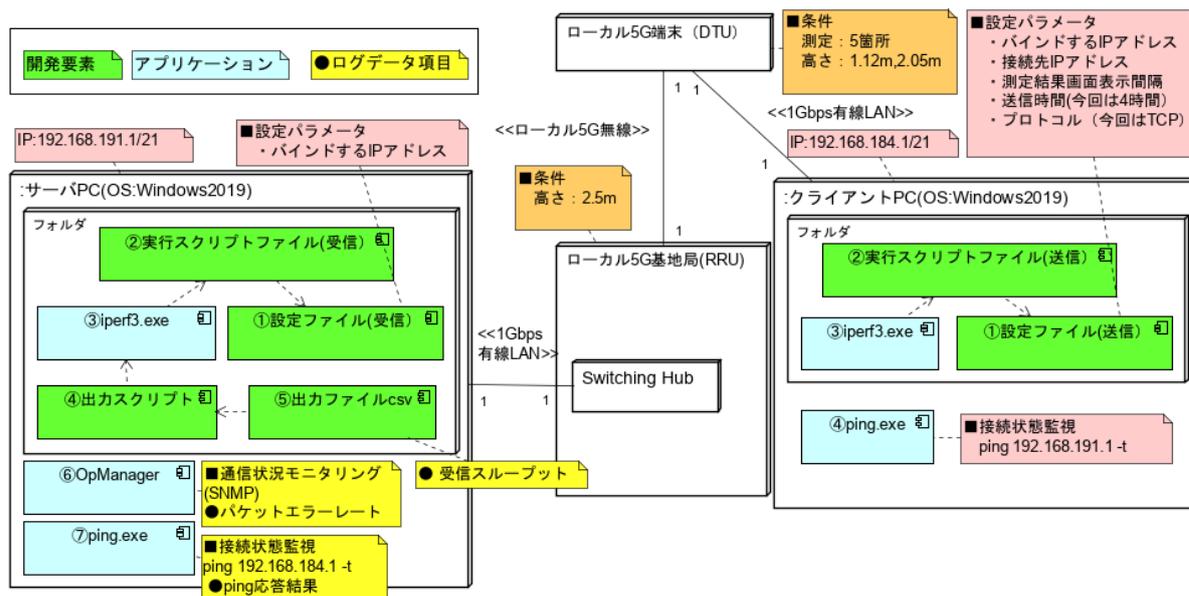


図.5.5.1-1 課題実証環境構成図

表 5.5.1-2 サーバ PC 側ファイル概要

構成	概要
①設定ファイル(受信)	【開発要素】②実行スクリプトファイルと連携し、③iperf3 への通信設定を行う為の、各種設定の定義ファイル。
②実行スクリプトファイル(受信)	【開発要素】③iperf3 に受信設定を行うスクリプトファイル。
③iperf3	通信評価を行なう為のコンソールアプリケーション。主にスループットを取得。オープンソースソフトウェアとして公開されている。 (https://github.com/esnet/iperf)
④出力スクリプト	【開発要素】③iperf3 で測定した結果が JSON フォーマットの為、これを集計の為 CSV 出力に変更するスクリプト。
⑤出力ファイル csv	③iperf3 の測定 Json 出力結果を④のスクリプトで解釈し CSV フォーマットに変更した物。測定完了のタイミングで出力される。
⑥OpManager	SNMP を用いたネットワーク監視を行う商用アプリケーション。パケットエラーレートを取得する。 (https://www.manageengine.jp/products/OpManager/)
⑦Ping.exe	クライアント側への Ping で通信の状態確認を行う。実行時の時系列情報を追加し応答の結果を取得。

表 5.5.1-3 クライアント側ファイル概要

構成	概要
①設定ファイル(送信)	【開発要素】②実行スクリプトファイルと連携し、③iperf3 への通信設定を行う為の、各種設定の定義ファイル。
②実行スクリプトファイル(送信)	【開発要素】③iperf3 に送信設定を行うスクリプトファイル
③iperf3	(受信側と同じアプリケーションの為) 省略。
④Ping.exe	サーバ側への Ping で通信の状態確認を行う。

また以下に実証の手順を示す。

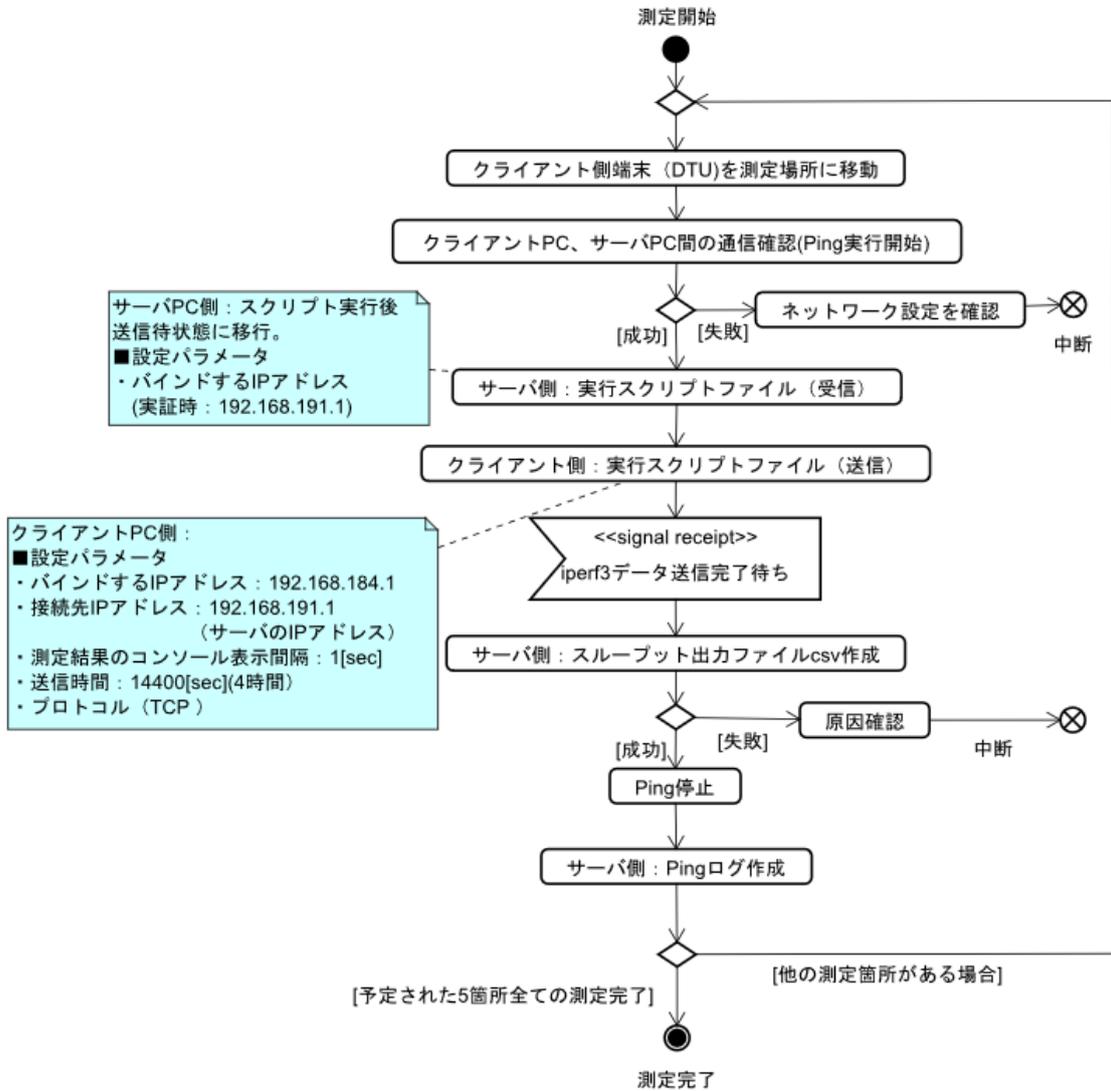


図.5.5.1-2 課題実証測定手順

5.5.2. 検証項目

(1) 基地局、端末間のデータ転送機能

ローカル 5G を使用したデータ転送が正常に行われたかを確認した。

(2) データ転送時、各種データ記録

iperf3 のデータは 1 秒間隔で取得し、下記のスループットデータフォーマットでスループットを取得した。

表 5.5.2-1 スループットデータフォーマット

プロトコル (TCPまたはUDP)	受信側IPアドレス	受信側Port	送信側IPアドレス	送信側port	完了時刻 (フォーマットyyyyMMddHHmss)
Protpcol	Local Host	Local Port	Remote Host	Remote Port	TimeStamp
TCP	192.168.26.1	5201	192.168.26.131	47943	20201116150006
通信時間 (小数第1位四捨五入)	平均速度[bps] (小数第2位四捨五入)	全受信容量[byte]			
Duration[sec]	AverageSpeed[bps]	TotalReceived[byte]			
14700	98455200.7	180912671193			
時間	速度[bps]	受信数[byte]			
Time[sec]	Speed[bps]	Received[byte]			
1	101138568.7	12654432			
2	105110631.8	13138540			
3	105036562.1	13129780			
		(省略)			
14400	105059962.9	13132666			

また受信側のサーバから送信側のサーバの IP アドレスに対し ping コマンドを実施し 1 秒間隔のデータとして測定を開始から完了までの期間取得した。

```

2021/02/16 09:52:55,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =8ms TTL=128
2021/02/16 09:52:56,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =8ms TTL=128
2021/02/16 09:52:57,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =10ms TTL=128
2021/02/16 09:52:58,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =6ms TTL=128
2021/02/16 09:52:59,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =7ms TTL=128
2021/02/16 09:53:00,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =6ms TTL=128
2021/02/16 09:53:01,192.168.184.1 からの応答: バイト数 =32 時間 =8ms TTL=128

```

図 5.5.2 ping 実行ログ

これら 2 つのデータを時間で結合し、スループットと ping の成功/失敗の結果を確認し考察をした。またパケットエラーレートに関しては OpManager の出力ログを確認した。

5.5.3. 検証方法

サーバ側のデータ受信ソフトを起動し、クライアント側よりデータ転送を開始する。所定の時間（4 時間）転送を行い、途中の停止や再転送動作が無かったかを確認した。通信の安定性を検証するため、各種データの解析・分析しデータ転送機能を確認した。

*データ通信実施中に周囲状況の記録を取ることとした。

これは通信が途中で完了したり、中断してしまった場合に、原因を特定できるようにする為である。

5.5.4. 検証結果

データ送受信時のデータをグラフで示す。

iperf3 と OpManager のデータを活用し、5 箇所の測定点における 4 時間の受信のデータを基にスループットと Ping 応答のあり/なし、パケットエラーレートのデータをグラフまたは表で表す。

まず 1 秒間隔のスループットと ping の応答結果に関して、1m 高、2m 高をそれぞれグラフに表して通信状態の傾向を確認した。またスループットに関しては瞬間的に性能低下するものを除く為、1 分間隔で集計したものをグラフで用意し、通信性能を低下させた人的要因も記載した。

(1) 測定地点 1 の結果

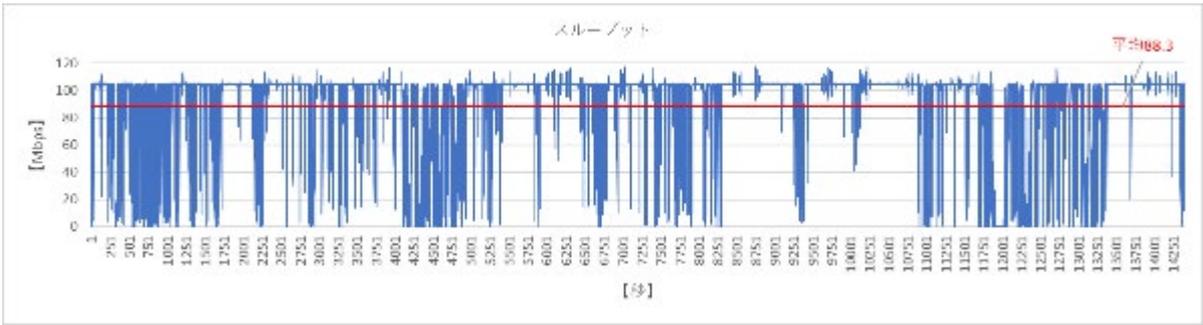


図.5.5.4-1-1 測定地点 1 1m 高 スループット【秒】

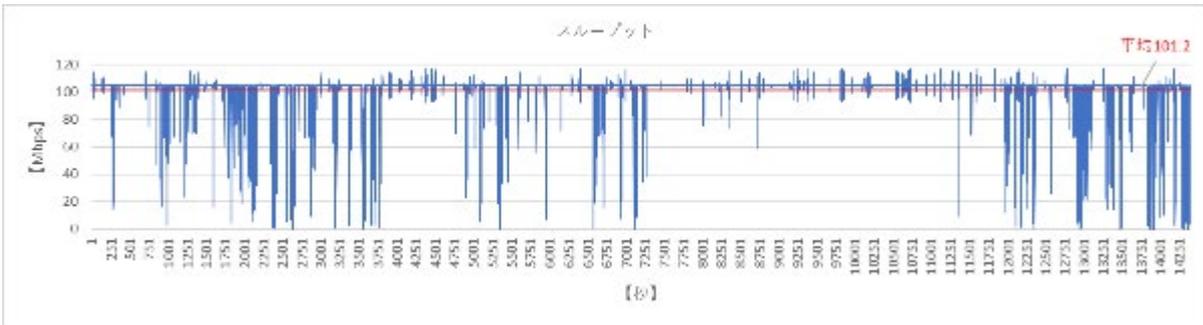


図.5.5.4-1-2 測定地点 1 2m 高 スループット【秒】

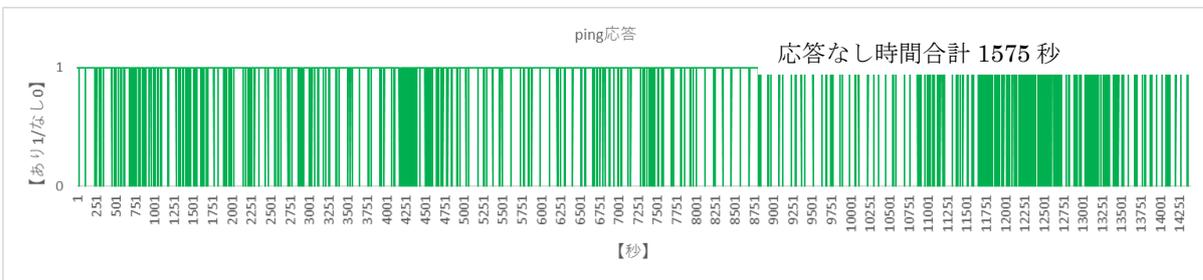


図.5.5.4-1-3 測定地点 1 1m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

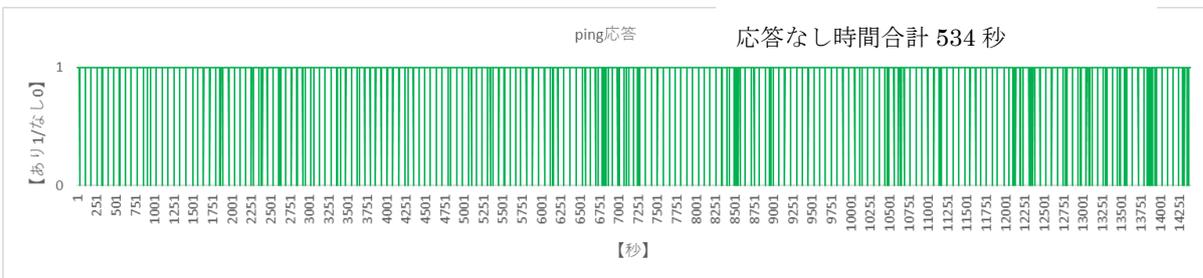


図.5.5.4-1-4 測定地点 1 2m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

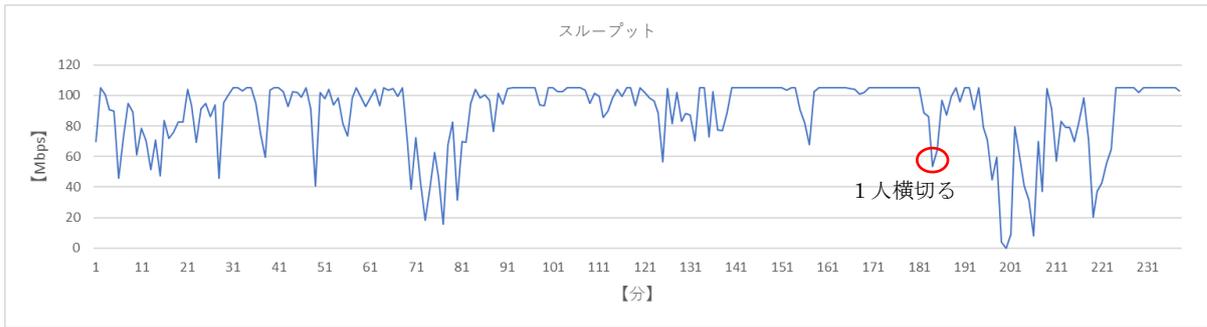


図.5.5.4-1-5 測定地点1 1m高 スループット【分】

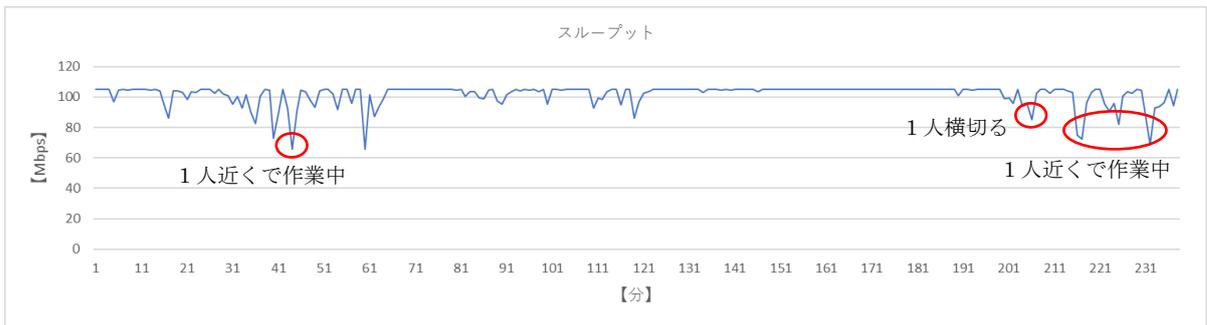


図.5.5.4-1-6 測定地点1 2m高スループット【分】

表.5.5.4-1 測定地点1 測定結果

高さ	平均スループット [Mbps]	パケットエラーレート [%]	Ping 応答なし時間合計 [秒]
1m	88.3	0%	1575
2m	101.2	0%	534

測定地点1において、スループットに関しては、1m高よりも2m高の方が変動は少なく比較的安定していた。1m高ではスループットが低下する部分を確認したが、作業者が原因となるような状況はあまり確認できなかった。そのため、作業者以外の低下要因もあると考えられる。2m高では1名の作業者要因と思われるスループットの低下をいくつか確認した。パケットエラーレートに関しては、いずれの条件も0%であった。

Ping 応答に関しては、2m高の方が1m高のものより2.95倍程度、良好であった。全体として、2m高の方が良好な結果となった。

(2) 測定地点 3 の結果

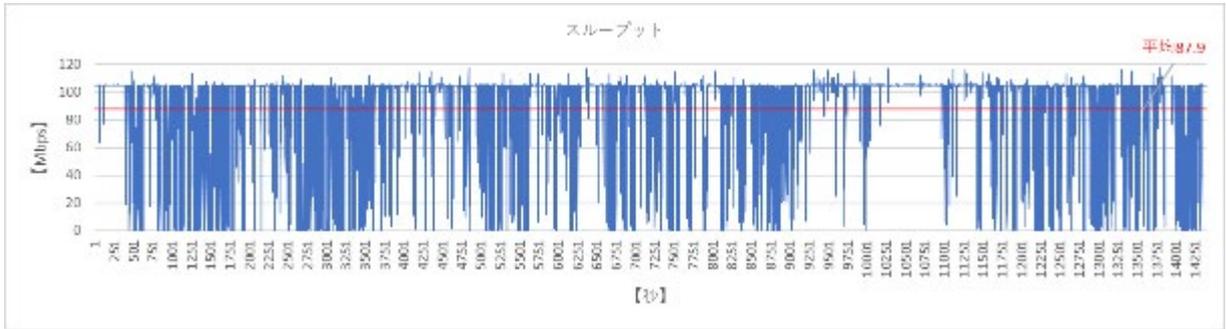


図.5.5.4-2-1 測定地点 3 1m 高 スループット【秒】

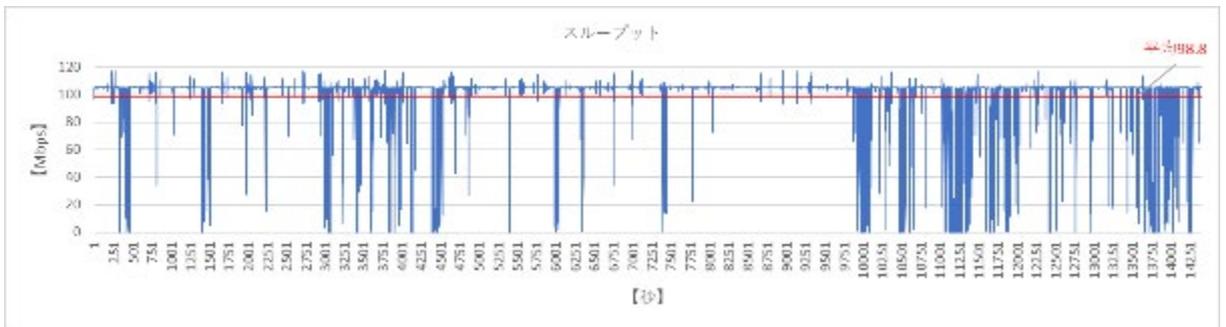


図.5.5.4-2-2 測定地点 3 2m 高 スループット【秒】

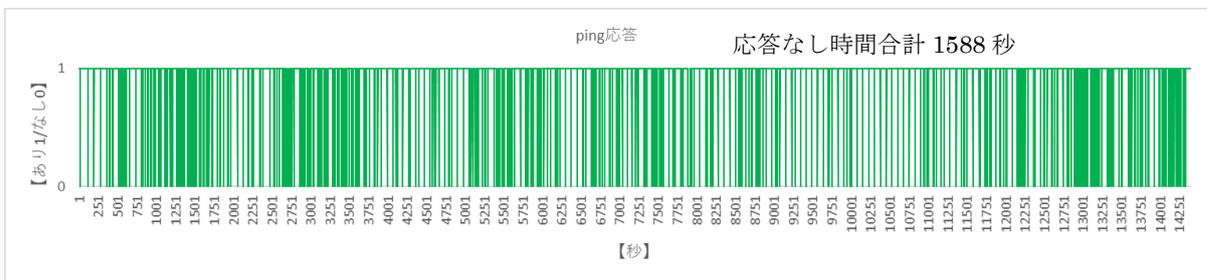


図.5.5.4-2-3 測定地点 3 1m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

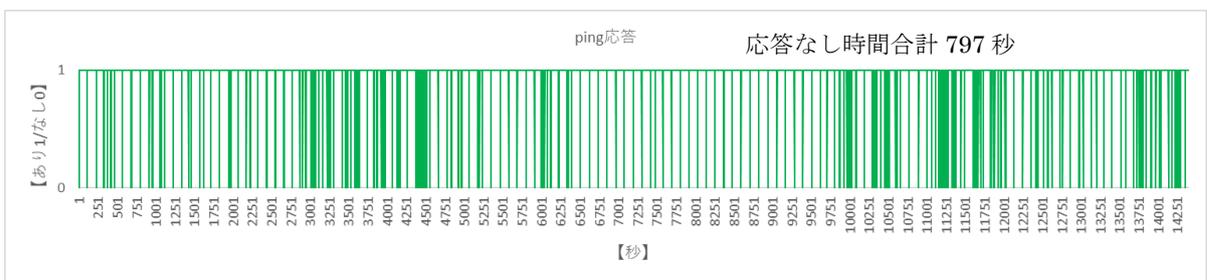


図.5.5.4-2-4 測定地点 3 2m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

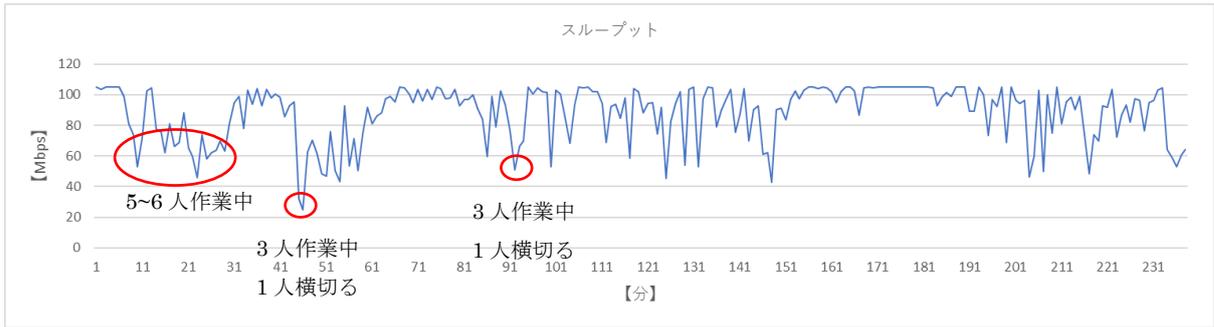


図.5.5.4-2-5 測定地点3 1m高 スループット【分】

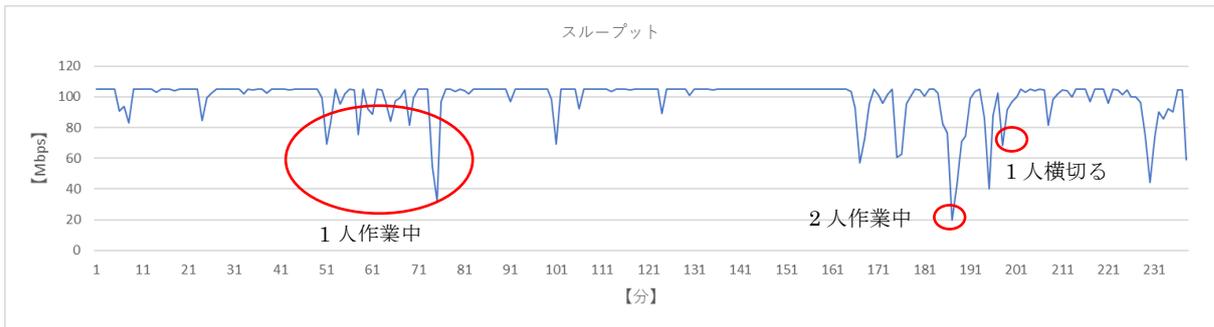


図.5.5.4-2-6 測定地点3 2m高 スループット【分】

表.5.5.4-2 測定地点3 測定結果

高さ	平均スループット [Mbps]	パケットエラーレート [%]	Ping 応答なし時間合計 [秒]
1m	87.9	0%	1588
2m	101.2	0%	797

測定地点3において、スループットに関しては、1m高よりも2m高の方が変動は少なく比較的安定していた。1m高では作業者が複数人、端末近くにおり、その間は特にスループットの低下がみられた。2m高でも作業者が1人または2人の場合でスループットの低下がみられた。

パケットエラーレートに関しては、いずれの条件も0%であった。

Ping 応答に関しては、2m高の方が1m高のものより2倍程度良好であった。

全体として、2m高の方が良好な結果となった。

(3) 測定地点 12 の結果

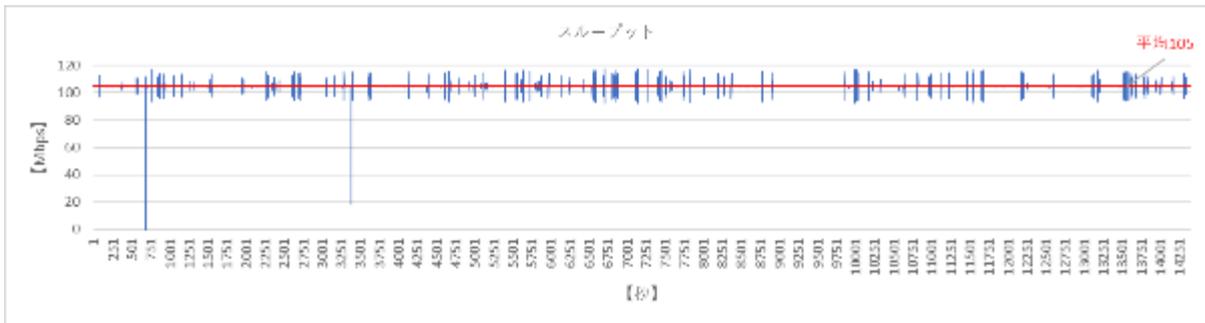


図.5.5.4-3-1 測定地点 12 1m 高 スループット【秒】

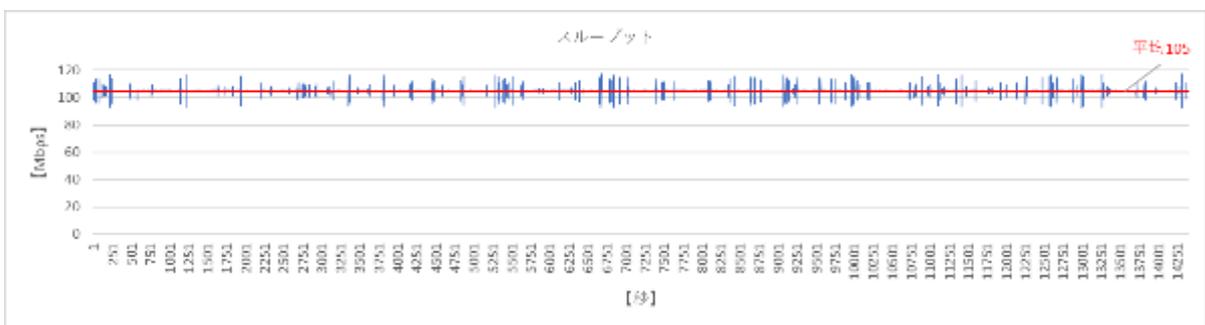


図.5.5.4-3-2 測定地点 12 2m 高 スループット【秒】

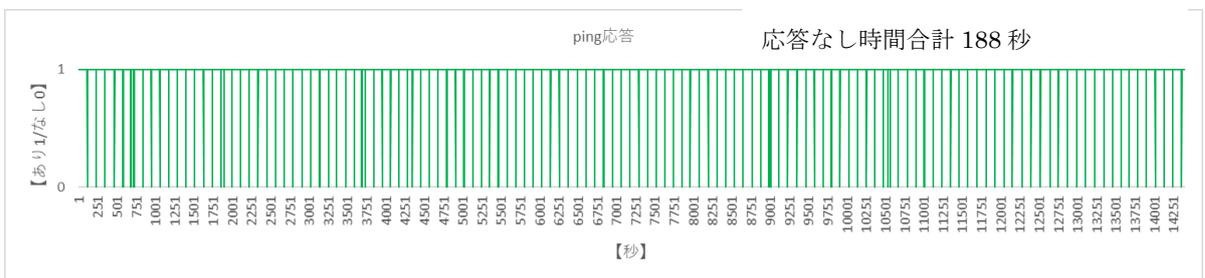


図.5.5.4-3-3 測定地点 12 1m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

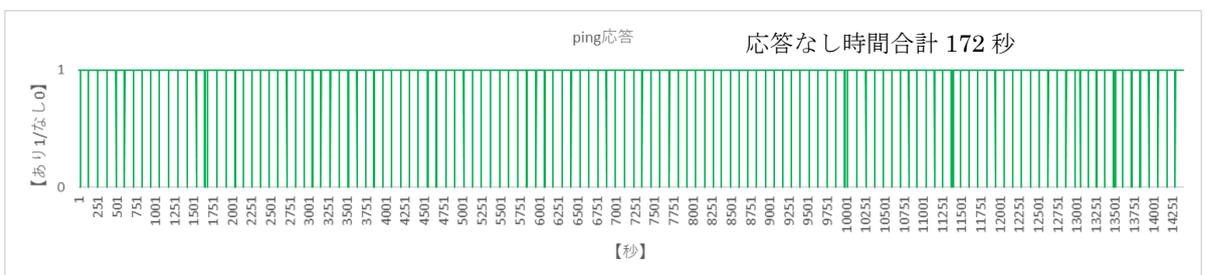


図.5.5.4-3-4 測定地点 12 2m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

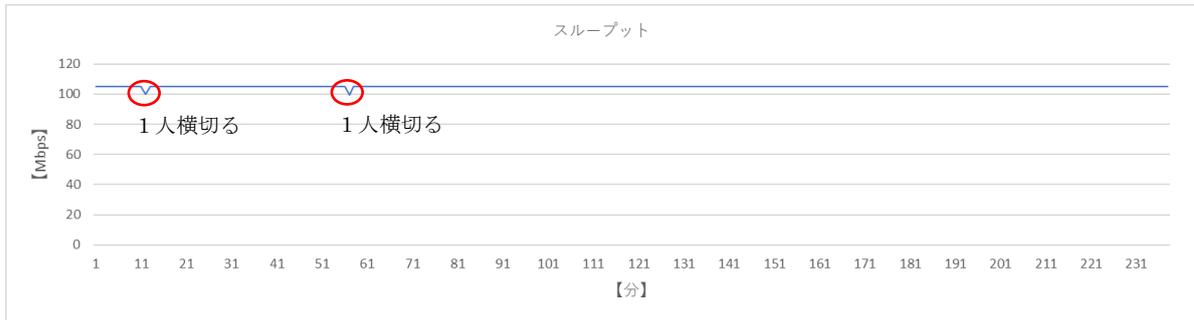


図.5.5.4-3-5 測定地点 12 1m 高 スループット 【分】

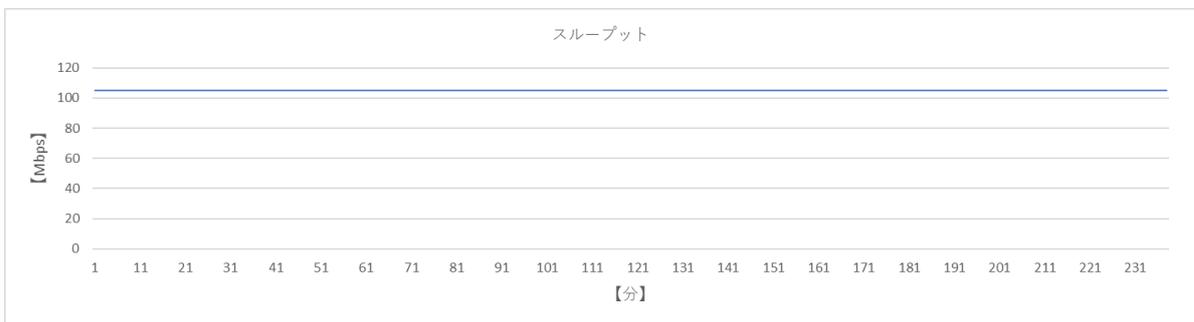


図.5.5.4.3-6 測定地点 12 2m 高スループット 【分】

表.5.5.4.3 測定地点 12 測定結果

高さ	平均スループット 【Mbps】	パケットエラーレート 【%】	Ping 応答なし時間合計 【秒】
1m	105	0%	188
2m	105	0%	172

測定地点 12 に関しては、基地局と端末の間に設備機器などの遮蔽がなく見通し環境であった。そのため、スループットに関しては、1m 高、2m 高のどちらもほぼ同等で、規格値の最大速度である 105Mbps が測定された。1m 高では作業者が端末に接近した場合のみスループットが低下したが、作業者がいなくなっからはすぐに安定した。

パケットエラーレートに関しては、いずれの条件も 0%であった。

Ping 応答に関しても、1m 高、2m 高のどちらもほぼ同等で、測定地点 12 が本実証において最小の値となった。

全体として、2m 高の方がわずかによい良好な結果となった。

(4) 測定地点 17 の結果

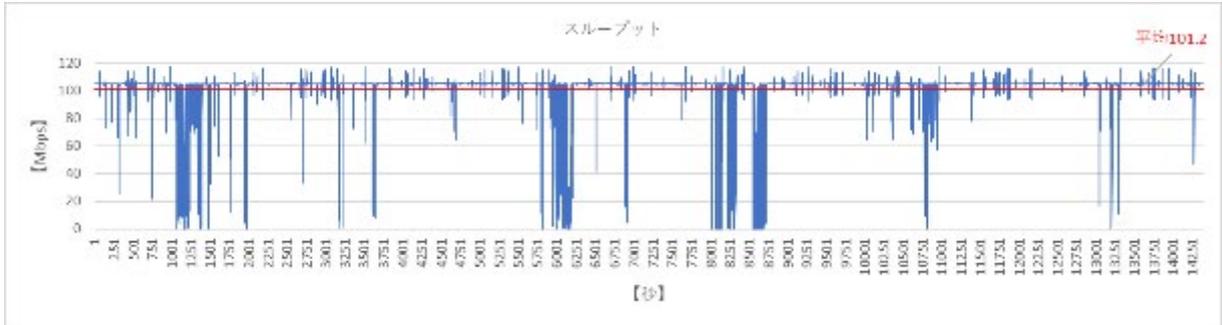


図.5.5.4-4-1 測定地点 17 1m 高 スループット【秒】

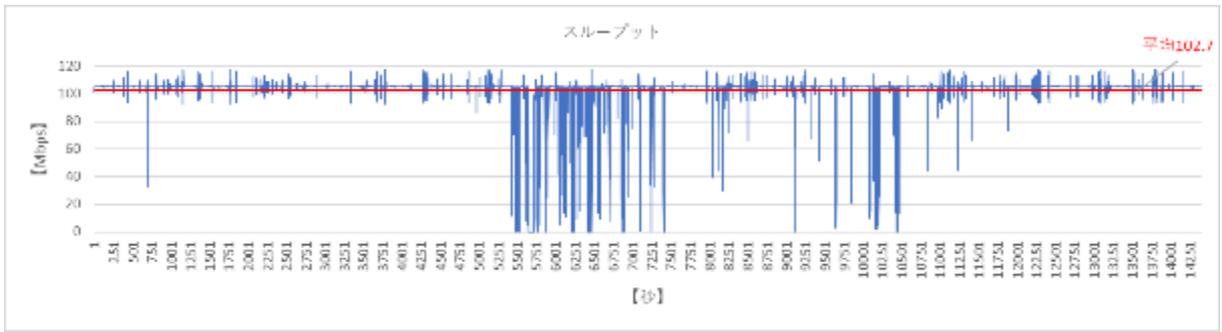


図.5.5.4-4-2 測定地点 17 2m 高スループット【秒】

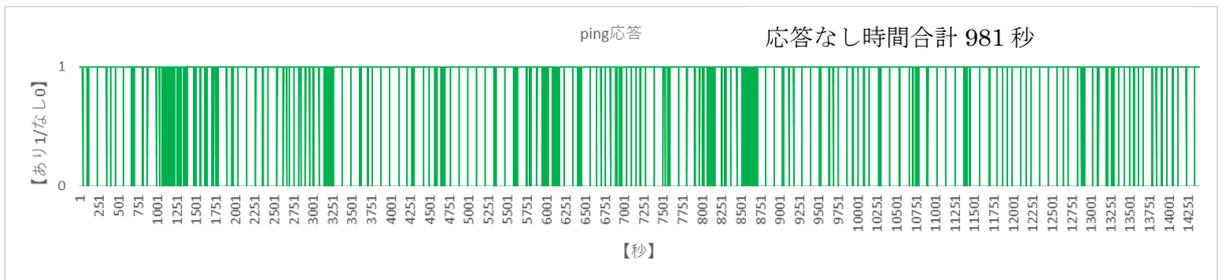


図.5.5.4-4-3 測定地点 17 1m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

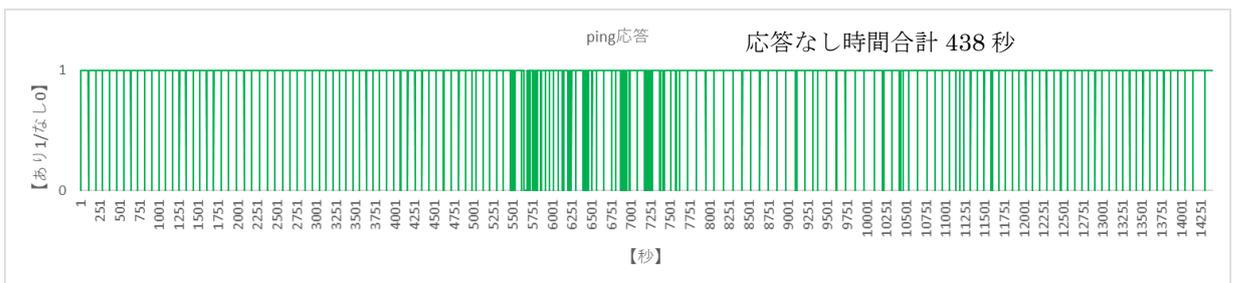


図.5.5.4-4-4 測定地点 17 2m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

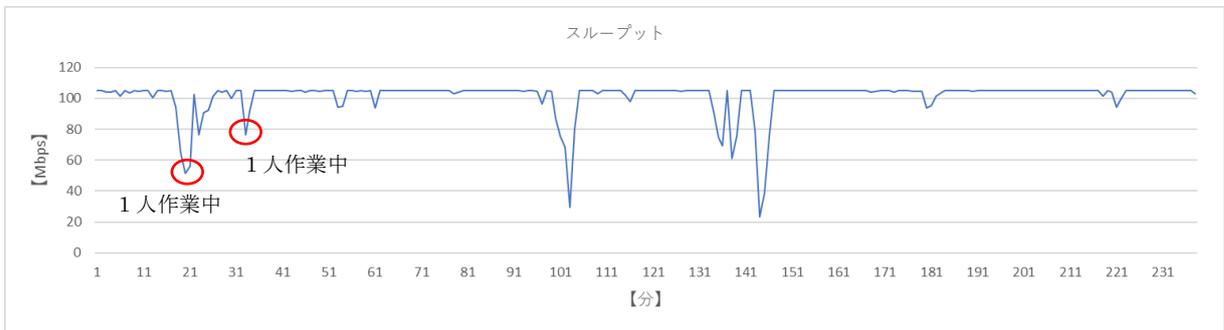


図.5.5.4-4-5 測定地点 17 1m 高 スループット【分】

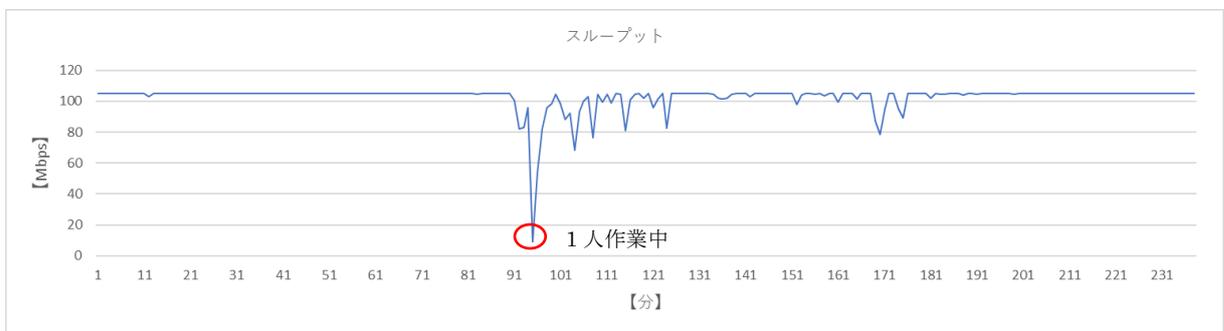


図.5.5.4-4-6 測定地点 17 2m 高 スループット【分】

表.5.5.4-4 測定地点 17 測定結果

高さ	平均スループット [Mbps]	パケットエラーレート [%]	Ping 応答なし時間合計 [秒]
1m	101.2	0%	981
2m	102.7	0%	438

測定地点 17 において、スループットに関しては、1m 高よりも 2m 高の方が変動は少なく比較的安定していた。1m 高、2m 高のいずれに関しても 1 名の作業員要因と思われるスループットの低下をいくつか確認したが、人的要因ではないと考えている。

パケットエラーレートに関しては、いずれの条件も 0%であった。

Ping 応答に関しては、2m 高の方が 1m 高のものより 2.2 倍程度良好であった。

全体として、2m 高の方が良好な結果となった。

(5) 測定地点 19 の結果

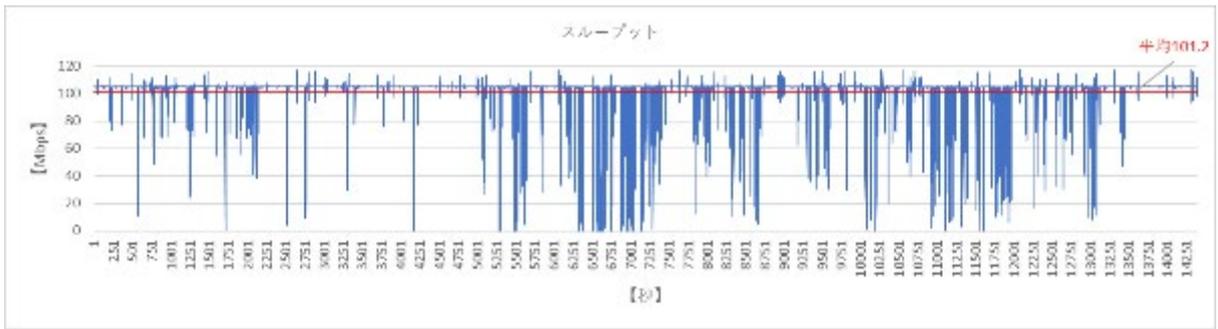


図.5.5.4-5-1 測定地点 19 1m 高 スループット【秒】

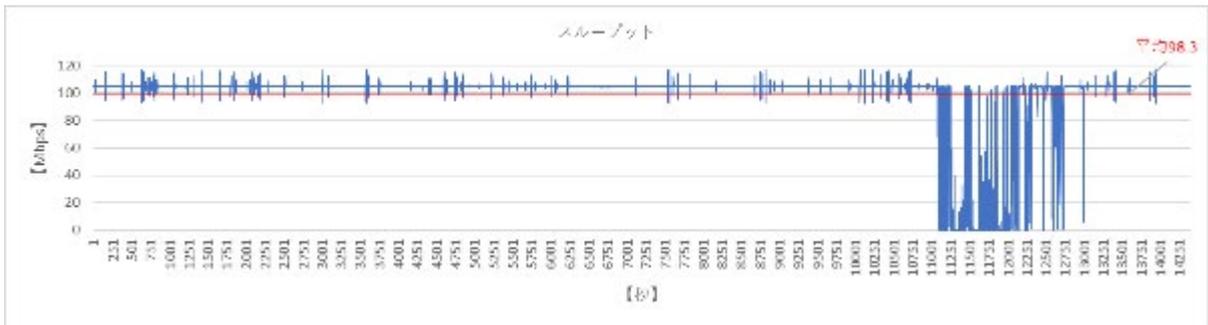


図.5.5.4-5-2 測定地点 19 2m 高 スループット【秒】

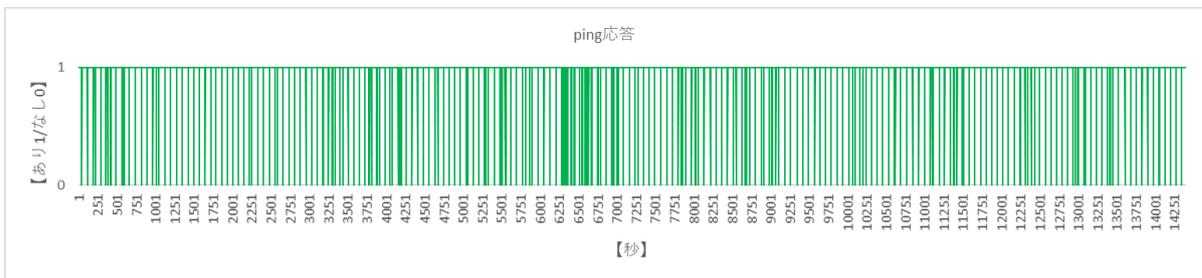


図.5.5.4-5-3 測定地点 19 1m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

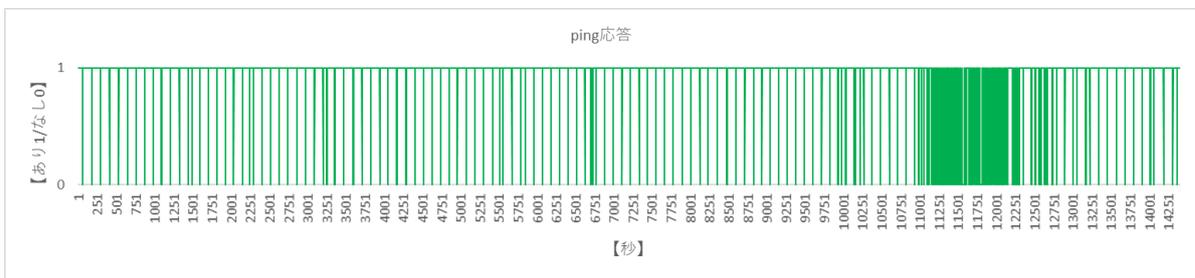


図.5.5.4-5-4 測定地点 19 2m 高 Ping 応答あり/なし【秒】

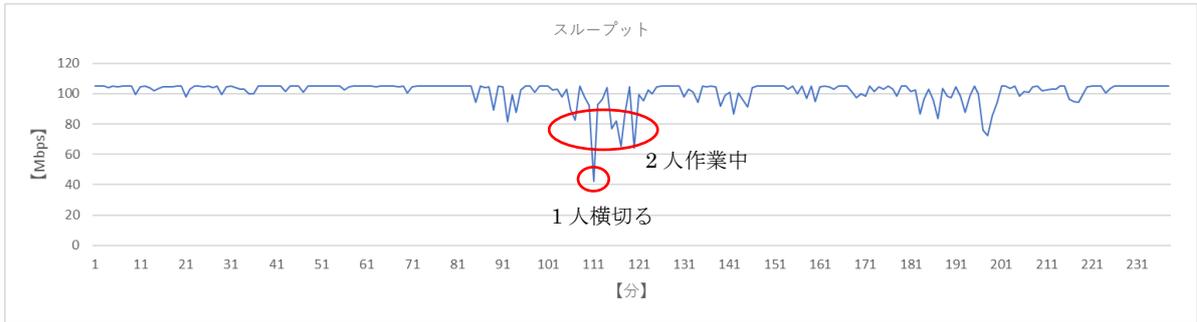


図.5.5.4-5-5 測定地点 19 1m 高 スループット【分】

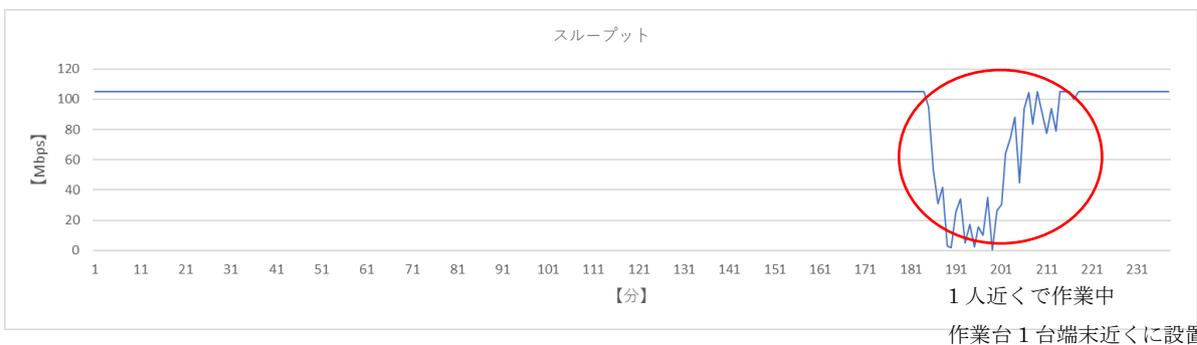


図.5.5.4-5-6 測定地点 19 2m 高 スループット【分】

表.5.5.4-5 測定地点 19 測定結果

高さ	平均スループット [Mbps]	パケットエラーレート [%]	Ping 応答なし時間合計 [秒]
1m	101.2	0%	566(491)
2m	98.3(102.1)	0%	908(213)

※0内は作業者が原因と思われる性能低下の期間(30分程度)を除いた値。

測定地点 19 においては、スループットと ping の応答時間に関しては、1m 高が 2m 高を超える値となった。しかし状況を確認すると、2m 高の時には 30 分近く作業者要因でのスループットが低下しており、この間を除くと他の測定地点と同様に 2m 高の方が 1m 高よりも高い値を示した。

パケットエラーレートに関しては、いずれの条件も 0%であった。

Ping 応答に関しては、2m 高の方が 1m 高のものより 2.3 倍程度良好であった。

全体として、2m 高の方が良好な結果となった。

(6) まとめ

全体の4時間平均スループットは以下の通りである。

表.5.5.4-6-1 平均スループット

端末高さ\測定位置	1	3	12	17	19	19 (作業者が原因のスループット低下期間を除く)
1m高	88.3Mbps	87.9Mbps	105Mbps	101.2Mbps	101.2Mbps	101.2Mbps
2m高	101.3Mbps	98.8Mbps	105Mbps	102.7Mbps	98.3Mbps	102.1Mbps

また ping 応答がない時間の合計は以下の通りである。

表.5.5.4-6-2 ping 応答なし合計時間

端末高さ\測定位置	1	3	12	17	19	19 (作業者が原因のスループット低下期間を除く)
1m高	1575秒	1588秒	188秒	981秒	566秒	491秒
2m高	534秒	797秒	172秒	438秒	908秒	213秒

測定場所 19 は作業者が原因でスループットの大幅な低下が起きており、この部分を除くとスループットと ping の応答時間いずれの場合でも 2m 高の方が良好な結果であった。

またパケットエラーレートは本実証内ではいずれの場合も 0%であったが ping 応答がない時間が 1 番良好な条件(測定地点 12 2m 高)でも 172 秒発生しており、有線の場合ほぼ起きないと考えると再送が行われた回数が多いと考えられる。

いずれの結果に対しても当初の目標値であったスループット 70Mbps、パケットエラーレート 0.05%を上回る結果となった。

5.5.5. 考察（今後の課題等）

本実証の課題における大容量データを長時間伝送するときの、スループット、エラーレート等の性能は使用に耐えられるかということと、今後、所望のデータ容量を設定時間内に送信するときに求められる性能について考察した。

(1) 結果概要

本実証では 1.6m～1.9m 程度の高さの検査設備が 100 台以上並ぶ遮蔽物が多い部屋で実施した。4.7GHz 帯を使用する本実証では届かない場所があると考えていたが、結果として基地局を中央に置く事でエリア内 (32.47m×19.6m) のどの場所でも通信を行なう事ができた。

(2) 端末設置位置について

端末側の高さは 1m 高、2m 高で実施した。全体の結果を見て 2m 高の方が通信は安定している結果になった。無線通信の関係上やはり基地局に対して可能な限り見通しがきく場所に端末を設置するのが良いという事がわかった。ただし 1m 高でも長時間安定したスループットが得られる場所もあった。1m 高で設置する場合でも、無線特性に悪影響を与えるような要因（人のアンテナへの接近や設備の開閉）が少ない箇所でローカル 5G デバイスを固定し使用するという条件下であれば十分使用できると考えられ、設置の柔軟性を高めることが可能である。

通信特性が良好となる設置位置は、事前にスループットを測定する事によって割り出せると考えている。

(3) 通信不具合の対策について

本実証期間においては、いずれの測定点においても通信性能の低下が起きた場合、その要因が取り除かれる事で自動的に復帰していた。TCP を使う通信の場合、再送回数を増やす設定にしておくなど対策を行う事で回避できると考えられる。

ただしリアルタイム性が求められる場合は、本実証内でも長時間(数十秒)の無通信状態を確認しており、通信が安定する有線での接続が必要であるといえる。

(4) 課題

1) 通信性能低下の発生原因の分析方法

- A) 作業者のローカル 5G 端末への接近
- B) 設備のメンテナンス時などの開閉
- C) 高さ 1m 程度の作業台などの配置変更

など人的要因で通信性能が低下する状況を確認できたが、それだけではないケースもあった。部屋内の全作業者の配置、設備の振動が関係しているのではないかと推測している。

2) 大容量データ転送に対しての伝送容量の機能課題

現状、能力的に UL（アップロード方向）のスループットが 105Mbps までと制限されている為、本課題の 1 日 4.5TB の送信には約 99.9 時間を要する事になり、1 日 24 時間の送信では対応できない。今後更なる速度の向上が必要である。

5.6 課題解決システムに関する運用検証

5.6.1. 運用作業一覧とその説明

運用作業の中に運用に必要な事項を盛り込み検証を行った。

(1) 作業一覧

課題解決システムの作業は以下のような手順で行った。4 時間のデータ転送であるが、1 回ごとにセットアップを行った。

1) 事前点検

- A) 安全面での周辺の点検
- B) 電源接続、設置状態確認

2) 機器セットアップ

- A) 基地局、端末の電源 On
- B) ソフトウェア起動（基地局用 SDR ソフトウェア）
- C) 接続確認（死活監視 Ping を双方から送信受信確認）

3) データ転送

- A) データ転送用スクリプト起動

4) データ確認

- A) データ送受信完了かどうか確認

(2) フロー図

上記作業一覧をフロー図に表す。チェック項目があり正常動作が行われているか、正常終了したかどうかまでを確認する。

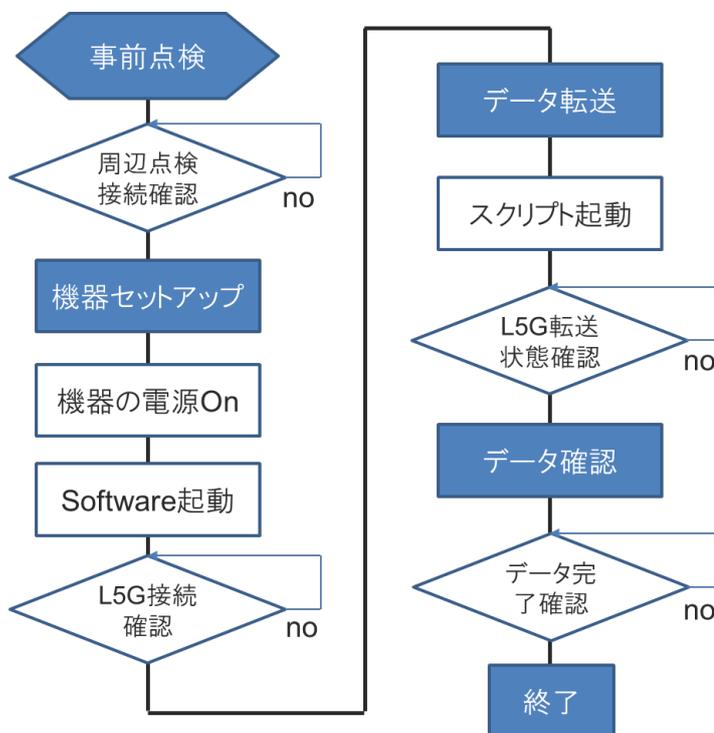


図 5.6.1-1 フロー図

(3) 運用作業一覧における補足

実施計画の測定手順（データ転送）の流れを基本として、実際に検証を実施し、差異があり追加必要なアクションを運用ルールへ反映することとする。

1) 使い勝手に関して

作業一覧の機器セットアップの項について、本実証では、基本システムの機器を個別に操作・起動する必要があった。測定用のスクリプトは設定間違いのないように作成した。一方で、PC サーバ、ローカル 5G 機器は個別に設定が必要である。これらのデータ転送の開始、終了、再起動する動作を繰り返すことになり、当初計画で想定した動作より煩雑であることがわかった。これらの検証を行い、マニュアル作成および改善が必要であることを 5.6.4 項で述べる。

2) 環境面、安全面に関して

今まで存在していなかったシステムが工程内に配備されることとなるため、生産面や作業者の業務の妨げとならないよう配慮が必要となる。歩行する領域での必要な処置やローカル 5G システムが稼働している旨を周知徹底するなど必要事項の抽出を考慮し、実証において試験運用を行った。計画時の想定と実際の実施イメージには差異があり、その都度、安全確認、周知徹底を図ることとなった。

3) 維持メンテナンスに関して

本実証は、仮設置状態のシステムにて行った。計画時に予想した通り恒常的な運用を仮定した場合、仮設置のシステムとは異なる場合があるが、共通して必要なメンテナンス事項（機器の点検、機器の再起動、データ転送の確認等）を抽出した。これをもとに運用ルールの検討を行った。

5.6.2. 検証項目

- (1) データ転送状況確認
- (2) トラブル対応
- (3) 安全対策・リスク低減策について

5.6.3. 検証方法

(1) データ転送状況確認

AI 画像判断データ転送サーバ、データ収集サーバの動作ログを解析することで状況確認が可能であるか、あるいは今後そのための追加開発が必要かを検証した。

(2) トラブル対応

課題実証期間中のトラブル、インシデントを記録してその際の対応方法を検証し、今後の対応に関して適切な方法の立案が可能かどうかを検証した。

(3) 安全対策・リスク低減策について

検証実施者と工程関係者へ、以下の内容に関する確認を行った。

- ・工場の一角にシステムを設置・移設するにあたり、特別な環境配慮が必要か。および安全面での配慮・考慮が必要か。
- ・システムの設置・移設に伴う周囲の製造ラインへの影響など、工場内のその他エリアを圧迫していないか。
- ・その他の制限事項がないか。

5.6.4. 検証結果

(1) 検証結果

課題実証を実施する中で検証を行い、運用に必要な事項を抽出して運用ルール案の作成を行った。

表 5.6.4-1 検証の流れ

検証項目	必要事項 抽出	アウトプット
1)データ転送確認	・別系統ネットワークからのリモート監視	左記項目を基本として、「運用ルール案」を作成。
	・設定方法、確認事項のマニュアル化	
2)トラブル対策	・ローカル5Gシステム動作定期報告(日報)	
	・トラブル発生時の連絡網の確保	
3)安全対策・リスク低減対策	・工程内への実験を周知徹底	
	・作業員の妨げにならないよう、設置の安全性を確保。社内基準を適用	

1) データ転送状況確認

4時間のデータ転送を行ったが、この間に設定のミスによりデータ転送が停止する事象が生じた。これをいち早く察知するための工夫が必要と考え、試行的にローカル 5G とは別ネットワークでリモート監視を行った。工程内で転送状況を常時監視することは不可能であったため、この試みは非常に有効であった。また、停止の原因は初期の PC の操作もしくはソフトの設定ミスであったため、操作手順等をマニュアル化する必要がある。本項目での対策は以下の 2 点である。

- A) 別系統ネットワークからのリモート監視
- B) 設定方法、確認事項のマニュアル化

2) トラブル対応

前項で述べた、設定ミスによるデータ転送の中断に関しては太陽誘電(株)内での確認で済んだが、これより重大な動作不具合があった場合はローカル 5G システムの管理者である沖電気工業(株)への連絡が必要となると考える。実証期間中は進捗報告含め定期報告を行った。実際の運用ではローカル 5G システム管理者による定時

点検、および問題発生時のサポート体制の確立が必要である。

- A) ローカル 5G システムの動作定期報告（日報）
- B) トラブル発生時の連絡網の確保

3) 安全対策・リスク低減対策について

玉村工場の工程内へ機器を搬入・設置するため、本実証を行う前に通路スペースを占有することを作業員へ周知することとしていた。電源の AC コード等、床を這うものは固定をすることと、基地局と端末の設置についても同様に、工程内の作業員の歩行の妨げにならないように注意を払った。本項目でのルール化は以下の通りである。

- A) 工程内での実験のための周知徹底
- B) 作業員の妨げとならないような設置の安全性の確保、社内基準の適用

(2) 運用ルール案

検証内容から必要事項を抽出した。さらに実運用で必要事項を追加した運用ルール案を以下に示す。

「運用ルール案」

1) 管理者

以下の管理者を設定し、システム全体の運用を行うこと。

- ・システム管理者
- ・ネットワーク管理者（無線系を含む管理、業者との連携を行う）

2) 始業点検

システムを稼働させる場合は、ネットワーク接続状況、サーバ機器の設置、電源システムを十分確認すること。

3) 操作・設置

工程内へ設置された機器は作業員の作業の妨げとならないよう配慮すること。

また、掲示等により本システムの存在を作業員へ周知徹底すること。

機器の操作に関しては現場担当者が間違いなく始動できるようにマニュアルに従って操作すること。

設置は安全上の配慮を行った上で設置すること。

4) 動作監視

システム管理者は、リモート監視において定期的に動作状況を確認すること。

ネットワーク管理者は、死活監視プログラムが正常であるかどうかを確認すること。

動作の異常を確認した場合は、工程内の監視カメラ映像により機器周辺の状況を確認すること。

5) マニュアル化

運用を行うため、以下の項目のマニュアルを作成して行動すること。

- ① 設置方法 ②操作・起動方法 ③動作監視

6) トラブル対応

特に無線系ネットワークのトラブルに関しては、専門業者の指示を仰ぐこと。
社内と業者の連絡網を準備しておくこと。

本実証では、機器の再起動とデータ取得時に逐一ソフトウェア起動を行っていたが、実運用では機器を一度起動した時点でソフトウェアの自動起動が必要となる。ローカル 5G 機器と PC には起動順序があるため、自動起動ソフトウェアの設計は多少難易度が高いと想定される。また、ローカル 5G 機器の再起動が必要な場面があり、これは WOL (Wake On Lan) でリモートから再起動を掛けられる機能が必要と考える。POC システムから量産システムへ移行した際に機能として盛り込まれることを希望する。

(3) ローカル 5G 無線設備設置方法の観点からのガイドライン案

「ガイドライン案」

1) 工程内面積規模とスループット

課題実証に使用した工程の広さは「横 32.47m×縦 19.60m×天井高さ 3m 高」
 基地局高さ 2.5m 高、端末高さ 2m 高、1m 高
 スループット 88Mbps~105MbpsMax

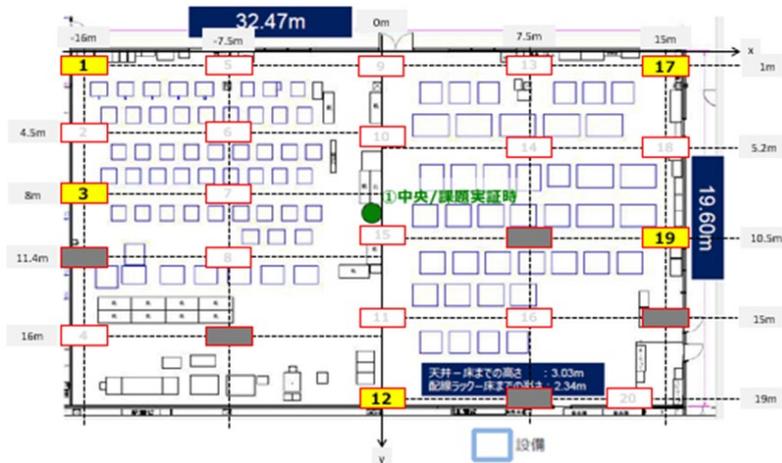


図 5.6.4-1 工程レイアウト

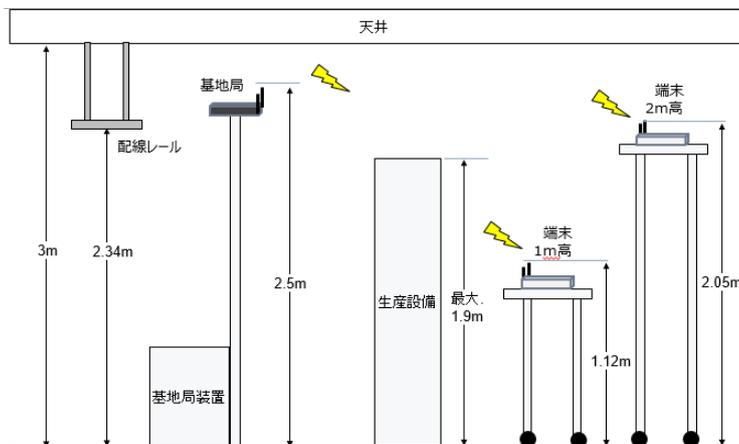


図 5.6.4-2 工程内高さ関係図

2) システム系統図例

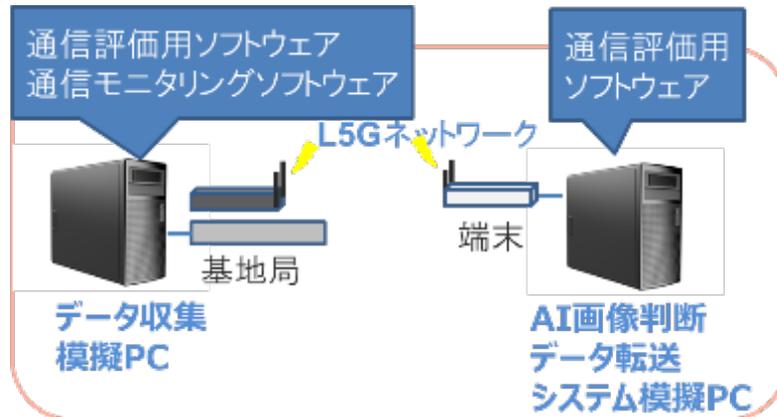


図 5.6.4-3 システム系統図

3) 良好位置探索

A) スループットを確認

5.5 節にて述べた通り、電波状況が良好な位置の探索方法としてはスループット測定が良い。作業員と機械設備の稼働状況、メンテナンス等室内の状況が変化するため、1時間以上観測することと時間帯を変えて観測することが必要と考える。基地局、端末からの電界強度にあたる RSSI と、無線通信の BLER(BLock Error Rate)等も参考にできれば観測精度は向上する。

B) 見通しの良い場所

電波伝搬上、見通しの良い条件を作ることが必要である。端末は 1m 高と 2m 高に設定したが、一部作業員の影響を受けることがあったものの 2m 高のほうが良好な傾向を示した。作業員の影響を避けることが重要と考える。

4) 付加システム

システム設置後の機器の設置状態の監視を行う監視カメラが必要である。ローカル 5G は社内ネットワークやパブリック 5G、4G と切り離されている。別系統からネットワーク監視によりローカル 5G 機器の動作状況をモニターする必要がある。

5) 安全基準

A) 機器設置時の注意

機器の設置は作業員の作業の妨げにならないこと。

B) 電源供給とノイズ対策

ローカル 5G への電源供給については極力、検査設備の電源ラインとセパレートされたラインで検査設備からの電源線電導妨害やサージが混入することが無いようにする必要がある。

5.6.5. 運用面に関する課題と解決策（運用フロー図、他地域での活用方法等）

実運用を想定した場合は以下の課題が考えられる。

- (1) データ転送時に途中停止が生じるため、状況確認が必要となる。
解決策として、別系統ネットワークを設置してリモート監視環境を構築することが考えられる。ネットワークの死活監視は必須と考える。本実証では 1 秒間隔での監視であったが、少なくとも 10 秒～60 秒間隔での監視が必要である。
- (2) 設置後に煩雑なセットアップが必要となる。
起動時におけるフルオート起動機能が必要と考える。また、機器の再起動はネットワークからの遠隔操作（WOL）が可能になるとメンテナンス性が向上する。
- (3) 水平展開を行うにあたり、県内中小工場では検討の情報がなく、判断の目安がわからないという課題がある。
実証結果をもとに、太陽誘電(株)の玉村工場における工程の事例を示し、工程面積、設備配置、転送モデル等を図解によって説明できるようにする必要がある。本実証では工程内の測定地点ではすべてローカル 5G の電波は到達し、パフォーマンスも Max に近いスループットが得られた。前述のガイドライン案、運用案を参考例として提示できるようにしたい。

5.6.6. 考察（今後の課題等）

課題実証を通して、従来の有線ネットワークとローカル 5G によるネットワークとの差異を体感した。必ず接続状態になっている有線と異なり、無線系は遮蔽物や作業者の往来により電波伝搬状態が変化する。短時間ながら接続が切断されることにより結果的にスループットが落ちてしまうことがあるという特性を確認することができた。この特性により、有線と比較して管理上、確認を要することが増加してしまうことが判明した。機器の物理的な設置状態が変化したことがわかるような監視カメラの使用や、ネットワークの接続状態を一定時間で監視する死活監視機能、データ転送が完了したかどうかを検知する仕組み等を初期段階では準備する必要があると考える。ローカル 5G ネットワークの高い信頼性を期待していたが、手放して運用可能という訳にはいかず、無線の特性がそのまま出てくるため運用管理として考慮する必要がある。今後の課題として以下の 3 点を挙げる。

- (1) 無線系ネットワークと意識せず使用できること
自動起動・復帰のソフトウェア、リモートでの再起動・状態把握が可能なハードウェア等の改善が必要となると考える。
- (2) 運用管理工数の低減が必要
性能が良いローカル 5G の活用により運用管理のコストが増大してしまっただけでは本末転倒となるため、ネットワーク、アプリケーションソフトウェア、工程の対象となるデータ活用部分のソフトウェア等の連携が取れた開発が必須であると考えられる。
- (3) 異なる無線系（WLAN 等）との共存
他の無線系との併用により、機器設備のコスト低減、管理を簡単にする工夫等は可能と考える。

5.7 まとめ

本課題実証では、ローカル 5G を活用した画像判断データ転送模擬システムに関して検証を行った。太陽誘電(株)の玉村工場における工程では十分に活用可能であると考えられる。

また電波伝搬の特性により、有線 LAN と比較して管理項目や設定項目が必要であるとの知見が得られた。以下に課題実証全体を通してのまとめを述べる。

(1) 課題実証でのローカル 5G の接続性について

今回、ローカル 5G を活用した課題実証を実施する貴重な機会を得た。課題実証に使用した工程内は 1.9m 高の検査設備があり電波伝搬の条件としては厳しいと予想したが、ほぼ工程内の各所で無線通信の確立を確認した。このことから本工程の面積に対しては十分に使用可能と考える。また長時間（4 時間）の実証を行い、データ転送性能に対する周辺の影響等も調べることができた。

人の動きによる電波伝搬状態の変化を把握できたが、それ以外の影響等の有無を検証するためには、検査設備の稼働状況との関連付け等が必要となると考える。接続性については、TCP プロトコルを使用したこともあり、一旦接続された後はデータ転送を中断することなく長時間のデータ転送が可能となったため、5G を使用する価値はあると考える。

(2) 設置運用のコストについて

ローカル 5G 機器の設置運用を行うには、本工程の面積において基地局 1 基と端末が必要となりコスト的に課題があると考えられる。玉村工場では実証に使用した規模の工程の部屋は各所にあり、ローカル 5G を必要とする部屋ごとに基地局を設置するとなると膨大な費用が掛かると想定される。中小企業の工場においても、システムを導入するための障壁となるため、例えば工場屋外へメインの基地局を設置し、各建屋に対しては比較的安価な中継装置等にて通信エリアを拡大できるような対策が必要と考える。

(3) 課題設定において苦慮した点

課題設定において苦慮した点は、実証例をどのケースにて行うかという点である。稼働中の積層セラミックコンデンサの検査設備へローカル 5G ネットワークを接続して実証するということが実現できず、模擬 PC を用いて実現するという苦肉の策となった。今後の解決策としてはモデルとする専用工程を設定することや、稼働率の低い工程へ接続すること等が考えられる。

(4) ローカル 5G の性能の有効性

スループットの検証については、本実証にて用いたローカル 5G 機器の性能である最大 105Mbps（アプリケーションレベル）での実証を実施した。本来の 5G のスループット性能は、より高いものであると認識しており、今後のアプリケーションは 5G に対して確実に高スループットを要求すると予想する。

ローカル 5G システムが、更なる高スループット性能を実現できれば、有線 LAN よりも使用価値があると考えられる。機器の開発が進み、性能とコストのバランスが確立したところで普及の道が開かれると予想する。

6. ローカル 5G の性能評価の技術実証

6.1 前提条件

本実証を実施する地域として、OKI の本庄工場、太陽誘電(株)の玉村工場を対象とした。同様の工場を保有する実証地域以外の地域の利用においても有益な成果が得られるように、基地局の設置高や端末の配置高を変える等、複数の電波伝搬環境でのローカル 5G の無線通信特性を評価・検証することとした。これにより、多様な無線設備等の設置が想定される環境での無線通信特性に関して想定することが可能になると考える。

今回の検証においては、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会における 4.7GHz 帯 (4.6~4.9GHz) ローカル 5G の検討状況を踏まえ、当該技術的条件に準拠したローカル 5G 機器を選定し、また本実証のユースケースの通信形態を考慮して、非同期での Up Link(UL)重視のフレーム構成にて評価することとした。同期や準同期では、UL と Down Link(DL)の比率は決まっているが、非同期では UL・DL 比率を利用形態に合わせて変えることが可能である。

実証にあたって、対象地域におけるキャリア 5G の通信事業者およびローカル 5G の運用有無を調査した。本庄工場に関しては、事前に周波数が隣接する通信事業者 (NTT ドコモ) と帯域外スプリアス等の干渉調整を実施し、承諾を得た上で評価・検証を実施した。玉村工場に関しては、干渉調整先は特になかった。

なお、本実証を実施するために必要となるローカル 5G 機器をはじめ、測定機器や実験治具の準備、および稼働中の各工場との実証実施の調整に関しては、当コンソーシアムにて実施した。

6.1.1.1. 対象とするユースケース

第 2 章にて調査した地域課題（製造業が抱える人手不足や業務の効率化等）を解決するために、工場内での利用が想定される下記 2 つのユースケースを対象とした。各ユースケースに関するシステム概要と性能要件を示す。

(1) OKI 本庄工場

図 6.1.1-1 に、高精細映像伝送にローカル 5G の活用を想定した「外観検査異常判定システム」を示し、性能要件を整理する。外観検査異常判定システムは、組立/検査工程における目視確認作業の自動化を目的とし、IP カメラからの高精細映像を上位の AI 画像解析装置へ送信し、AI 画像解析による外観異常検知を実行するものである。

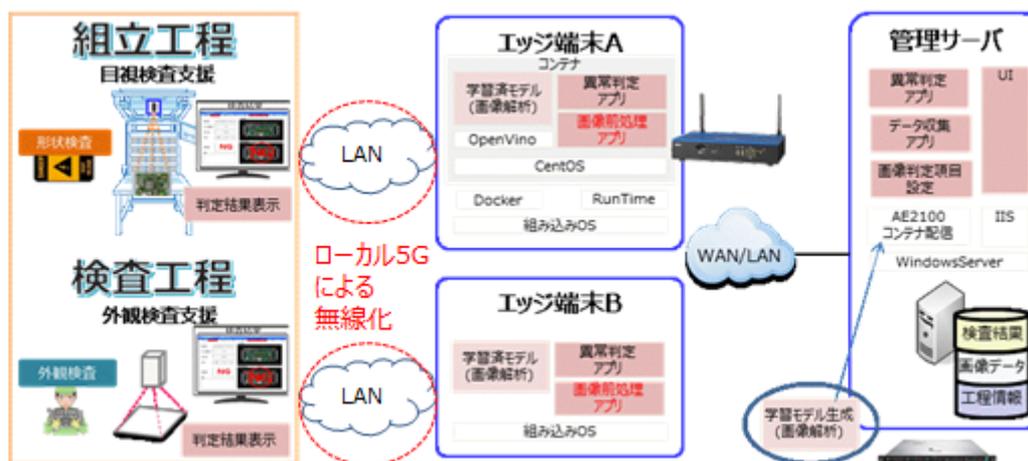


図 6.1.1-1 外観検査異常判定システム

■性能要件

- ・データ種別 : ストリーミング動画
- ・通信プロトコル : UDP/IP
- ・伝送遅延時間 : システム全体 : 1 秒, 無線区間 : 100msec
- ・伝送スループット : 高精細であるほど細かな異常判別が可能

伝送スループットが高速であればあるほど、すなわち画質が高精細であるほど、より高い効果が得られると考えられるが、例えば高精細映像の画質を 4K 程度と想定する場合は、非圧縮では約 6Gbps の伝送スループットが要求され、H.264 での圧縮では 40～80Mbps 程度の伝送スループットが要求される。

(2) 太陽誘電(株) 玉村工場

図 6.1.1-2 に、大容量ファイル伝送にローカル 5G の活用を想定した「画像判断データ転送システム」を示し、性能要件を整理する。画像判断データ転送システムは、複数の検査設備からの検査画像データを AI 画像判断データ転送サーバにて集約し、約 1.5GB 毎に圧縮したファイルをデータ収集サーバへ送信するものである。

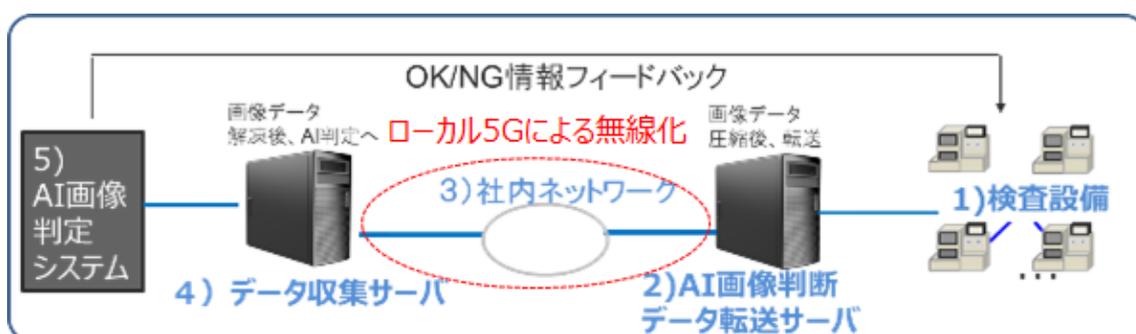


図 6.1.1-2 画像判断データ転送システム

■性能要件

- ・データ種別 : JPEG 形式/PNG 形式の検査画像データを圧縮したファイル
- ・通信プロトコル : TCP/IP
- ・伝送遅延時間 : システム全体 : 1 秒, 無線区間 : 100msec
- ・伝送スループット : 数 TB/日のデータ量

伝送スループットが高速であればあるほど、データ収集サーバへのファイル転送をより速く完了することが可能と考えられるが、例えば数 TB のデータを 1 日間以内に転送する場合、1Gbps 以上の伝送スループットが要求される。

いずれのユースケースにおいても、現在は有線 (Ethernet) にて接続されている箇所を、ローカル 5G にて無線化することにより、配線に掛かるコスト削減や、レイアウトの柔軟性を目指している。伝送スループットは高ければ高いほど、より効果が得られると想定されるが、本実証を実施する時点にて入手可能な Sub6 帯ローカル 5G 機器で、評価を実施することとした。

6.1.2. 実証環境

当実証では、下記の NW・システム構成、設置環境（アンテナ高、装置の設置場所等）、計測等の評価・試験環境構成を実証環境とした。

■NW・システム構成

図 6.1.2-1 に、NW・システム構成を示す。ローカル 5G 機器は、5GC(5G コア)、基地局、端末にて構成される。基地局は L3 Switch を介して Gbit Ethernet ケーブルにて 5GC と接続する。また L3 Switch には、Gbit Ethernet ケーブルにて本実証の測定ツールを搭載した PC が接続される。端末は Gbit Ethernet ケーブルにて直接、本実証の測定ツールを搭載した PC へ接続される。



図 6.1.2-1 NW・システム構成

■設置環境（アンテナ高、装置の設置場所等）

図 6.1.2-2 に、設置環境を示す。5GC や L3 Switch は、可搬式のラックに收容する。基地局は伸縮性を持つポールに取り付けて、高さを調整可能とする。端末は可動式の台車へ設置し、電源はポータブル電源より供給することとする。それぞれ測定ツールが搭載された PC を接続して無線通信特性の測定を実施する。

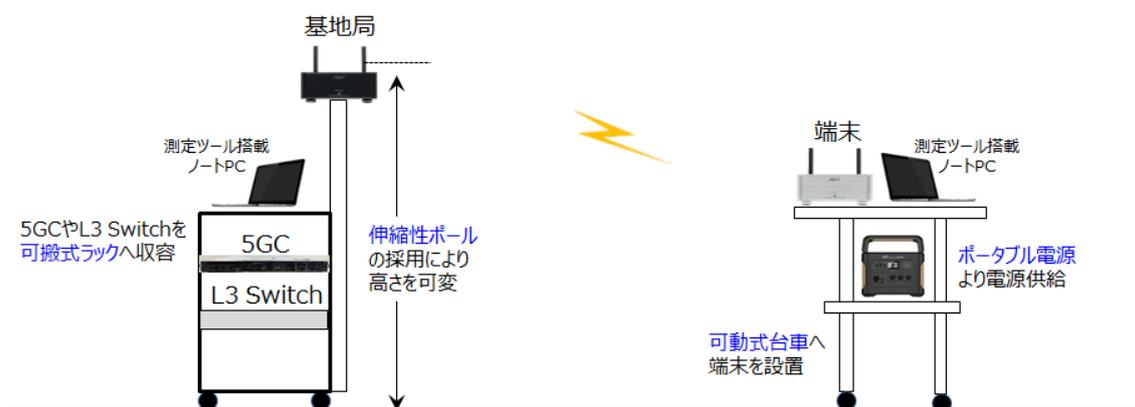


図 6.1.2-2 設置環境

(1) OKI 本庄工場

図 6.1.2-3 に、本庄工場レイアウトと基地局設置場所を示す。本庄工場での実証エリアは約 80m×60m の約 4,800 m² のエリアとする。天井高は約 4.5m であり、エリアの 2 方向は外壁、2 方向は通路に囲まれている。赤線はパーティションの設置場所を示す。基地局の設置場所は、中央と壁際の 2 パターンとする。それぞれの場所において、基地局の高さを 3m, 4m に変更し、各測定地点での無線通信特性を測定する。

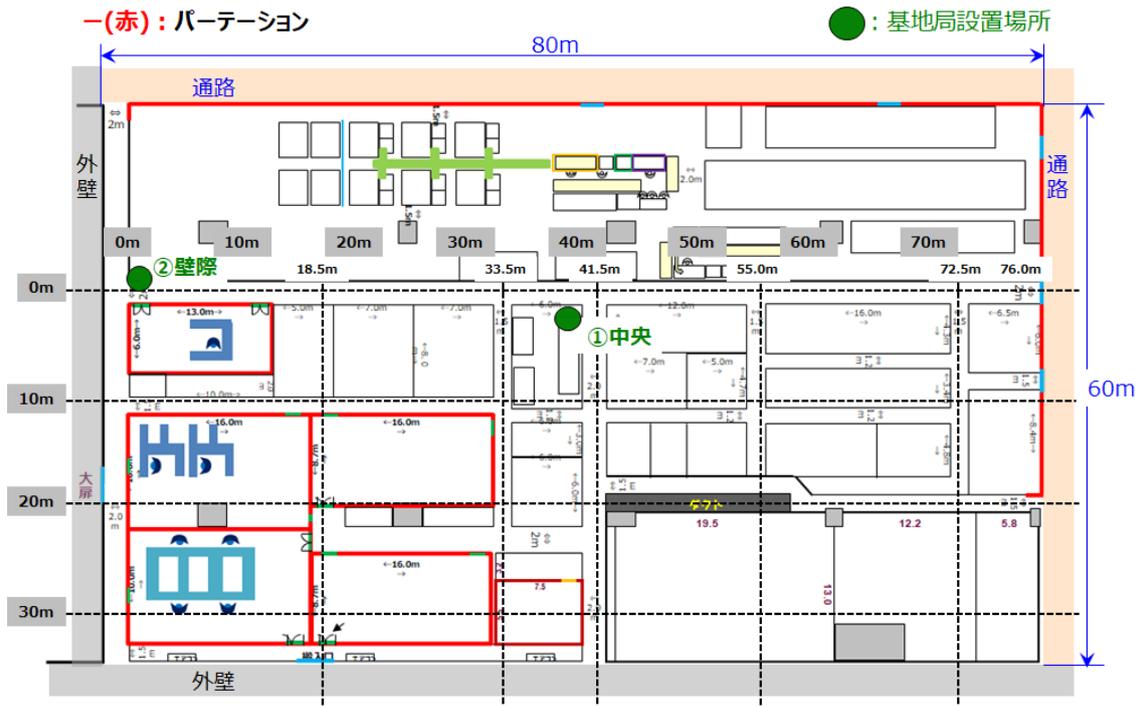


図 6.1.2-3 本庄工場レイアウトと基地局設置場所

(2) 太陽誘電(株) 玉村工場

図 6.1.2-4 に、玉村工場レイアウトと基地局設置場所を示す。玉村工場での実証エリアは約 32.5m×19.6m の約 635 m²のエリアとする。天井高は約 3m であり、エリアの 2 方向は通路、2 方向は別の部屋に囲まれている。基地局の設置場所は、中央と壁際の 2 パターンとし、高さは 2.5m とする。それぞれの場所において、端末の高さを 1m, 2m に変更し、各測定地点での無線通信特性を測定する。

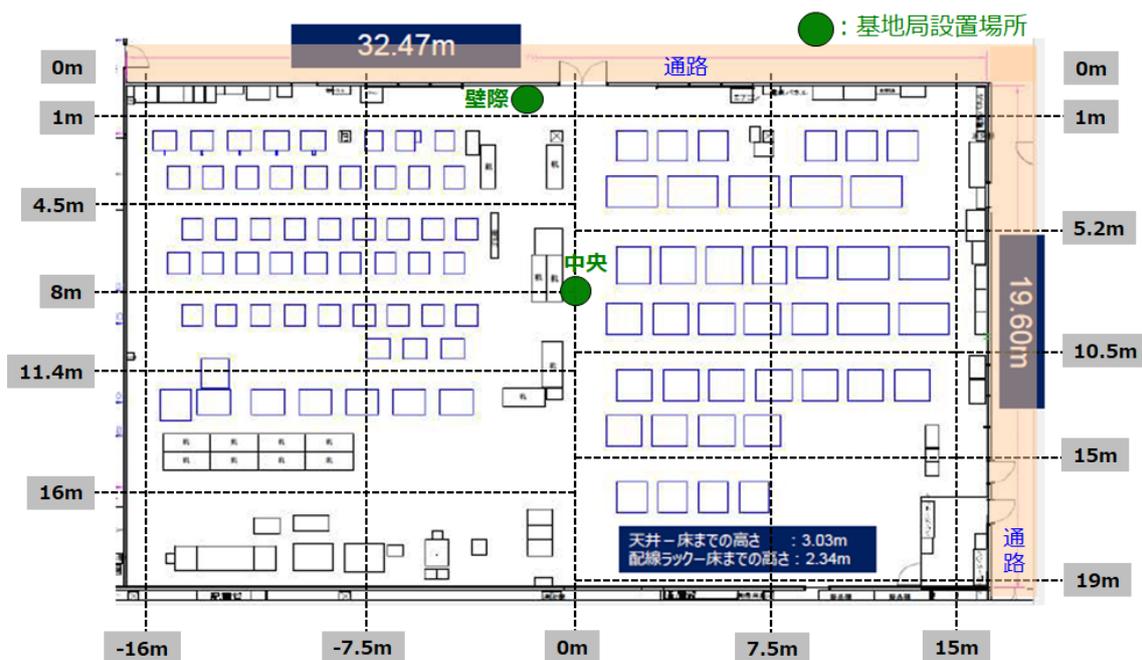


図 6.1.2-4 玉村工場レイアウトと基地局設置場所

■計測等の評価・試験環境構成

図 6.1.2-5 に基地局側の外観、および端末側の外観(1m 高時, 2m 高時)を示す。端末側の台車の材質は、台座は木材とゴム、支柱は金属である。本庄工場での端末側の台車の高さは 106cm であり、玉村工場での端末側の台車の高さは 112cm または 205cm である。



基地局側の外観



端末側の外観(1m高時)



端末側の外観(2m高時)

図 6.1.2-5 基地局側の外観, 端末側の外観

6.1.3. 基本的な諸元

本実証にて使用するローカル 5G 機器は、4.7GHz 帯の SA 構成のものである。表 6.1.3-1 にローカル 5G 機器の無線局諸元を示す。基地局の設置位置を柔軟に変更するために、実験試験局での無線局免許を取得した。中心周波数は 4.8GHz であり、占有帯域幅は 100MHz (4.75GHz~4.85GHz) である。送信出力は 60mW (約 17.8dBm) であり、水平無指向、垂直偏波のアンテナ (利得：2dBi) を接続し、実効放射電力を 19.8dBm e.i.r.p. とする。変調方式は OFDM であり、その 1 次変調方式は 64QAM 固定である。送信タイミングは非同期とし、受信はアンテナ 2 本による最大比合成ダイバーシティとする。HARQ (Hybrid ARQ) 等の誤り訂正は実装していない。

本実証では、基礎特性を取得するために、システム構成として基地局の台数を 1 台、端末の台数を 1 台とし、基地局、端末ともに静止 (固定) した状態での測定を実施した。実証環境は工場内 (屋内) であり、生産設備 (静止状態、主な素材は金属)、パーティション (静止状態、主な素材は金属とガラス)、外壁 (静止状態、主な素材は鉄筋鉄骨コンクリート)、内壁 (静止状態、主な素材は鉄骨・石膏ボード)、作業員 (移動可能) 等の遮蔽物・反射物が存在する。周辺に他のローカル 5G の運用はなく、本庄工場ではキャリア 5G (NTT ドコモ) の運用があるが、干渉調整により共用が可能であることを確認した。本実証にて使用したローカル 5G 機器は非同期での運用とし、DL・UL 比率は UL:DL = 12:3 と UL 偏重の比率とした。

表 6.1.3-1 無線局諸元

項目	基地局相当	陸上移動局相当
無線局種別	実験試験局	
送信周波数	4800 MHz	
占有帯域幅	100 MHz (4750~4850 MHz)	
送信出力	60 mW (17.8 dBm)	
空中線の利得	2 dBi (水平無指向, 垂直偏波)	
実効放射電力	19.8 dBm e.i.r.p.	
変調方式	OFDM (1次変調：64QAM固定)	
送信タイミング	非同期	
受信ダイバーシティ	最大比合成 (アンテナ2本)	
誤り訂正	HARQなし	
備考	SA構成	

6.2 実証目標

6.2.1. 技術的課題

現在、ローカル 5G 機器は高価であるため、工場内を経済的かつ効率的にローカル 5G の通信エリアとするには、各ユースケースの実現を前提として、対象の工場内に適した基地局数かつ既存構造物への取り付け等簡易な基地局設置が求められる。しかしながら現状、Sub6 帯のローカル 5G に関して、工場内における無線通信特性の検証事例は少なく、参考となる導入事例が少ないため、実際に稼働中の工場内において、複数ポイントでの伝送遅延時間や伝送スループット等の無線通信特性を確認し、通信エリアを見積もる必要があると考える。工場内には、様々な生産設備、パーティション、外壁/内壁等があり、また作業者や部材・製造品等の移動もあるため、回折、反射、遮蔽が多数発生すると想定される。本実証では、見通し、見通し外（物陰、壁際等）等の環境条件が異なる測定地点を 20 箇所程度、選定して工場内における無線通信特性を検証・評価する。

6.2.2. 実証目標（※技術実証として）

本実証では、上記の技術的課題を踏まえ、工場内へのローカル 5G 導入ガイドライン作成に資するデータの取得を目標とする。具体的には、工場内での利用が想定される「外観検査異常判定システム」と「画像判断データ転送システム」の 2 つのユースケースを対象とし、工場内へローカル 5G を導入する際の事例としてまとめる。

実証方法として、実験試験局の無線局免許であることの利点を活かし、基地局や端末のアンテナ高のバリエーションを変更しつつ、各測定地点での伝送遅延時間や伝送スループット等の無線通信特性を測定する。その測定結果に基づいてエリアマップを作成し、工場内において想定される通信エリアを検証・評価する。また瞬間的な測定だけではなく、工場の 1 日の作業サイクル（製造スケジュール等）を考慮し、例えば朝・昼・夕等の異なる時間帯において、それぞれ 1 時間程度の連続測定を実施する。それにより時間帯毎の無線通信特性の変化も確認し、工場内に適した Sub6 帯ローカル 5G の基地局の設置条件等を整理する。更に既存の電波伝搬モデルに関して工場内の電波伝搬環境を踏まえた新たな係数・補正項の提案等を目指す。本実証にて取得するデータによって得られた知見を活かす対象の技術基準は、工場内へのローカル 5G 導入ガイドラインとする。また、同様の工場を保有する実証地域以外の地域の利用においても有益な成果が得られるように、複数の電波伝搬環境でのローカル 5G の無線通信特性を評価・検証する。

6.2.3. 実施事項

ア. ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価

- ・ OKI の本庄工場、および太陽誘電(株)の玉村工場の工場内において、周囲環境が異なる複数の測定地点（20 箇所程度）での伝送遅延時間や伝送スループット等の無線通信特性を測定し、環境条件との相関性を評価・検証する。本実施事項にて評価するデータをローカル 5G のエリア構築やシステム構築の検証へ活かす。
- ・ 参考として、工場の屋外への電波の漏洩について評価する。

イ. ローカル 5G のエリア構築やシステム構築の検証

- ・ OKI の本庄工場、および太陽誘電(株)の玉村工場の工場内において、基地局の設置が想定される場所（2 箇所程度）や基地局・端末の高さを変更しながら、周囲環境が異なる複数の測定地点（20 箇所程度）での伝送遅延時間や伝送スループット等の無線通信特性を測定することによって、伝送スループットや伝搬損失のエリアマップを作成する。本実施事項にて検証するデータを工場内に適した Sub6 帯ローカル 5G の基地局の設置条件等の整理に活かす。
- ・ 参考として、UL・DL 比率を DL 重視に変更して、無線通信特性を評価する。

ウ. ローカル 5G に関する独自の技術検証

- ・ 1 時間程度の連続測定を実施し、環境変動に伴う無線通信特性の変化を評価し、回線設計時の設計マージンを検討する。本実施事項にて検証するデータを既存の電波伝搬モデルに関して工場内の電波伝搬環境を踏まえた新たな係数・補正項の提案等に活かす。

上記ア～ウの実施により、工場内に適した Sub6 帯ローカル 5G のエリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察する。

6.3 ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等

6.3.1. ユースケースに基づく性能要件

高精細映像伝送にローカル 5G の活用を想定した場合の「外観検査異常判定システム」、および大容量ファイル伝送にローカル 5G の活用を想定した場合の「画像判断データ転送システム」の各ユースケースに基づくシステム性能要件を示す。

(1) OKI 本庄工場

- ・ 高精細映像伝送にローカル 5G の活用を想定した場合の「外観検査異常判定システム」
 - システム概要：組立/検査工程における目視確認作業の自動化を目的とし、IP カメラからの高精細映像をローカル 5G を用いて上位の AI 画像解析装置へ送信し、AI 画像解析による外観異常検知を実行
 - データ種別：ストリーミング動画
 - 通信プロトコル：UDP/IP
 - 伝送遅延時間：システム全体：1 秒，無線区間：100msec
 - 伝送スループット：高精細であるほど細かな異常判別が可能

(2) 太陽誘電(株) 玉村工場

- ・ 大容量ファイル伝送にローカル 5G の活用を想定した場合の「画像判断データ転送システム」
 - システム概要：各検査設備からの検査画像データを集約し、1.5GB 毎に圧縮したファイルをローカル 5G を用いてデータ収集サーバへ送信
 - データ種別：JPEG 形式/PNG 形式の検査画像データを圧縮したファイル
 - 通信プロトコル：TCP/IP
 - 伝送遅延時間：システム全体：1 秒，無線区間：100msec
 - 伝送スループット：数 TB/日のデータ量

性能要件の抛り所（論拠）として、(1)のユースケースでは、システム全体として 1 秒以内に作業員へ判定結果を返すことを目指しており、AI 画像解析に必要となる処理時間を考慮して無線区間での伝送遅延時間の目標値を 100msec(以内)としている。(2)のユースケースでは、特にリアルタイム性は問われないが、伝送遅延時間は TCP プロトコルの動作へ影響を与える要因となるため、無線区間での伝送遅延時間の目標値を 100msec(以内)としている。

伝送スループットに関しては、いずれのユースケースにおいても高速であればあるほど、より高い効果が得られると考えられるが、例えば(1)のユースケースにおいて高精細映像の画質を 4K 程度と想定する場合、非圧縮画像では約 6Gbps, H.264 での圧縮では 40～80Mbps 程度のスループットが要求され、(2)のユースケースにおいて、数 TB のデータを 1 日間以内に転送する場合、1Gbps 以上の伝送スループットが要求される。以降の評価・検証では、本実証にて選定した Sub6 帯ローカル 5G 機器の性能に基づいて実施することにする。

6.3.2. 評価・検証項目

前項 6.3.1 にて記載した性能要件を確認するために、下記の測定項目を対象に測定する。

- ・ 伝送遅延時間 (46byte/1460byte)
- ・ 伝送スループット (TCP/UDP)
- ・ 伝搬損失 (送信電力/受信電力の測定値より算出)

計測指標及びその妥当性として、伝送遅延時間の測定に関しては、(1)のユースケースでは作業者へ判定結果を返すまでの時間に直結し、(2)のユースケースでは TDP/IP プロトコルの動作 (フロー制御) が伝送速度へ影響を与える要因となるため評価・検証項目とする必要があると考える。伝送スループットの測定に関しては、(1)、(2)いずれのユースケースでも高速であればあるほど、より高い効果が得られると考えられるため評価・検証項目とする必要があると考える。伝搬損失の測定に関しては、伝送遅延時間や伝送スループットの裏付けとなるデータとして測定・算出し、電波の回折や反射等による影響を評価するための指標とする。

その他に、ユースケース自体との関連性は少ないと考えるが、参考として工場の屋外へ漏洩する電波について評価する。

6.3.3. 評価・検証方法

■評価・検証方法

図 6.3.3-1 に、評価・検証を実施するシステム構成を示す。



図 6.3.3-1 評価・検証システム構成

ローカル 5G の基地局，端末それぞれに測定ツールを搭載した PC を接続し、当該 PC 間での伝送遅延時間、伝送スループットを測る。ローカル 5G の基地局、端末と PC 間は、Gbit Ethernet ケーブルにて接続し、IP 通信を行えるプロトコルスタックとする。

伝送遅延時間は、UDP/IP にて約 1 ミリ秒毎に 1 パケットを送受信するようにし、合計 10,000 パケット（約 10 秒間）を測定し、その中の最大値/最小値/平均値を評価する。本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器はジャンボフレームに未対応であるため、通常の Ethernet フレームの最小長/最大長を想定し、測定する（アプリケーションレベルでの）データ長を 46byte と 1460byte の 2 種類とする。TCP はプロトコルレベルでの再送制御が動作することから、無線部（無線区間）の通信特性としての伝送遅延時間を測定するために UDP を用いることとする。測定は UL、DL の双方を対象とする。

伝送スループットは、各ユースケースに基づき、ストリーミング動画を扱う外観検査異常判定システムを想定した UDP/IP プロトコルと、JPEG 形式/PNG 形式の検査画像データを圧縮したファイルを扱う画像判断データ転送システムを想定した TCP/IP プロトコルに関して、それぞれ約 1 秒毎に、約 1 分間を測定し、平均値を評価する。なお UDP に関しては、送信側において 200Mbps 相当のデータを送信し、受信できたデータの伝送スループットを測定する。いずれのユースケースもデータの送信方向は UL だが、測定は UL、DL の双方を対象とする。

伝搬損失（受信電力）は、ローカル 5G 機器の RSSI 値計測機能を利用し、約 1 秒毎の平均値を測定する。送信電力（RSSI 換算）と受信電力（RSSI 換算）との差分より、送信アンテナ利得（2dBi）、受信アンテナ利得（2dBi）、給電線損失（なし）等を考慮して伝搬損失を算出する。

測定地点は、基地局より半径 50m 以内（状況により 50m 以上）のエリアにおいて、20 箇所程度のポイントとする。測定の際は、稼働中の工場内における作業者の邪魔にならない場所を選定する。図 6.3.3-2 に OKI の本庄工場、図 6.3.3-3 に太陽誘電(株)の玉村工場における測定地点を示す。また表 6.3.3-1 に、測定項目と測定パラメータを示す。

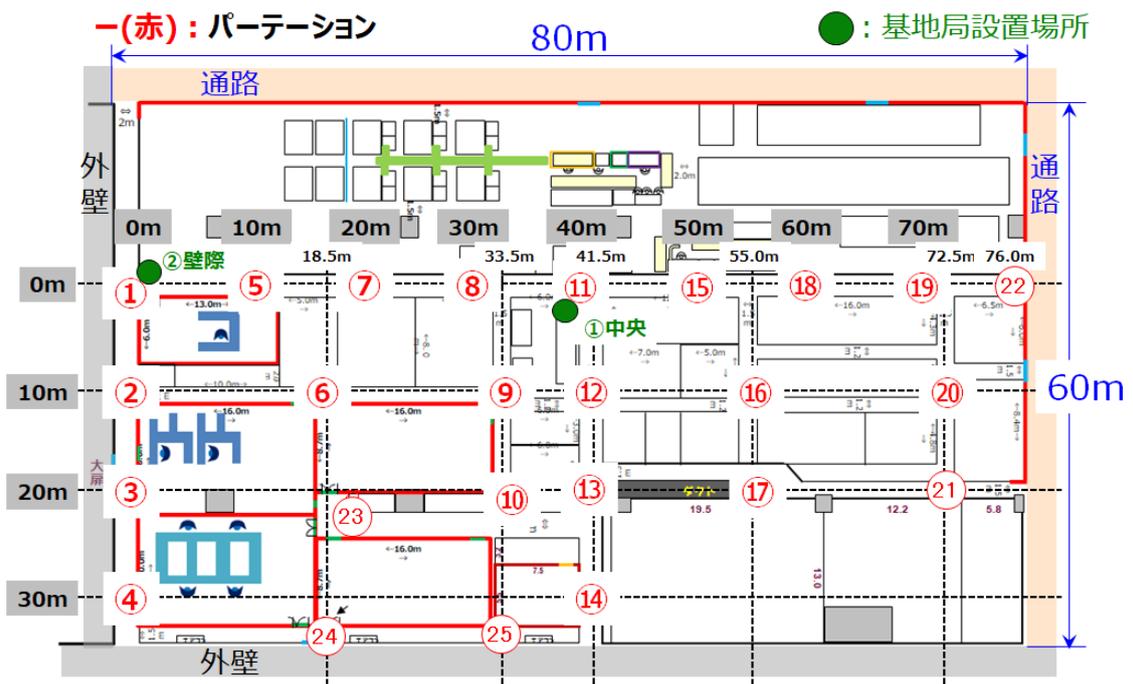


図 6.3.3-2 OKI の本庄工場での測定地点



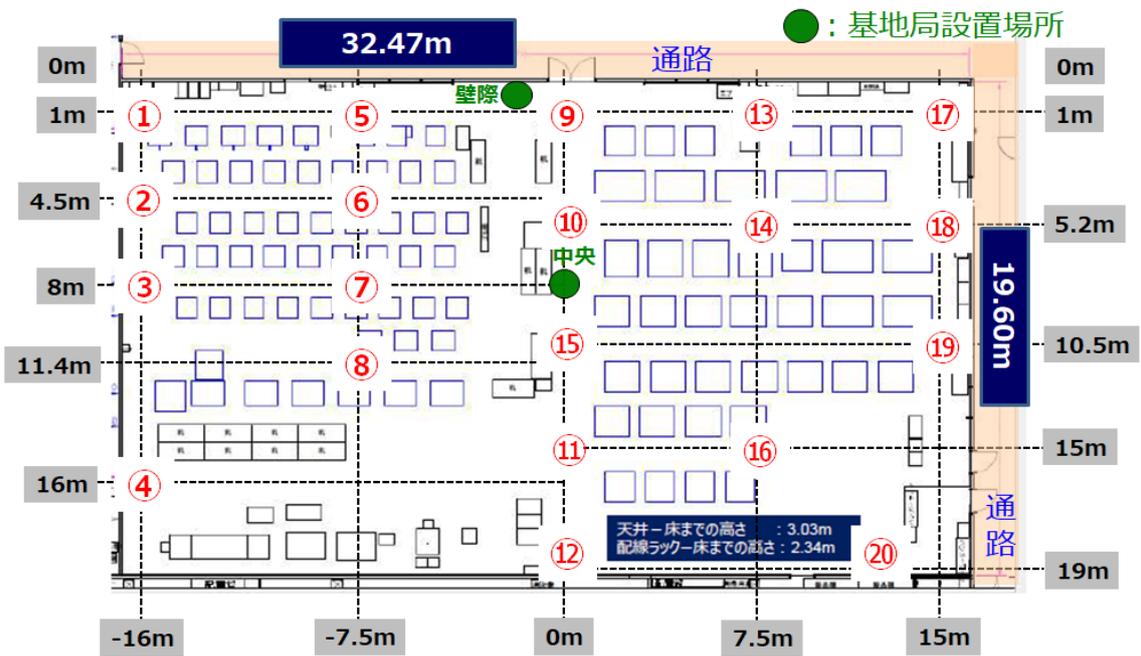


図 6.3.3-3 太陽誘電(株)の玉村工場での測定地点

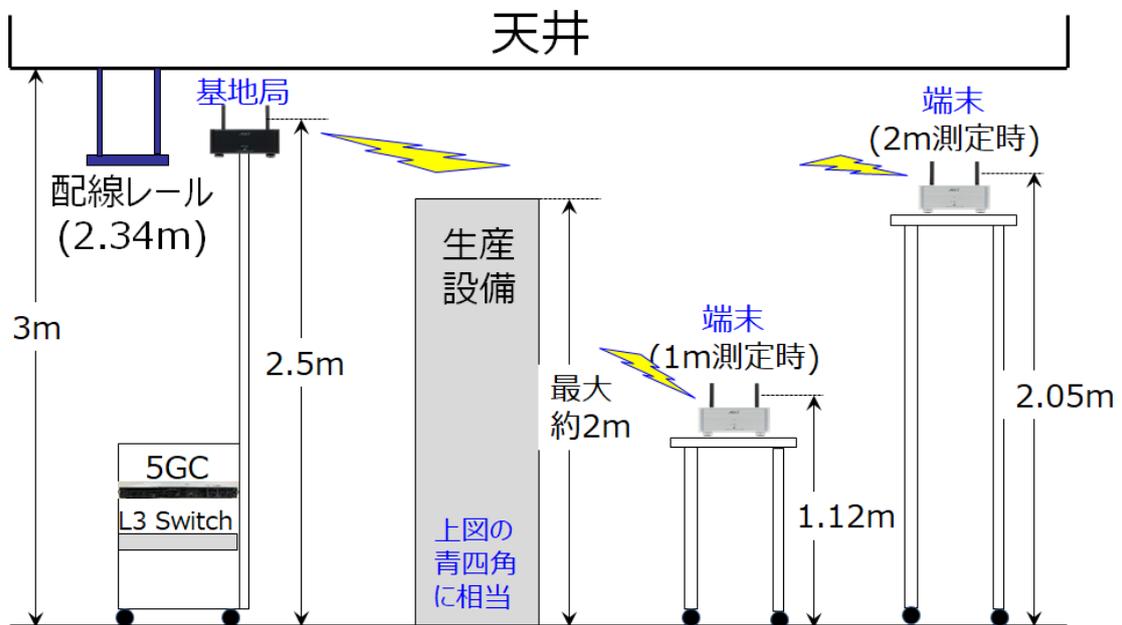


表 6.3.3-1 測定項目と測定パラメータ

	パラメータ項目	パラメータ値	備考
測定項目	伝送遅延時間	10,000パケット (送信間隔：1msec)	UDP 最大値, 最小値, 平均値
	伝送スループット	60秒間 (送信間隔：連続)	TCP, UDP 平均値
	伝搬損失	1秒毎に100サンプル (1秒間の平均値)	受信電力(RSSI)より算出
環境パラメータ	基地局の位置	フロアの中央/壁際	
	基地局の高さ	本庄工場：3m/4m 玉村工場：2.5m	
	端末の高さ	本庄工場：1m 玉村工場：1m/2m	
通信パラメータ	通信プロトコル	TCP/UDP	
	通信パケットサイズ	46byte/1460byte	UDPLレベルのデータサイズ
	通信方向	UL/DL	

6.3.4. 性能評価結果

(1) OKI 本庄工場

本庄工場において、各測定地点にて測定した伝送遅延時間、伝送スループット、伝搬損失を図 6.4.3-1～図 6.4.3-8 に示す。伝送遅延時間は、UL・DL 毎に、最大値・平均値・最小値を示している。伝送スループットは、UL・DL 毎に、TCP・UDP の平均値を示し、併せて各測定地点における基地局との距離、および見通しの有無を示している。基地局を実証エリアの中央へ配置し、基地局の高さを 3m, 4m と変更した場合と、基地局を実証エリアの壁際へ配置し、基地局の高さを 3m, 4m と変更した場合の 4 つのパターンに関して示す。なお、測定ができなかった地点 (IP レベルの通信が確立できず、ping も通らなかった地点) に関しては、「測定不可」と記載し、グレーハッチングにて示している。

(2) 太陽誘電(株) 玉村工場

玉村工場において、各測定地点にて測定した伝送遅延時間、伝送スループット、伝搬損失を図 6.4.3-9～図 6.4.3-16 に示す。伝送遅延時間は、UL・DL 毎に、最大値・平均値・最小値を示している。伝送スループットは、UL・DL 毎に、TCP・UDP の平均値を示し、併せて各測定地点における基地局との距離、および見通しの有無を示している。基地局を実証エリアの中央へ配置し、端末の高さを 1m, 2m と変更した場合と、基地局を実証エリアの壁際へ配置し、端末の高さを 1m, 2m と変更した場合の 4 つのパターンに関して示す。

表 6.3.4-1 伝送遅延時間（本庄工場 基地局：中央 基地局高：3m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	6.78	4.08	3.02	8.89	5.75	3.13
	1460byte	7.06	4.11	3.09	11.24	5.84	3.13
2	46byte	5.97	4.01	3.03	9.22	5.18	2.44
	1460byte	6.92	4.96	3.97	8.59	4.61	1.76
3	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
4	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
5	46byte	9.62	4.76	3.87	9.38	6.47	3.49
	1460byte	6.06	3.51	2.69	9.73	5.52	2.63
6	46byte	6.25	3.59	2.83	12.03	5.75	3.05
	1460byte	10.88	3.94	2.96	7.74	4.63	1.88
7	46byte	5.44	3.36	2.61	8.86	5.75	3.00
	1460byte	5.37	3.31	2.54	9.77	6.24	3.46
8	46byte	5.95	3.72	2.67	8.98	5.75	2.70
	1460byte	6.42	3.85	3.10	9.74	6.63	3.57
9	46byte	6.63	4.62	3.53	6.23	3.67	1.24
	1460byte	4.99	3.33	2.55	6.98	4.43	1.68
10	46byte	5.64	3.78	2.78	7.26	3.80	1.38
	1460byte	5.31	3.25	2.45	8.86	5.68	2.88
11	46byte	7.33	4.00	2.92	14.82	5.97	3.09
	1460byte	6.86	3.82	2.90	14.33	5.47	2.67
12	46byte	6.40	3.97	2.97	9.41	5.60	2.67
	1460byte	7.30	3.57	2.68	9.65	6.23	3.25
13	46byte	12.58	3.89	2.75	9.57	5.94	2.92
	1460byte	6.74	4.12	3.24	12.49	6.33	3.33
14	46byte	8.46	4.94	3.74	9.14	5.71	2.74
	1460byte	9.77	3.46	2.63	9.15	5.17	2.12
15	46byte	6.50	3.80	2.98	9.91	6.02	2.97
	1460byte	7.49	4.48	3.31	9.14	5.94	3.16
16	46byte	6.91	3.55	2.40	9.43	5.92	3.37
	1460byte	6.77	3.96	3.06	9.64	6.17	3.59
17	46byte	11.93	3.68	2.53	9.22	5.87	2.87
	1460byte	7.50	3.94	2.78	28.76	6.20	3.10
18	46byte	10.00	4.21	2.92	14.27	5.66	2.64
	1460byte	12.51	4.07	2.86	8.60	3.44	0.69
19	46byte	14.87	3.38	2.49	8.66	4.71	1.99
	1460byte	7.20	3.76	2.60	12.68	5.73	2.71
20	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
21	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
22	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
23	46byte	5.47	3.60	2.59	8.34	5.81	3.44
	1460byte	6.75	5.01	4.23	6.63	3.75	0.63
24	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
25	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					

表 6.3.4-2 伝送スループット (本庄工場 基地局：中央 基地局高：3m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	110.56	110.52	27.66	26.85	39.60	有	80.62
2	87.10	110.43	19.80	26.61	40.33	無	83.51
3	(測定不可)				43.41	無	
4	(測定不可)				48.40	無	
5	110.21	109.67	27.66	27.66	29.64	有	79.30
6	108.88	108.74	27.49	27.66	22.52	無	77.50
7	108.73	108.71	27.66	27.14	19.71	有	79.69
8	106.14	108.86	27.64	27.38	9.92	有	77.35
9	110.46	108.74	27.66	27.40	10.11	無	72.57
10	96.38	110.46	26.09	26.34	18.98	無	79.78
11	110.58	110.42	27.66	27.40	2.90	有	66.06
12	110.57	108.91	27.66	27.40	8.38	有	67.98
13	110.57	110.49	27.66	27.40	18.12	有	78.96
14	109.79	105.86	18.65	27.20	28.04	無	83.16
15	110.58	110.51	27.66	27.40	10.88	有	71.66
16	109.20	110.53	19.54	26.74	17.50	無	86.37
17	91.83	105.05	13.30	25.51	23.01	無	87.53
18	81.94	107.50	24.38	27.55	20.70	無	81.23
19	84.77	109.43	27.28	24.39	30.63	無	82.88
20	(測定不可)				33.99	無	
21	(測定不可)				37.59	無	
22	(測定不可)				36.61	無	89.18
23	33.11	61.30	27.66	27.26	22.50	無	82.15
24	(測定不可)				37.00	無	
25	(測定不可)				31.05	無	92.52

表 6.3.4-3 伝送遅延時間（本庄工場 基地局：中央 基地局高：4m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	5.37	3.63	2.69	12.47	5.65	2.50
	1460byte	5.14	3.39	2.34	9.78	5.97	3.02
2	46byte	7.61	3.99	2.82	9.82	5.77	2.99
	1460byte	5.50	3.86	3.06	8.62	5.18	2.43
3	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
4	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
5	46byte	5.24	3.19	2.00	10.24	5.50	2.45
	1460byte	7.62	3.80	2.72	9.02	5.77	2.73
6	46byte	5.81	3.80	2.77	9.66	5.58	2.84
	1460byte	10.31	3.75	2.50	10.70	5.97	3.18
7	46byte	10.34	3.72	2.76	9.29	5.76	2.74
	1460byte	7.21	3.76	2.51	8.94	5.66	2.88
8	46byte	5.29	3.38	2.62	9.62	5.95	2.88
	1460byte	11.87	3.82	2.81	8.90	4.89	2.10
9	46byte	5.20	3.30	2.30	9.00	5.83	2.76
	1460byte	6.09	3.77	3.01	11.54	5.53	2.65
10	46byte	8.06	2.99	1.90	8.62	4.93	1.73
	1460byte	5.79	4.22	3.46	9.60	6.36	3.26
11	46byte	13.48	3.69	2.93	11.22	6.09	3.10
	1460byte	9.54	3.43	2.65	9.40	5.03	2.67
12	46byte	9.26	3.71	2.95	12.97	4.91	1.87
	1460byte	19.05	3.76	2.58	10.31	5.32	2.59
13	46byte	6.63	3.81	2.75	9.04	5.68	2.63
	1460byte	6.74	3.58	2.80	9.87	5.08	2.41
14	46byte	6.74	3.57	2.76	15.31	5.62	2.39
	1460byte	6.48	3.86	3.12	13.23	5.62	2.55
15	46byte	9.79	3.39	2.58	20.63	5.61	2.49
	1460byte	8.41	3.62	2.81	9.59	5.05	2.50
16	46byte	6.56	3.20	2.24	12.01	5.26	2.74
	1460byte	6.83	3.89	3.06	12.04	5.26	2.33
17	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
18	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
19	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
20	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
21	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
22	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
23	46byte	6.57	4.07	2.93	8.66	5.52	2.78
	1460byte	6.63	4.08	3.27	9.97	6.39	3.42
24	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
25	46byte	7.94	4.25	3.11	8.80	5.14	2.32
	1460byte	8.56	3.83	2.70	9.87	5.39	2.52

表 6.3.4-4 伝送スループット (本庄工場 基地局：中央 基地局高：4m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	110.54	110.27	27.66	27.14	39.66	有	84.85
2	70.63	110.40	8.61	27.14	40.39	無	80.98
3	(測定不可)				43.47	無	91.77
4	(測定不可)				48.45	無	93.27
5	96.43	110.43	26.67	24.74	29.72	有	82.73
6	110.48	110.50	27.26	27.66	22.63	無	79.37
7	100.72	110.37	27.54	26.88	19.83	有	79.72
8	84.58	108.25	27.66	27.39	10.16	有	77.81
9	109.90	108.88	27.66	27.66	10.35	有	74.62
10	87.01	109.42	23.90	27.10	19.11	無	78.13
11	110.12	109.14	22.25	27.10	3.65	有	66.75
12	110.54	110.45	27.66	27.66	8.66	有	68.06
13	90.29	105.73	26.99	26.87	18.25	無	79.91
14	37.98	41.65	12.24	20.89	28.13	無	85.71
15	110.59	110.46	27.66	27.40	11.10	無	83.06
16	93.45	110.42	26.72	25.23	17.64	無	86.52
17	(測定不可)				23.12	無	90.31
18	(測定不可)				20.82	無	80.24
19	(測定不可)				30.71	無	88.75
20	(測定不可)				34.06	無	
21	(測定不可)				37.66	無	
22	(測定不可)				36.68	無	93.11
23	36.92	107.05	27.53	27.39	22.61	無	84.49
24	(測定不可)				37.06	無	
25	110.55	110.52	27.66	27.12	31.13	無	84.34

表 6.3.4-5 伝送遅延時間（本庄工場 基地局：壁際 基地局高：3m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	5.85	2.75	1.78	8.60	5.46	2.74
	1460byte	5.99	3.26	2.23	9.88	6.43	3.37
2	46byte	5.80	3.92	2.93	10.03	6.04	3.23
	1460byte	11.96	5.34	4.15	8.81	5.02	1.68
3	46byte	17.97	4.81	3.82	8.43	5.34	2.51
	1460byte	6.70	4.85	4.08	9.09	5.76	2.98
4	46byte	5.64	3.53	2.56	8.48	5.11	2.24
	1460byte	5.34	3.68	2.94	10.61	6.17	3.21
5	46byte	7.94	3.22	2.21	9.05	5.90	2.63
	1460byte	6.91	3.56	2.40	9.19	6.12	2.89
6	46byte	5.65	3.55	2.55	13.73	5.04	1.93
	1460byte	5.89	3.80	2.55	9.49	6.34	3.13
7	46byte	5.77	3.69	2.72	8.80	5.60	2.31
	1460byte	6.24	3.48	2.51	9.68	5.78	3.04
8	46byte	5.68	3.29	2.49	9.32	6.24	3.02
	1460byte	6.70	3.90	2.78	10.57	6.32	3.09
9	46byte	6.57	3.32	2.24	8.74	4.85	2.10
	1460byte	5.87	3.36	2.45	9.15	5.97	2.79
10	46byte	6.06	3.19	2.37	7.94	4.32	1.64
	1460byte	9.38	3.15	2.09	12.35	6.28	3.19
11	46byte	17.08	4.91	4.09	9.17	6.08	2.95
	1460byte	6.26	3.81	2.70	13.24	5.71	2.49
12	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
13	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
14	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
15	46byte	7.54	3.18	2.17	9.07	5.04	2.31
	1460byte	6.97	3.86	2.71	9.60	5.53	2.63
16	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
17	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
18	46byte	6.80	4.39	3.38	9.23	5.00	2.23
	1460byte	6.44	3.69	2.95	9.36	5.66	2.82
19	46byte	6.50	4.02	2.98	8.92	5.17	2.23
	1460byte	6.61	3.71	2.59	15.69	6.12	2.98
20	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
21	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
22	46byte	6.27	3.75	2.72	8.41	5.09	2.42
	1460byte	6.94	3.54	2.81	12.66	5.76	2.64
23	46byte	9.97	3.98	3.25	9.94	5.34	2.18
	1460byte	6.16	3.60	2.85	11.80	5.56	2.80
24	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
25	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					

表 6.3.4-6 伝送スループット (本庄工場 基地局：壁際 基地局高：3m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	106.14	110.59	27.66	27.14	1.94	有	66.97
2	104.52	104.52	27.47	26.92	10.19	有	73.30
3	59.22	109.81	25.97	26.77	20.09	有	78.00
4	94.97	106.67	25.91	27.07	30.06	無	80.35
5	103.33	110.44	27.66	27.14	10.19	有	72.34
6	96.52	110.58	27.50	27.66	21.12	無	78.89
7	97.93	108.89	27.66	27.14	20.09	有	74.25
8	103.23	110.29	27.38	27.14	30.06	有	80.67
9	33.18	94.27	26.49	26.79	35.01	無	86.11
10	110.51	110.49	25.50	26.38	39.06	無	86.75
11	73.89	107.98	27.53	27.40	40.05	有	79.88
12	(測定不可)				42.73	無	
13	(測定不可)				46.11	無	89.47
14	(測定不可)				51.24	無	89.47
15	4.23	110.56	4.60	20.34	50.04	有	89.85
16	(測定不可)				55.94	無	
17	(測定不可)				58.22	無	85.85
18	110.56	110.37	27.65	27.66	60.03	有	85.91
19	109.83	107.23	26.69	27.29	70.03	有	86.28
20	(測定不可)				73.21	無	85.07
21	(測定不可)				75.23	無	85.05
22	110.49	109.55	27.65	27.65	76.02	有	85.08
23	110.55	108.68	27.65	27.40	32.86	無	85.02
24	(測定不可)				37.45	無	77.79
25	(測定不可)				46.71	無	86.75

表 6.3.4-7 伝送遅延時間（本庄工場 基地局：壁際 基地局高：4m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	5.26	3.40	2.40	9.74	5.83	2.96
	1460byte	5.60	3.73	2.66	8.93	5.78	3.00
2	46byte	5.47	3.62	2.66	9.42	6.27	3.20
	1460byte	6.21	4.31	3.28	9.41	6.05	2.83
3	46byte	6.50	3.18	2.08	14.46	5.56	2.41
	1460byte	5.55	3.87	2.99	13.38	6.17	3.38
4	46byte	6.98	4.12	3.04	8.62	5.06	2.21
	1460byte	7.24	4.04	2.90	9.43	5.71	2.78
5	46byte	6.39	4.10	3.49	9.49	5.64	2.82
	1460byte	5.84	3.40	2.60	13.84	6.10	2.90
6	46byte	5.75	3.22	2.58	9.58	6.06	2.73
	1460byte	5.78	3.00	2.09	9.33	5.58	2.65
7	46byte	7.01	3.87	2.79	9.16	6.00	2.73
	1460byte	7.37	4.82	4.02	8.94	5.95	2.98
8	46byte	5.91	3.27	2.46	9.80	6.17	3.20
	1460byte	7.15	4.00	2.86	9.02	6.20	2.97
9	46byte	7.08	4.47	3.44	7.26	4.30	1.06
	1460byte	7.76	4.59	3.50	12.33	6.22	3.00
10	46byte	11.06	3.83	2.78	8.41	4.99	2.32
	1460byte	10.03	2.94	1.86	9.01	5.52	2.47
11	46byte	11.11	3.36	2.60	8.85	5.16	2.36
	1460byte	8.49	3.76	2.75	9.38	4.96	2.04
12	46byte	6.34	3.81	3.09	22.16	6.28	3.12
	1460byte	7.60	3.55	2.45	10.06	5.89	3.08
13	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
14	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
15	46byte	10.60	3.40	2.31	11.50	5.36	2.61
	1460byte	6.48	4.05	2.93	9.29	5.68	2.47
16	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
17	46byte	11.95	4.56	3.80	9.42	5.54	2.35
	1460byte	7.22	3.91	2.96	9.00	5.84	2.71
18	46byte	6.57	3.56	2.67	9.21	5.42	2.52
	1460byte	7.65	4.64	3.80	8.86	5.78	2.71
19	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
20	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
21	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
22	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
23	46byte	6.12	3.73	2.96	9.19	5.59	2.56
	1460byte	12.15	3.68	2.74	9.23	5.02	2.42
24	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					
25	46byte	(測定不可)					
	1460byte	(測定不可)					

表 6.3.4-8 伝送スループット (本庄工場 基地局：壁際 基地局高：4m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	108.76	108.85	27.66	27.14	2.94	有	69.13
2	108.59	108.91	27.66	27.40	10.42	有	71.63
3	20.30	108.36	27.45	27.38	20.21	無	77.41
4	43.52	109.12	19.50	25.83	30.14	無	84.71
5	102.85	107.23	27.66	27.14	10.42	有	69.18
6	45.24	101.07	18.45	26.89	21.23	無	81.38
7	101.79	110.55	27.66	27.14	20.21	有	76.20
8	94.46	110.59	27.63	27.11	30.14	有	82.20
9	71.50	110.32	25.20	27.66	35.08	無	84.41
10	67.30	67.30	2.30	22.63	39.13	無	87.37
11	110.45	108.22	27.66	27.39	40.11	有	80.90
12	51.18	89.26	4.16	26.47	42.79	無	88.41
13	(測定不可)				46.16	無	84.23
14	(測定不可)				51.29	無	84.33
15	92.89	110.45	10.26	8.99	50.09	有	85.77
16	(測定不可)				55.98	無	
17	95.42	110.45	16.66	27.04	58.26	無	88.21
18	108.53	110.53	27.65	27.14	60.07	有	85.02
19	(測定不可)				70.06	有	89.01
20	(測定不可)				73.25	無	
21	(測定不可)				75.27	無	
22	(測定不可)				76.06	無	88.91
23	110.57	110.32	27.49	27.66	32.93	無	85.73
24	(測定不可)				37.51	無	87.90
25	(測定不可)				46.77	無	93.20

表 6.3.4-9 伝送遅延時間（玉村工場 基地局：中央 端末高：1m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	5.80	3.59	2.49	9.09	6.06	2.69
	1460byte	6.10	3.67	2.64	8.84	5.45	2.67
2	46byte	8.00	2.90	1.74	8.34	5.28	2.39
	1460byte	9.94	4.54	3.46	14.75	6.46	3.46
3	46byte	10.05	3.90	2.62	13.68	6.21	3.36
	1460byte	7.98	3.55	2.35	9.15	5.21	2.05
4	46byte	5.86	3.55	2.62	9.03	5.55	2.50
	1460byte	5.81	3.73	2.76	9.62	5.70	2.64
5	46byte	5.35	3.58	2.47	9.26	6.19	3.09
	1460byte	7.08	2.97	1.81	8.85	5.79	2.72
6	46byte	12.58	3.81	2.94	8.98	5.30	2.49
	1460byte	6.71	3.68	2.43	9.24	5.45	2.27
7	46byte	9.18	3.66	2.53	9.04	5.99	3.09
	1460byte	6.68	3.91	2.66	9.03	5.78	2.65
8	46byte	5.76	4.00	2.86	9.85	6.74	3.81
	1460byte	6.81	3.85	3.01	9.22	6.12	2.78
9	46byte	7.37	3.93	2.81	9.68	6.45	3.55
	1460byte	10.14	3.32	2.24	8.43	5.37	2.30
10	46byte	5.60	3.73	2.56	8.80	5.67	2.37
	1460byte	5.48	2.83	1.65	10.72	5.73	2.44
11	46byte	5.88	3.44	2.44	10.42	6.51	3.41
	1460byte	7.49	4.47	3.37	12.93	6.07	3.18
12	46byte	6.56	3.41	2.43	8.98	5.41	2.78
	1460byte	6.77	4.45	3.62	9.47	6.09	2.90
13	46byte	7.44	4.49	3.52	9.49	6.01	2.63
	1460byte	10.77	3.72	2.72	9.28	6.07	3.26
14	46byte	5.66	3.27	2.39	9.59	6.63	3.71
	1460byte	5.53	3.96	3.09	9.09	5.73	2.87
15	46byte	6.79	3.51	2.42	10.18	6.18	2.75
	1460byte	5.40	3.67	2.83	10.99	6.33	3.05
16	46byte	6.56	4.76	3.60	9.81	6.63	3.24
	1460byte	6.71	3.31	2.36	9.66	6.34	3.39
17	46byte	7.73	3.73	2.38	8.97	5.91	2.90
	1460byte	9.89	3.46	2.51	9.90	6.11	2.93
18	46byte	5.54	3.31	2.50	9.24	5.80	2.73
	1460byte	5.84	3.36	2.49	10.37	5.62	2.47
19	46byte	6.41	3.26	2.02	11.18	6.50	3.23
	1460byte	7.22	5.04	3.92	9.03	5.96	2.95
20	46byte	6.25	3.48	2.10	9.87	6.87	3.95
	1460byte	6.55	4.02	2.61	10.36	6.53	3.37

表 6.3.4-10 伝送スループット (玉村工場 基地局：中央 端末高：1m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	41.32	105.65	22.98	27.15	17.52	無	82.87
2	60.07	100.82	21.15	26.37	16.44	無	82.33
3	101.35	106.48	22.46	27.38	16.06	有	75.31
4	20.11	102.40	13.91	25.05	17.94	無	84.01
5	85.50	108.69	25.19	27.09	10.35	無	74.22
6	103.65	110.44	25.58	26.97	8.39	無	72.95
7	110.27	110.07	27.04	27.39	7.63	有	71.61
8	95.07	110.37	27.45	27.13	8.35	無	76.50
9	109.05	110.46	27.66	27.39	7.13	有	64.06
10	96.18	108.82	27.66	27.34	3.30	有	62.25
11	106.49	110.45	27.65	27.40	7.13	有	66.23
12	101.48	110.51	25.72	27.14	11.09	有	72.53
13	109.02	110.25	27.50	27.14	10.35	無	73.08
14	62.86	105.12	25.76	27.23	8.12	無	71.11
15	110.09	110.49	27.66	27.14	2.43	有	58.64
16	104.85	108.87	27.65	27.11	10.35	無	75.61
17	12.77	95.70	7.15	25.30	16.61	無	80.87
18	107.23	110.14	27.49	27.14	15.32	無	72.73
19	88.91	106.50	25.88	27.06	15.27	無	71.67
20	64.48	110.31	27.47	27.44	17.09	無	79.44

表 6.3.4-11 伝送遅延時間（玉村工場 基地局：中央 端末高：2m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	8.65	5.67	4.47	8.82	5.64	3.08
	1460byte	7.06	3.67	2.40	7.54	4.90	1.71
2	46byte	6.18	4.10	2.78	7.96	3.68	1.16
	1460byte	6.40	4.00	2.81	8.89	4.46	1.47
3	46byte	6.58	4.84	3.62	7.19	4.59	1.59
	1460byte	6.98	4.73	3.86	8.29	5.52	2.27
4	46byte	7.49	5.21	4.31	11.36	4.83	1.83
	1460byte	9.90	4.51	3.64	7.72	4.88	2.21
5	46byte	9.13	4.84	3.72	8.06	5.38	2.45
	1460byte	6.60	3.24	2.35	6.55	3.78	1.19
6	46byte	8.32	5.04	4.14	9.14	6.23	3.19
	1460byte	7.04	4.81	3.89	6.87	4.13	1.36
7	46byte	8.61	5.19	4.34	6.97	4.19	1.54
	1460byte	7.46	5.39	4.18	7.17	4.23	1.32
8	46byte	7.56	4.52	3.61	8.81	5.47	2.96
	1460byte	5.60	3.20	2.34	8.71	5.69	3.12
9	46byte	7.25	5.00	3.62	8.35	5.67	2.78
	1460byte	7.79	4.74	3.52	7.04	4.27	1.40
10	46byte	12.17	4.68	3.42	6.60	3.97	1.45
	1460byte	7.15	5.38	4.17	7.36	4.26	1.57
11	46byte	7.75	4.73	3.73	9.29	6.42	3.44
	1460byte	6.72	4.79	3.92	7.84	3.41	0.55
12	46byte	6.52	4.69	3.84	7.16	4.01	1.48
	1460byte	7.34	5.60	4.43	7.22	4.23	1.43
13	46byte	7.92	4.42	3.53	9.49	6.36	3.50
	1460byte	5.44	3.36	2.11	8.38	5.14	1.64
14	46byte	6.18	3.82	2.63	7.82	4.49	1.48
	1460byte	7.42	4.98	3.75	9.52	6.78	3.88
15	46byte	6.31	4.13	3.30	8.40	5.50	3.00
	1460byte	7.98	4.62	3.75	8.28	4.14	1.43
16	46byte	9.51	3.19	2.27	6.67	3.35	0.53
	1460byte	6.51	4.25	3.30	7.33	4.11	1.52
17	46byte	5.92	3.89	2.71	9.59	6.58	3.56
	1460byte	5.00	3.13	2.21	8.91	5.70	2.81
18	46byte	5.42	3.64	2.74	9.22	5.86	3.21
	1460byte	6.60	3.39	2.12	9.38	6.31	3.22
19	46byte	6.31	4.34	3.45	9.69	6.61	3.68
	1460byte	10.81	4.29	3.08	9.76	6.73	3.67
20	46byte	6.67	3.83	2.72	9.00	5.75	2.43
	1460byte	7.33	5.02	3.78	9.38	6.64	3.25

表 6.3.4-12 伝送スループット (玉村工場 基地局：中央 端末高：2m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	100.42	106.78	19.30	26.72	17.47	有	84.26
2	70.75	105.74	22.16	27.34	16.38	有	77.04
3	109.32	110.53	27.65	27.13	16.01	有	75.82
4	92.98	107.53	27.41	27.15	17.89	有	82.71
5	105.96	110.49	27.66	27.14	10.27	有	75.34
6	96.56	110.27	27.36	27.14	8.29	有	70.68
7	103.72	110.36	27.53	27.14	7.51	有	70.82
8	97.91	98.66	21.78	26.93	8.25	有	72.45
9	104.28	108.48	26.41	26.44	7.01	有	65.85
10	110.57	108.94	27.66	27.40	3.03	有	64.72
11	110.41	110.59	27.66	27.14	7.01	有	69.61
12	110.22	110.51	27.66	27.14	11.01	有	66.92
13	106.15	110.54	27.64	27.40	10.27	有	73.46
14	110.43	107.28	27.66	27.14	8.02	有	71.17
15	110.32	109.91	27.65	27.66	2.05	有	60.13
16	85.78	109.91	26.48	26.24	10.27	有	73.53
17	103.23	107.30	27.66	27.37	16.56	有	77.81
18	108.56	110.60	27.66	27.14	15.27	有	71.94
19	102.78	110.51	27.65	27.14	15.21	有	72.43
20	110.25	107.06	27.66	27.14	17.04	有	73.29

表 6.3.4-13 伝送遅延時間（玉村工場 基地局：壁際 端末高：1m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	5.70	3.24	2.08	8.47	5.52	2.70
	1460byte	7.33	3.28	2.60	9.00	5.78	2.85
2	46byte	5.30	3.07	2.24	8.34	5.48	2.58
	1460byte	6.96	3.72	2.70	8.02	4.77	2.05
3	46byte	11.09	3.45	2.31	8.63	5.72	2.83
	1460byte	6.93	4.21	3.18	8.76	5.84	2.54
4	46byte	8.18	4.42	3.28	9.41	6.51	3.15
	1460byte	5.49	3.45	2.51	8.62	5.58	2.34
5	46byte	5.78	3.25	2.25	8.30	5.29	2.30
	1460byte	5.54	3.67	2.61	8.59	5.49	2.53
6	46byte	5.79	3.53	2.74	9.84	5.39	2.54
	1460byte	6.77	4.82	3.92	10.06	5.24	2.25
7	46byte	5.34	3.61	2.75	8.67	5.35	2.56
	1460byte	6.48	3.14	2.25	9.54	5.42	2.33
8	46byte	6.81	4.93	4.11	9.53	6.52	3.06
	1460byte	5.85	3.74	2.98	12.95	5.70	2.69
9	46byte	6.09	4.45	3.71	9.80	6.83	3.50
	1460byte	8.49	3.15	2.08	9.34	6.21	2.99
10	46byte	4.99	3.30	2.39	7.32	4.23	1.25
	1460byte	8.61	5.02	3.80	8.36	5.30	2.58
11	46byte	6.68	4.68	3.46	9.68	5.43	2.55
	1460byte	11.77	4.03	2.99	14.11	6.11	2.61
12	46byte	8.51	3.94	2.97	9.36	5.90	2.92
	1460byte	6.54	3.65	2.91	9.00	5.95	2.79
13	46byte	6.33	3.53	2.53	8.94	5.95	3.17
	1460byte	6.87	4.13	3.10	8.90	5.72	2.33
14	46byte	5.92	3.20	2.08	8.59	5.29	2.03
	1460byte	6.04	2.83	1.81	8.67	4.86	1.88
15	46byte	5.58	3.68	2.69	9.10	5.73	2.76
	1460byte	7.38	4.15	3.12	9.45	6.20	2.71
16	46byte	6.83	3.37	2.30	9.38	6.13	2.70
	1460byte	7.44	4.09	2.98	8.15	5.00	2.01
17	46byte	8.49	3.89	2.86	12.10	5.67	2.44
	1460byte	6.82	3.69	2.96	9.81	5.85	2.53
18	46byte	13.16	4.22	3.21	8.88	5.43	2.63
	1460byte	5.45	3.53	2.51	9.65	6.71	3.51
19	46byte	9.70	4.71	3.63	8.99	5.52	2.49
	1460byte	10.76	3.77	2.58	9.11	5.81	2.52
20	46byte	6.11	4.21	3.05	9.00	6.20	3.02
	1460byte	8.45	4.74	3.65	8.75	5.74	2.68

表 6.3.4-14 伝送スループット (玉村工場 基地局：壁際 端末高：1m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	110.49	110.34	27.65	27.14	14.30	有	75.59
2	96.17	106.77	25.07	27.14	14.96	無	82.24
3	110.55	105.20	27.62	26.38	16.36	無	80.17
4	80.62	103.46	16.63	24.90	21.44	無	84.70
5	106.47	108.59	27.64	27.58	5.95	有	69.15
6	106.32	106.97	27.56	27.11	7.39	無	70.13
7	110.45	110.56	27.14	27.37	9.92	無	74.37
8	108.15	110.14	27.65	27.08	12.82	無	78.90
9	110.32	110.39	27.66	27.15	2.48	有	60.27
10	110.60	110.57	27.66	27.15	5.49	有	69.04
11	107.94	108.75	26.97	27.25	15.17	有	78.19
12	77.84	108.40	27.44	27.07	19.13	有	80.17
13	110.50	106.15	27.66	27.14	9.45	有	68.93
14	96.73	108.75	26.61	25.71	10.74	無	76.99
15	108.02	110.40	27.66	27.40	10.25	有	71.12
16	85.75	109.84	21.76	24.94	17.70	無	84.97
17	110.55	110.27	27.20	27.23	16.89	有	75.93
18	83.13	102.10	20.73	27.33	17.64	無	84.16
19	16.85	93.45	4.63	25.16	19.86	無	86.71
20	29.27	82.02	20.87	23.41	24.12	無	87.51

表 6.3.4-15 伝送遅延時間（玉村工場 基地局：壁際 端末高：2m）

測定地点	パケット長	伝送遅延時間 [msec]					
		アップリンク			ダウンリンク		
		最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値
1	46byte	11.66	3.37	2.61	8.64	5.17	2.11
	1460byte	5.25	3.42	2.45	9.30	6.41	3.43
2	46byte	6.92	3.58	2.83	8.53	5.46	2.22
	1460byte	5.91	3.60	2.88	8.15	5.23	2.23
3	46byte	6.24	3.42	2.32	8.98	5.55	2.51
	1460byte	14.45	3.87	2.70	8.23	5.38	2.19
4	46byte	7.85	5.18	4.06	8.91	5.91	3.09
	1460byte	6.01	3.36	2.19	9.78	6.43	3.57
5	46byte	10.07	3.22	2.46	9.35	6.29	3.15
	1460byte	7.39	4.72	3.69	11.42	5.76	2.40
6	46byte	6.95	3.86	2.87	13.10	6.58	3.26
	1460byte	6.33	4.14	2.86	8.33	5.51	2.55
7	46byte	6.48	3.82	3.11	6.91	3.41	0.19
	1460byte	17.74	3.48	2.73	9.85	6.29	3.00
8	46byte	6.93	5.21	4.27	9.02	6.20	3.21
	1460byte	6.59	3.59	2.86	9.56	6.10	2.81
9	46byte	8.27	4.36	3.53	8.29	5.07	2.23
	1460byte	5.70	3.10	2.29	9.45	5.89	2.86
10	46byte	6.47	3.81	2.66	8.51	5.65	3.10
	1460byte	8.31	4.12	2.77	8.50	5.73	2.82
11	46byte	8.78	5.20	3.85	6.30	3.67	1.16
	1460byte	5.83	3.61	2.37	10.06	7.45	4.48
12	46byte	8.13	5.03	3.83	9.72	7.08	4.01
	1460byte	7.34	5.06	3.87	7.76	5.03	2.28
13	46byte	5.79	3.29	2.56	8.95	5.97	2.64
	1460byte	5.23	3.37	2.33	8.84	5.59	2.23
14	46byte	6.92	3.52	2.52	8.44	5.63	2.58
	1460byte	5.67	3.88	2.88	8.67	5.98	2.89
15	46byte	6.47	3.21	2.03	8.93	5.84	2.78
	1460byte	6.79	4.34	3.42	8.43	5.70	2.79
16	46byte	6.97	2.94	1.88	8.28	5.42	2.41
	1460byte	9.89	3.48	2.65	9.09	6.28	3.28
17	46byte	6.72	4.05	2.95	9.36	5.86	2.45
	1460byte	6.68	3.53	2.67	8.96	6.03	2.66
18	46byte	6.05	3.46	2.26	7.67	4.45	1.58
	1460byte	6.62	3.23	2.06	8.98	5.40	2.45
19	46byte	7.79	4.30	3.23	9.71	5.78	2.26
	1460byte	6.62	3.58	2.50	9.69	5.94	3.02
20	46byte	8.28	5.04	3.52	11.94	5.51	2.55
	1460byte	9.00	4.86	3.55	12.19	5.17	2.52

表 6.3.4-16 伝送スループット (玉村工場 基地局：壁際 端末高：2m)

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)				基地局との 距離 [m]	見通しの 有無	伝搬損失 [dB] (中央値)
	アップリンク		ダウンリンク				
	TCP	UDP	TCP	UDP			
1	110.16	110.49	27.64	27.65	14.24	有	76.00
2	110.49	108.80	27.60	27.50	14.90	有	77.10
3	103.33	110.27	27.65	27.36	16.30	有	78.33
4	110.60	110.56	27.66	27.09	21.40	有	78.50
5	110.58	110.41	27.66	27.14	5.80	有	65.82
6	110.55	110.50	27.65	27.40	7.28	有	70.29
7	110.60	110.34	27.66	27.39	9.83	有	71.06
8	110.54	110.41	27.64	27.35	12.75	有	75.94
9	103.87	108.73	26.57	27.29	2.11	有	58.50
10	109.93	109.54	24.06	27.19	5.33	有	69.51
11	110.56	110.51	27.63	27.35	15.11	有	76.07
12	109.32	110.41	27.21	27.24	19.09	有	80.33
13	110.60	110.40	27.66	27.66	9.36	有	71.09
14	110.54	110.57	27.64	27.34	10.66	有	72.54
15	102.40	108.46	27.53	27.62	10.17	有	74.74
16	110.58	110.27	24.69	27.29	17.65	有	83.00
17	107.98	110.29	26.41	27.15	16.84	有	79.48
18	50.06	97.93	6.44	19.40	17.59	有	81.55
19	71.21	110.49	24.12	27.63	19.82	有	83.73
20	109.77	110.40	26.13	26.68	24.09	有	85.30

6.3.5. 類似の調査

類似の調査の対象として、平成30年度に実施された「高密度に展開された端末の多数同時接続通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」の報告書（作成：Wireless City Planning 株式会社）を選定する。

実証環境はオフィスであり、同時多数接続通信の特性にフォーカスをあてた調査検討ではあるが、Sub6帯のローカル5Gを用いた工場内における無線通信特性に関する調査検討は他になく、使用周波数が4.8GHz帯であり、実証環境が建屋内であるという電波伝搬環境の類似性より、当「高密度に展開された端末の多数同時接続通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」（以降、当調査検討）を対象とする。

当調査検討では、独自に開発した5G-mMTCという機器を使用している。表6.3.5-1に、5G-mMTC無線機の無線インターフェース仕様を転記する。周波数帯は4820～4830MHzであり、本実証との類似性がある。

表 6.3.5-1 5G-mMTC 無線機の無線インターフェース仕様

Item	Value	
	DL	UL
Carrier Frequency	4820MHz-4830MHz	
Bandwidth	Variable (max. 10MHz)	
Tx power	-	13dBm (peak) 4.7dBm (Av.)
Rx sensitivity	-83dBm (peak) at MCS11 (16QAM/0.33)	-
Duplex	TDD	
Subcarrier spacing	15kHz ($\mu=0$)	
TTI	1ms	
Cyclic prefix	Normal (14 symbols/slot)	
Multiple access	OFDMA/NOMA	
Baseband modulation	-	16QAM/QPSK
TRx	1T1R	1T1R
Max # of layers	1	1

当調査検討では、実証環境を広島県広島市の東広島市役所の5階フロアとしている。フロア全体では、約35m×約25mの面積となっている。職場はフリーアドレス化されており、各々の机には遮蔽となるような書類等がなく、対面に着座する職員ともコミュニケーションがとりやすい環境となっている。フロア内にパーティション等の間仕切りはないが、キャビネット棚が配置されている場所もある。図6.3.5-1に、職場の様子を転記する。ヒトやモノの移動が想定される環境であり、本実証との類似性がある。



図 6.3.5-1 職場の様子

上記の実証環境において、5G-mMTCの基地局を1台、フロアのほぼ中央に配置し、5G-mMTCの端末(UE)を60台、フロア内(約35m×約25mのエリア)に配置している。図6.3.5-2にフロアのレイアウトと各5G-mMTC機器の配置を転記する。

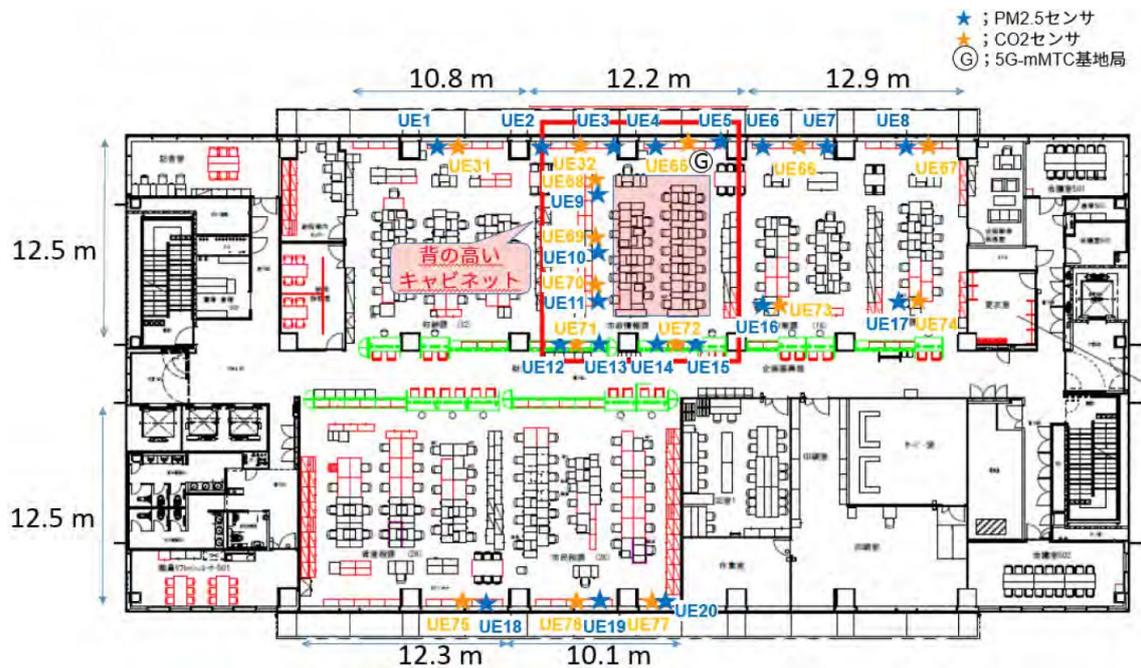


図 6.3.5-2 フロアのレイアウト

5G-mMTC 基地局は約 1m の高さに設置されている。一方、5G-mMTC 端末は約 1~1.5m の高さに配置されたものが 35 台、約 30cm の高さに配置されたものが 25 台となっている。約 30cm の高さに配置された 5G-mMTC 端末は見通し外の通信となり、約 1~1.5m の高さに配置された 5G-mMTC 端末は見通しの通信が期待できるが、ヒトやモノの移動により見通し外の通信になることが考えられる。

上記の実証環境において、各 5G-mMTC 端末より送信されるデータを 5G-mMTC 基地局にて受信する際に、BLER (BLoCK Error Rate) を計測指標として、5G-mMTC 端末の配置場所 (基地局と端末との距離) や時間帯によりどのような変化があるかを測定することにより、無線通信特性を評価している。図 6.3.5-3 に測定結果の例 (1 日分の BLER (2019/3/14 20 時~ 3/15 20 時)) を転記する。

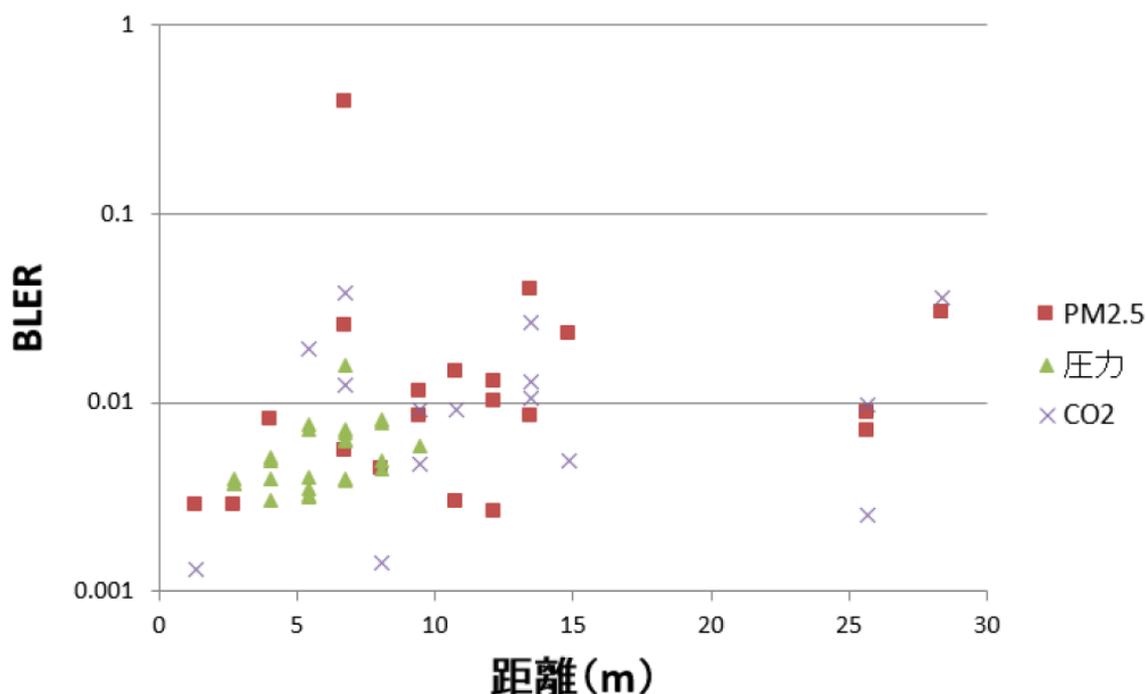


図 6.3.5-3 測定結果の例 (1 日分の BLER (2019/3/14 20 時~ 3/15 20 時))

評価結果として、上記の実証環境においては、5G-mMTC 基地局と 5G-mMTC 端末局の距離が遠いからといって、必ずしも BLER が悪くなるわけではなく、基地局-端末間の距離に相関関係は明確に見えない、としている。また、非勤務時間に相当する 0 時~8 時の BLER の測定値に対して、勤務時間に相当する 8 時~18 時の BLER の測定値のほうが悪い結果となっており、日中は基地局と端末との間をヒトが行き来し電波を遮るケースがあり、影響している可能性がある、としている。従って、上記の実証環境における BLER の劣化要因として、基地局-端末間の距離による要因よりは、基地局-端末間のヒトによる伝搬経路遮断の影響の方が大きいと考えられる、と分析している。

屋内 (建屋内) では多数の反射波 (マルチパス) が存在するため、見通しが確保できない場所であっても、一定の受信電力を確保できれば (伝搬損失が少なければ) 良好な無線通信特性が得られるケースがあると考えられる。当調査検討において、各測定場所での受信電力 (伝搬損失) のデータがあれば、通信距離に受信電力の観点を加えた分析がなされ

たと想定される。一方、ヒトの動作や移動による遮蔽等の電波伝搬環境の変動が無線通信特性に影響を与えるという観点では、工場内であっても同様であると考え。

当調査検討では、同時多数接続通信の特性にフォーカスをあてているため、実環境における伝送遅延時間や伝送スループットに関する測定結果は掲載されていないが、工場分野におけるローカル 5G の利用形態として、遠隔操作には低遅延・高信頼性が要求され、高精度映像のアップロードには高速・大容量性が要求される。そのため、工場内のダクトや配線レール等がある複雑な内部構造や、多数の生産設備や搬送台車が設置・配置された環境において、見通し／見通し外を含めて周囲環境が異なる場所での伝送遅延時間、伝送スループット、受信電力（伝搬損失）の測定により、無線通信特性を確認することが必要になると考える。

また現在、工場内における Sub6 帯ローカル 5G の無線通信特性に関する類似の調査がないことから、本実証にて実施する導入事例（OKI の本庄工場，太陽誘電(株)の玉村工場）に加えて、事例を増やしていくことが重要と考える。

6.3.6. 工場の屋外へ漏洩する電波の評価

OKI の本庄工場において、基地局を屋内に高さ 3m、壁からの距離を 4cm として設置する。測定器を屋外に高さ 1.06m、壁からの距離を 1.7m として配置する。壁の材質は鉄骨鉄筋コンクリート、厚さは 50.5cm である。この場合、基地局のアンテナと測定器のアンテナ間の距離は 2.97m になる。図 6.3.6-1 に、屋外への電波漏洩の測定系を示す。

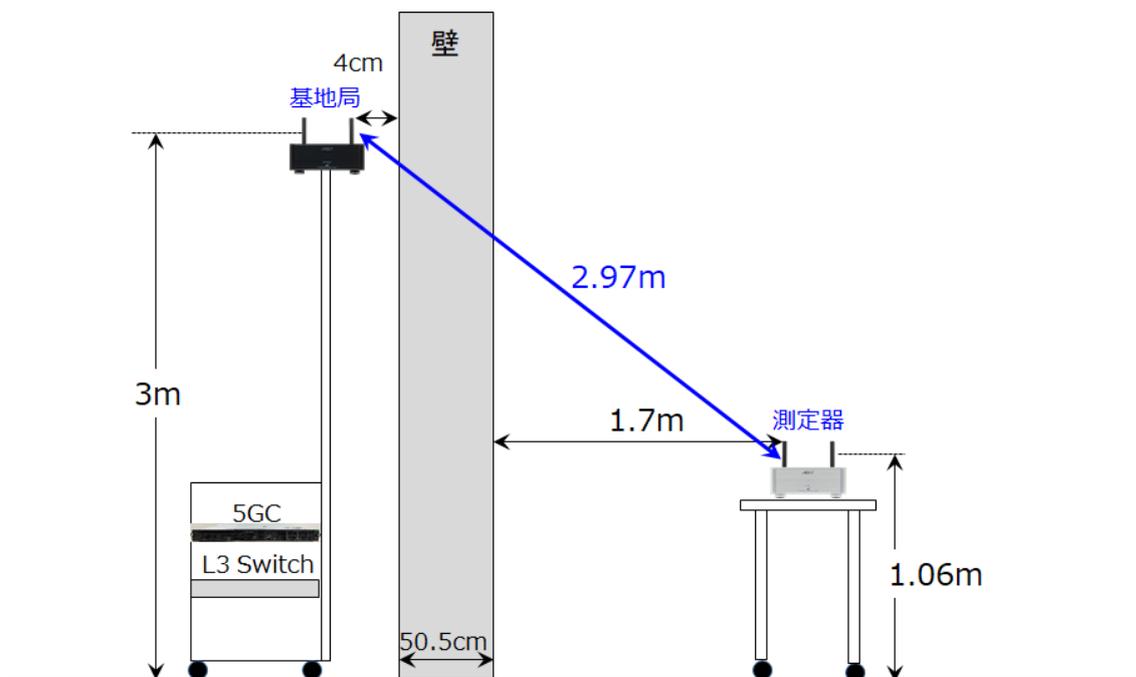


図 6.3.6-1 測定系

上記の測定系での伝搬損失の計測結果は 81.0dB であった。基地局のアンテナから測定器のアンテナ間の距離 2.97m での自由空間伝搬損失は約 55.5dB であるため、壁による減衰は約 25.5dB であった。壁による減衰を 25.5dB とした場合、占有帯域幅が 100MHz のシステムにおいて端末の最小受信感度の規定である -84.6dBm の電波を受信可能な通信距離は壁から約 55m になると想定される（但し、人体吸収損失 8dB を含む）。基地局を中央または外壁に面する壁以外に設置することにより、屋内での外壁へ到達するまでの距離による減衰が見込めるため、工場内（屋内）での利用であれば、屋外への電波漏洩による影響は少ないと考えられる。

6.3.7. 技術的課題の解決方策

類似の調査において、屋内（建物内）のオフィス環境では、無線通信距離（基地局と端末との間の距離）と無線通信品質（BLER）に明確な相関関係はなく、また同じ場所での測定であっても勤務時間と非勤務時間といった時間帯の違いによって測定値（BLER）が異なるため、人の行き来による遮蔽が電波伝搬環境に影響している可能性があるとの結果が報告されている。類似の調査での計測指標は BLER のみであるが、伝送遅延時間、伝送スループット、受信電力（伝搬損失）等の各種無線通信特性を測定することによって詳細な評価が可能になると考えられ、またそれら無線通信特性の測定を異なる時間帯に長時間に渡って測定することにより電波伝搬環境の変化に対する相関性を検証することが可能になると考えられる。

類似の調査の結果も踏まえ、まずは OKI の本庄工場、太陽誘電(株)の玉村工場において、基地局の設置位置や設置高さを変更しつつ、各実証エリア内の 20 箇所程度の場所にて伝送遅延時間、伝送スループット、伝搬損失を測定した。

まず、伝送遅延時間の測定に関しては、本庄工場、玉村工場ともに、基地局と端末間の距離（通信距離）や伝搬損失の大小によらず、またパケットのデータ部の長さが 46byte、1460byte のいずれであっても、平均値では 10 ミリ秒以下、最大値でも 20 ミリ秒以下という結果になった。本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器では、パケットのデータ部の長さが 1460byte までであれば、ほぼ伝送遅延時間差なく送受信可能であることがわかった。本実証では、基地局 1 台に対して端末の接続数が 1 台というシステム構成であったため、他に送受信すべきデータがなく無線伝送帯域に余裕がある状態であったことも、ほぼ伝送遅延時間差がない要因の 1 つと考える。

伝送遅延時間の平均値に関しては、ダウンリンク (DL) に比較して、アップリンク (UL) のほうが短い傾向にあることがわかった。本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器の動作は非同期であり、UL・DL 比率を UL : DL = 12 : 3 と UL 偏重に設定しているため、ローカル 5G 機器が測定ツールを搭載した PC から送信パケットを受け取ったタイミングと、そのパケットを無線部から送信するタイミング、従って、自身に割り当てられたタイムスロットがマッチする機会の割合が UL のほうが多いということが要因の 1 つと考えられる。一方、伝送遅延時間の最小値に関しては、DL のほうが短いケースもある。UL では端末が基地局に割り当てられたタイムスロットを用いて送信、従って、基地局のタイムスロット割当情報に基づいて送信パケットの有無を確認して送信するのに対し、DL では基地局自身が送信パケットが有る場合は素早くタイムスロットを割り当てることが可能となるケースがあるためと想定される。

伝送遅延時間の最小値と最大値に 10~20 ミリ秒程度の変動幅がある要因として、上記の通り、ローカル 5G 機器が測定ツールを搭載した PC から送信パケットを受け取ったタイミングと、そのパケットを無線部から送信するタイミングにズレ（遅延）があることが想定されるが、それでも変動幅が 10~20 ミリ秒程度内に収まっている要因として、本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器には HARQ (Hybrid ARQ) 等の誤り訂正機能が実装されておらず、また伝送遅延時間の測定には UDP を利用したため、いずれのレイヤにおいてもパケットロスに対しての再送制御が適用されていない（受信側からの ACK/NACK を待つ時間や再送のための時間が含まれない）等が考えられる。

なお本実証では、ユースケースの利用形態に基づき、基地局、端末へそれぞれ Gbit Ethernet にて PC を接続し、それらの PC に搭載した測定ツール（ソフトウェア）を用いて PC 間における伝送遅延時間を測定した。そのため、伝送遅延時間には PC 上のデバイスドライバやソフトウェアにおける処理時間等の測定誤差が含まれていると想定される。ローカル 5G のように、ミリ秒オーダーの超低遅延な伝送遅延時間をより正確に測定するためには、専用の測定器（ハードウェア）を用いて、もしくはローカル 5G 機器の中に伝送遅延時間を測定する機能（テストモード）を実装する等して測定する必要があると考える。

次に、伝送スループットに関しては、ある一定の範囲内（通信距離内）において、見通し等により電波伝搬環境が良好な場合は、本庄工場、玉村工場ともに、TCP、UDP のいずれであっても、また UL、DL のいずれであっても、本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器の無線伝送帯域の上限値である約 110Mbps 程度（UL）、約 27Mbps 程度（DL）の伝送スループットを確保できるという結果になった。一方、見通し外により、もしくは見通しであっても多数の反射波等により電波伝搬環境が悪く受信電力の低下や BLER の発生がある場合は、TCP では大きな影響（伝送スループットの低下）を受けるが、UDP では受信電力の低下や BLER の発生があっても、それらの影響を受け難いという結果になった。TCP に関しては、パケットロスにより TCP レベルでの再送制御の機能が動作すると同時に、フロー制御により送信データ量を調整する機能が動作するため伝送スループットが大きく低下したと想定される。但し UDP に関しても、伝送スループットの測定値としては高速を維持できているが、送信側では無線伝送帯域の上限値以上のデータ量（約 200Mbps 相当）を送信しており、またロスしたパケットはカウント対象としていないため、ストリーミング動画等のアプリケーションの観点での影響は少なからずあると考えられる。

なお本庄工場においては、伝送遅延時間や伝送スループットを測定不能な地点が複数あり、その地点は「計測不可」と記載している。これらの地点には、ローカル 5G としての接続は維持できているもののデータ通信の実行には至らない地点、ローカル 5G としての接続自体が維持できない地点が含まれる。生産設備やパーティション等の遮蔽により見通し外になる地点、その中でも基地局と端末間の距離（通信距離）が遠い地点にその傾向がある。一方の玉村工場では、すべての測定地点において伝送遅延時間や伝送スループットを測定可能であった。

以上の結果より、電波伝搬環境の状態が伝送遅延時間や UDP スループットへ与える影響は少ないことがわかったため、次節以降では、影響が大きい TCP スループットの特性和伝搬損失等との関連性を検証・評価することにする。また工場分野においては、利用形態として UL 重視のアプリケーションの適用が多いと想定されるため、UL 側の TCP スループットを検証・評価の対象とする。

図 6.3.7-1～図 6.3.7-4 に本庄工場における UL TCP スループットと通信距離の関係を示し、図 6.3.7-5～図 6.3.7-8 に玉村工場における UL TCP スループットと通信距離の関係を示す。図では、見通し（青色）／見通し外（赤色）別に色を分けて表示している。なお本庄工場において「計測不可」の地点は 0Mbps として表示している。

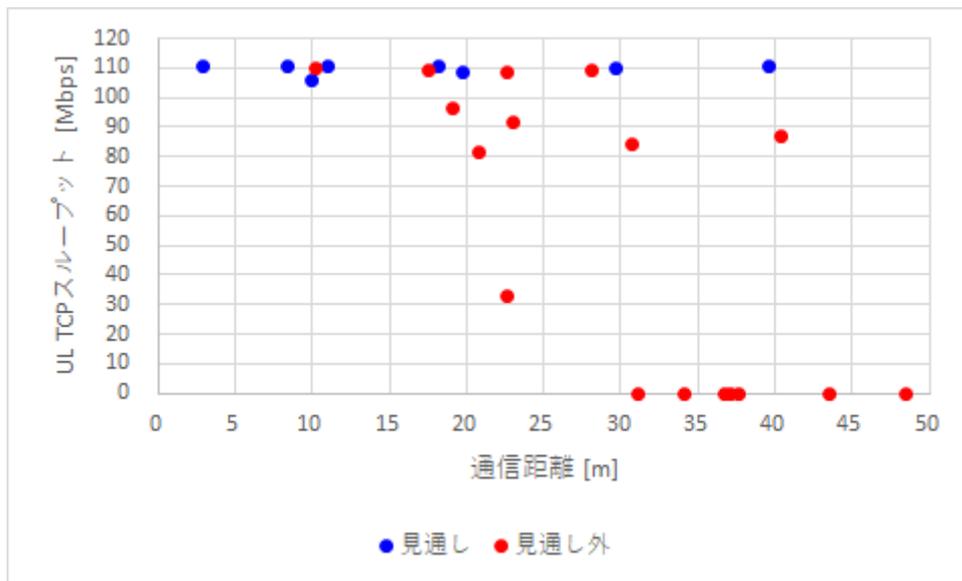


図 6.4.7-1 本庄工場 基地局：中央、基地局高：3m、UL TCP スループット(平均値)

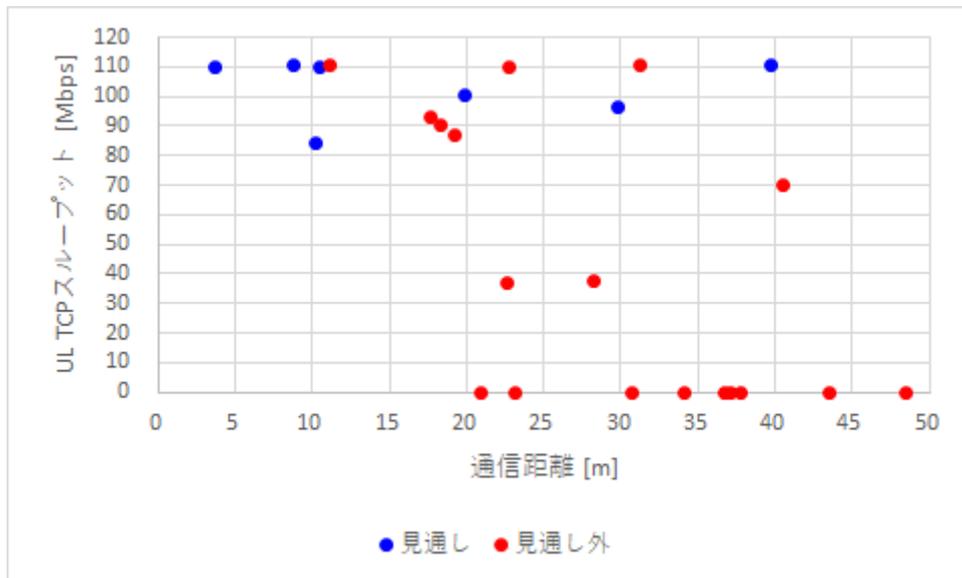


図 6.4.7-2 本庄工場 基地局：中央、基地局高：4m、UL TCP スループット(平均値)

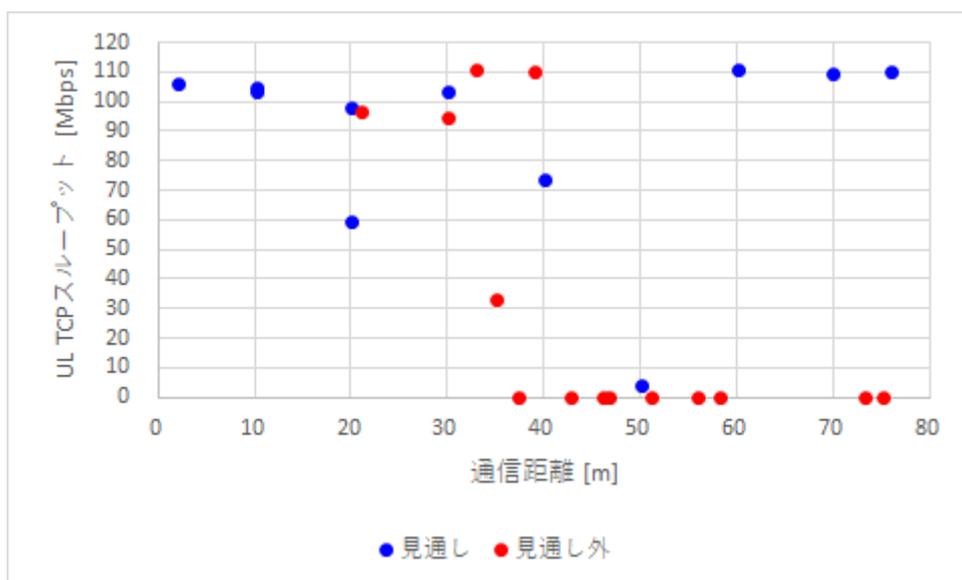


図 6.4.7-3 本庄工場 基地局：壁際、基地局高：3m、UL TCP スループット(平均値)

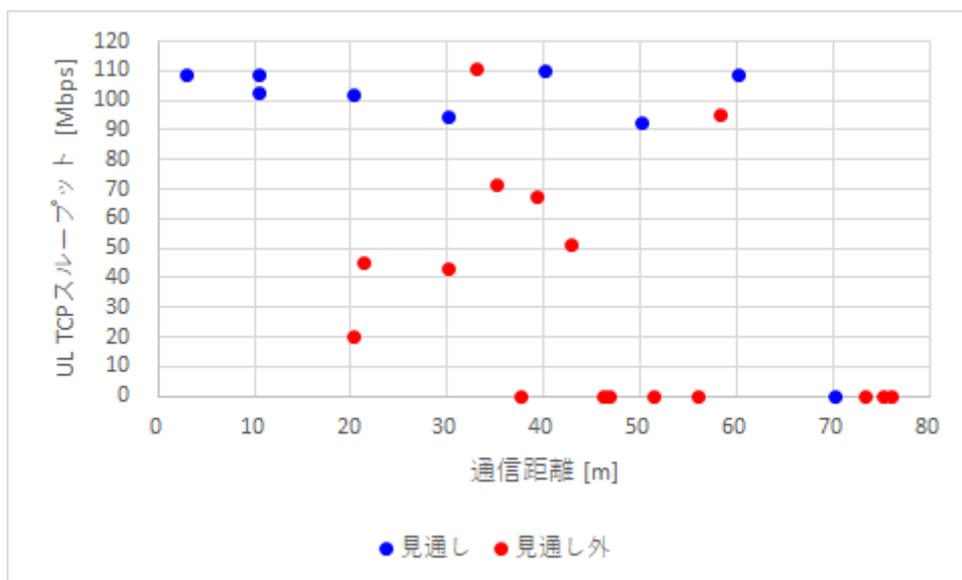


図 6.4.7-4 本庄工場 基地局：壁際、基地局高：4m、UL TCP スループット(平均値)

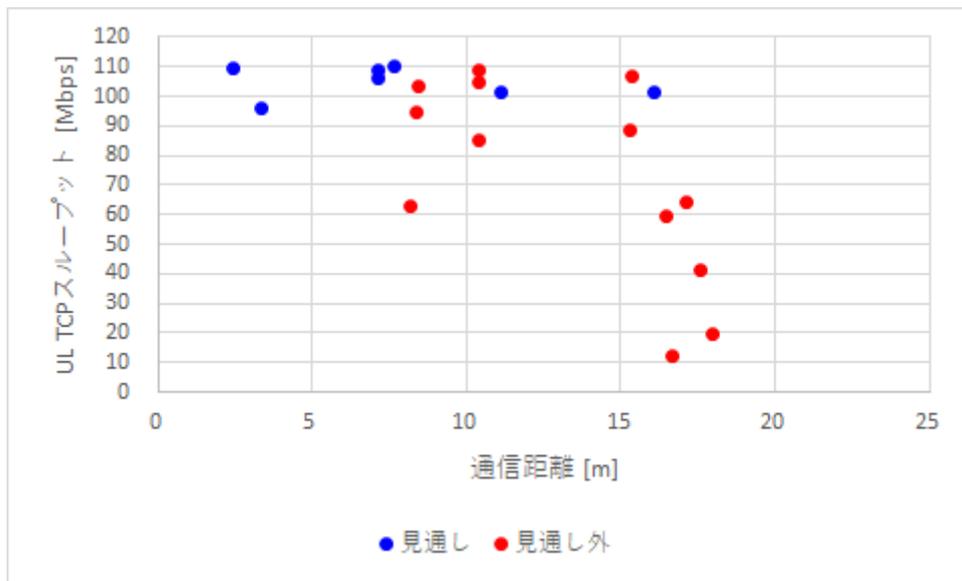


図 6.4.7-5 玉村工場 基地局：中央、端末高：1m、UL TCP スループット(平均値)

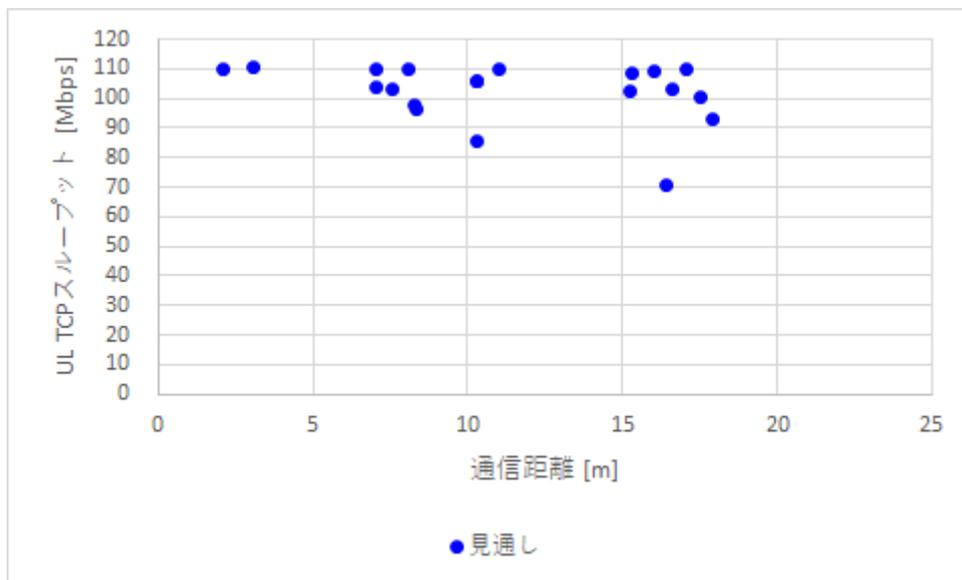


図 6.4.7-6 玉村工場 基地局：中央、端末高：2m、UL TCP スループット(平均値)

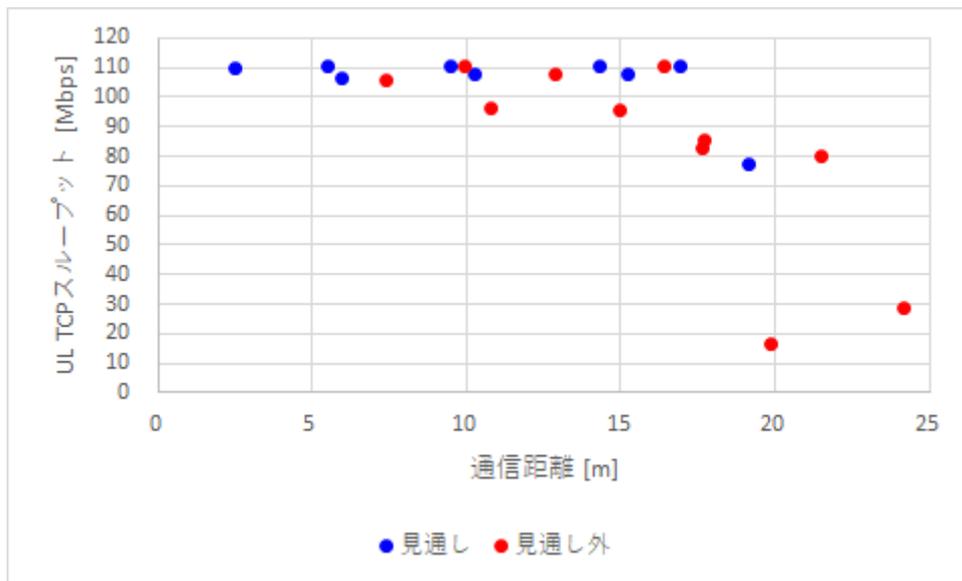


図 6.4.7-7 玉村工場 基地局：壁際、端末高：1m、UL TCP スループット(平均値)

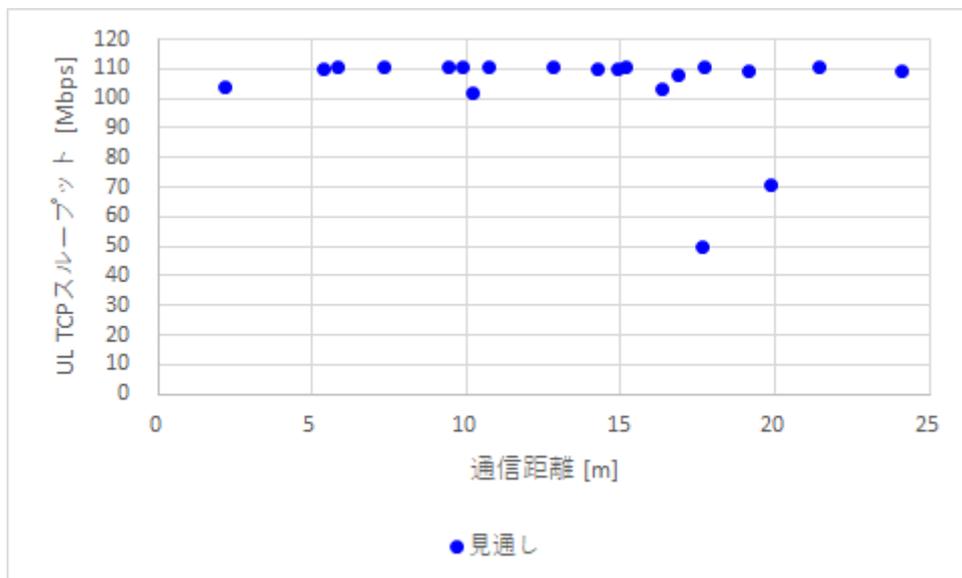


図 6.4.7-8 玉村工場 基地局：壁際、端末高：2m、UL TCP スループット(平均値)

6.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

6.4.1. 評価・検証項目

前節にてとりまとめた OKI の本庄工場、および太陽誘電(株)の玉村工場でのアップリンク (UL) TCP スループットの測定結果 (平均値) と伝搬損失の中央値より、工場の内部構造、生産設備の種類や生産ラインの規模等が異なる複数の工場での比較検証、および基地局の設置場所や高さ、端末の配置場所や高さの差異による無線通信特性の比較検証を行う。それにより、工場内に適したローカル 5G のエリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行う。評価・検証項目は以下の通りである。

環境パラメータ

- ・ 本庄工場
 - 基地局の設置場所：フロアの中央／壁際
 - 基地局の設置高さ：3m／4m
 - 端末の配置場所：フロア内 20 箇所
 - 端末の配置高さ：1m
- ・ 玉村工場
 - 基地局の設置場所：フロアの中央／壁際
 - 基地局の設置高さ：2.5m
 - 端末の配置場所：フロア内 20 箇所
 - 端末の配置高さ：1m／2m

評価パラメータ

- ・ 本庄工場、玉村工場共通
 - UL TCP スループット (平均値)
 - 伝搬損失 (中央値)
 - 伝搬環境 (見通し／見通し外)
 - 基地局と端末のアンテナ間距離 (通信距離)

計測指標及びその妥当性として、前節での検証結果より、評価パラメータとして電波伝搬環境の変化による影響を受け易い UL TCP スループットを選定した。環境パラメータとして用いる基地局の設置場所や設置高さ、端末の配置場所や配置高さに伴う伝搬損失や伝搬環境との関係性を評価することにより、工場内に適した Sub6 帯ローカル 5G の基地局の設置条件等を整理することができる。と考える。

その他に、ユースケース自体との関連性は少ないと考えるが、参考として UL・DL 比率を DL 重視としたフレーム構成での伝送遅延時間、伝送スループット等を測定する。

6.4.2. 評価・検証方法

前節にてとりまとめたローカル 5G の各種無線通信特性のデータである UL TCP スループット（平均値）、伝搬損失（中央値）、伝搬環境（見通し／見通し外）、基地局と端末のアンテナ間距離（通信距離）を用いて、工場の内部構造、生産設備の種類や生産ラインの規模等が異なる OKI の本庄工場、太陽誘電(株)の玉村工場での無線通信特性を比較検証する。具体的には、それぞれの工場に関して、UL TCP スループットによるエリアマップ、および伝搬損失によるエリアマップを作成し、TCP スループットと伝搬損失の関係性を検証する。また、伝搬環境が見通し／見通し外の場合において、それぞれ伝搬損失と通信距離との関係性を検証する。

6.4.3. 検証結果

(1) OKI 本庄工場

本庄工場において、各測定地点にて測定した UL TCP スループット（平均値）、および伝搬損失（中央値）を、本庄工場のレイアウト図上へエリアマップとして記載する。図 6.4.3-1～図 6.4.3-8 にそれぞれのエリアマップを示す。基地局を実証エリアの中央へ配置し、基地局の高さを 3m, 4m と変更した場合と、基地局を実証エリアの壁際へ配置し、基地局の高さを 3m, 4m と変更した場合の 4 つのパターンに関して、UL TCP スループット（平均値）および伝搬損失（中央値）を各測定地点に示している。

基地局の設置場所が中央、高さが 3m の場合、見通し環境となる測定地点は①、⑤、⑦、⑧、⑪、⑫、⑬、⑮の 8 地点となり、基地局の設置場所が中央、高さが 4m の場合、見通し環境となる測定地点は①、⑤、⑦、⑧、⑨、⑪、⑫の 7 地点となる。図の中央、縦方向にダクトが天井に設置されており、図の右側のエリアはダクトの遮蔽になる。一方、基地局の設置場所が壁際、高さが 3m の場合、見通し環境となる測定地点は①、②、③、⑤、⑦、⑧、⑪、⑮、⑱の 10 地点となり、基地局の設置場所が壁際、高さが 4m の場合、見通し環境となる測定地点は①、②、⑤、⑦、⑧、⑪、⑮、⑱の 9 地点となる。

(2) 太陽誘電(株) 玉村工場

玉村工場において、各測定地点にて測定した UL TCP スループット（平均値）、および伝搬損失（中央値）を、玉村工場のレイアウト図上へエリアマップとして記載する。図 6.4.3-9～図 6.4.3-16 にそれぞれのエリアマップを示す。基地局を実証エリアの中央へ配置し、端末の高さを 1m, 2m と変更した場合と、基地局を実証エリアの壁際へ配置し、端末の高さを 1m, 2m と変更した場合の 4 つのパターンに関して、UL TCP スループット（平均値）および伝搬損失（中央値）を各測定地点に示している。

端末の高さが 1m の場合、基地局の設置場所が中央のケースでは、見通し環境となる測定地点は③、⑦、⑨、⑩、⑪、⑫、⑮の 7 地点となり、基地局の設置場所が壁際のケースでは、見通し環境となる測定地点は①、⑤、⑨、⑩、⑬、⑮、⑰の 7 地点となる。一方、端末の高さが 2m の場合、基地局の場所が中央、壁際を問わず、すべての測定地点において見通し環境が確保される。

本庄工場、玉村工場いずれの場合も、UL TCP スループット（平均値）では、90Mbps 以上の地点を青色、90Mbps 未満の地点を黄色にて示し。伝搬損失（中央値）では、80dB 未満の地点を青色、80dB 以上の地点を黄色にて示す。本庄工場での赤色は、測定が不可であった地点である。

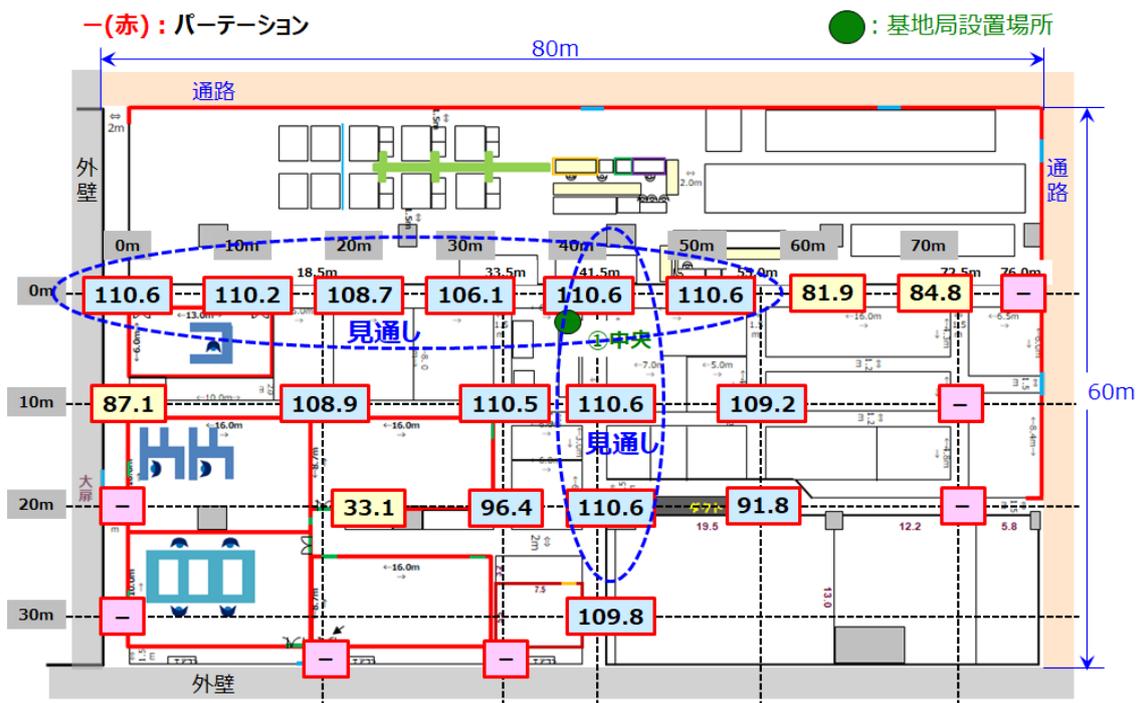


図 6.4.3-1 本庄工場 基地局：中央、基地局高：3m、UL TCP スループット(平均値)

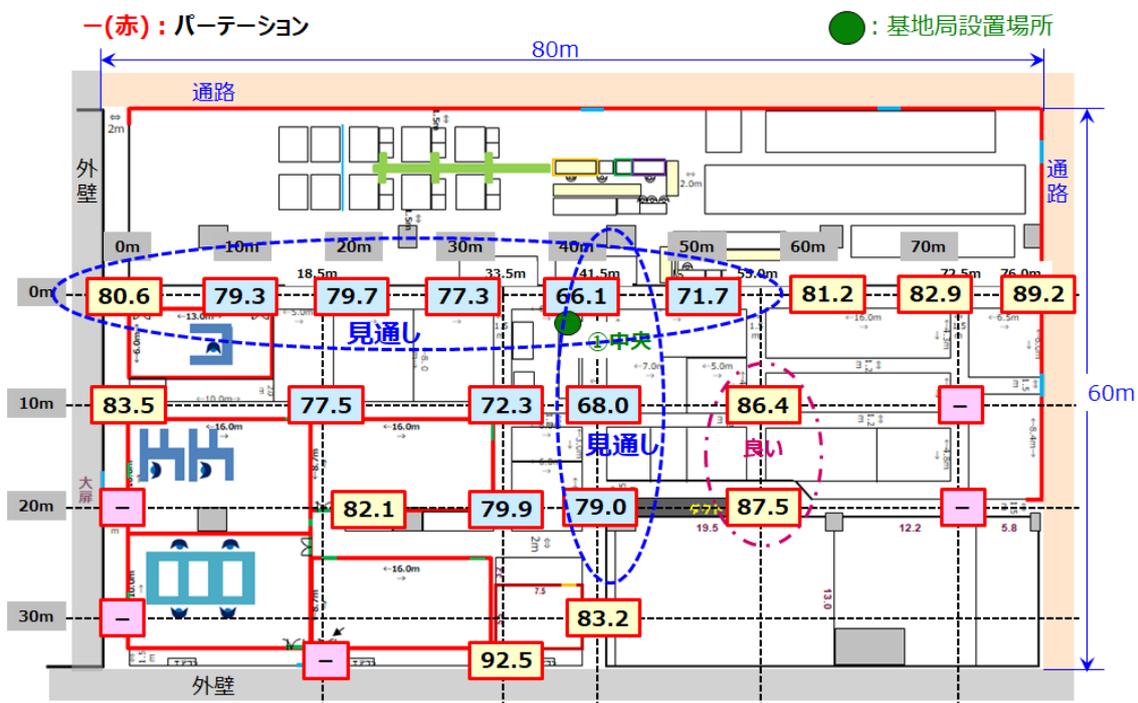


図 6.4.3-2 本庄工場 基地局：中央、基地局高：3m、伝搬損失(中央値)

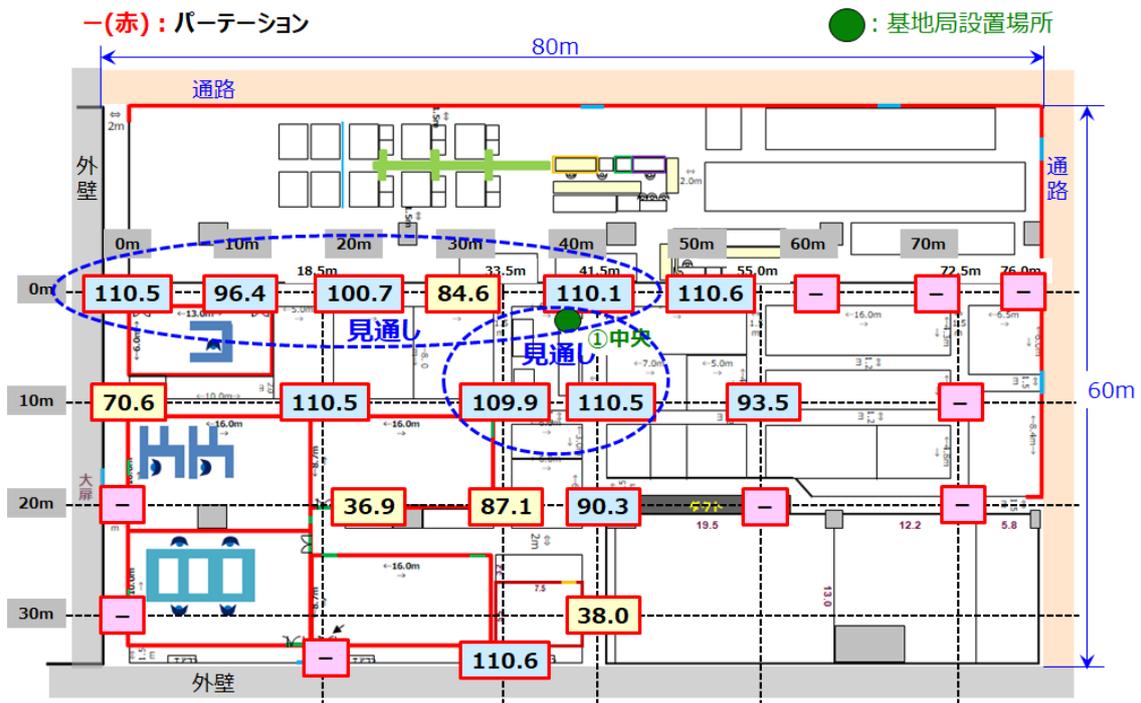


図 6.4.3-3 本庄工場 基地局：中央、基地局高：4m、UL TCP スループット(平均値)

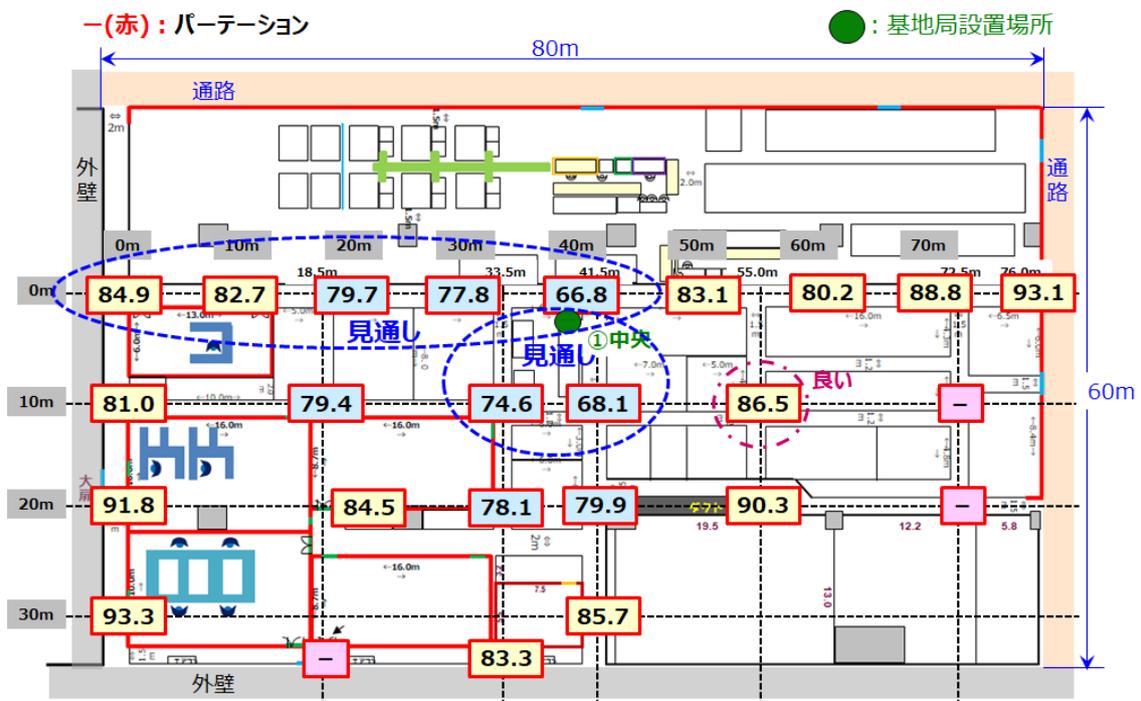


図 6.4.3-4 本庄工場 基地局：中央、基地局高：4m、伝搬損失(中央値)

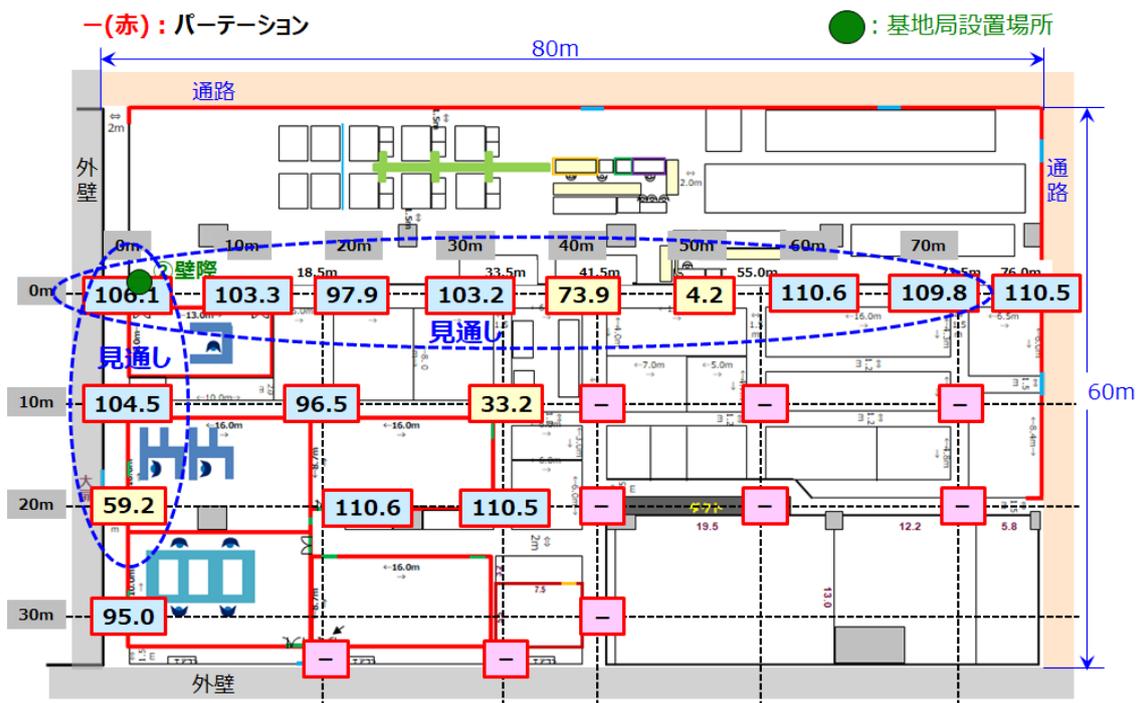


図 6.4.3-5 本庄工場 基地局：壁際、基地局高：3m、UL TCP スループット(平均値)

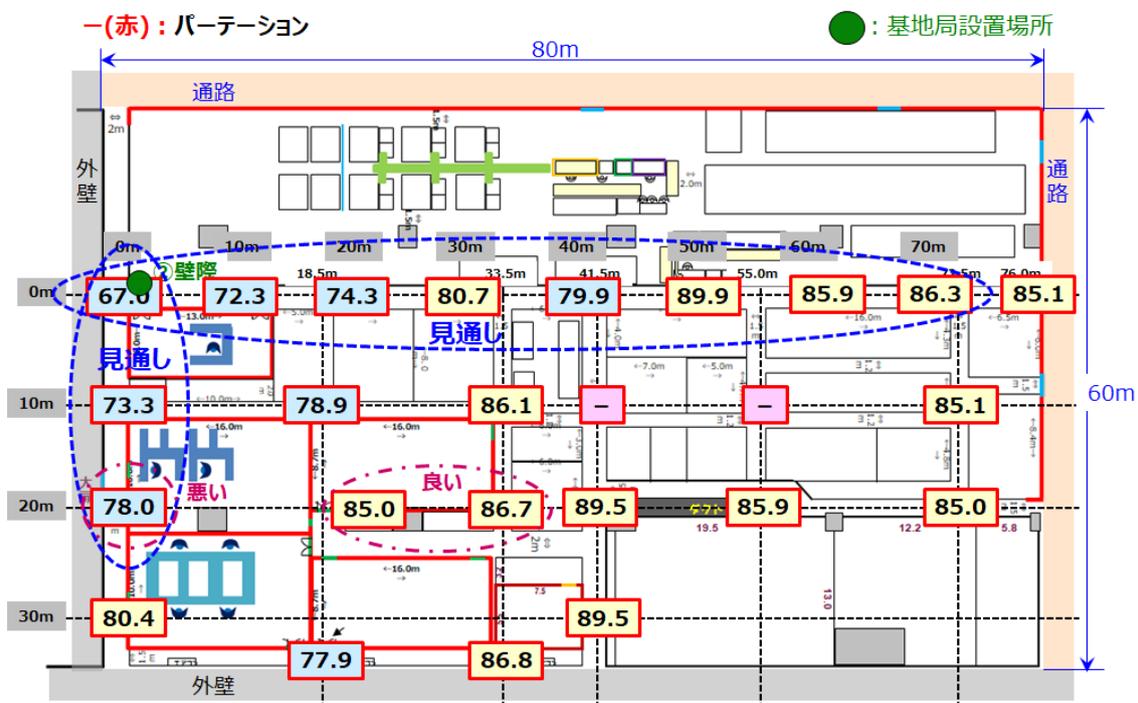


図 6.4.3-6 本庄工場 基地局：壁際、基地局高：3m、伝搬損失(中央値)

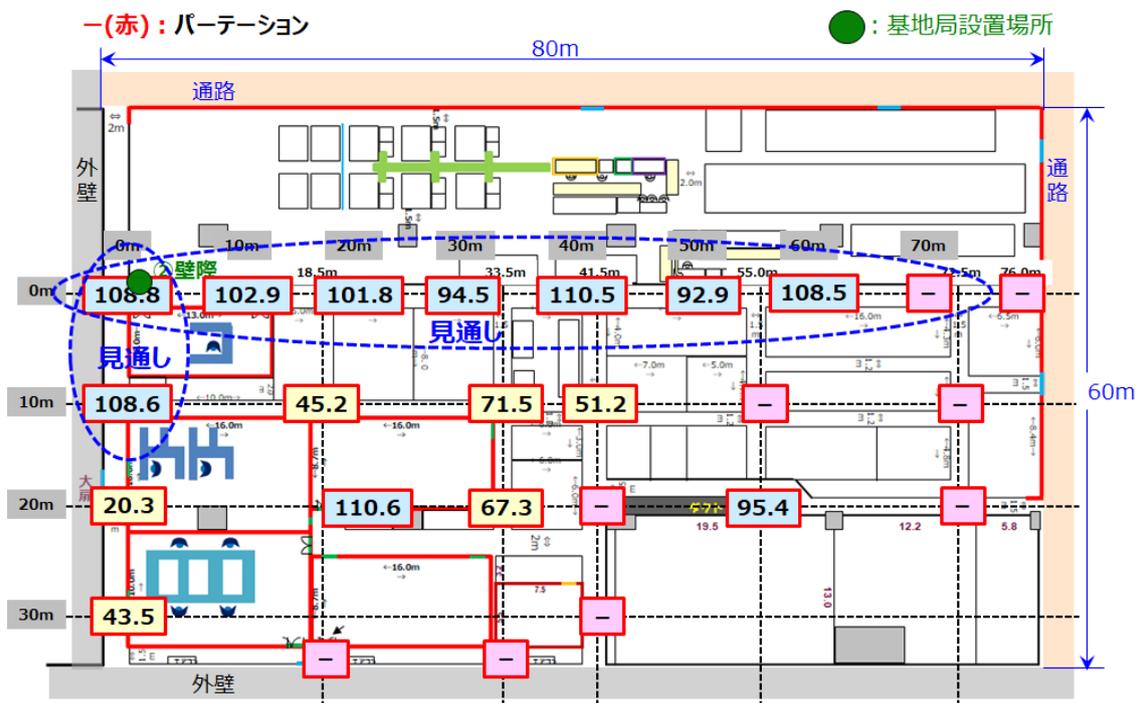


図 6.4.3-7 本庄工場 基地局：壁際、基地局高：4m、UL TCP スループット(平均値)

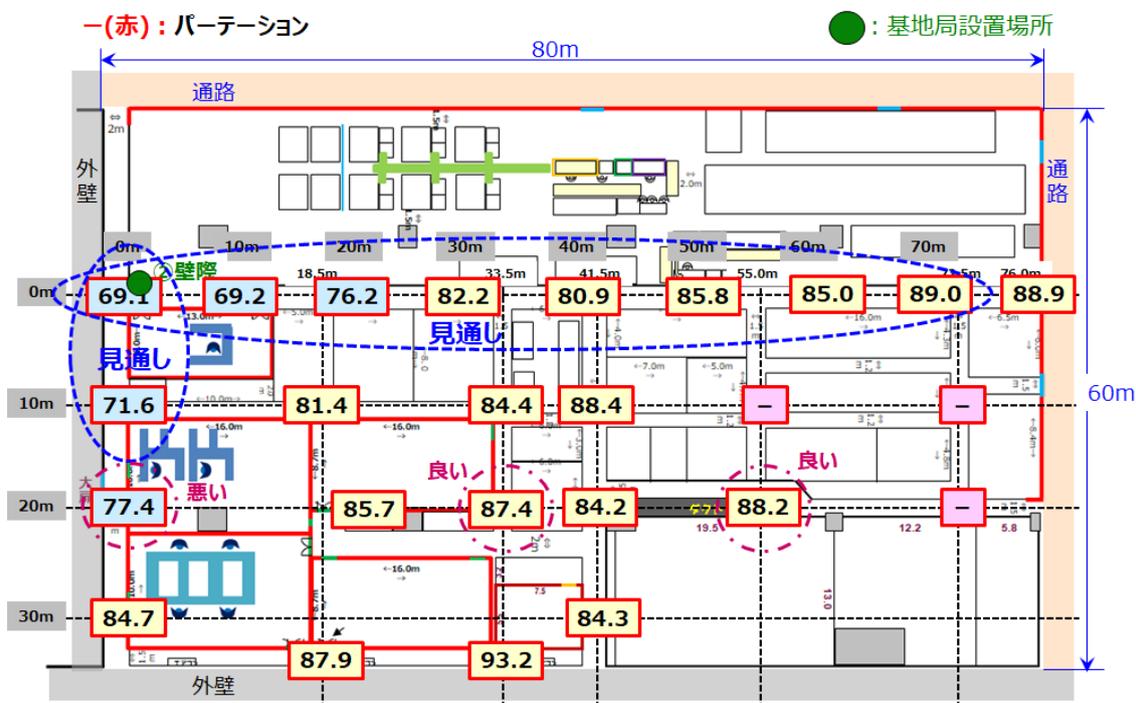


図 6.4.3-8 本庄工場 基地局：壁際、基地局高：4m、伝搬損失(中央値)

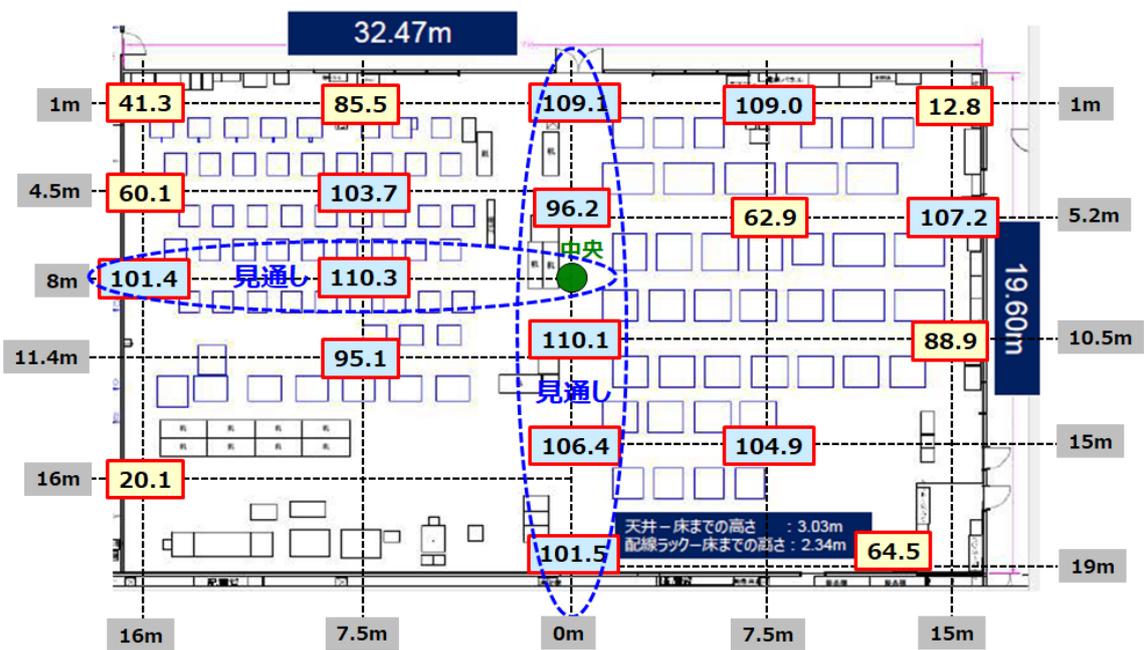


図 6.4.3-9 玉村工場 基地局：中央、端末高：1m、UL TCP スループット(平均値)

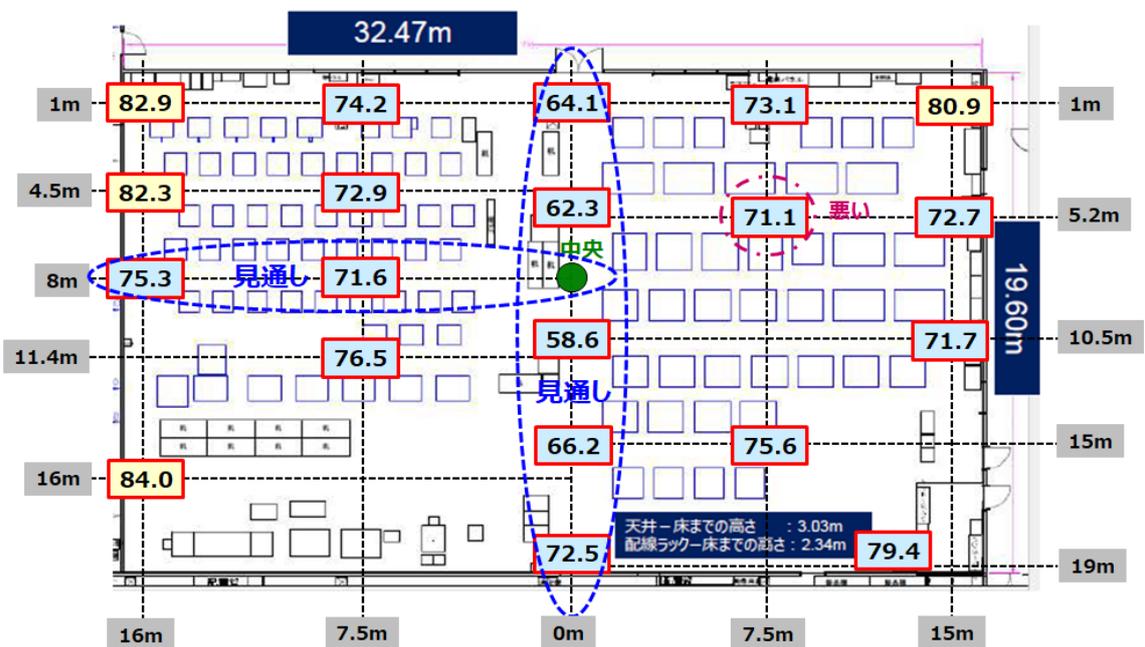


図 6.4.3-10 玉村工場 基地局：中央、端末高：1m、伝搬損失(中央値)

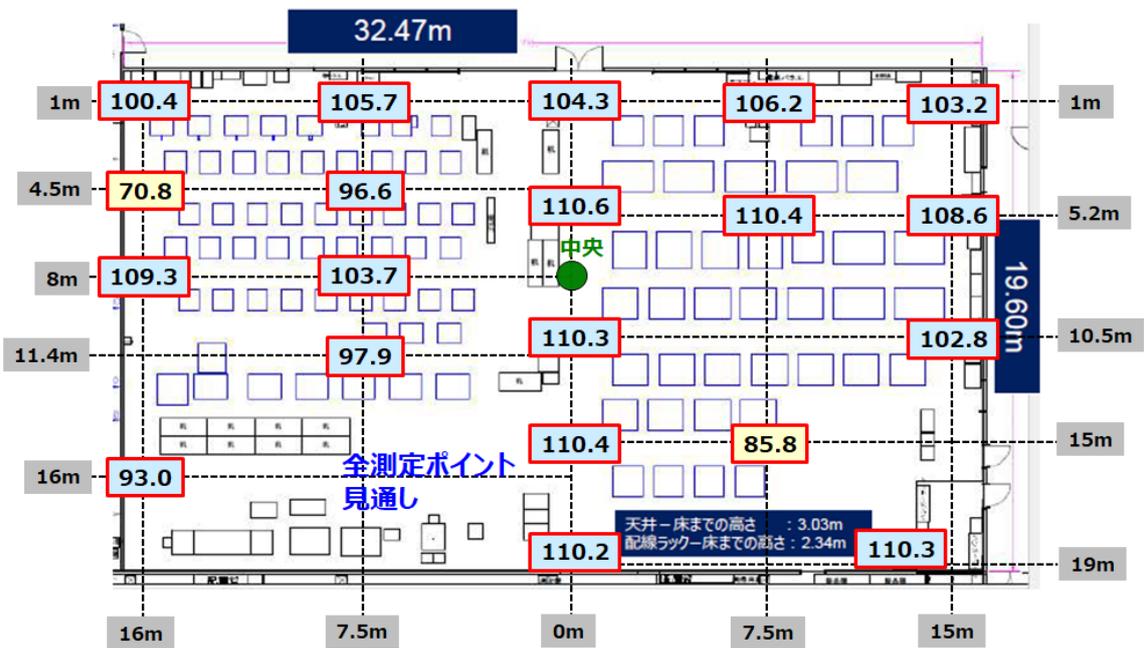


図 6.4.3-11 玉村工場 基地局：中央、端末高：2m、UL TCP スループット(平均値)

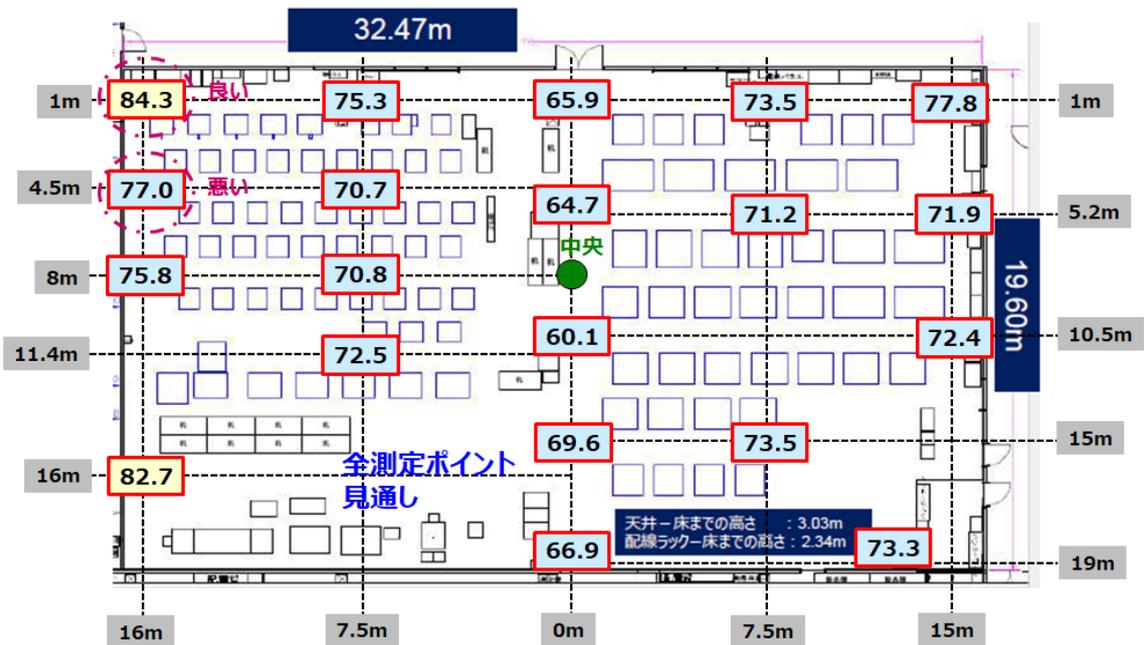


図 6.4.3-12 玉村工場 基地局：中央、端末高：2m、伝搬損失(中央値)

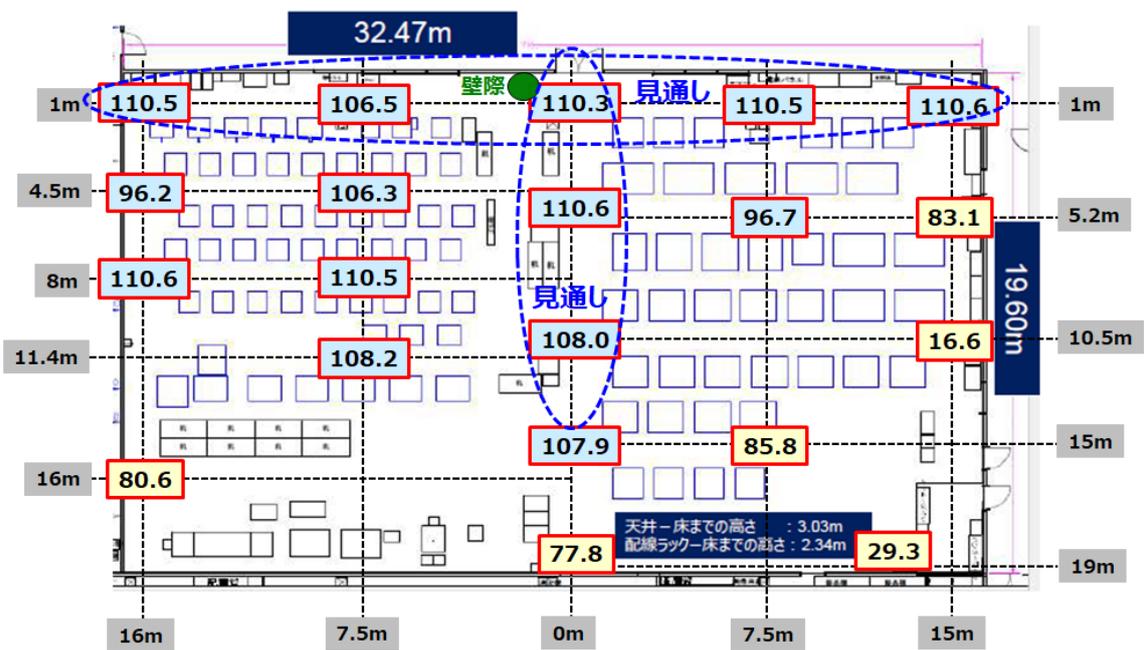


図 6.4.3-13 玉村工場 基地局：壁際、端末高：1m、UL TCP スループット(平均値)

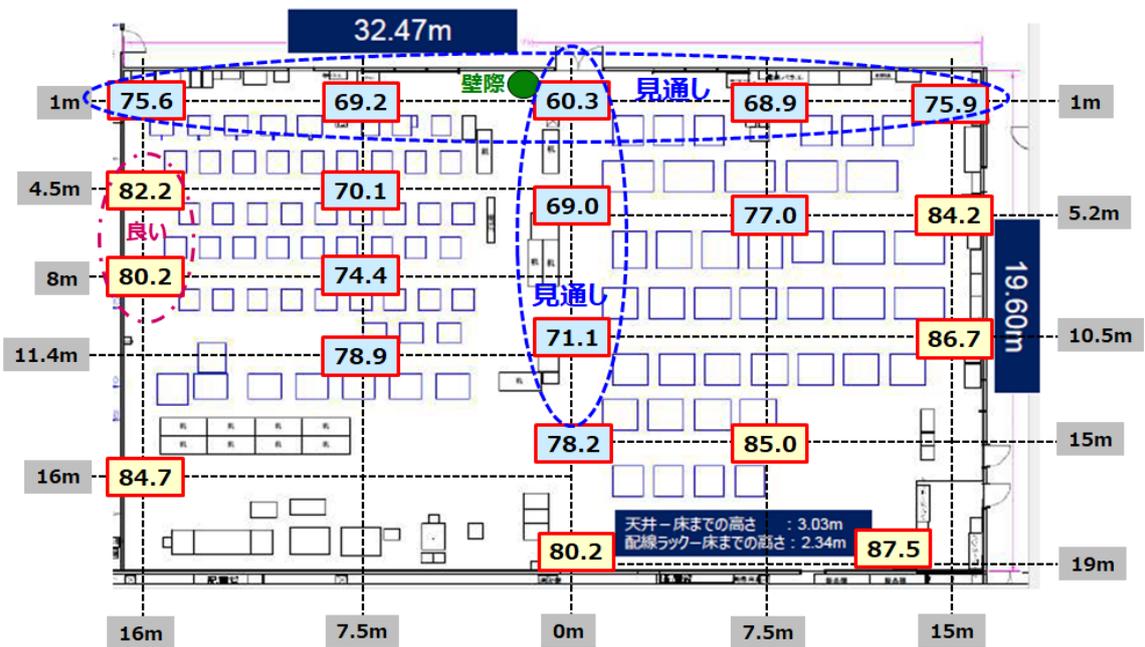


図 6.4.3-14 玉村工場 基地局：壁際、端末高：1m、伝搬損失(中央値)

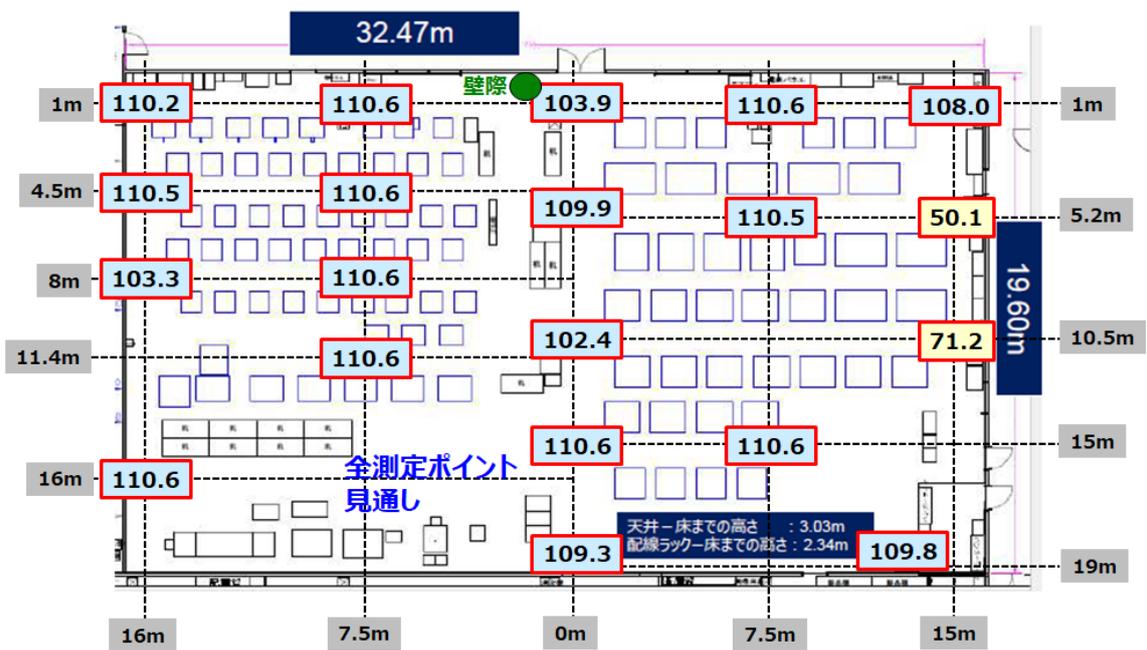


図 6.4.3-15 玉村工場 基地局：壁際、端末高：2m、UL TCP スループット(平均値)

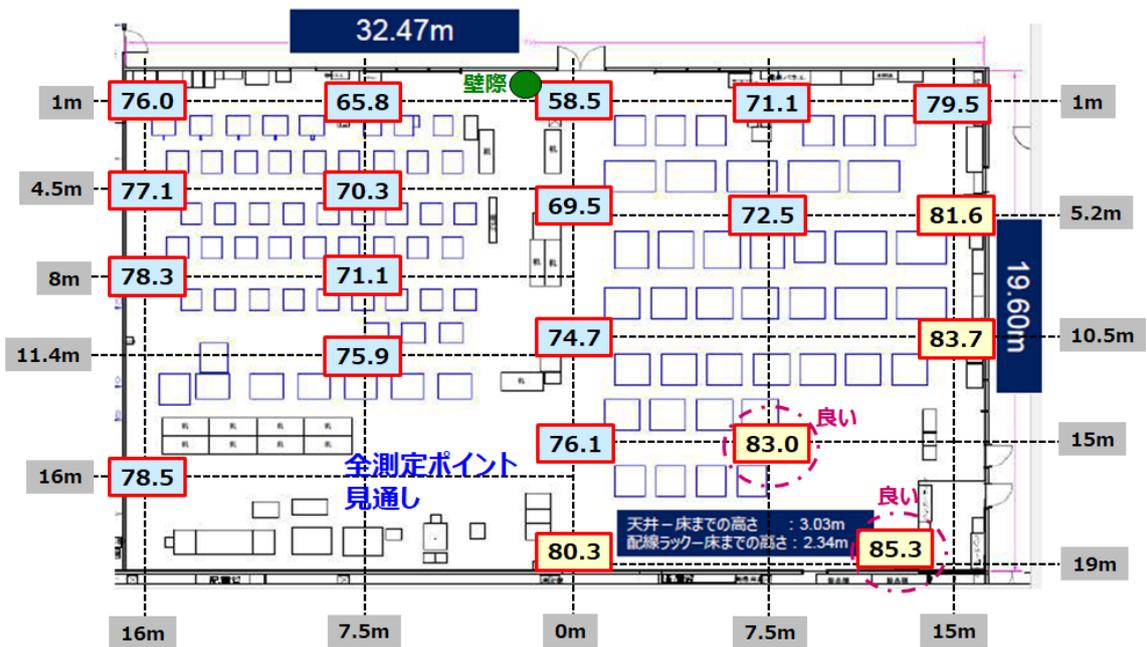


図 6.4.3-16 玉村工場 基地局：壁際、端末高：2m、伝搬損失(中央値)

6.4.4. UL・DL 比率を DL 重視に変更した場合の無線通信特性の評価

本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器は、非同期での開設・運用を許容された実験試験局の免許を取得している。本実証では、非同期であることの利点を活かして UL を重視したフレーム構成にて検証・評価を実施している。具体的には、UL・DL 比率を UL : DL = 12 : 3 と設定している。

本項では、UL・DL 比率を変更した場合の無線通信特性を評価する。UL・DL 比率を DL 重視の UL : DL = 4 : 11 と変更した場合と、ほぼ同等の UL : DL = 7 : 8 と変更した場合の無線通信特性を評価する。評価は、OKI の本庄工場において、基地局を実証エリアの中央に高さ 3m にて設置し、端末の測定地点を⑫として実施する。図 6.4.4-1 に、基地局の設置位置と端末の測定位置を示す。

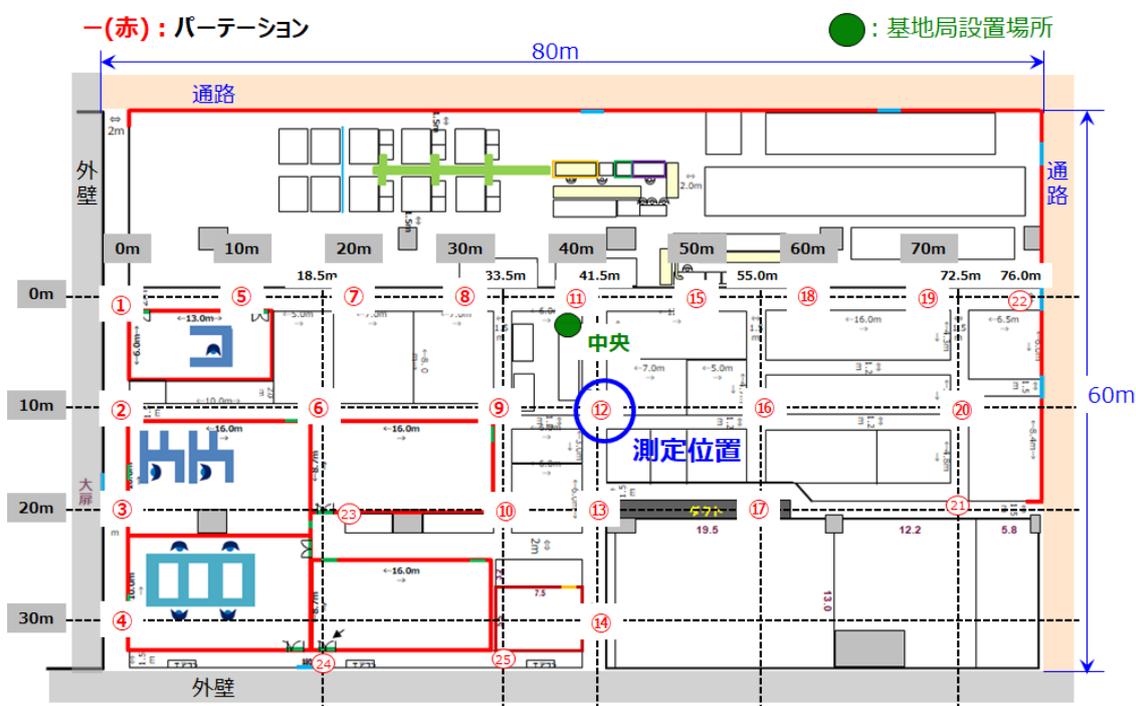


図 6.4.4-1 基地局の設置位置と端末の測定位置

評価項目は、UL・DL 毎の伝送スループット (TCP/UDP) とする。表 6.4.4-1 に、変更前 (UL : DL = 12 : 3) の伝送スループットを示す。

表 6.4.4-1 UL : DL = 12 : 3 の場合の伝送スループット

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)			
	アップリンク		ダウンリンク	
	TCP	UDP	TCP	UDP
12	110.57	108.91	27.66	27.40

(1) DL 重視の場合

DL を偏重して利用するユースケースを想定し、フレーム構成を UL : DL = 4 : 11 と変更して伝送スループットを評価する。表 6.4.4-2 に伝送スループットの測定結果を示す。

表 6.4.4-2 UL : DL = 4 : 11 と変更した場合の伝送スループット

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)			
	アップリンク		ダウンリンク	
	TCP	UDP	TCP	UDP
12	15.05	31.53	99.59	83.81

フレーム構成の変更通りに、伝送スループットは UL よりも DL のほうが速くなっていることを確認した。

(2) UL・DL 同等の場合

UL と DL をほぼ同等に利用するユースケースを想定し、フレーム構成を UL : DL = 7 : 8 と変更して伝送スループットを評価する。表 6.4.4-3 に伝送スループットの測定結果を示す。

表 6.4.4-3 UL : DL = 7 : 8 とした場合の伝送スループット

測定地点	伝送スループット [Mbps] (平均値)			
	アップリンク		ダウンリンク	
	TCP	UDP	TCP	UDP
12	68.67	72.52	64.53	62.62

フレーム構成の変更通りに、伝送スループットは UL と DL においてほぼ同等となっていることを確認した。

上記の評価結果により、ローカル 5G 機器が UL・DL 比率を変更したフレーム構成の設定通りに動作することを確認した。非同期、もしくは準同期において更に UL 偏重フレーム構成の使用が可能になれば、ユーザやアプリケーションの利用形態（ユースケース）に最適な UL・DL 比率を適用することが可能になり、ローカル 5G 導入が促進されると考える。

6.4.5. 技術的課題の解決方策

前節にてとりまとめた本庄工場、および玉村工場での UL TCP スループット（平均値）と伝搬損失（中央値）の測定結果より、工場の内部構造、生産設備の種類や生産ラインの規模等が異なる複数の工場において、基地局の設置場所や高さ、端末の配置場所や高さの差異による比較検証を行い、工場内に適したローカル 5G のエリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行う。

本庄工場においては、UL TCP スループット等の無線通信特性を測定不能な地点が複数あり、生産設備やパーティション等の遮蔽により見通し外になる地点、その中でも基地局と端末間の距離（通信距離）が遠い地点にその傾向があった。一方の玉村工場では、すべての測定地点において伝送遅延や伝送スループットを測定可能であったが、本庄工場と同様に、通信距離が同等であっても UL TCP スループットや RSSI の測定結果に差異がある地点があった。UL TCP スループットが高速な地点は RSSI が高いという傾向があり、見通し外であっても反射波等によって高い RSSI を確保できれば、ある程度のデータ通信は可能であると想定される。但し、ある一定レベル以上の RSSI を確保できていても、UL TCP スループットが低い地点があるため、その地点の周囲環境や測定時のヒトの動き・モノの移動を精査する必要があると考える。

そこで、見通しの有無別に、基地局からの距離（通信距離）と伝搬損失の関係性に関して評価し、考察を行う。図 6.4.5-1～図 6.4.5-8 に本庄工場における見通しの有無別の通信距離と伝搬損失の関係性を示し、図 6.4.5-9～図 6.4.5-14 に玉村工場における見通しの有無別の通信距離と伝搬損失の関係性を示す。比較対象として、自由空間伝搬損失（理論値）、および技術実証 PMO である ARIB 指定の人体吸収損失を考慮した伝搬損失の計算式を示している。伝搬損失の計算式は下記の通りである。

$$L = Pt + Gt - Lf + Gr - Pr - 8$$

- L [dB] : 伝搬損失
- Pt [dBm] : 送信電力
- Gt [dBi] : 送信アンテナ利得
- Lf [dB] : 基地局の給電線損失
- Gr [dBi] : 受信アンテナ利得
- Pr [dBm] : 受信電力
- 8 [dB] : 人体吸収損失

なお玉村工場において端末の高さを 2m に配置した場合は、基地局の位置が中央、壁際のいずれであっても、すべての測定地点において見通しとなっている。

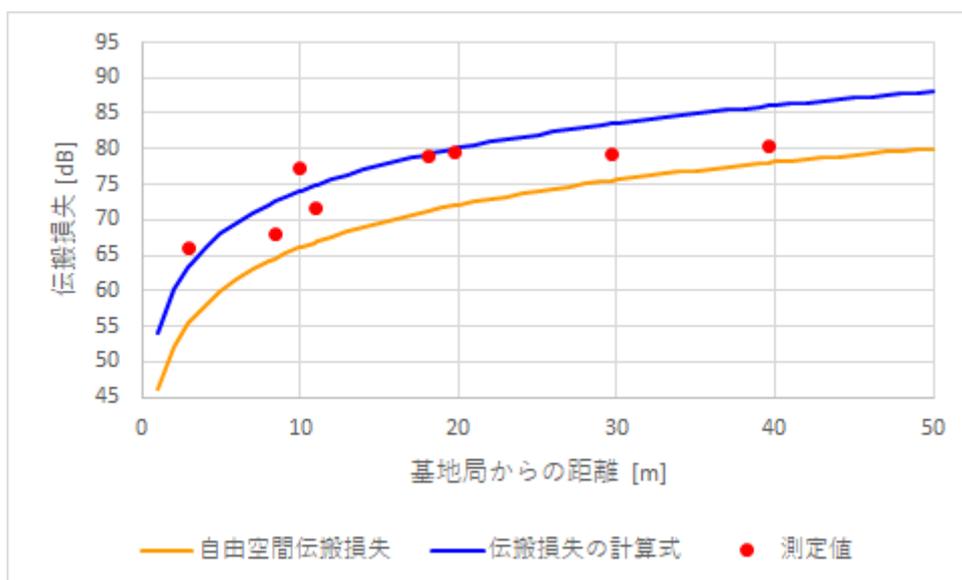


図 6.4.5-1 本庄工場 基地局の位置：中央／基地局の高さ：3m（見通し）

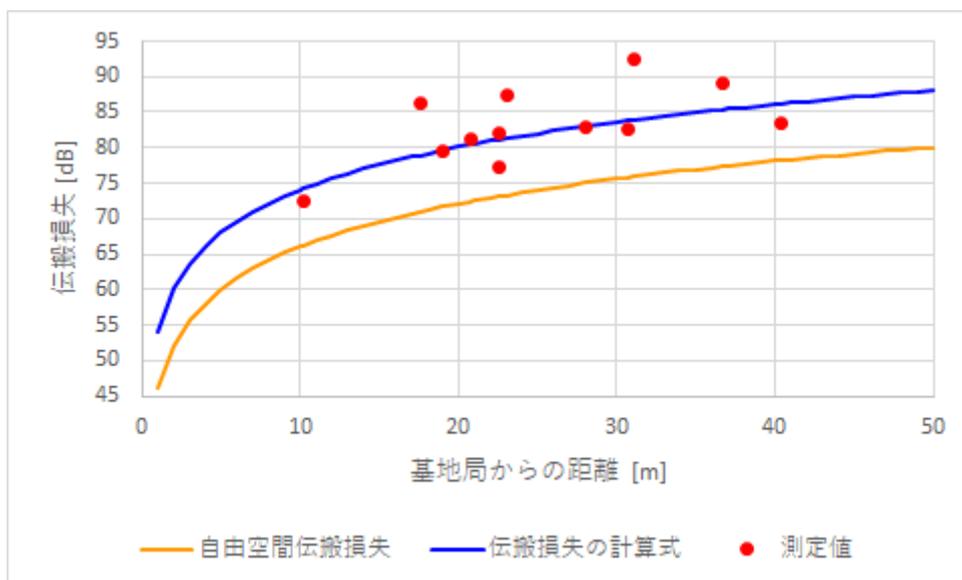


図 6.4.5-2 本庄工場 基地局の位置：中央／基地局の高さ：3m（見通し外）

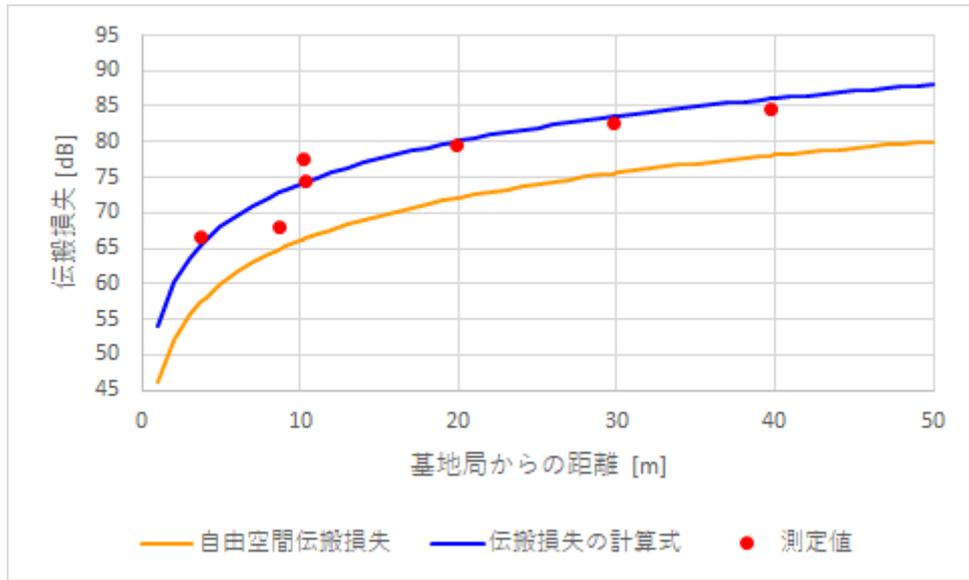


図 6.4.5-3 本庄工場 基地局の位置：中央／基地局の高さ：4m（見通し）

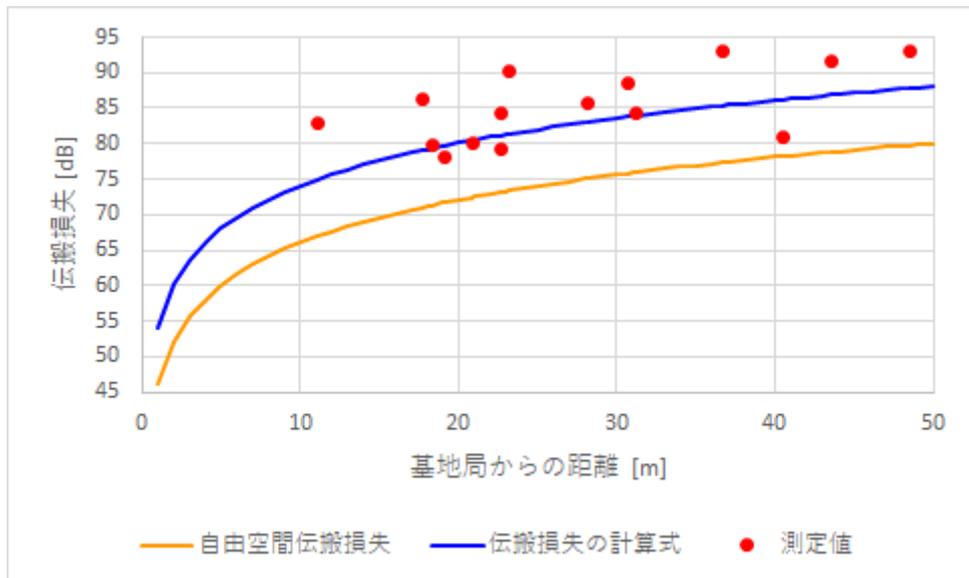


図 6.4.5-4 本庄工場 基地局の位置：中央／基地局の高さ：4m（見通し外）

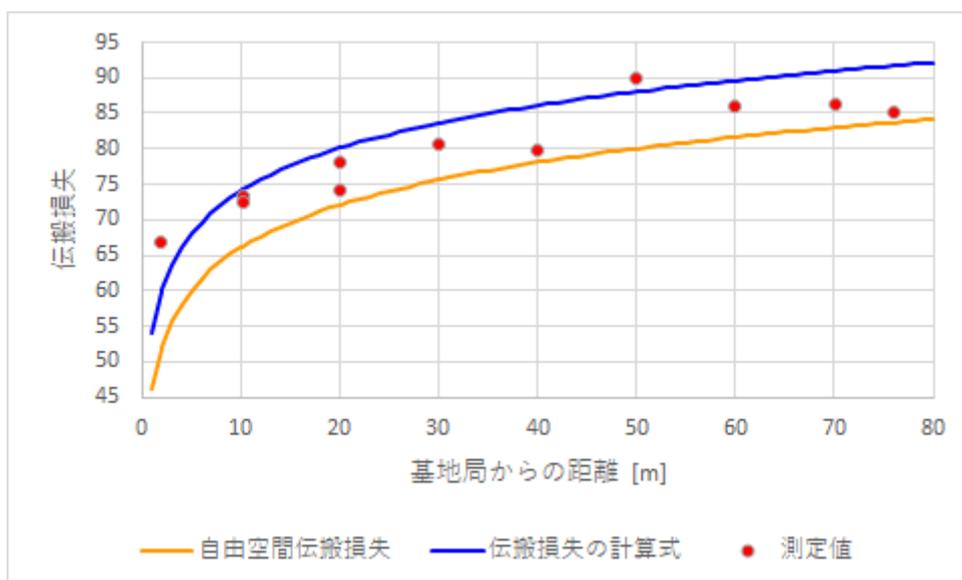


図 6.4.5-5 本庄工場 基地局の位置：壁際／基地局の高さ：3m（見通し）

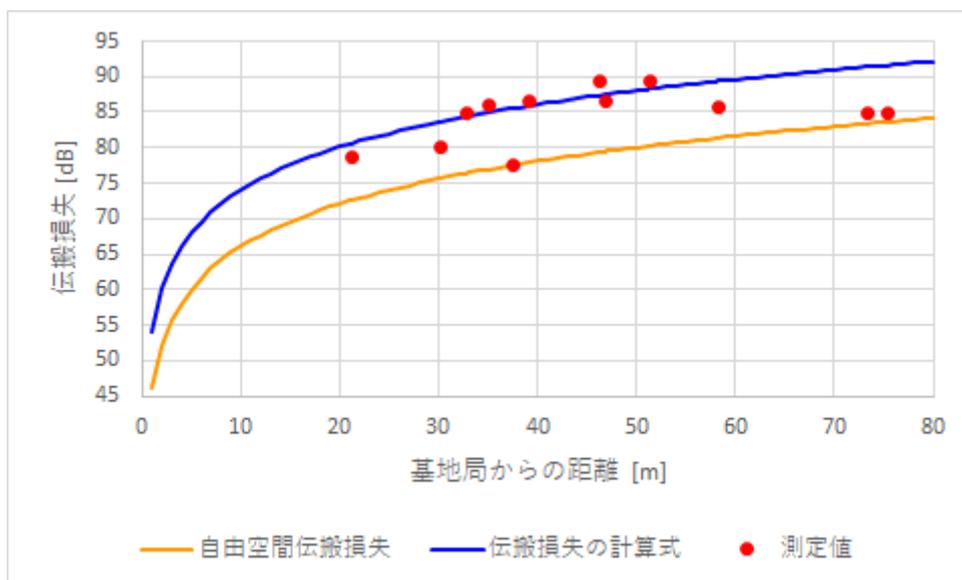


図 6.4.5-6 本庄工場 基地局の位置：壁際／基地局の高さ：3m（見通し外）

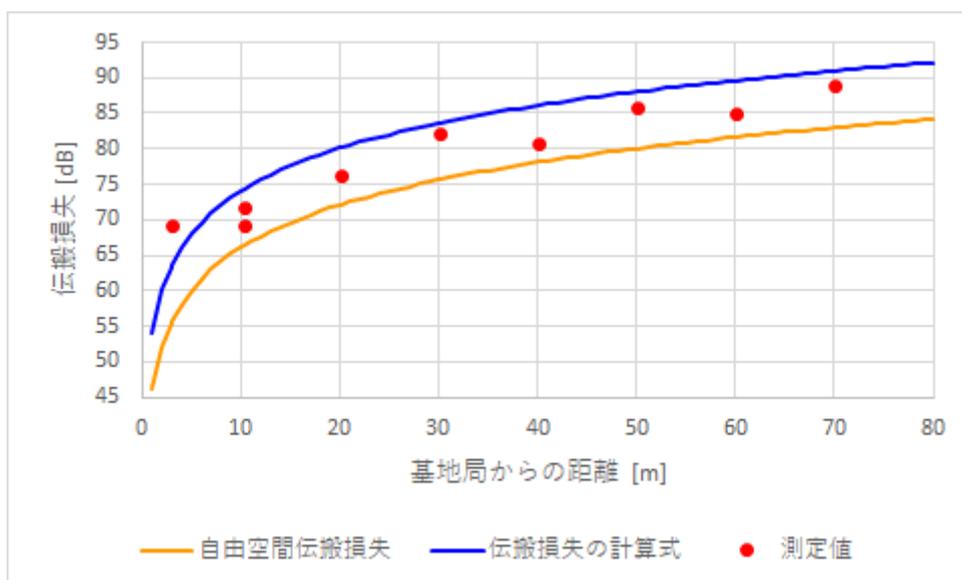


図 6.4.5-7 本庄工場 基地局の位置：壁際／基地局の高さ：4m（見通し）

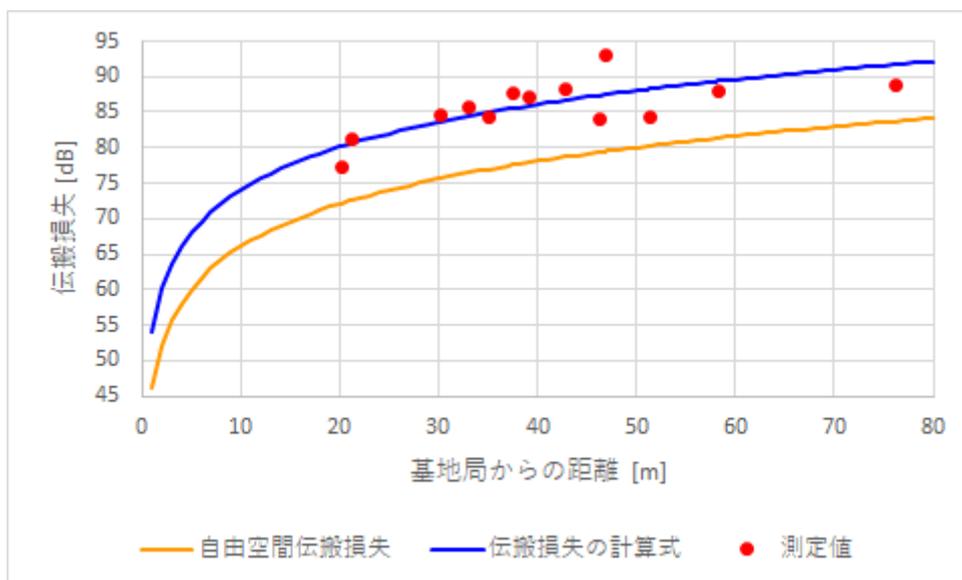


図 6.4.5-8 本庄工場 基地局の位置：壁際／基地局の高さ：4m（見通し外）

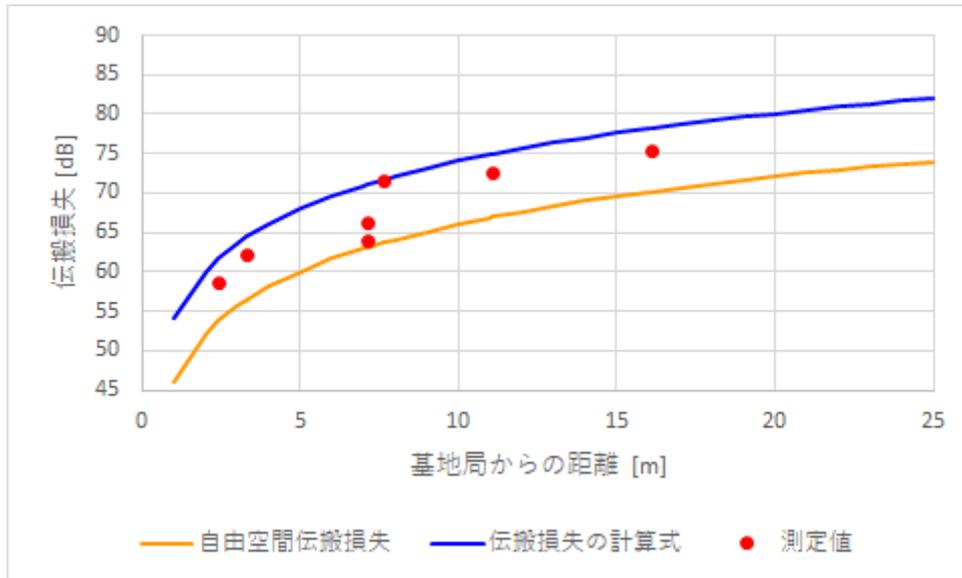


図 6.4.5-9 玉村工場 基地局の位置：中央／端末の高さ：1m（見通し）

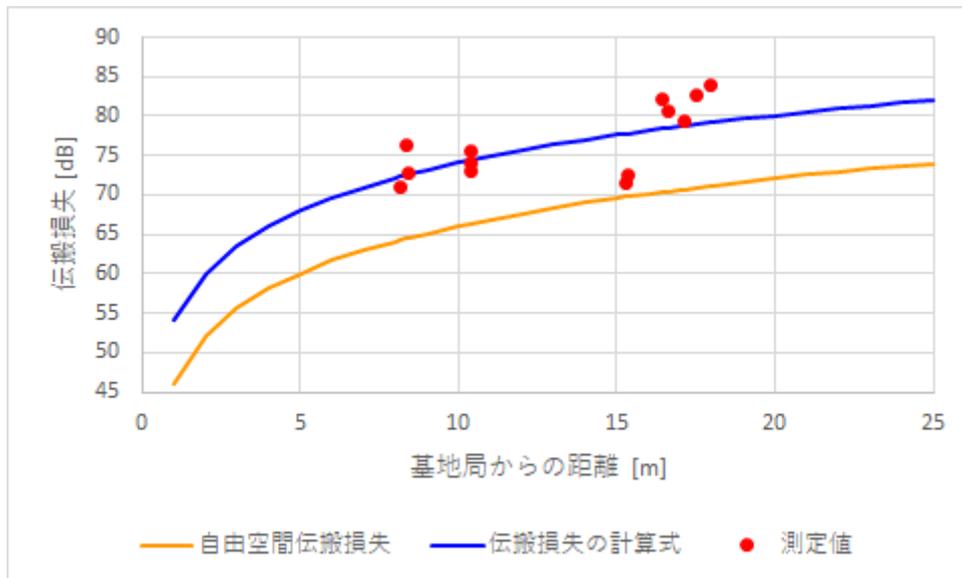


図 6.4.5-10 玉村工場 基地局の位置：中央／端末の高さ：1m（見通し外）

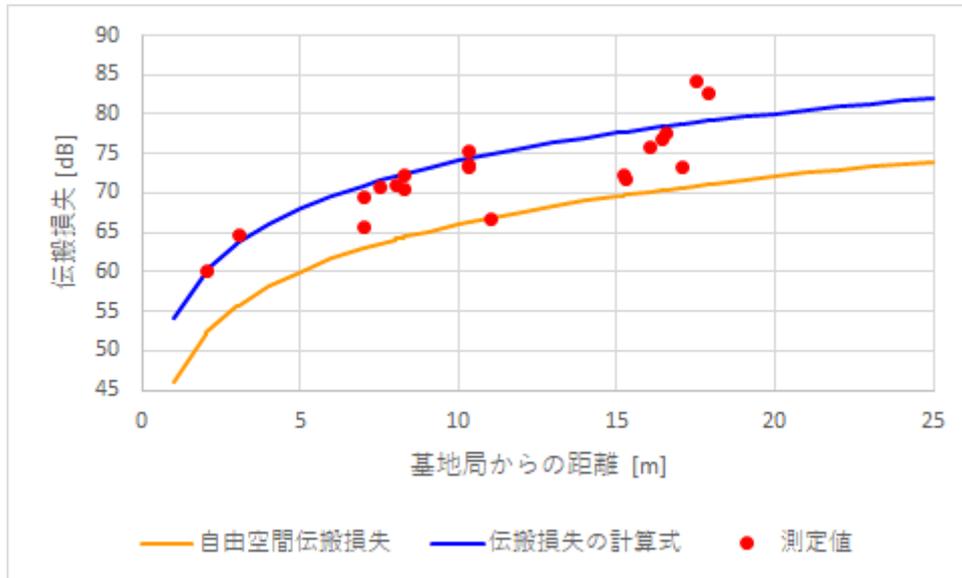


図 6.4.5-11 玉村工場 基地局の位置：中央／端末の高さ：2m（見通し）

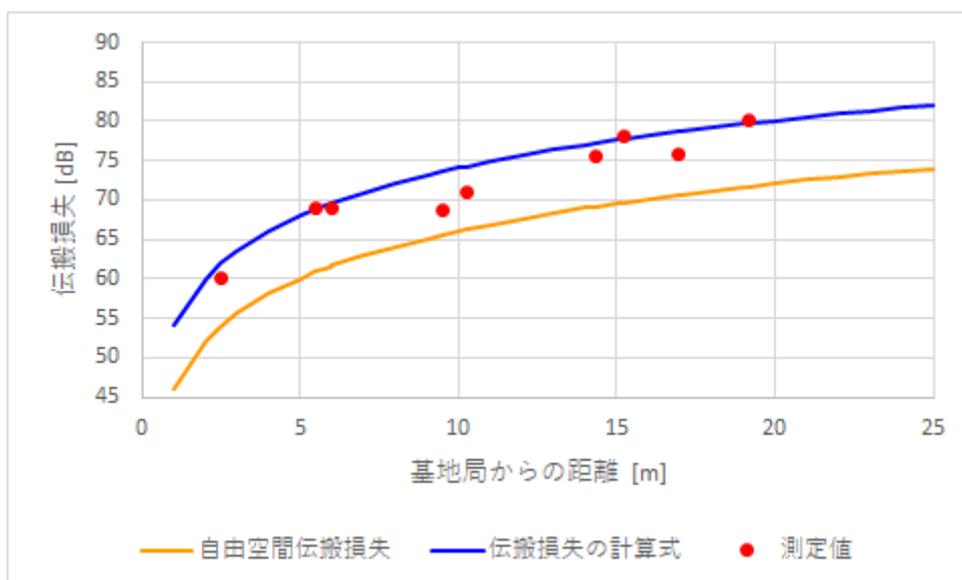


図 6.4.5-12 玉村工場 基地局の位置：壁際／端末の高さ：1m（見通し）

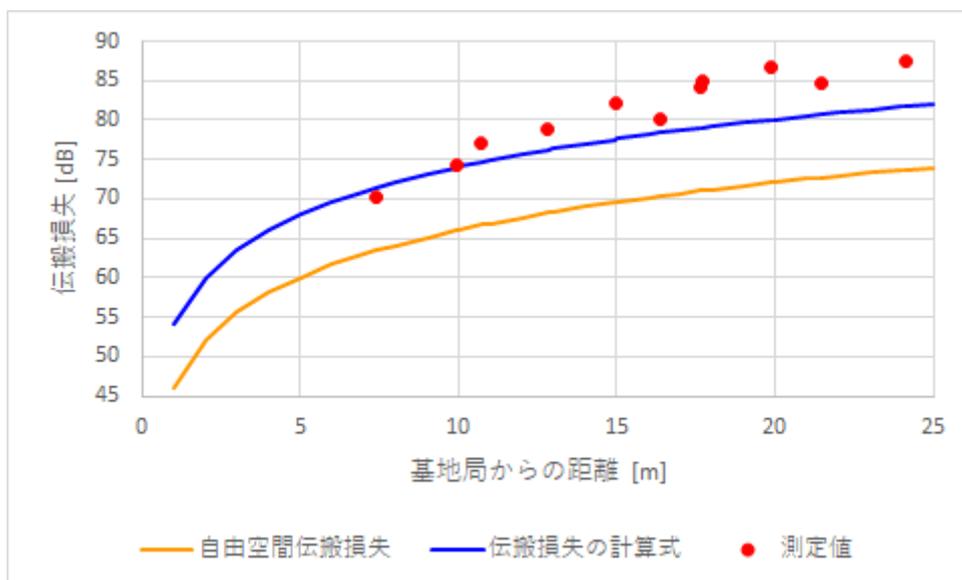


図 6.4.5-13 玉村工場 基地局の位置：壁際／端末の高さ：1m（見通し外）

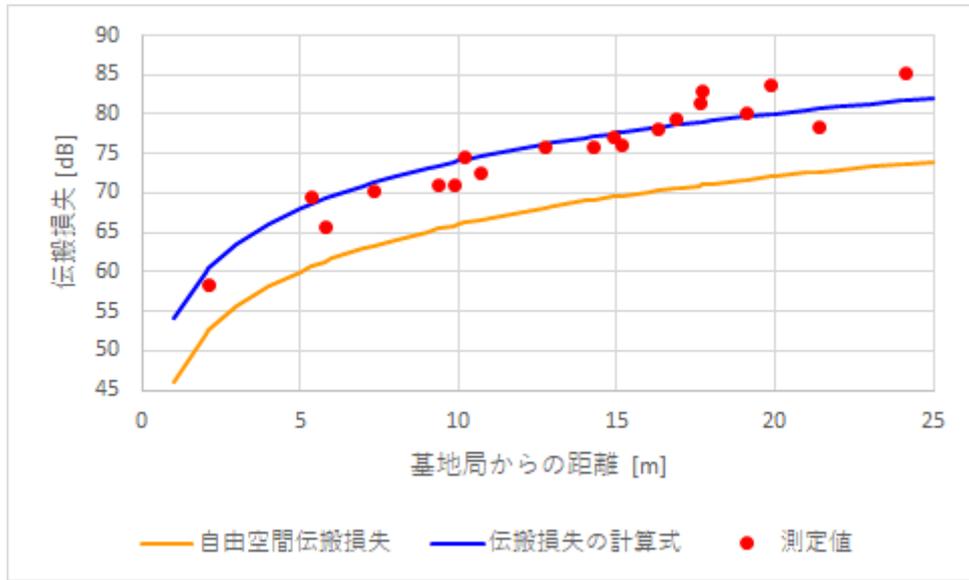


図 6.4.5-14 玉村工場 基地局の位置：壁際／達末の高さ：2m（見通し）

見通しに関しては、本庄工場、玉村工場ともに、ARIB 指定の人体吸収損失を考慮した伝搬損失の計算式にほぼ適合、もしくは伝搬損失の計算式と自由空間伝搬損失（理論値）との間に入るような値となっている。一方の見通し外に関しては、伝搬損失の計算式から上下に大きく外れるケースがある。見通し外においては、人体吸収損失に加えて、受信電力を強めたり弱めたりする要因の1つである反射波のパスを考慮する必要があると考える。

しかしながら、工場内のダクトや配線レール等がある複雑な内部構造、多数の生産設備や搬送台車が設置・配置される環境において、反射波のパス（マルチパス）を分析することは非常に困難と想定される。仮に電波伝搬シミュレーション等にてマルチパスを分析しようとする場合、内部構造や反射物、遮蔽物等のモデル化（形状、素材、配置等の再現）には膨大な時間を要することが想定される。1つの解決方策としては、エリアテスト等の測定器を用いて工場内フロアの受信電力（RSSI 等）を測定し、フロアヒートマップを作成することが考えられるが、その測定は基地局を設置後の実施となるため、事前に工場内に適した基地局の設置条件を求めるための工夫が必要と考える。

本実証では、伝搬損失は 100 サンプル（約 100 秒間）の測定における中央値としているが、工場の 1 日の作業サイクル（製造スケジュール等）を考慮すると、作業者や台車等の配置変え、部材や完成品等の積み上げ・搬送、作業台やパーティション等の移設等に伴う環境変動によるマルチパス等の電波伝搬環境の変化が発生する可能性があるとして想定される。加えて、ヒトの動作やモノの移動に伴う短期的なフェージング等の変化もあると想定されるため、次節では、例えば朝・昼・夕等の異なる時間帯において、それぞれ 1 時間程度の連続測定を実施することにより、無線通信特性への影響を確認する。

6.5 その他ローカル5Gに関する技術実証

6.5.1. 評価・検証項目

工場内では、ヒトの動作やモノの移動に伴う短期的なフェージング等の変化に加えて、作業員や台車等の配置変え、部材や完成品等の積み上げ・搬送、作業台やパーティション等の移設等に伴う環境変動によるマルチパス等の電波伝搬環境の変化が発生する可能性があると考えられる。そのため、工場の1日の作業サイクル（製造スケジュール等）を考慮し、例えば朝・昼・夕等の異なる時間帯において、それぞれ1時間程度の連続測定を実施することにより、無線通信特性への影響を確認する。測定項目として、アップリンクTCPスループットの変化を測定し、併せてRSSI(Received Signal Strength Indicator)やBLER(BLock Error Rate)の変化を測定する。

各工場の特徴として、OKIの本庄工場では、作業員は1日を通して同一の生産設備の場所にて作業を行う（休憩時等は作業場所を離れる）が、太陽誘電(株)の玉村工場では、作業員はイベントが発生した生産設備の場所へ出向いて作業を行う（イベントが発生しない限り、その生産設備の場所へは行かない）、という特徴がある。また、本庄工場では製造品は通信機器等の電気機器であるため、時間の経過につれて、完成品の積み上げや出荷に向けた搬送等の環境変動が発生するが、玉村工場では製造品がコンデンサ等の電子部品であるため、時間の経過によらず、環境変動は少ないという特徴がある。そのため、本庄工場では、朝・昼・夕の3回の長時間測定を実施し、玉村工場では、午前と午後の2回の長時間測定を実施することにする。

図 6.5.1-1 に測定系を示す。



図 6.5.1-1 測定系

6.5.2. 評価・検証方法

基地局の位置は、本庄工場では中央に高さ 3m で、玉村工場では壁際に高さ 2.5m で設置する。端末の位置は、本庄工場では測定位置⑦に高さ 1m で、玉村工場では測定位置⑩に高さ 1m で配置する。いずれもエリア内において一番大きな通路、従って、ヒトやモノの移動、部材や完成品等の積み上げ・搬送等が最も見込まれる場所を測定位置として選定した。どちらの測定位置も見通し環境であり、ヒトやモノの移動に伴う遮蔽や反射等が無線通信特性に大きな影響を与えることが想定される。

本庄工場では、移動局の後方に基地局方向を向くようにビデオカメラを設置して定点撮影することにより、測定後に無線通信特性の変化がどのような状況によって引き起こされたのかを検証できるようにする。具体的には、測定結果とビデオ映像とを照合することにより、環境変動による無線通信特性の変化を検証する。玉村工場では、ビデオ撮影やスケッチ等が許容されないため、測定者が目視により環境変動を手動で記録用紙へ記録する。本庄工場と同様に、測定後に測定結果と記録用紙とを照合することにより、環境変動による無線通信特性の変化を検証する。アップリンク TCP スループット、RSSI、BLER は、約 1 秒毎に、その約 1 秒間の間に受信したパケットに関する平均値を測定することとする。

測定時間は、それぞれの時間帯における 50 分間を対象とする。まず、時間帯毎の 50 分間の中での環境変動による無線通信特性の変化を検証する。次に、時間帯間における環境変動による無線通信特性の変化を検証する。検証結果より、回線設計において、ヒトの動作やモノの移動に伴う短期的なフェージング等による設計マージンに加えて、作業員や台車等の配置変え、部材や完成品等の積み上げ・搬送、作業台やパーティション等の移設等に伴う環境変動によるマルチパス等の電波伝搬環境の変化による設計マージンの導出を目指す。

図 6.5.2-1 に本庄工場での測定位置、図 6.5.2-2 に玉村工場での測定位置を示す。

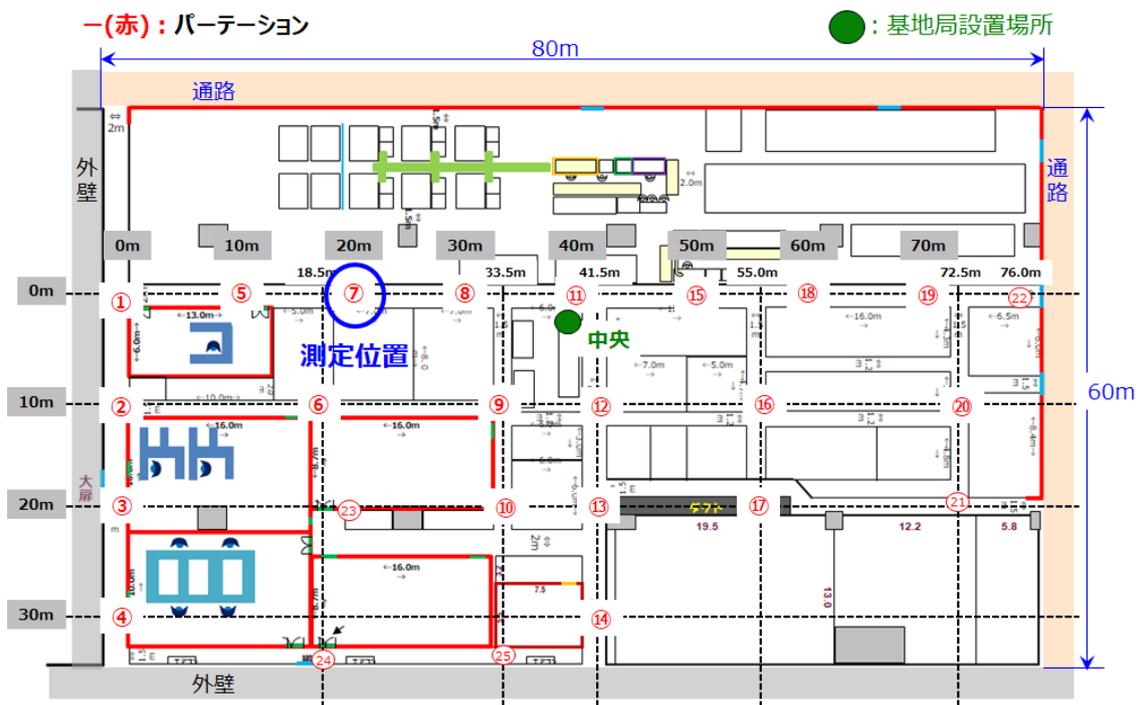


図 6.5.2-1 本庄工場での測定位置

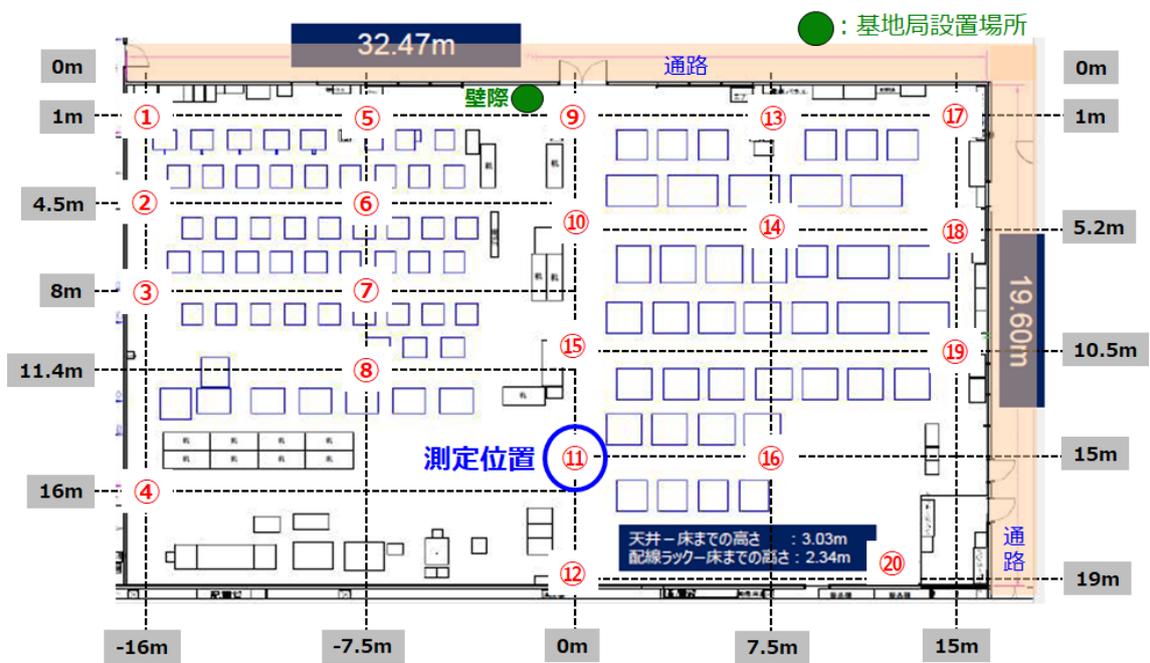


図 6.5.2-2 玉村工場での測定位置

6.5.3. 検証結果

図 6.5.3-1 に本庄工場での朝の時間帯、図 6.5.3-2 に本庄工場での昼の時間帯、図 6.5.3-3 に本庄工場での夕の時間帯、図 6.5.3-4 に玉村工場での午前の時間帯、図 6.5.3-5 に玉村工場での午後の時間帯におけるそれぞれの測定結果を示す。

いずれの図に関しても、上からアップリンク TCP スループット、RSSI、BLER の測定結果の順に示しており、またいずれの図に関しても横軸(x 軸)は時間である。

なお本検証に用いたローカル 5G 装置のアップリンク TCP スループットの上限值は、約 110Mbps である。

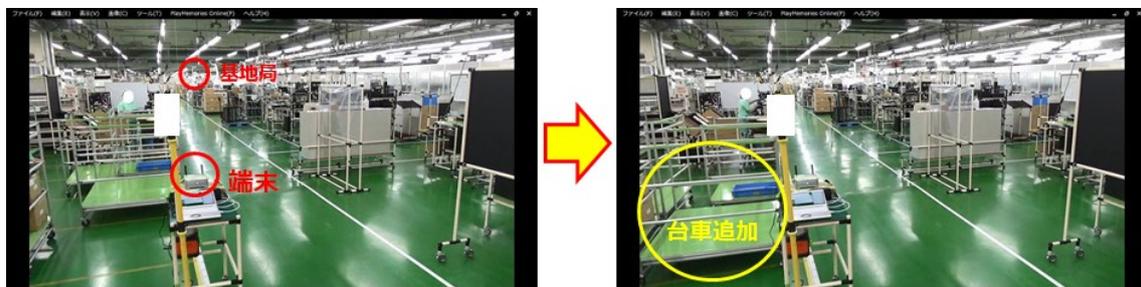
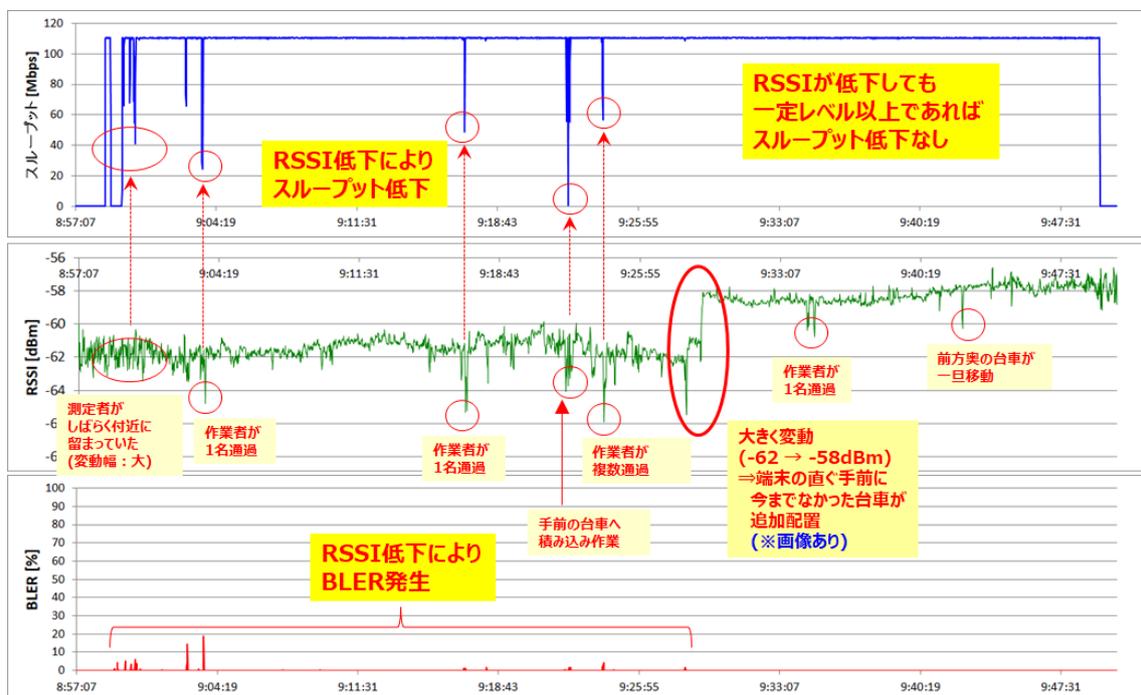


図 6.5.3-1 本庄工場での朝の時間帯の測定結果

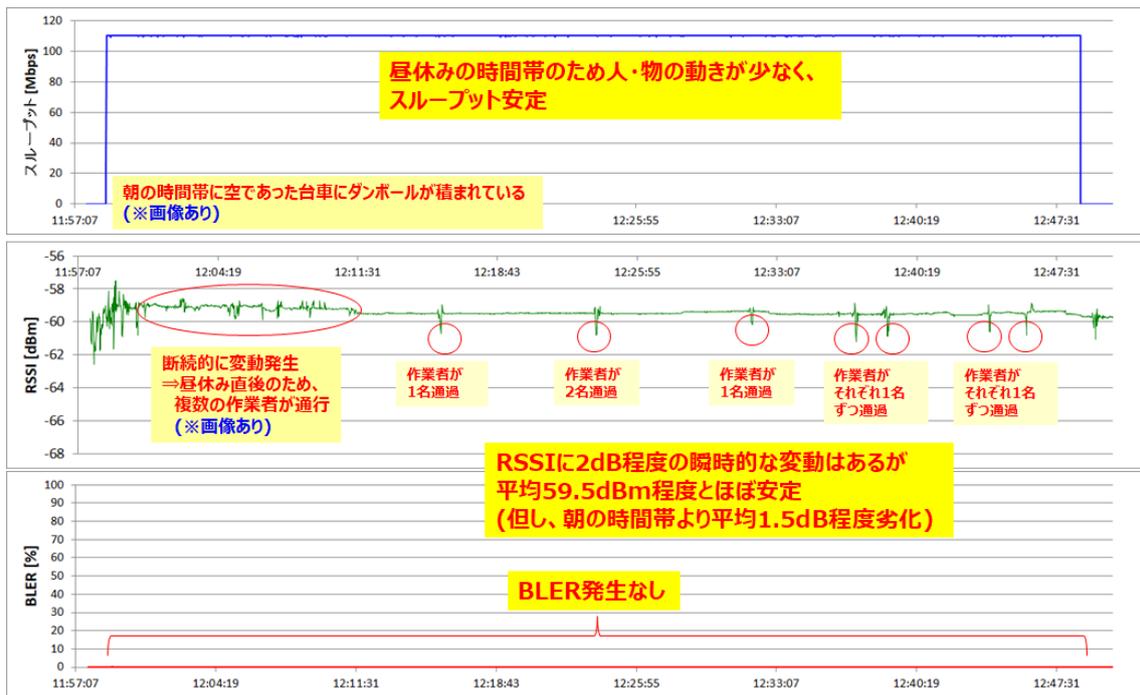


図 6.5.3-2 本庄工場での昼の時間帯の測定結果

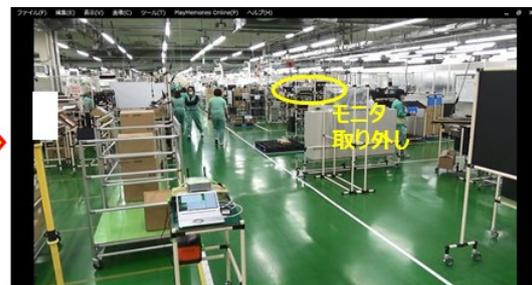
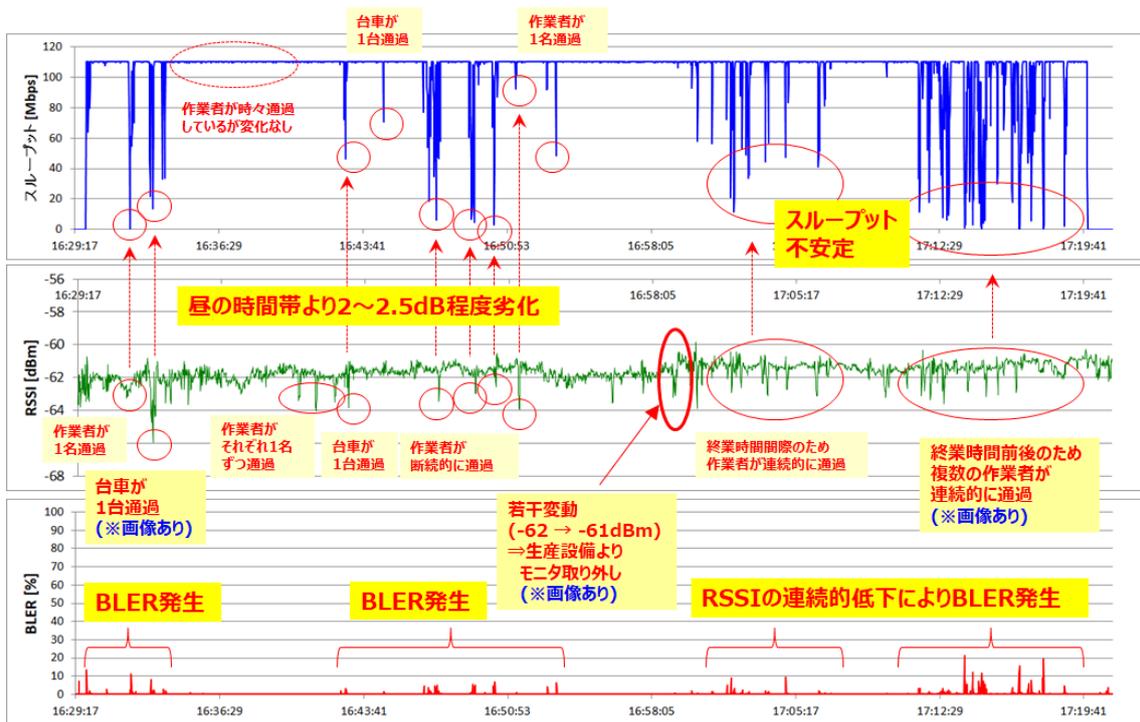


図 6.5.3-3 本庄工場での夕の時間帯の測定結果

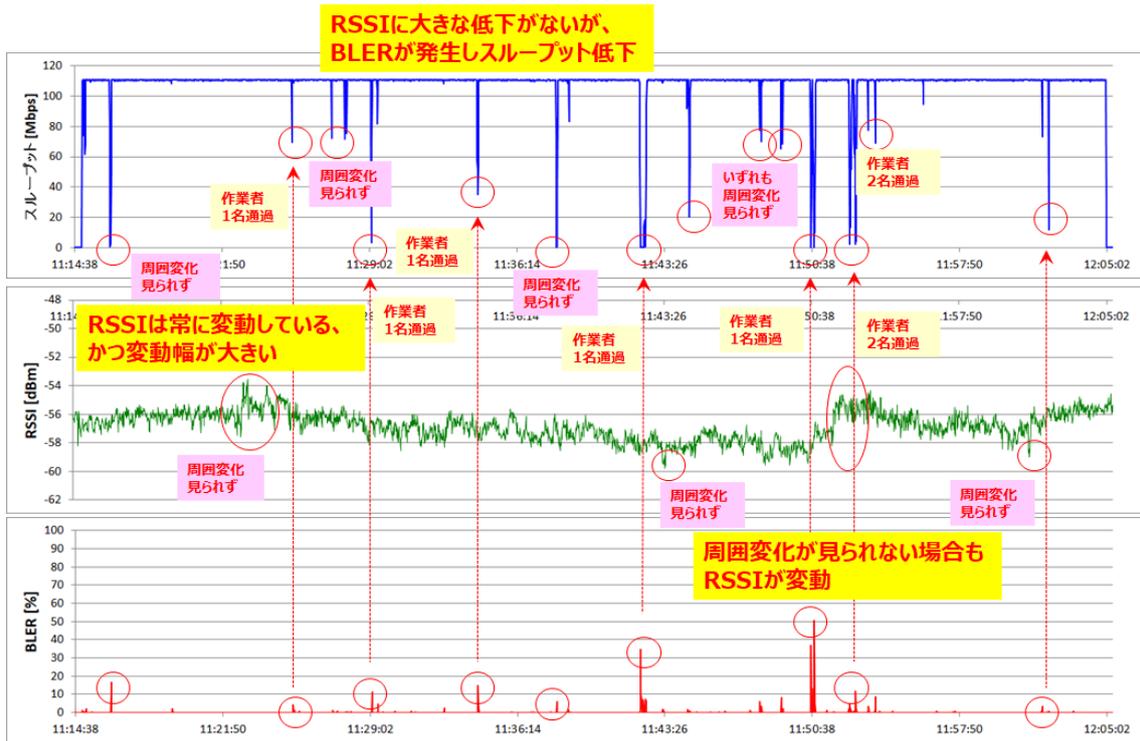


図 6.5.3-4 玉村工場 午前の時間帯での測定結果

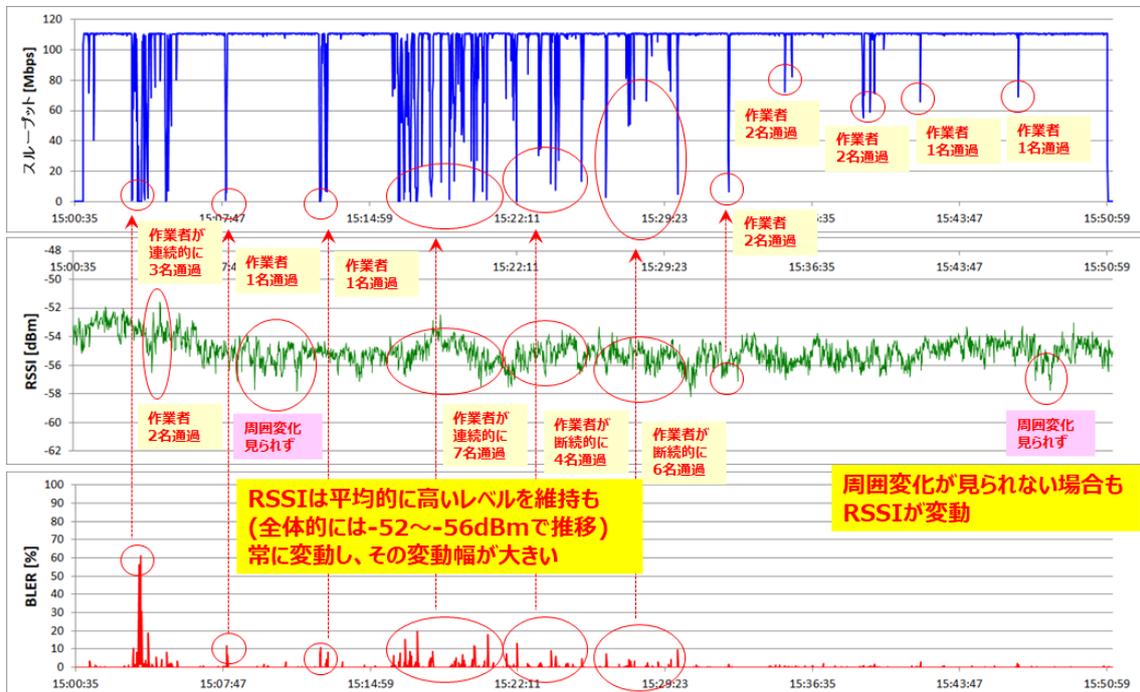


図 6.5.3-5 玉村工場 午後の時間帯での測定結果

6.5.4. 技術的課題の解決方策

本庄工場では、朝・昼・夕の時間帯毎による無線通信特性の差異を確認した。

朝の時間帯では、作業者の通行により一時的に見通し外環境となり、RSSIが2~4dBm程度低下してBLERが発生することによりTCPスループットが低下するケースが多いが、その頻度は少ない。作業者は同一の作業場所において製造品の組立作業を実施しているため、作業者の移動頻度は少ないと想定される。一方、製造品を組み立てるための部材の搬入や台車の移動により、電波伝搬環境が変化している。9時27分前後において、台車が端末の左側すぐ前に配置されたことにより、RSSIが4dBm程度上昇している。台車による反射波が直接波を強める場所へ配置されたことと想定される。台車の配置以降は、RSSIが高いレベルで維持されているため、作業者が通行したり別の台車が一旦移動したりして2dBm程度のRSSIの低下が発生しても、TCPスループットが低下することはない。

昼の時間帯では、昼休みにおけるヒトの動作やモノの移動が少ないことから、RSSIの変動幅は小さく、またBLERの発生もないため、TCPスループットは高速を維持している。電波伝搬環境としては、非常に安定している状態と言える。作業者の通行により1~2dBm程度のRSSIの低下は発生するが、元々高いレベルで維持されているため、TCPスループットへの影響はない。なお、昼の時間帯の測定開始時に、朝の時間帯では空であった左側すぐ前の台車へダンボールが積載されている。朝の時間帯に比較して、RSSIが平均1.5dBm程度低下している要因の1つとして、ダンボールの積載により台車の反射波が弱まったことが想定される。

夕の時間帯では、作業人や搬送用の台車の通過が多数、かつ断続的・連続的に発生することにより、断続的・連続的にRSSIが低下し、BLERが発生している。その影響により、TCPスループットも多数の低下が発生している。製造品の組立作業が終わり、出荷に向けた製造品の搬送の頻度が多くなったためと想定される。また本庄工場の終業時間である17時15分前後では、作業者が一斉に片付け作業に向けて移動するため、RSSIおよびBLERの変動が多数発生している。その生産ラインの片付け作業の一環と思われるモニタの取り外しにより、16時59分前後において、RSSIが1dB程度上昇している。今まで遮蔽されていた反射波のパスが見えるようになったためと考えられる。昼の時間帯に比較して、RSSIが平均2~2.5dBm程度低下し、朝の時間帯の測定開始時と同等のRSSIに戻っている。

以上の測定結果より、本庄工場での今回の測定環境においては、ヒトの動作やモノの移動に伴う短期的なフェージング等に起因するRSSIの変動幅が2~4dBm程度あり、作業人や台車等の配置変え、部材や完成品等の積み上げ・搬送等に伴う環境変動によるマルチパス等に起因するRSSIの変化が4dBm程度あることがわかった。置局設計における回線設計時の設計マージンとして、合計8dB程度のマージンを見込む必要があると考える。

玉村工場では、午前の時間帯に比較して、午後の時間帯のほうがTCPスループットの低下が多数発生しているが、これは場の1日の作業サイクル（製造スケジュール等）によるものではなく、作業のイベントが偶然に多発したためと想定される。

玉村工場では、どの時間帯であってもRSSIが常に1~2dB程度の変動幅をもって推移している（安定したRSSIが得られない）。玉村工場の生産設備の構造上の特徴として、本庄工場に比較して金属の平面部分が多く、多数のマルチパスが発生していると想定されるが、それらの生産設備が常に動作（振動）していることがRSSIの変動幅の要因の1つと考えられる。玉村工場では、部材や完成品等の積み上げ・搬送、作業台やパーティション等の移設等に伴う環境変動が少ないにも関わらず、RSSIの平均が2dBm程度変化する要因に関し

ても、そのマルチパスの状況が変化するためと想定される。作業者が生産設備へ出向いて作業（滞在）する間、また作業者による生産設備に付属の扉が開け閉めされる間、マルチパスの状況が変化することが考えられる。

以上の測定結果より、玉村工場での今回の測定環境においては、ヒトの動作やモノの移動、生産設備の振動（想定）に伴う短期的なフェージング等に起因する RSSI の変動幅が 1～2dBm 程度あり、作業者の生産設備へ出向いての作業等によるマルチパス等に起因する RSSI の変化が 2dBm 程度あることがわかった。置局設計における回線設計時の設計マージンとして、合計 4dB 程度のマージンを見込む必要があると考える。なお玉村工場においては、測定者の目視では周囲に変化は見られないが、TCP スループットの低下（RSSI の低下、BLER の発生）が発生しているケースがあり、別途その要因を検証する必要があると考える。

本実証では、ヒトやモノの移動、部材や完成品等の積み上げ・搬送等が最も見込まれる場所として、いずれもエリア内において一番大きな通路、従って見通しの場所を測定位置に選定して検証したが、見通し外の場所においても同様の検証が必要と考える。また、実際の導入（実運用）にあたっては、端末の設置が想定されるすべての場所において、ある時間帯に 1 度きりの測定を実施するのではなく、工場の 1 日の作業サイクル（製造スケジュール等）を考慮した測定、検証が必要になると想定される。但し、その測定、検証には相応の時間を要するため、導入までに時間が掛かるという課題が発生する。今回は、OKI の本庄工場と太陽誘電(株)の玉村工場をローカル 5G の導入事例として検証したが、このような導入事例を増やしていくことにより、ローカル 5G の導入を容易にすることが可能になると考える。

一方で、測定ツールや解析ツールの充実、測定方法のルール化・簡素化も必要と考える。本実証では、RSSI の変動が数 dB 程度であるにも関わらず、TCP スループットが一気に 0Mbps 程度まで低下している。その要因として、RSSI の低下に伴い BLER も劣化していることから、本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器固有の性能（仕様）に依存している可能性があると考えられる。具体的には、本ローカル 5G 機器の仕様である 1 次変調：64QAM 固定、誤り訂正：HARQ 未実装の影響が大きいと考えられる。一例として、適応変調が実装されている場合は、RSSI の低下により 1 次変調が 64QAM→16QAM→QPSK 等、低レートの変調方式へ移行し、スループットは緩やかに低下するものと想定される。また、HARQ が実装されている場合は、(トラフィック量にも依存するが)再送制御処理により、BLER がある程度劣化したとしてもスループットは緩やかに低下するものと想定される。測定ツールや解析ツールが充実、また測定方法がルール化・簡素化され、それらを用いた導入事例が増えることにより、ローカル 5G の導入が推進されていくと考える。

6.6 まとめ

本実証では、工場内のダクトや配線レール等の内部構造、生産設備の種類や生産ラインの規模が異なる OKI の本庄工場と太陽誘電(株)の玉村工場の 2 つの工場において、ローカル 5G システムを用いた各種無線通信特性の測定を実施した。工場内では基地局を設置可能な場所が限定される可能性があるため、アンテナの指向性が強い mmW 帯 (28.2~29.1GHz) よりも Sub6 帯 (4.6~4.9GHz) のほうが使い勝手が良いと想定し、また周波数帯が低いほうが遮蔽物に対して電波の回り込みを期待できると考え、Sub6 帯のローカル 5G システムを選定した。そのローカル 5G 機器を用い、各工場における基地局や端末の位置や高さを変えて各種無線通信特性を測定し、その測定結果より工場内に適したローカル 5G エリアの構築やシステム構成について検証・評価した。

本実証での検証結果より、複雑な内部構造を持つ工場内であっても、ある一定の範囲内 (通信距離内) において見通しを確保できれば良好な無線通信特性を得られることを確認した。但し、工場内では多数の生産設備等の反射波によるマルチパスが発生し、ヒトの動作やモノの移動によるフェージングが発生するため、基地局、端末ともに固定であっても、移動体通信等にて適用されている受信ダイバーシティ等のマルチパスフェージング対策が必須となる。基地局は生産設備よりも高い位置に設置することが望ましいと考える。基地局の設置場所に関しては、本実証ではフロアの中央に設置した場合と壁際に設置した場合とで無線通信特性に関する明確な差異は確認できなかった。端末に関しても、可能であれば生産設備より高い位置に配置することが望ましいと考える。本実証での検証結果より、作業員や部材・製造品を積載した台車等の移動により一時的な遮蔽が発生し、無線通信特性が劣化することを確認できたが、端末を生産設備より (作業員や台車より) 高い位置に配置すれば、その影響は少なくなると想定される。高速なスループットを常時必要なアプリケーションの場合は、端末の配置を生産設備より高くしたほうが良いが、見通しを確保できれば端末の高さを低くしても平均的にある程度スループットを確保できる見込みのため、利用するアプリケーションの特性に応じて配置することも可能であると考えられる。

一方、見通し外であっても高い受信電力を確保できれば、相応の無線通信特性を得られることを確認した。工場内には多数の生産設備 (金属性) があり、その反射波によって高い受信電力を確保可能な場所があると考えられる。事前に受信電力の測定を実施する等、工場内フロアのエリアマップを確認することにより、端末を配置する高さを検討することが可能であると考えられる。一例として、エリアテスト等の測定器を用いて工場内フロアの受信電力 (RSSI 等) を測定し、フロアヒートマップを作成・確認することが考えられる。但し見通し外となるような場所は、作業員や台車等の配置変え、部材や完成品等の積み上げ・搬送、作業台やパーティション等の移設等に伴う環境変動によるマルチパス等の電波伝搬環境の変化の影響を受け易い可能性がある。本実証では、本庄工場と玉村工場を事例として、置局設計に伴う回線設計時の設計マージンを導出したが、ローカル 5G システムを導入する各工場の特徴に合わせた設計マージンの導出、それによる置局設計が重要である。それには今後も継続して事例を検証していく必要があると考える。

エリアテスト等の測定器を用いた工場内フロアの受信電力の測定に関しては、基地局が

工場内へ設置済み、従って無線局の免許を取得済みであることが前提となるが、受信電力の測定はその工場内に適した基地局の設置場所を調整することも目的としているため、順序が異なることになる。基地局を設置する前に、測定器等を用いた事前測定のための一時的な電波発射を許可する、または無線局免許を取得後であっても、基地局の設置場所の変更には簡易的な手続きを適用する等の条件緩和がなされると望ましいと考える。

また、本実証にて用いたローカル 5G 機器は非同期での実験試験局の免許を取得し、UL・DL 比率を $UL : DL = 12 : 3$ というように UL 重視のフレーム構成にて実証を実施した。工場内におけるユースケースとして UL 偏重の利用形態が多いと想定されるが、今後、同期もしくは準同期での運用が基本になると、ローカル 5G 導入の対象となる分野や利用形態が限定されてしまう可能性がある。非同期での運用、または更に UL 偏重が許容されるようなフレーム構成の適用（準同期の多様化）等の検討がなされると望ましいと考える。

なお本実証では、ローカル 5G の基礎特性を確認するために、基地局 1 台、端末 1 台というシステム構成にて無線通信特性を測定した。今後は実際の運用を想定し、複数台の端末を接続しての無線通信特性、また複数の基地局を設置し、複数の端末を配置したシステム構成でのハンドオーバーの動作や干渉特性等を検証・評価する必要があると考える。

7. 実装及び横展開に関する検討

地域の中小工場等への実装、横展開の検討に当たっては、本事業においての特徴である「自治体参画型」として、地方自治体が横展開の主体として参画することが前提条件となるスタイルを想定し、検討を行った。

7.1 前提条件

本検討は、以下の前提条件を設定・仮定し、又は仮説を立てて実施した。

7.1.1 実証事業の考え方

事業終了後も継続的に利用することを前提として、実証事業の検討を実施した。

7.1.2 本事業における特徴

下の図は、事業モデルの全体構想である。目標としては、中小工場にローカル5G等の活用により普及モデルを含むデジタルソリューションを実装することにより、スマートファクトリー化することである。中小工場への実装に向けては、製造ラインの設計・製作を生業とするSIer(システムインテグレータ)やローカル5G支援サービス事業者が連携して実施していくことを想定している。この連携により中小工場へ導入を進めるというループが自走することを狙い、その始動時のスターターモータ役としてコンソーシアムを位置付ける。このコンソーシアムには、その地域の自治体が参画していることを特徴として検討を実施した。

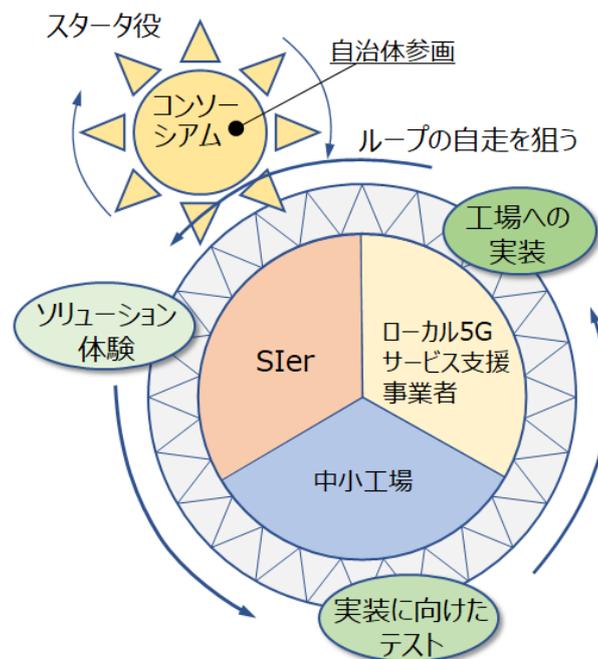


図 7.1.2-1 事業モデルの構想図

7.1.3 実装及び横展開の実施体制

前出の事業モデルの構想図において、コンソーシアムのメンバーは以下の体制となっており、それぞれ以下の役割を想定している。

(1) 参画する自治体にはその地域の産業振興に関わる組織が参画している。

ここでは、産業振興に関わる組織の中の技術部隊である公設試験場が参画しており、5Gに適用可能な各種課題解決の為のソリューションのデモや、各種技術研修により、地元の中小工場やSIerに技術展開や両者の結び付け役などを行う。

(2) ローカル 5G 支援サービス事業者が参画している。

ローカル 5G システムに関する技術提供、5G 技術や免許制度に関する情報提供および免許申請代行サービスの提供や、実際のローカル 5G 環境の提供役などを行う。

(3) 地域課題を解決するソリューションを提供することができる企業が参画している。

SIer や中小工場に普及モデルの提供や費用対効果に関する情報提供役などを行う。

このコンソーシアムメンバーの中の自治体が中心となり、実装及び横展開の為のループを始動させるためのスターターモータの役割を果たす。実装及び横展開では、下図のようにSIerに伝道師役を担ってもらふ。理由としては、SIerは中小工場から製造ラインの新設、増設、改修などの依頼を受け、その内容に応じてソリューションを紹介し実装する業務を通常行っているため、中小工場との接点が多く、また、SIerの数自体もローカル 5G 支援サービス事業者と比較して数が多いからである。横展開では、通常業務の中において、中小工場からのニーズへの対応策の一つにローカル 5G を用いたソリューションを加えてもらい、ローカル 5G やそれに関連するソリューションの適用が最適であると判断された場合には、中小工場にローカル 5G を含めてソリューションを紹介し、中小工場からの受注を受けて工場に実装していく。

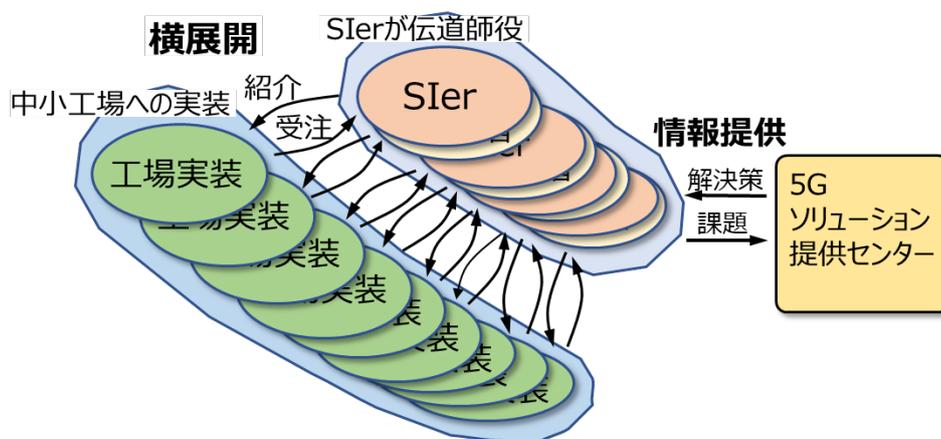


図 7.1.3-1 実装及び横展開の実施体制

ただし、SIer は 5G 技術や電波測定、免許取得などへの対応が困難である場合が多いので、そのサポート役として、コンソーシアム内を含むローカル 5G 支援サービス事業者が入り、連携体制を取る。そして、中小工場への実装に向けたテストなどを実施し、実装していくという横展開のループを回していく。

実装の結果、中小工場での費用対効果が高い場合には、中小工場からの受注が増え、それにより、5G 関連ソリューション提供に新規参入する SIer もさらに増える。そして中小工場への導入が一機に加速するという、好循環のループが自走し始めることも期待出来る。

7.1.4 その他の制約条件

SIer が中小工場への実装を進めていく上で、個々の組込み条件などに応じて様々な課題が出て来ることが予想される。その場合、その課題がボトルネックとなり横展開が進まないことも考えられる。このボトルネックとなり得る課題の解決を容易にする手段として、5G ソリューション提供センターの役割が期待される。SIer は 5G ソリューション提供センターに、生じた課題に対する解決策を問い合わせ、5G ソリューション提供センターはその課題の解決策を何らかの手段で導き出し SIer に提供していくことが必要である。

また、課題が費用的な面に及ぶ場合には、共同利用型のソリューション自体の提供も 5G ソリューション提供センターが担う必要もあると考えられる。

7.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

次に、持続可能な事業モデル等の構築・計画策定に関する考察を以下の通り記載する。

なお、ここでいう事業モデルとは、地方自治体を中心となり、地域の中小製造業等を顧客・ターゲットとして、5G あるいはローカル 5G 技術の普及等を事業内容として含めることを前提に、生産性向上等に資するデジタルソリューションの導入支援等を実施するためのハード事業、ソフト事業のことを想定している。

また、事業モデル内で実施する事業は、地域の中小製造業等に対して、ローカル 5G 自体や、それに適用可能な技術に関する共同開発を通じて、中小製造業等においてローカル 5G 等を活用したシステムが導入された事例を蓄積し、その構築や活用に関するノウハウ自体やそれをベースに横展開を行う事業であり、利用の拡大によって地域課題解決を目指すものを想定している。

更に、事業推進体制を検討するに当たっては、まず、地域の中小製造業等に対して、生産システムに係る技術支援等が可能な公設試験研究機関がハブとなることを想定した。一方、5G あるいはローカル 5G 技術の普及等に当たっては、無線通信や電波伝搬特性、免許取得等、高度な専門的知識が必要である上、デジタル技術を活用した生産性向上等に精通した事業者、有識者等とのパートナーシップが欠かせない。加えて、地方自治体単独での普及啓発では効果も限られることから、地域の中小製造業等の生産現場に精通した生産システム設計・製造事業者等、面的な導入支援を可能とするためのパートナーシップも必要である。今回検討した事業モデルは、この 3 者による事業推進体制の構築を前提に、それぞれが果たすべき機能や役割等について整理している。

本事業モデル等の構築・計画策定においては、新型コロナ禍等による自治体の財政状況

や方針転換、参画企業の経営状況の変化、会社方針の変化、想定されない社会経済情勢の変化等も考えられるため、計画の完全実現、及び 5 年間の継続利用がなされることを保証することはできないものの、継続利用することを基本として検討を行った。

7.2.1 実装計画（実証の継続、実用に向けた工程とスケジュール等）

今回の事業モデルの実装における費用計画と実装計画について以下に記載する。

7.2.1.1 費用計画

コンソーシアム中の実施主体の核をなす群馬県(群馬産業技術センター)と OKI(沖電気工業(株))について以下に記載する。なお、前述のように群馬産業技術センターはテストベッドとして課題実証システムやローカル 5G に適用可能な各種デジタルソリューションを揃え、そのデモ等による横展開活動を設置済みのパブリック 5G を活用しながら行う、OKI はローカル 5G システムを自社設備として設置し、横展開活動に活用していくという特徴がある。

(1) 群馬県(群馬産業技術センター)

群馬産業技術センターをテストベッドとして使用するための R3 年度の各種デジタルソリューションの導入、および、ソフト事業、それ以降の 5 年間に渡るソフト事業や維持管理費に対しては、地方創生推進交付金を活用することとし、群馬県の「ものづくり産業 DX 推進事業」の中の一施策として織り込み、申請を行った。この時、初年度では企業版ふるさと納税の活用を検討しており、企業に対して事業の目的・施策・効果等を説明し、支援のお願いを実施している。また、次年度の R4 年度以降についてはテストベッド機能の運用が本格的実施時期となるため、企業が自社の製造現場への各種ソリューションの導入検討を行う際の伴走支援策としての共同研究を実施し、その共同研究費を地方創生推進交付金とともに活用すること、また、ソリューションを具体的に導入検討用として使用する場合は機器開放や依頼試験といった技術支援からの使用料・手数料収入を得る計画である。

(2) OKI(沖電気工業(株))

ソリューション体験（デモ・試験場所提供）のフェーズにおいては、自社設備としてのローカル 5G システムを活用するため、販売促進としての位置付けとなるが、地域企業等において具体的な導入検討となった場合は、ローカル 5G 支援サービスおよびシステム提供等の事業化を見据えた活動として取り組むものとする。

7.2.1.2 展開計画

以下に示した図は、実証事業終了後 5 年間に渡る展開計画である。「1.総務省実証事業対応」は、R2 年度の本実証事業の本体に関わるものであり、それ以外に記載しているものは、実証事業の今後のローカル 5G 等を横展開していくための具体策として計画しているものである。

(1) 総務省実証事業の延長と拡張による計画

この部分は前出の事業モデルとして示した部分であるが、群馬産業技術センターには、移動通信事業者が全国に先駆けて別途整備したパブリック 5G（4.5GHz 帯，28GHz 帯 各 1）の電波環境がある。これを用いて、高速通信下で活用が可能となるデジタルソリューション（遠隔監視・操作、デジタルツイン等）を実際に試用し、導入検討を行い、また、ローカル 5G システムでの検証が必要となる場合は OKI に常設されているシステムを使用するものである。

事業推進体制としては、総務省プロジェクト活用のために本県と県内立地大手企業群により設立した「群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアム」等を母体として、ローカル 5G 等の導入に前向きなプレイヤーを巻き込み持続的に発展させた「群馬県ものづくり産業 DX コンソーシアム」（仮称）の設立検討を進め、R4 年度からの設立を目指す。その枠組みを中心として、ローカル 5G 等や利用可能なソリューションの製造現場導入に向けての伴走的な共同開発や技術支援を実施していく。また、ここでは県内の中小 SIer を横展開の実働者として巻き込んだ活動を実施するという独自の事業モデルを実施していく。この部分は、下図中の 1.～4.(1)に相当する。

(2) その他のソフト事業による推進計画

ここで行うソフト事業は大きく二つである。一つは、ローカル 5G 等や適用可能な各種ソリューションの供給者とユーザーである県内製造業や SIer の間を次期コンソーシアム内の枠組みでの取組として技術マッチングを行う。オープンイノベーションとしてニーズとシーズのマッチングにより、製造業の現場への実装を狙う取組である。もう一つは、横展開に巻き込む SIer に関わる人材育成である。ローカル 5G の展開には、これまで SIer が経験していない、電波やネットワークに関する技術や法制度が絡んでくる。ローカル 5G 支援サービス事業者がその部分に対応することになるが、製造現場の課題に対しての対応策の検討や現場への設置を考えると SIer もある程度の基礎知識を有することが必要である。そこで、SIer に対する人材育成事業も計画している。これらの部分は、下図中の 4.(2)～6.に相当する。

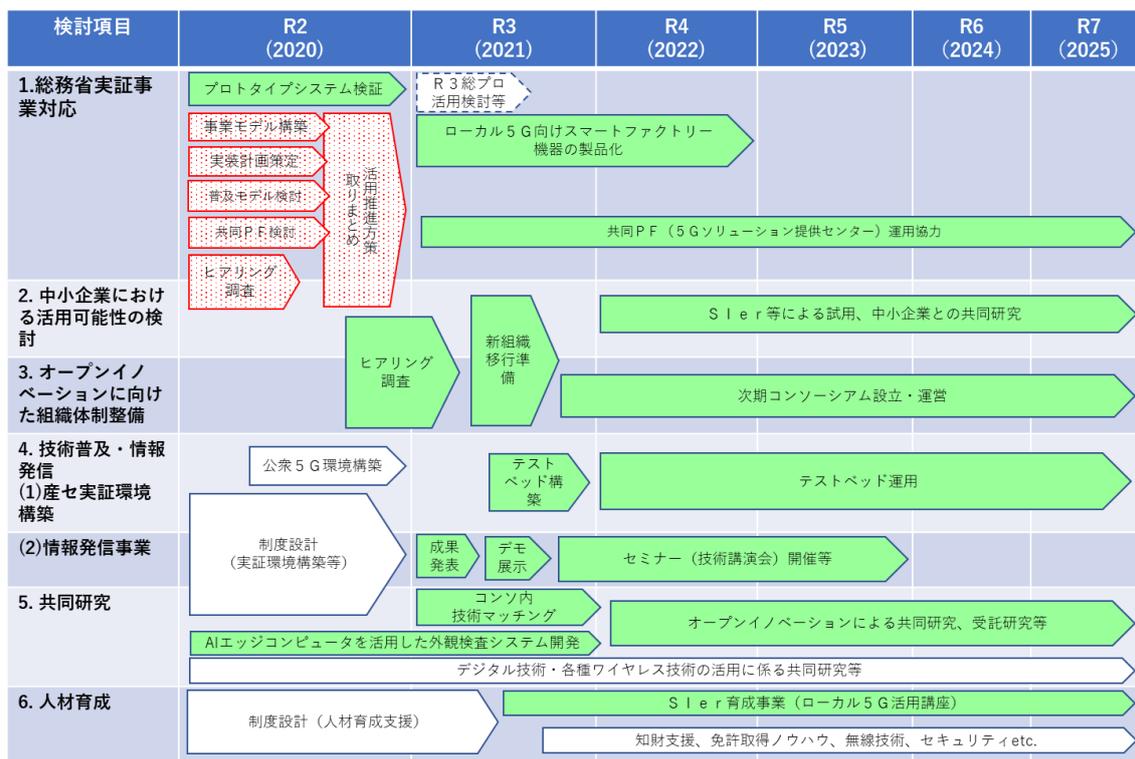


図 7.2.1.2-1 展開計画

7.2.2 実証終了後の継続利用

実証終了後の継続利用の検討にあたっては、地域課題の解決や継続利用されるための要件を考慮して実施した。

7.2.2.1 対象とする地域課題

地域経済分析システム(RESAS)によれば、実証地域である群馬県は大手完成車メーカーを中心とした自動車関連産業をはじめとする製造業が主要な産業であり、同産業では人手不足が深刻化している。また、本県製造業の労働生産性は全国平均を大きく下回っており、比較的自動化が進んでいると思われる自動車関連産業でさえも全国29位と非常に低い水準となっている。こういった状況の中、製造している部品等の要求精度や顧客要求品質の向上により、目視検査はあらゆる業種、生產品目でも行われるようになり、組立ておよび検査における人材不足はより一層深刻な状態となっている。このような中、群馬県では、平成28年度からAI技術の製造現場への導入の取組みを実施してきている。その中で、企業の製造現場では、人材不足などにより、外観目視検査が大きな課題であることは、経験則として認識していたが、その課題感を面的、定量的に測る実態調査等は、これまで実施していなかった。こうした中、本事業で実施した、県内各種業種の企業に対して行ったアンケート結果から(「デジタル技術・無線通信を活用した技能・生産性向上に関する調査」。調査結果の詳細は、前述「2.4 地域課題等」の通り。)、以下の通り人材・労働力不足の問題との関係において、外観検査が大きな課題であり、かつ、大変な関心があるものの導入が

進んでいないことが明確となった。また、組立作業の目視検査も非常に関心があることが明らかとなった。このようなことから、ローカル 5G 等を活用したソリューションを如何に費用面・制度面ともに導入しやすくし、かつ、その効果検討がし易いモデルにしていくかも課題である。

(1) 人材・労働力不足の課題

対象地域である群馬県では、当初の想定と同様に約 9 割弱の企業は、何らかの形で人材確保を課題視していることが前述のアンケート結果から明らかになっている。デジタル化は 2 割程度であり、多くは進んでいない。

(2) 技能継承の課題

技能を伝える側の従業員の指導力不足や、技能を伝えられる側の従業員の能力不足と、人のコミュニケーションとキャパシティに起因する部分で大きな課題となっていることが前述のアンケート結果から明らかになっている。

(3) デジタル技術の導入状況と意識

デジタル技術の導入状況や意識に関しては、アンケート結果から以下の状況であることが明らかになっている。

- 5G と親和性の高い取組に関しては、技能承継を進める入口となる取組として重要である、熟練技能の標準化やマニュアル化による「見える化」の導入が 4 割弱で行われており、また、導入検討は 2 割強と全体の 6 割強が対応を進めている状況であること。
- また、「関心あり」を含めると全体の全体の 8 割強で必要性が理解されており、デジタル技術導入によって更なる生産性や品質の向上等に繋げられる箇所を見定めていくことが重要であることは、理解されている状況であること。
- 先端機械やデジタル技術での代替や支援に関しては、「作業手順・指示のデジタル化」、「ロボット導入による生産工程の省力化・自動化」で全体の 2 割以上で既に導入が進んでいること。
- 一方、“最も関心があり、導入までは至っていない”技術のトップは、「AI 活用による外観検査工程の省力化・自動化」であり、導入済みは 3.8%であること。
- また、「組立作業の目視検査システム」の導入済みは 2 割弱であるが、「関心あり」は 4 割と高いこと。

7.2.2.2 継続利用されるための要件

実証終了後において、本事業で開発した課題解決システムが継続的に利用されるための要件について考える。

(1) 地域課題との関連性

課題解決システムが継続的に利用されるためには、事業モデルが取り扱う課題解決のためのソリューションが、その地域の地域課題の解決策に直結している必要があるのはもちろんであるが、それ以外にも“地域課題”を設定するに当たっては、以下の要素を備えて

いることが必要である。

- 大多数の企業が直面している大きな課題であること。
- その地域課題に対し、対策実績がある課題解決システムが存在すること。
- 課題解決システムの導入検討を行う企業側でも費用対効果を検証可能であること。
- 企業が課題解決策を導入するためには支援が必要となること。

事業モデルが、これらの要素を満足した課題に対応出来る課題解決システムであれば、その事業に対するニーズが継続し、かつ、長期に渡る支援が必要となるため、事業モデルの存在意義は確保されることになる。

従って、通常の事業モデルの策定においては、対象となる企業にアンケート調査を行い、その中から課題を選定することが本来望ましいものと考えられる。ただし、今回の事業においては、事業期間等の兼ね合いにより、AI 技術の製造現場への導入の取組みの経験を元に、上述の要素を備える課題をターゲットとして事前に仮定し、解決を行う事業モデルを設定し、後から、アンケート調査によりその仮定の良否について検証を実施する形となっている。

(2) その他の課題との関連性

アンケート結果を見ても分かるが、新聞・テレビ・インターネットなどのメディアでこれまで多く取り上げられてきた、又は、従来からある技術であるロボットや AI に関しては企業に認知されている。一方、XR (AR, VR, MR) 技術については企業では製造現場でどのように役に立つかイメージが湧かない状況である。後者の技術は、2D や 3D の映像データ転送と組み合わせられることで力を発揮する、“遠隔操作”の場面で活用される技術であり、大量のデータが遅延無しに送られる条件が必要となる。まさに、ローカル 5G などの 5G 技術があってこそ成り立つものである。こういった遠隔操作の技術は、コロナ禍で現場に行けない場合等に役立つが、平常時であっても遠隔の現場の確認・指示に活用できるため、距離が離れた現場や遠隔の工場や客先の設備メンテナンスなどの場合の出張工数が大幅に削減できることになる。

このような、現状では企業が課題であるとは認識していないことに対しても、費用対効果が優れる将来的ソリューションの横展開事業を事業モデルの中に入れておくことにより、その事業の幅が広がると共に、事業の継続性確保にも寄与すると考えられる。

7.2.2.3 事業モデルの構築時と運営時のコストについて

群馬県の歳入の順位は、図 7.2.2.3-1 に示す用に 47 都道府県の中では 23 位であり、ほぼ中間に位置している。また、歳入金額は大都市圏に集中している傾向があり、上位一桁の都道府県の平均と比較すると金額ではおよそ 1/3 付近の金額となっている。

今回の横展開事業は、群馬県立の群馬産業技術センターが核となって実施する計画である。群馬産業技術センターと同様な地方公設試験機関は、全国各県に設置されている。このため、本事業モデルでは上述の歳入を鑑みると、大方の地方公設試験機関が横展開事業を実施する場合の設置と運営のコストを成立させる際の参考モデルになると考えられる。

以下、群馬県の場合に成立させるための事業モデルについて検討を行った。

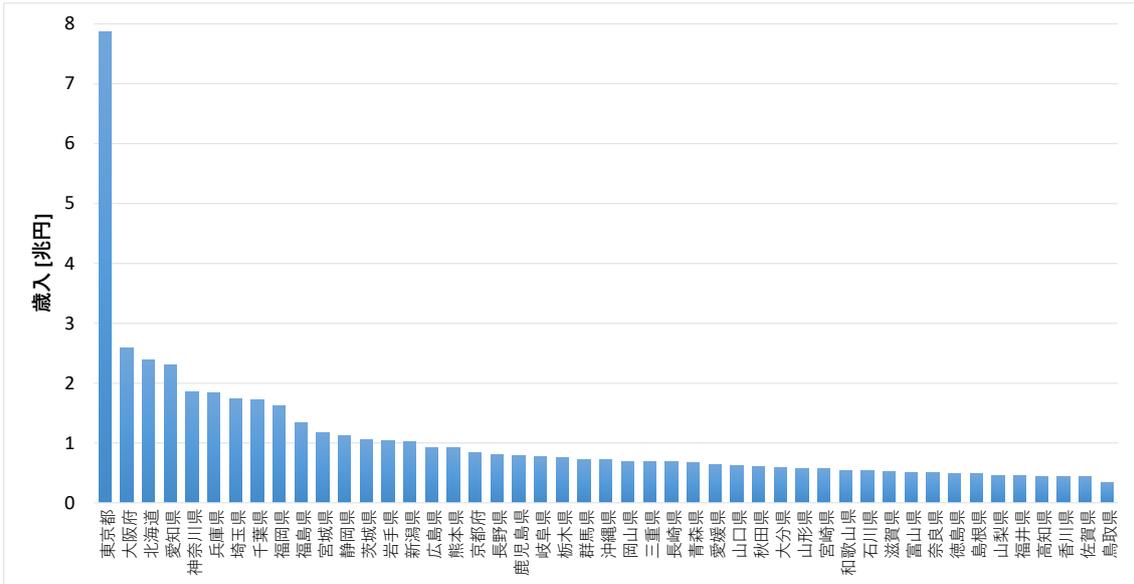


図 7.2.2.3-1 平成 30 年度地方財政 普通決算歳入

出所) 平成 30 年度地方財政統計年報、https://www.soumu.go.jp/main_content/000703317.xlsxより作成

(1) 考えられる事業モデル

事業モデルとしては、大きく以下の 3 パターンを想定し、比較検討した。3 パターンの間で異なる点は、ローカル 5G の設備の設置場所やその使い回し状況である。それは、後述するが、ローカル 5G の設置費用と維持費用が現状では非常に高額であり、ここがコスト成立性のカギとなるためである。なお、(1)及び(2)の検討の中では、ローカル 5G を「L5G」、群馬産業技術センターを「産技セ」と省略して表記する。

a) L5G を産技セに常時設置。OKI にも L5G 常設。

ここでは、産技セの L5G は R3 年度に横展開事業用として新規導入する場合を想定しており、OKI は本事業の実証実験に使用したものを常設しており、コンソーシアム内には L5G が 2 式存在する形のものである。

b) L5G は通常 OKI に設置。産技セはパブリック 5G で運用し、企業が L5G を試用する間は、OKI から産技セに L5G を移設。

ここでは、産技セの 5G は通常時にはパブリック 5G を活用し、各種ソリューションの活用を行い、企業が L5G システムを試したい場合には通常は OKI に設置してある L5G を特定期間移設し、企業の試用に供する形のものである。

c) L5G は常時 OKI に設置。産技セはパブリック 5G のみ運用。企業が L5G を試用する場合は、OKI にて L5G システムを試用。

ここでは、産技セの 5G はパブリック 5G のみを活用し、各種ソリューションの活用を行い、企業が L5G システムを試したい場合には企業が OKI に行き、OKI に設置してある L5G を試用する形のものである。ただし、年に 1 回程度、展示デモ用として産技セに L5G を移

設することはカウントしない。また、ソリューションに関しては事業パターン間で差異が無いことから、この比較からは除外している。

上述の各パターンでの L5G の設置形態を整理すると以下の表のようになる。

表 7.2.2.3-1 L5G の設置形態

事業パターン	a)	b)	c)
産技セ L5G 常設	✓		
産技セ L5G 移設		✓	
産技セパブリック 5G 設置		✓	✓
OKI L5G 設置	✓	✓	✓

(2) コスト検討

上述の各パターンでの常設、移設に関わる費用項目は以下のようになる。まず、常設の場合は、L5G の導入費用と維持費用、免許取得費用である。また、移設の場合には、移設費用と免許取得費用である。

検討に当たり、最低限の事業モデルとして、基地局は 1 局、端末は 2 台を想定し、今回のコンソーシアムで OKI が L5G システムを構築した経験上からの相場観を元に設定したものが以下の数字である。

保守委託費用は一般的に導入費用の 10～15%を年額とするとのことであるが、その範囲の下限値を採用した。コアにはサーバが使用されているが、サーバは一般的に寿命を考慮し、導入から 5 年目でハードウェアの更新を行う形となる。この時、Linux OS のサポートも長期保証される LTS 版であっても通常 5 年であるため、ハードウェアの更新時には新バージョンの OS に対応したソフトウェアへの更新も必要となってくる。このコア部分が L5G の価格の大半を占めるため、5 年毎のコア更新費用としては、L5G の導入費用の半分の額を設定した。

- L5G 導入費用: 約 1 億円
- L5G 保守委託費用: 1,000 万円/年 (導入費用の 10%/年)
- コア更新費用: 5,000 万円/5 年毎
- 免許取得委託費用: 200～300 万円
- 移設費用: 100～200 万円/回

また、パブリック 5G については、FA 機器間のグローバル IP でのピアツーピア通信が行えるサービスに契約する場合についての概略の数字は以下のようになる。

- 接続初期費用: 3 万円
- 接続月額費用: 3.5 万円
- 専用回線初期費用: 6 千円 (3 千円×2 回線)
- 専用回線月額費用: 2 万円 (30GB×2 回線)
- 5G 対応ルータ: 15 万円 (7.5 万円×2 台)

これらの数字を各事業に埋め込むと概算費用は下の表のようになる。

表 7.2.2.3-2 事業パターン間の概算費用比較

費用内容				事業パターン		
方式	項目	内訳	金額	a)	b)	c)
L5G	初期費	導入費用	1 億円	✓		
		免許取得	200～300 万円	✓	✓	
	維持費	保守委託	1,000 万円/年	✓		
		コア更新	5,000 万円/5 年	✓		
	移設費	移設	100～200 万円		✓	
パブリック 5G	初期費	接続	3 万円		✓	✓
		専用回線	6 千円		✓	✓
		5G ルータ	15 万円		✓	✓
	月額 (年額換算)	接続	42 万円/年		✓	✓
		専用回線	24 万円/年		✓	✓
概算費用			初期費用	約 1 億円	約 320 万円	約 20 万円
			年間費用	1,000 万円	866 万円 ^{*1}	66 万円 (566 万円) ^{*2}
			更新費用(5 年毎)	5,000 万円	—	—

※1: 年間の移設回数を 4 回と仮定。 ※2: ()内の金額は年 1 回のデモ用の移設を実施した場合の初年度。

この概算費用に対して県として対応可否を考える。

産技セの場合、まず、導入の初期費用が 1,000 万円を超えるハード事業においては、国等の政策的支援制度等を活用することが前提となり、県の自主財源のみで事業化することは財政上困難である。また、保守委託費用については、保守を毎年行いたい場合、当該機器の年間の使用料・手数料収入が年間保守費の一定規模以上確保できる見込みがあることが必須条件である。

これらを前提にすると、事業パターン a), b)は交付金等の補助事業の活用が確実に必要となる。その時に例えば、地方創生推進交付金を活用した場合、複数年の全体事業の中のハードウェアの金額に対して、50%の金額をソフト事業にすることも付加条件となる。

事業パターン a)では、ハードウェアは約 1 億円であるが、1 億円では電波が使用可能となるのみであり、5G 関連の各種ソリューションの導入も考えると初期費用は 1.5 億近くに、年間費用は 1,000 万円に近くなる。

これに対して交付金が活用できた場合、ハードウェアに対する県の支出は約 7,500 万円であるが、L5G などのように先行的事業であり、リスクも考えられるものに対しては予算確保が困難を極める。そこで、企業版ふるさと納税の活用も考えられるが、県外企業から 7,500 万円もの寄付を頂くことは大変高い目標となってしまふ。

さらに、5 年毎のコアの更新の 5,000 万円であるが、仮に 5 年後に L5G のコストが 1/3

に下がったとしても約 1,700 万円であり、同様に確保が困難な金額である。

事業パターン b), c) の場合には、L5G の設備を所有しないため、ハードウェア部分の費用がかなり少額となる。ただし、ソフト事業部分の費用は、一定程度の予算規模を要するため、いずれの事業に関しても、地方創生推進交付金などの活用は必要とはなるが、金額的には十分成立する範囲であると考えられる。

(3) 体制面からの検討

前述の事業パターン a), b), c) について体制面から考える。

a), b) では、群馬産業技術センターに横展開先の地域企業に来所頂き、ローカル 5G の試用や成立性実証試験を実施することになる。設備の保守に関しては、保守委託によりカバーされると思われるが、成立性実証試験においては、各企業の使用条件・用途に合わせた各種設定が必要になると考えられる。この時、群馬産業技術センター側にはローカル 5G に関する知見を持った職員がいない点が課題となる。

また、事業パターン b) の場合には、成立性実証試験の際には、OKI からその都度ローカル 5G 用機器を移設する必要がある。設備自体は、移設可能なものであるが、移設の準備作業、設置作業、調整作業を考えると一回の移設作業期間を 2 週間はみておく必要があり、仮に年 4 回実施したとすると移設作業だけで 2 ヶ月/年の時間を取られることになり非効率である。

事業パターン c) の場合は、ローカル 5G の試用や成立性実証試験を横展開先の地域企業がやりたい場合には、ローカル 5G システムを製作・設置した OKI にて実施するものであり、同社はローカル 5G 支援サービスを開始していることから、技術者に関する問題は全く無く、また、移設作業に取られる時間は無いため、3 つの事業パターンの中では体制面からは最も良い事業パターンであると考えられる。

(4) 成立する事業パターン

以上のコスト面、体制面の検討結果から、継続的に利用可能な事業パターンは、公設試験機関ではパブリック 5G を利用し、まずは地域企業に対して今回開発した課題解決システムやその他の XR 等の各種ソリューションの活用デモを実施し、自社内でのローカル 5G の導入の検討を希望する企業に対しては、その試用や成立性実証試験をコンソーシアム内でローカル 5G のシステム製作を行った企業にて実施するものであると判断する。

7.2.3 事業モデル

事業モデル内で実施する事業は、県内中小企業に対してローカル 5G 自体や、それに適用可能な技術に関する共同開発を通じて、中小企業においてローカル 5G 等を活用したシステムが導入された事例を蓄積し、その構築や活用に関するノウハウ自体やそれをベースに横展開を行う事業であり、利用の拡大によって地域課題解決を目指すものである。これは、下の図に示すように、本コンソーシアムの活動の中では赤丸で囲まれた部分の事業である。

地域の中小工場等への横展開の仕組みの構築

地域課題

中小工場等におけるデジタル技術を活用した業務効率化や生産性向上等

コンソーシアム

沖電気工業(株)、群馬県、群馬産業技術センター、太陽誘電(株)、(株)SUBARU

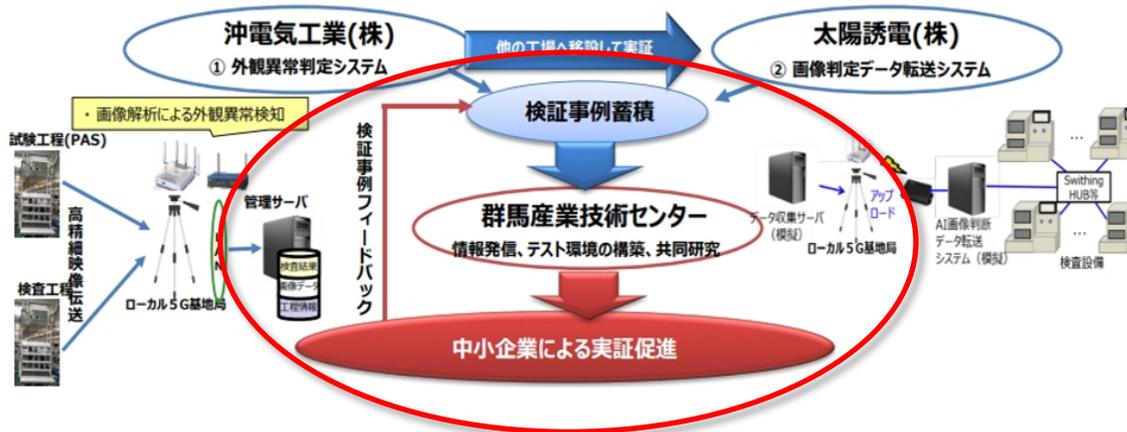


図 7.2.3-1 横展開事業

7.2.3.1 事業内容

上図の横展開事業と前述の成立する事業パターンを組み合わせる実施する場合の事業内容に関するフロー図を以下に示す。ここでは、工場の製造現場などに本事業の課題実証での開発システムを横展開していく場合を考えている。

まず、課題解決システムやその他のソリューションは、前述のように主に群馬産業技術センターのデモにて体験・試用して頂くが、その際の体験者である企業の要求内容に応じてデモ・試験場所は OKI にて実施する場合もある。

ここで、自社内への導入を検討したい企業に対しては、製造現場への設置に向けて、基本成立性テスト、組込成立性テストの行程に進んでいく。基本成立性テストとは、画像検査の場合にはその検査対象が画像検査できるものであるか、単品や画像によりテストを行うことを想定している。組込成立性テストは、現場の製造ラインの環境や製造タクトや配置などを考慮した場合でも成立するかを検証するためのテストを想定している。

この工程の中でコンソーシアムが実施主体となるのは、ソリューション体験の部分のみである。その後は、製造ラインを構築する SIer やローカル 5G の構築支援を行う事業を実施している、ローカル 5G 支援サービス事業者である。この場合のローカル 5G 支援サービス事業者については、設置希望のニーズや状況に応じてローカル 5G 支援サービス事業者を自由に選定できるものである。

実施場所については少なくとも数年間は 5G 環境がある場所が限られると想定されることから、テストにおける必要要件に応じて、OKI のローカル 5G と群馬産業技術センターのパブリック 5G を使い分ける。最終的な現場への設置時や組込成立性テストを現場環境で実施する必要がある場合については、設置現場に 5G 環境を構築した上でテストを実施する。

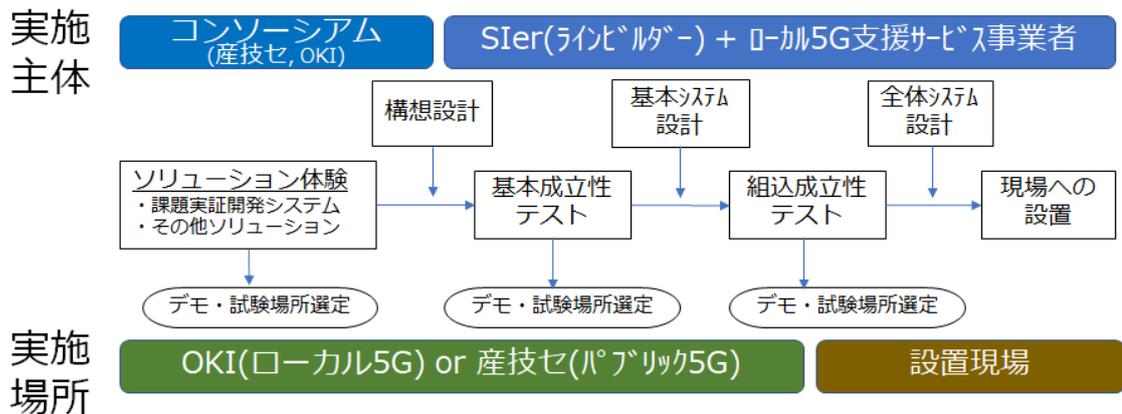


図 7.2.3.1-1 事業内容に関するフロー図

このような形にすべき事は以下の前提条件から導き出される。

(1) 前提条件

今回の横展開においてはその内容から以下に記載する特性を持っている。これらは、横展開を進めるに当たり、その実装先の現場毎に、導入に向けての工程の初期段階からその現場を考慮した設計や検証が必須であり、そのために、現場に設置作業を行う事業者が関わっている必要があることを示している。このため、コンソーシアムが主体となり関わるのは、主にソリューション体験部分やその後の構想設計時のアドバイスまでである。

1) 現場への展開に関する特性

工場部門での横展開の場合、最終的には工場の製造現場などに設置されることになる。工場の現場の状況は、業種や製造品目、規模などのみでなく、様々な要因により異なっている。このため、開発した機器やシステムを単に取り付けるだけでは稼働させることは出来ず、現場に合わせ、設置先の既存システムと接続させるための仕様設計が必ず必要となる。

2) 普及モデルの特性

後述するように本事業で横展開に資する普及モデルは、画像検査システム等であり、検査対象毎にその検査の成立性確認のためのテストや処理プログラムの変更やカスタマイズなどを行う必要がある。これは、その他のデジタルソリューションに対しても同様なことが言える。

7.2.3.2 デモ・試験場所について

前出の事業フローの中でコンソーシアム、及び群馬産業技術センターや OKI が直接関係するのは、デモ・試験場所の部分になる。デモ・試験場所は、課題解決実証システムやその他の横展開に寄与するソリューションを体験可能なソリューションセンターの機能、及

び中小企業等の工場などの現場への導入に向けた成立性確認のためのテスト場所としての機能を持つ。この際の場所の選択や対象ユーザー、対象ソリューション、体制、マネタイズ等の検討について以下に記載する。

(1) デモ・試験場所の役割

デモ・試験場所は、基本的には5G活用技術の横展開のハブとなる群馬産業技術センターである。ただし、要求される条件によっては、ローカル5Gを活用可能なOKIで実施することとなるが、この部分は後述する。

横展開事業での最終目的は県内の中小企業のデジタルファクトリー化である。ただし、5G技術等の導入実施の可能性等を考慮し、中小企業の中でも地元をリードする企業をターゲットとして設定した。それに向けて、本総務省の5G実証事業成果の横展開と5Gを活用可能なデジタルソリューションの活用デモを手段として活用することを考えている。これを示したものが下図である。

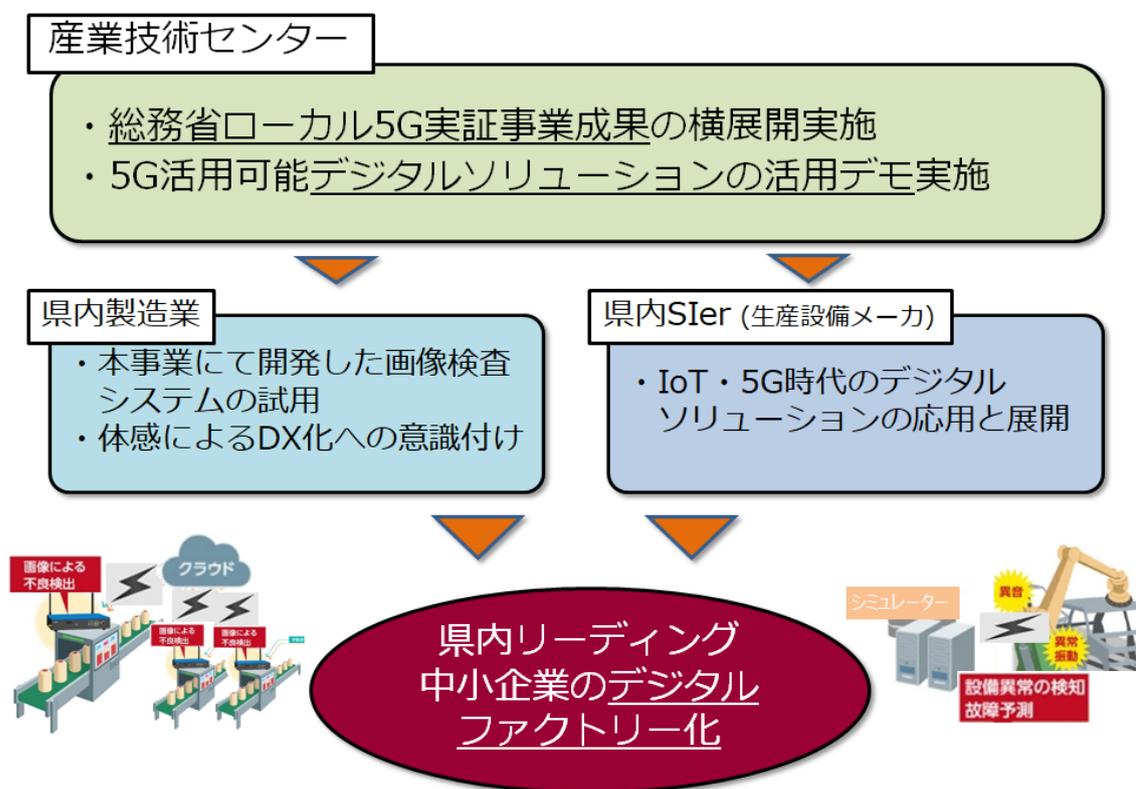


図 7.2.3.2-1 デモ・試験場所の役割

ここでは、大きく二つの事を狙っている。一つ目は、県内の中小製造企業のDX化に向けての意識付けであり、二つ目は製造企業の生産ラインを設計・製作する生産設備メーカーであるSIerにソリューションを理解してもらい、その横展開活動の現場における実行者となってもらうことである。

1) 県内製造業に対して

前出のアンケート結果(「デジタル技術・無線技術を活用した技能・生産性向上に関する調査」)では、「AI 活用による外観検査工程の省力化・自動化」と「組立作業の目視検査支援システム」に対する関心とニーズが高かった。これらのシステムは、本事業で開発した課題解決システムに相当するので、これらのデモ品を群馬産業技術センターに設置し、中小企業に体験してもらい、自社の課題解決策として適用できるものであるか検討を行うきっかけとしてもらう。

一方、アンケート結果では「専用ゴーグル・XR を使った遠隔指示」に対しては、自社内で何に対してどのように役立つのか具体的なイメージが湧かないということであった。この遠隔指示などは、ローカル 5G による無線化が非常に有効な領域であり、また、従来出来なかつたことが出来るようになる技術である。

そこで、課題解決システム以外に、5G に適用可能な各種デジタルソリューションを揃えるとともに、その使い心地を体感してもらうことで、自社内における新たな課題解決方法として認識してもらい、今後の DX 化に向けての新たな概念を意識付けしてもらうことも狙う。

2) 県内 SIer に対して

ローカル 5G 等が適用可能な各種デジタルソリューションの横展開活動として、産業技術センターでの技術相談を始めとする通常業務中での技術支援活動の中、及び体験セミナー等の催し物の開催等は実施するが、それだけでは横展開の活動力は頭打ちとなる事が容易に予想される。そこで、各種デジタルソリューションの活用の効果説明や現場への実装を広めるための“伝道師”を育成し、活用することが必要である。本件では、SIer (製造設備設計・製作メーカー) をこの伝道師役・横展開の担い手と捉えて検討した。

中小企業が自社の生産ラインの新設や改良を行う場合を考えると、その際に相談を持ち込む先は SIer である。SIer は、生産設備の仕様検討や設計を行う際には、その目的毎にどのような設備でどのようなシステムを組み合わせることが最も効率的であるか考え、客先に提案する。この時の提案の選択肢の中に、ローカル 5G 等を適用可能なシステムが入っていれば、中小企業の工場にローカル 5G が普及する可能性が出て来る。そのためには、SIer がローカル 5G 等を適用可能なデジタルソリューションの目的、種類、メリット・デメリット、費用対効果、今後の展開などを良く理解し、客先である中小企業の製造業に対して的確に提示できる事が重要である。ローカル 5G 等が最適な選択肢で無い場合であるのに、間違った選択を行うと、客先にはローカル 5G 等への負のイメージが付き、そのイメージが拡散すると、それを払拭するには多大な労力と時間が必要となる。このため、SIer には各デジタルソリューションの体感・理解をしてもらうのみでなく、提供側としてデメリットを含む現状のシステムの正確な情報展開が重要となる。

(2) 準備予定のソリューション

今回、導入を検討するシステムは、本事業において検証を行った課題解決システム及びその他のデジタルソリューションである。その他のデジタルソリューションについては、デジタル 3 次元室内測量、遠隔での操作・指示・監視、自動搬送、検査の自動化、デジタ

ルツインといったデジタルファクトリー化に向けたソリューションである。それぞれについて以下に記載する。

1) 課題解決システム

ここでは、今回の事業で課題解決システムとして取り上げた、OKI製の作業支援システムである、「組立・検査工程における高精細映像のAI画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を使用する。このシステムは、工場の組み立て作業員に対して、作業内容のナビゲーションを行い、目視検査においては映像およびAI画像解析を用いて検査の省力化・自動化を実施するものである。また、作業員が指示通りの作業を実施したか画像で判定する機能も持っている。これらの機能は、アンケート結果で関心があるとの回答が多かった機能である。本システムのデモでは、製品の良否判定模擬試験を製造業の企業やSIerに実施してもらうことで、その性能や効果を検証してもらい、使い勝手などに対する意見を集約し、フィードバックしていく。そして、自社や客先への導入に結び付ける。

2) その他のデジタルソリューション

その他のデジタルソリューションは、製造業の企業が工場内に新規設備を計画する段階から構築する段階、運用する段階、運用中の保守段階まで全ての段階での省人化、省力化、効率化に寄与するソリューションでありローカル5G等の5G環境に適用可能なものである。

a) デジタル3次元室内測量CAD・VR化システム

まず、生産現場に設備を導入する際には、発注者である製造業者と導入作業を実施するSIerで設備導入予定の現場の3次元CAD図面を用意し、設置位置、稼働範囲、搬入方法の検討を行うこととなる。現状では、人手による測量により、3次元CAD図面を製作しており、多大な工数を必要としている。また、細かい障害物の記載漏れなどにより、実際の設備設置段階になって、構造物と干渉を生ずることが判明し、多大な追加工数が発生する場合もある。これを解消すべく、レーザによるスキャナーで、現場の状況をくまなくデジタル3次元CADデータにすることで、前述の工数発生を大きく減少させることが可能となる。また、デジタル3次元CADデータをVRレンズを通して見ることによって、実際の現場への設備の設置状態をあらゆる方向からバーチャル設備を用いて目視で確認することも可能となる。このように、設備導入段階での大幅な工数低減と付加価値向上が図れることを体感してもらうことが出来る。

b) 遠隔作業指示実証システム

生産現場への設備設置と立ち上げはSIerが行うが、SIerは遠隔地の案件を複数同時に抱えている場合が多い。中小企業のSIerの場合、深い知識と経験を持ち合わせた優秀な技術者の人数が、案件の数と比較して不足していることがほとんどである。また、設備導入時には、ソフトの不具合や従来の機器との電氣的接続などで予期せぬ不具合が生ずることも多く、そこに優秀な技術者が投入されてしまい、次に控えている案件の開発が一時停止してしまう。この対応として、遠隔からの現場の状況確認やソフトの不具合修正が行えると良いという具体的なニーズが上がっている。

こうしたニーズに対しては、遠隔での操作・指示・監視が可能となるシステムである「遠隔作業指示実証システム」が有効である。優秀な技術者が、現場に向かうことなく、社内から原因解析、不具合修正、画像での動作確認を行えるようになり、他の案件に対する開発を停止させることなく対処することが可能となる。また、この遠隔操作・指示・監視システムをローカル 5G 環境下で、生産段階に入った生産現場で使用すれば、熟練者でない人でも作業内容を容易に確認・把握しながら作業を進めることが出来るようになる。このような効果があることを、導入した遠隔操作・指示・監視システムにて体験・体感してもらおう。また、その他の課題の解決手段としての使い方の考察も進めてもらう。

c) 遠隔自動搬送実証システム

次に生産段階について考える。中小企業の生産現場では、原材料の倉庫からの搬出や在庫管理、生産したものの搬出・搬送を人手に頼っている場合がほとんどである。ここでは、重量物の搬送となるため、労働者の身体的負担や安全性の問題、並びに棚積みの順番に関する効率に関する課題がある。ここには、事務所と工場間、あるいは、生産拠点間を結んだ遠隔自動搬送システムを用いることで解決できる可能性がある。製造物の大きさ・形状・重量・生産数などにより一概に適用可能とは言えないが、導入したシステムを体験・体感してもらおうことで、自社の課題解決の手段となるかどうか、また、他の解決手法を考える上での一助としてもらう。

d) デジタルツイン実証用基本システム

生産段階では生産設備を如何に止めないかも重要である。生産設備が故障により、予期せずに停止した場合、自社の生産分の負債のみでなく、納入先の設備も停止させることによる巨額な損害賠償が生ずる可能性もある。この対策としては、故障予知が重要であり、具体的なソリューションとして“デジタルツイン”が有効である。これは、生産現場の装置と同じ動作を行う仮想の装置をバーチャル空間で動作させておき、その仮想装置と実体装置の動作比較を常に実施することで、実体の装置の異常を早期に検知し、実質的な故障予知を行うことで、止まらない生産設備を実現するものである。このソリューションは重要ではあるが、中小企業の生産現場ではその考え方や有効性が認識されておらず、ほとんど導入されていないことから、今回導入した実証システムを体験・体感してもらおうことで、有効性や必要性を認識してもらおう。なお、導入を検討しているものは演算のリアルタイム性を考慮し、3次元モデルではなく、物理モデルで動作する1次元モデルのものである。

(3) デモ・試験場所の選択

事業におけるデモ・試験場所は前述のように、パブリック 5G の環境がある群馬産業技術センターとローカル 5G の環境がある OKI を使い分けるが、その選択方法は以下のようなフローになる。

まず、デモ・試験の条件を確認する。その試験条件ではローカル 5G (L5G) の性能が必要であるかどうかで決定することとなる。まず、パブリック 5G の場合、ダウンロードは早いアップロードのスピードが遅い。例えば、製品の詳細な画像を高頻度でアップロードする必要がある場合等では、スピード不足となる。また、実験では FA (ファクトリーオートメーション) 機器の相互接続となるため、ピアツーピアの接続が要求される場合が多

い。ピアツーピアの接続では固定 IP 間の接続となるが、パブリック 5G のサービスの場合、ピアツーピアで接続可能な接続数は 255 台までとなる。また、予算の都合上、通信量には例えば月に 100G バイトまでなどの制限を設けなければならない。したがって、画像の大量転送の実験などは出来ない。これらの制限を避けてデモや実験を実施する必要がある場合には、OKI にて実施することとなる。

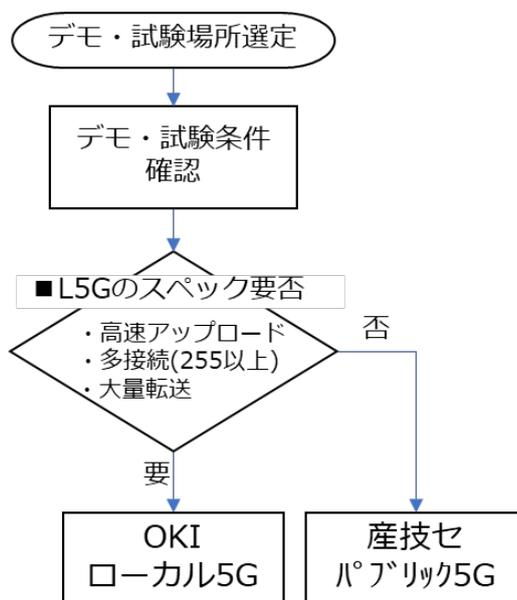


図 7.2.3.2-2 デモ・試験場所の選択フロー

7.2.3.3 運営体制

運営体制に関して、前出のアンケート結果から県内中小製造業の企業においては、現状では 5G を活用した実例がないことが分かった。したがって、まずは今回の事業を実施したコンソーシアムのみで運営を行う体制とし、上述のようにテストベッドとして準備した群馬産業技術センターの各種ソリューションとパブリック 5G、および、OKI でのローカル 5G 環境を利用してもらうことで、ローカル 5G 等の有効性を理解し、導入検討を進めてもらうための呼び水とする。そして、実際の導入に結び付いた場合、その導入事例を蓄積していくこととする。

また、その他にオープンイノベーション事業としてローカル 5G 活用技術提案を県内製造業の企業から実施してもらう機会を設けるとともに、パートナー企業としてコンソーシアムに参画してもらう。そして、群馬産業技術センターのテストベッドや OKI のローカル 5G システムを活用してもらい、新たな技術や製品等の開発へと繋げてもらう。ただし、ここに参画可能な企業は、実質的にはローカル 5G の導入コスト等を払えるだけの体力がある企業群になることが予想されるため、参画の条件としては中小企業にのみ限定することを行わないこととする。

7.2.3.4 マネタイズの方法

前出の事業のコスト検討結果(7.2.2.3 事業モデルの構築時と運営時のコストについて)で述べた通り、群馬県の財政規模では本事業は補助金等の活用は必須である。そこで、群馬産業技術センターをテストベッドとして使用するための令和3年度の各種デジタルソリューションの導入、および、ソフト事業、それ以降の5年間に渡るソフト事業や維持管理費に対しては、交付金を活用することとする。また、次年度の令和4年度以降についてはテストベッド機能の運用が本格的実施時期となるため、製造現場への実装に関する共同研究を実施し、その共同研究費を地方創生推進交付金とともに活用すること、また、技術支援からの使用料・手数料収入を利用していく。また、OKIはローカル5G支援サービス事業の収益化に向けた販売促進活動として参画する計画である。これを図示したものが下図である。

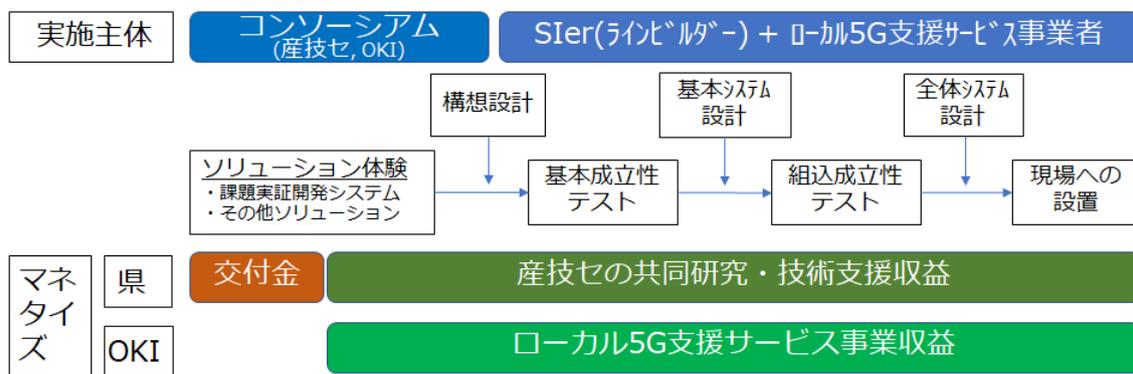


図 7.2.3.4-1 マネタイズでの収益源

7.2.4 その他考察

ローカル5Gの事業展開に関しては、ローカル5Gは人体で言えば神経系の高速・高機能化であり、脳としてのAIや感覚器器官としてのIoTセンサ、手足としてのロボットなどのアクチュエータが互いに並行した展開でないと中小企業では費用対効果や必要性の認識が持てない。このため、自治体としてはローカル5Gを含む、デジタルファクトリー化に向けた総合的な支援が必要と考えられる。こうした中、群馬県では、本事業展開の上位概念として「ものづくり産業DX推進事業」と銘打った地方創生推進に係る地域再生計画を策定し、デジタルファクトリー創出に向けた支援を計画的に展開していく予定である。

7.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

横展開を進めるにあたってはその地域の企業が抱える課題を解決する策として、課題の重要性、費用対効果、多岐に渡る業種に対応するための汎用性、また、自社への適用を考えてもらう上での理解のし易さなどが優れていることが必要であると考えられる。以下、そのような観点で検討を行った。

7.3.1 普及モデル（想定ターゲット、モデル、想定される導入効果等）

今回の課題解決モデルとして評価したシステムは普及モデルとして選定したものであるが、その想定ターゲット、モデル、想定される導入効果等を以下に記載する。また、選定したモデルの事例を SIER が中小企業の製造ラインに導入する場合を想定し、導入にあたってのボトルネックとなりそうな課題の有無、システムの費用対効果、さらにはその対応方法について検討する。

7.3.1.1 想定ターゲットおよび対象となるシステム

群馬産業技術センターでは平成 28 年度から、企業の製造現場への AI ソフトの導入・実装支援を実施している。その活動の中で、企業の製造現場では、人材不足などにより、外観目視検査が大きな課題であることは認識していた。活動の中では、農業、食品、機械金属、自動車、プラスチック成形、印刷などあらゆる業種から外観目視検査の AI による外観検査への置き換えの相談が来るのである。そしていずれの企業でも、入庫した原材料から、製造・組み立て作業中、また、出荷前検査まで、全ての行程で目視検査を実施しているという企業が多かった。そこで、想定ターゲットとして、工場の製造現場での外観目視検査をターゲットとし、「外観検査異常判定システム」が最も多くの企業から、ニーズがある課題解決ソリューションであると仮定して選定した。この仮定の正しさについては、各種業種の企業に対してアンケートを実施し、その結果により確認した。確認した結果については、前出の通りであり、仮定が正しいことが裏付けられた。また、アンケート結果では「作業組立の目視検査システム」への関心も高くこれもターゲットしていく。

7.3.1.2 詳細の前提条件

7.2 章中でも述べたが、本県製造業の労働生産性は全国平均を大きく下回っており、比較的自動化が進んでいると思われる自動車関連産業でさえも全国 29 位と非常に低い水準となっている。こういった状況の中、製造している部品等の要求精度や顧客要求品質の向上により、目視検査はあらゆる業種、生産品目でも行われるようになり、組立および検査における人材不足はより一層深刻な状態となっている。

したがって、「AI 活用による外観検査工程の省力化・自動化」があらゆる業種の製造現場で使用されることを前提条件として設定されることが必要である。

具体的には、生産品、製造工程、製造場所、作業員、運用方法、技術的能力、資金力、メンテナンス能力などの条件が企業毎に異なり、多様であることである。

7.3.1.3 標準モデル

上述の条件を元に、標準モデルとして必要となる要件や構成等の検討を行った。

(1) 機能要件

1) 各種生産品への対応

製造現場で活用可能な外観検査機の既製品は従来から存在しており、既に多くの企業の製造現場で導入されている。従来の画像検査機は、ルールベースで設定された条件での画像処理を行い判定している。製造品は規格内に入っているものでも製造ばらつきというものは必ず存在する。このルールベースの画像処理には判断の柔軟性が無いため、製造ばらつきに対して対応出来ず、多くの製品では判定性能が製造者の要求レベルに達しない。そのため、目視検査を行わねばならなかった。しかし、近年 AI による画像検査が急激な進歩を遂げ、柔軟な判定が可能となり、判定精度は目視並み、さらには、目視を凌駕するようになってきた。このため、外観検査装置には「AI 機能」を組み込む必要がある。

また、検査対象品や検査項目は、その検査工程毎に異なる。現在の AI は人間のよう、一組の眼と脳で何でも判定出来る訳ではなく、その対象毎に眼に相当するカメラ、照明の選定、脳であるモデルの種類を選定を行い、選定結果に対応したものを組み込むことが必要である。したがって、外観検査装置には、各種カメラが接続可能であること、各種照明が接続可能であること、各種 AI モデルが組み込めること、が必要な要件となる。

さらに、AI での処理を高速に行う必要があるため、GPU 又は VPU が使用可能であることが望ましい。

2) 各種製造工程への対応

外観検査異常判定システムが出した判定結果に応じて、製造工程では異常と判定された検査品に対しては排出処理や警報の発報など何らかの処理を行う必要がある。製造工程を考えた場合、現在多くの製造現場では機器の制御には PLC が使用されている。そのため、判定結果の出力を PLC に対して実施出来ることが要件となる。

3) 製造場所への対応

ニーズのある業種が様々であるため、製造場所も多岐に渡る。例えば、通常の製造場所は乾いた環境であるが、食品の製造ラインの場合、製造装置自体を洗浄する必要がある場合が多く、水の飛散や結露があるという環境である。この場合「外観検査異常判定システム」の PC 部分を何処に設置するかにより、必要な機能が変わってくるが、現場に設置する場合には、防水性、耐熱性、耐震性などの耐環境性能が求められ、遠隔に設置する場合には遠隔地と現場の通信性能が求められる。

4) 作業員への対応

中小企業の工場では自動化が進んでおらず人手に頼っての生産が多い、また、大企業でも多品種・小ロット生産品では人によるセル生産を行っている。しかし、製造上のミスの

原因としては人為的なものが多い。また、アンケート結果でも「手順・指示のデジタル化による工程管理・教育時間の短縮」に半数を超える企業からのニーズがあった。このため、外観検査異常判定システムには、人が正しい部品を正しい手順で組付けているかを検出し判定する機能や、人に正しい部品を正しい手順で組付けるナビゲータの機能を有していることが望ましい。

5) 運用方法への対応

企業の生産効率の向上の為には生産状況や異常発生状況などを常にモニターし、データを蓄積し、後から又はリアルタイムで解析し、生産現場にフィードバックしていくことが運用上必要である。このためには、データサーバとの連携機能が必要である。

6) 技術的能力・メンテナンス能力への対応

AI を用いた外観検査異常判定システムの構築を考えると、検査の対象物や検査項目に応じて、個々に AI ソフトを作成し、判定装置に組み込む必要がある。この時、外観検査異常判定システムの構築時には、その構築を SIer などの外部委託者が実施するパターン、自社内の生産技術部隊が実施するパターンなどがあるが、外観検査異常判定システムの構築・メンテナンスでは従来の製造現場では浸透していないソフトのプログラミングや組込み、また、ローカル 5G 等の無線技術、ネットワーク構築技術などが絡み、その必要な技術の専門性は高くなり、しかも多岐に渡る。このため、少なからずとも専門サービスによるサポートが必要となってくる。したがって、外観検査異常判定システムに対して強力なサポート体制が存在することが要件になってくる。

7) 資金力への対応

目視検査はその製品に対しては品質を保証するために行うものである。すなわち、当たり前の状態にある事を確認する工程であり、付加価値を生むものではないこと、さらに、事業の横展開先が中小企業であり、大企業と比較して投資可能な金額が少ないため、外観検査異常判定システムに対しては、可能な限り低コストであることが条件として求められる。

(2) 標準モデルの検討結果

上述の要件検討結果を元に、有すべき機能や要件を整理すると以下の表のようになる。

表 7.3.1.3-1 標準モデルが有すべき機能・要件

項目	部位・状況	機能	要件
PC	筐体、回路	耐環境性	耐温度、耐震、耐水性を有する
	演算器	AI 処理高速化機能	GPU, VPU を搭載
	通信	無線通信	5G SIM, Wi-Fi 対応
		有線通信	Ethernet 接続対応
	機器接続	有線通信	USB, PLC 接点, Ethernet 対応
	OS	Free の OS 対応	Linux 対応
ソフト	Free ソフト対応	Open Source の組込対応	
アプリ	ソフト	作業手順・指示	手順表示, ログ取得, システム連携可
サポート体制	システム構築	構築サポート	外部委託、外部サポート体制有り
	保守	メンテナンスサポート	保守委託、逐次サポート有り

7.3.1.4 課題解決システム

今回の事業においてその事例としては、OKI 製の「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を課題解決システムの代表事例としてとして選定するとともに、中小企業に適用する場合を想定して評価した。このシステムでは、PC 部分については OKI 製の AI エッジコンピュータの AE2100 が使用されており、「プロジェクション・アッセンブリー・システム」と「外観検査異常判定システム」の2つのシステムから構成されている。

選定理由については以下の通りであるが、これは現在の課題解決方法やシステムの潮流に合致しており、特異なものではなく、他の供給者のシステムへの置き換えは十分に可能であり、評価結果も同様に当てはまるものである。

(1) 代表事例としての選定理由

選定に当たっては、前出の有すべき機能や要件に合致していること、及び実証試験の実施し易さを選定の理由とした。

1) PC

以下に OKI 製の AE2100 の仕様を示す。現状では、5G の SIM を使用することはできないが、それ以外の部分については前述の仕様を満足していることが分かる。

表 7.3.1.4-1 AE2100 の仕様

項目	LAN 版	LTE 版	無線 LAN 版
CPU	Intel Atom® x7-E3950 プロセッサ (4 コア / 1.6GHz)		
メモリー	DDR3L 4GB		
ストレージ	32GB (eMMC) / SDXC (UHS-I) ×1		
有線ネットワーク	1000BASE-T ×2 (通信用 ×1、保守用 ×1)		
LTE	—	LTE 対応	—
無線 LAN	—	—	IEEE802.11b/a/g/n/ac 2×2 対応
920MHz 帯無線	SmartHop 内蔵 (MH シリーズまたは SR シリーズ)		
USB	USB2.0 ×2		
シリアル	RS-232C (D-sub 9pin) ×1 / RS-485 ×1		
接点	入力 ×1、出力 ×1		
AI アクセラレーター	インテル® Movidius™ Myriad™ X VPU (2 チップ)		
温湿度動作条件	-20~60°C、10~90%RH (結露なきこと)		
防水 / 防塵	IP40 相当		
セキュリティ	TPM2.0 搭載		
OS	Yocto Linux 2.5.1		

2) アプリ（アプリケーションソフトウェア）

「プロジェクション・アッセンブリー・システム」として構成されるシステムには、PC、プロジェクタ、3台のUSBカメラと連携し、作業手順の表示や作業の検知、作業ログ蓄積を行うことが出来るアプリケーションソフトウェアを搭載している。外観検査異常判定システムでは、作業内の目視外観検査時に画像内から対象を自動検出し、AI画像解析・判定するアプリケーションとの連携も可能であり、作業者に対する対応が可能である。

表 7.3.1.4-2 アプリケーション実装推奨スペック

No	項目	用途	推奨スペック/指定商品
1	PC	<ul style="list-style-type: none"> ・ PAS ソフトウェアをインストールする PC ・ PC×1台(作業台毎) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CPU : Intel Corei7 3.2GHz 以上 ・ メモリ : 16GB 以上 ・ HDD : 500GB 以上 ・ OS : Windows10 64bit ・ USB ポート:5 ポート以上
2	プロジェクタ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業台へのナビ用 ・ 作業台毎に最低 1 台 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 解像度 : 800 × 600 以上
3	バーコードリーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 従業員や組順 ID(機種 ID)を読み込む ・ 作業台毎に 1 台必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ キーボードインターフェースに対応した USB 接続タイプ ・ 自動的に Enter キー付与あり (サフィックス)
4	USB カメラ (プロジェクションアッセンブリーシステム用)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 画像認識用(2 台) ・ 作業内容の録画用(1 台) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 解像度 : 800x600 設定 ・ フォーカス : 固定(マニュアル) ※画像処理認識の関係上、検証済機器(下記)に限る CMS-V40BK (サンワサプライ)
5	ディスプレイ	ソフトウェアの設定作業や動画表示用のディスプレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・ メンテナンスツールの画面表示上、 解像度 : 1366 × 768 以上
6	Web カメラ (外観異常判定用)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検査対象物を検知 ・ AI 画像解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 画素数:5472×3648(最大) ・ 画素数:20MP ・ ピクセルサイズ:2.4um(H)×2.4um(w) ・ フレームレート:5fps 以上 ・ ビデオ出力タイプ:Gigabit Ethernet
7	照明機器	目視外観検査場所の全体を明るくするためのライト	高均一パー照明 <ul style="list-style-type: none"> ・ 色温度/ピーク波長:5000K typ. ※照明制御の関係上、検証済機器:IDBA-HMS350 を推奨

3) サポート体制

AE2100 のハードウェアやソフトウェアに関するサポート体制は、AE2100 購入者に対してのみ公開されているサイト経由で受ける事が可能である。また、プログラマーのための技術情報共有サービスである「Qiita」にも、ソフトウェアの組込み方の例などが掲載されている状況である。

また、ローカル 5G 下で本コンピュータを使用したシステムを活用する場合、ローカル 5G 支援サービス事業者に構築・保守メンテナンスの外部委託を行うことを想定すると、本

コンピュータとローカル 5G の接続性などの確認が必要となるが、OKI の場合はローカル 5G 支援サービスも行っているため、その部分に関する問題が生じ難い事例となる。

4) 実証試験の実施し易さ

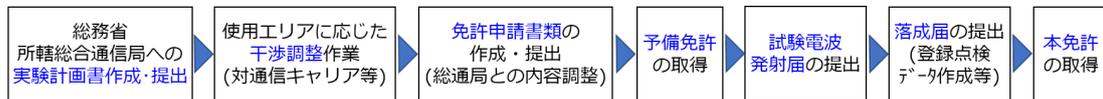
ローカル 5G 下で本コンピュータを使用したシステムの実証試験を行う場合、ローカル 5G と本コンピュータ間の接続性などの問題が生ずることが懸念されるが、OKI が自社で構築したローカル 5G 環境を自社製品に接続しての試験となるため、課題が生じても解決が容易であり、実証試験への影響は最小限に留められる。また、この構成は、今回の本庄工場での課題実証として実施したという実績もある。

7.3.1.5 導入のし易さに関する評価と課題

普及モデルとして「プロジェクション・アッセンブリー・システム」と「外観検査異常判定システム」の2つのシステムから構成される「組立・検査工程における高精細映像のAI画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を、また、その代表事例としてOKIのAE2100をPCとして使用するシステムを評価事例として選定した。次に、この事例をSIerが中小企業の製造ラインに導入する場合を想定しその際の課題について検討する。ここでは、ローカル5Gの構築が行われ、その環境下で「外観検査異常判定システム」を使用可能な状態にする場合を想定する。

(1) ローカル 5G の構築手続き

ローカル 5G を構築する場合、将来的にそのハードウェア等がシステム供給されることが考えられる。その場合、構築者が実施すべき内容は、その設置と免許取得に関わる手続きである。その手続きのフローの概要を以下に示す。



フロー	内容
実験計画書の提出	以下の項目を記載した実験計画書を作成し、所轄の総務省総合通信局に提出する <ul style="list-style-type: none"> ・実験概要 ・通信系のシステム構成図 ・実験内容と評価方法（評価項目） ・スケジュール（申請及び実験期間） ・設置場所（移動範囲）及び常置場所の住所等 ・地図 ・無線局諸元等 ・回線設計 等
干渉調整	総合通信局より指定あった通信事業者等と干渉調整を実施する。
免許申請書類の提出	以下の書類を作成し、所轄の総務省総合通信局に提出する <ul style="list-style-type: none"> ・免許申請書 ・無線局事項書（1局ごとに記載が必要） ・工事設計書（装置種別ごとに記載が必要） ・無線設備系統図 等
(予備免許の取得)	
試験電波発射届の提出	試験電波を発出する旨の書類を提出
落成届の提出	以下の書類を作成し、所轄の総務省総合通信局に提出する <ul style="list-style-type: none"> ・無線局工事落成届 ・無線設備等の点検実施報告書 ・無線従事者選任届 ・登録点検結果通知書 ・登録点検データ ・使用測定器一覧表 ・測定器校正証明書
(本免許の取得)	

図 7.3.1.5-1 無線局免許申請手続きのフロー概要

この申請手続きでの調整作業や申請書類作成では、電波に関する深い知識が必要となってくる。

県内の中小の SIer への聞き取りでも、この手続きを自らのみでこなすことは困難とのことであった。

また、総務省のガイドラインにおいて、「ローカル 5G を構築する建物や土地の所有者から依頼を受けた者が、免許を取得し、システム構築することも可能」とあるため、ローカ

ル 5G の構築ではローカル 5G 支援サービス事業者等が提供する有償の免許取得サービスを利用することが必須となる。

(2) ローカル 5G の構築費用

前出のようにローカル 5G の構築費用は、現状では約 1 億円と言われている。中小企業のアンケート結果でも、ローカル 5G に対する費用対効果が分からないとの意見があるが、中小企業に関わらず、費用対効果が分からないものには投資することは困難である。そこで、先行開発の要素を持つ案件に対して許される投資額について聞き取りを実施した。聞き取り先は、県内の代表格の SIer である。その結果、投資可能な金額の上限は 1,000 万円であり、補助金を活用出来る事が前提との事であった。補助金の補助率が高いものには補助率 2/3 の場合があるが、この場合には 3,000 万円となる。

現状では、中小企業が投資可能な金額と、現状のローカル 5G の構築費用に大きな乖離があることが課題である。

(3) 課題解決システムの費用対効果

課題解決システムに係るコストとしては、ハードウェア機器一覧は以下の通りとなる。金額については、機器別で費用が前後することを考慮し、想定金額として記載する。

機器一覧	金額(想定) 円
Web カメラ(レンズ・AC アダプターなど込み)	200,000
照明器具一式(照明・照明台座など込み)	200,000
PC(モニタ兼用)	150,000
AI エッジ	200,000
管理サーバ	800,000
合計	1,550,000

ソフトウェアとしては、画像 AI ソフト (CPU 版) およびプロジェクション・アッセンブリー・システムのライセンスが発生するが、プロジェクション・アッセンブリー・システムはオープン価格での提供、外観検査異常判定システムについては、製品化前のソフトであり、正規価格は無いため、ここでは費用対効果を見るための暫定想定価格としている。

暫定想定価格を 155 万 (プロジェクション・アッセンブリー・システムおよび外観検査異常判定システム CPU 版) として算出する。導入費用として 155 万、ランニングコストとして 15 万/年を想定として算出する。

課題実証の効果検証にて検証した結果より、効果面を金額換算できる作業時間をベースに記載する。前提として、1 人の日産 150 台を作業者が 1 年間生産した場合におけるシステム導入前と後での平均作業時間の差異 (1 台あたり 126 秒の短縮) より算出している。

$126 \text{ 秒} / 1 \text{ 台} \times 150 / \text{日産} \times 20 \text{ 日} \times 12 \text{ ケ月} \times 2000 \text{ 円(仮の時給※)} = \text{約 } 252 \text{ 万/年}$

※作業者の単金については、各社で違いがあることから、上記では仮とした際の時給と

して換算する。その他、効果面については、課題として別項 7.3.1.6(3)に記載する。

(4) PC への AI の組み込み

代表事例とした AE2100 のデバイスとソフトウェア構成、および、AE2100 のソフトウェア開発の流れを下図に示す。AE2100 のホスト OS は Linux であり、その上で Docker が実装されており、様々なゲスト OS がコンテナ上で動作する形になっている。AE2100 の CPU は Intel 製であるが、このような形式は、Raspberrypi や Jetson など ARM アーキテクチャの CPU を搭載している場合でも近年用いられるものである。また、AE2100 では AI 専用の演算器として Intel 製の VPU を搭載している。この VPU を使用するために Intel が無償で提供しているソフトウェアである OpenVINO を介している。この形も近年多くみられるようになってきた。また、ソフトウェア開発の流れとしては、先ず学習済みの AI モデルを開発環境である別の PC に取り込み、その PC 内で AE2100 内のコンテナ上で動作するように処理を行った後に、AE2100 に組み込む形である。この形式も一般的な開発形式である。このことから、代表事例としての AE2100 において、AI の組込性の評価を行うことにより、その他の PC での組込性の大局的な評価も可能であると考えられる。

評価方法は、AE2100 に対して AI を組み込む手順を AE2100 のマニュアルの記載に従い実施した場合に、その手順どおり問題なく組み込むことが可能であるかを確認するものである。これにより、組み込むために必要となる PC やソフトウェアに関する知識がどの程度のレベルであるかが分かる。工場の製造ラインの設計・製作を行う一般的な SIer の多くは PLC を製造ラインの制御機器として使用しているため、PC やソフトウェアに関して要求される知識レベルは高くない。

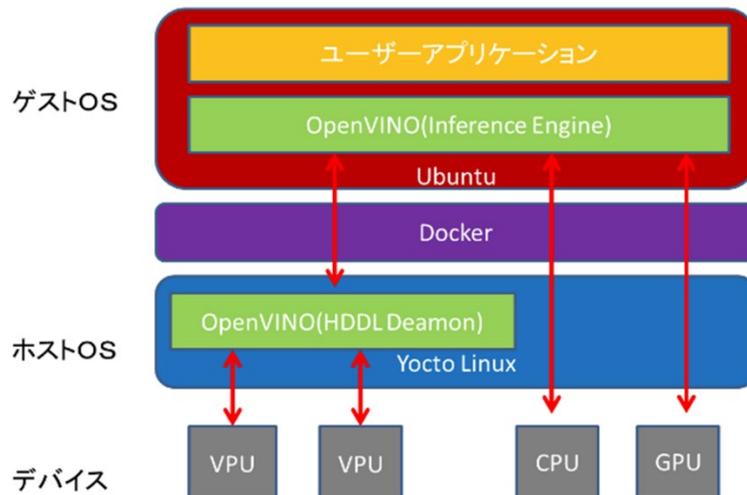


図 7.3.1.5-2 AE2100 のデバイスとソフトウェア構成
出所) AE2100_SDKManual(DeepLearning)_v1.2.pdf

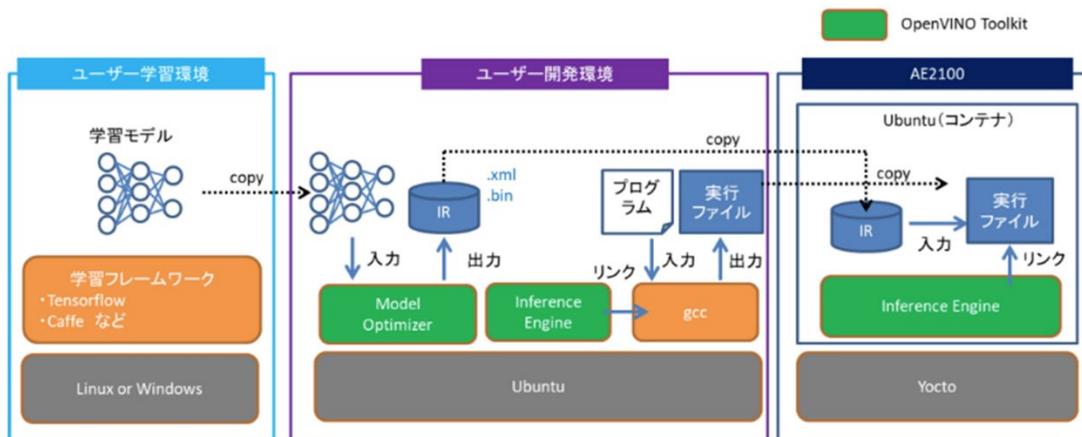


図 7.3.1.5-3 AE2100 のソフトウェア開発の流れ
出所) AE2100_SDKManual(DeepLearning)_v1.2.pdf

最初に行わなければならないことは、ユーザー開発環境の構築である。これは、AE2100とは別にユーザーが用意する PC 中に構築するものである。実施した手順は、以下の通りである。

まず、AE2100 の最新版の環境構築方法に合わせ、PC 内には Linux として Ubuntu 18.04 LTS の環境を用意する。次に、この Ubuntu 上に、Intel の OpenVINO をインストールしていく。この OpenVINO のインストールでは、OpenVINO Toolkit と Model Optimizer のインストールを行う。なお、Model Optimizer は学習済みの AI のモデルを OpenVINO Toolkit 用のモデルに変換する Python スクリプトである。また、ユーザー開発環境がある PC から AE2100 内にモデルを転送(Copy)することや、AE2100 の動作のモニターを行うため、PC と AE2100 間での SSH 接続を行う。出来た環境に AI のモデルを取込み、Model Optimizer で変換したのち、AE2100 に転送し動作させる。

今回の検証では、Model Optimizer のインストールが出来ないという問題が生じた。OpenVINO の構成は下図のようになっており、基本的には OpenVINO Toolkit と Model Optimizer の 2 つをインストーラーにてインストールすれば終了するはずであるが、Model Optimizer のインストールの途中でエラーが生じ、インストール出来なかった。Model Optimizer の中には、5 種類のフレームワークへの対応のための設定が行われている。



図 7.3.1.5-4 OpenVINO の構成

群馬産業技術センター内で Linux に対して詳しい知識を有する者が調査を行った結果、

この中の ONNX の設定時にエラーが生じている事が分かった。Model Optimizer のインストール方法に関する、AE2100 のマニュアルに記載されている手順、および、実際に必要であった手順を記載する。

表 7.3.1.5-1 AE2100 のマニュアルに記載の手順

AE2100 のマニュアルに記載の Model Optimizer のインストール手順
<p>ModelOptimizer のインストール</p> <p>1.インストーラーのあるディレクトリへ移動します。</p> <pre># cd /opt/intel/openvino/deployment_tools/model_optimizer/install_prerequisites</pre> <p>2.ModelOptimizer のインストーラーを実行します。</p> <p>※ここでは Python の仮想環境に ModelOptimizer の実行環境を構築しています。</p> <pre># sudo ./install_prerequisites.sh venv</pre>

出所) AE2100_SDKManual(DeepLearning)_v1.2.pdf

表 7.3.1.5-2 エラー無くインストールする手順

エラー無く Model Optimizer をインストール為に必要であった手順
<p>●一括インストールだと ONNX がインストールできないので、個別にインストールする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境変数の設定をする。 <pre>source /opt/intel/openvino/bin/setupvars.sh</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・caffe の仮想環境へのインストール <pre>sudo -H ./install_prerequisites_caffe.sh venv</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・caffe のインストールで出来た仮想環境をアクティブにする。 <pre>source /opt/intel/openvino/deployment_tools/model_optimizer/venv/bin/activate</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・仮想環境が出来ていない場合には、一度 install_prerequisites.sh を venv に入れる。 <pre>sudo ./install_prerequisites.sh venv</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・エラーが出てインストール出来ないが仮想環境は出来ている。 ・仮想環境をアクティブにする。 <pre>source /opt/intel/openvino/deployment_tools/model_optimizer/venv/bin/activate</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・caffe を入れる <pre>sudo -H ./install_prerequisites_caffe.sh</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・Tensor Flow を入れる。 <pre>sudo -H ./install_prerequisites_tf.sh</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・MXNet を入れる。 <pre>sudo -H ./install_prerequisites_mxnet.sh</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・Kaldi を入れる。 <pre>sudo -H ./install_prerequisites_kaldi.sh</pre> <p>●ONNX のインストール</p> <pre>cd /root/work/vino</pre> <ul style="list-style-type: none"> ・なければ mkdir でディレクトリを作成。 ・git がまだインストールされていないことを確認。

```
git --version
・ git の最新バージョンの確認
apt-cache madison git
・ git のインストール
apt install git=1:2.17.1-1ubuntu0.7
・ onnx を取ってくる。
git clone https://github.com/onnx/onnx.git
cd onnx
git submodule update --init --recursive
apt-cache madison python3-pybind11
apt install python3-pybind11=2.0.1-4
apt-cache madison protobuf-compiler
apt install protobuf-compiler=3.0.0-9.1ubuntu1
apt-cache madison libprotoc-dev
apt install libprotoc-dev=3.0.0-9.1ubuntu1
python3 setup.py install
python3 setup.py develop
python3 -c "import onnx; print(onnx.__version__)" → 1.8.0
・ インストール完了。
```

なお、AE2100 のマニュアルに記載されている手順は、OpenVINO の提供元の Intel のもの(英文)と内容は殆ど同一である。

この Model Optimizer のインストール時のエラーとその対処方法は、Intel の提供している OpenVINO の関する HP や、その他のネット情報(英文含め)を検索しても見つけることは出来なかった。また、OKI が提供している AE2100 の Qiita の情報にも記載は見られなかった。このため、群馬産業技術センター内でも Windows 用アプリケーションを作成出来る程度の知識を有する者では対応出来ず、前出の Linux に対して詳しい知識を有する者が 2 週間程度の時間を掛けて原因調査を行い、上記の表に記載の解決策としての手順を見いだした。

本検証では AE2100 を代表事例としたが、エッジ AI 用の小型 PC に Linux OS を搭載し、Open Source のソフトウェア上で AI によるデータ解析を行う形式は、主流となり始めており、これからも多くなると思われる。従って、多くの事例で今回と同様なパターンの問題が発生することが予想される。その背景にある課題としては、以下のことが考えられる。

1) Linux の特性

Linux は Open Source であり、その自由度は高く、長期サポートバージョンの LTS であってもバージョンアップは頻繁に行われる。そのため、ソフトの間の依存関係が複雑になっている。また、使用中の問題解決には Linux に関する詳しい知識を要する。

2) Open Source の特性

今回のエラーが発生した部分は Intel が供給している Open Source の OpenVINO のインストール部分の中であり、PC の供給者が提供したものではない。また、エラーが発生した詳細な箇所は、Open VINO の Model Optimizer 中の ONNX のインストールであるが、ONNX は元々 Microsoft と Facebook が開発したものである。したがって、エラーの発生する部分の開発者ではない事、かつ、無償で提供している部分なので、そのフォローは手厚くない。

以上の対応のためには、本来は Linux に関する豊富な知識を有する技術者と Open Souce に対する情報の集約が必要であるが、製造ラインの設計・製作を行う SIer にとって是对応が困難である。また、群馬県内のソフトウェア開発を行う企業では、その多くは、大企業が開発している大規模情報処理システムのソフトウェアの受託開発を行っており、Linux 上で動作する個別案件のソフトウェア開発に対応出来るところは非常に少ない。

7.3.1.6 導入を行い易くするための対策

前出の課題に対応し、導入を行い易くするための対策としては、各課題に対して以下が有効であると考えられる。

(1) ローカル 5G の構築手続き

工場の製造現場の生産設備の設計・製作を行う SIer とローカル 5G 支援サービス事業者間の協力体制の確立。

(2) ローカル 5G の構築費用

ローカル 5G システムの提供価格の低減、または、中小企業への導入支援補助金事業などによる、供給価格と導入可能金額の差の縮小。

また、システムを生産現場に導入する際には、なるべく生産現場への導入直前までは、コンソーシアム内のローカル 5G 支援サービス事業者(本事例では OKI)が所有するローカル 5G 環境での成立性検討を実施し、不成立時の費用発生リスク回避を行う。

(3) 課題解決システムの導入費用

初期投資を抑制するためにも、システム導入の規模を限定して、試行的に運用を開始し、費用対効果を検証しながら、段階的にシステム範囲を拡大していくことが有効である。

(4) PC への AI の組み込み

SIer に対する Linux に関する知識や組込のための基礎情報の提供、および、具体的組込作業の支援。または、組込支援が可能な事業者による支援体制の確立。

7.3.2 推進対応方策

普及モデルの横展開の推進方策の設定では仮説の下で設定しており、その仮説が正しい場合に推進が有効となる方策を設定した。

7.3.2.1 推進に資する仮説

ここでは、導入者側と設置者側のそれぞれが持つ課題やニーズには以下のものが有るといふ仮説を立てている。仮説ではあるが、前述のようにアンケートや聞き取り調査結果から、ある程度仮説の正しさが分かっているものもある。

(1) 導入者側の課題やニーズ

導入者側としては、中小製造業の企業を仮定しており、以下の仮説を設定した。

1) 費用対効果

ローカル 5G システムを導入した際の費用対効果が分からないので設備投資出来ない。

2) 費用

ローカル 5G システムの価格と導入者である企業側の投資可能金額には大きな乖離がある。

(2) 設置者側の課題やニーズ

設置者側としては、製造ラインの設計・製作を生業とする中小の企業(SIer)を仮定しており、以下の仮説を設定した。

1) ローカル 5G 構築

ローカル 5G の構築手続きに対しては知見を有しておらず、自社業務としては対応できない。

2) ソフトウェア開発

Linux OS 上のアプリケーションソフトウェア開発の実施が困難である。

7.3.2.2 具体的な対応方策

それぞれの課題やニーズに対しては以下の対応方策の実施を計画することとする。

(1) 費用対効果

群馬産業技術センターのテストベッドには、普及モデルとして選定した「外観検査異常判定システム」も試用可能なソリューションの一つとして導入し、その使い勝手を体感してもらい、そこから、自社に導入した際の費用対効果を検討するための一助としてもらう

こととする。また、OKI に設置したローカル 5G システムを特定期間、群馬産業技術センターに設置し、デモ展示を行う中で、ローカル 5G 自体の効果も体感してもらおう。さらに、群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアムの中で導入事例の情報を蓄積するとともに、導入検討に役立つ情報を共有・提供していく。

OKI では、常設のローカル 5G を希望する企業に試用・体感してもらい、費用対効果を検討するための一助としてもらう。

(2) 費用

OKI では、ローカル 5G システムの設置方法や運用方法上、コスト低減可能な方策の検討を実施する。

具体的には、ローカル 5G におけるコアシステムの共通的な機能である「SIM 登録／発行機能」や「ネットワーク監視制御機能」などを、データセンターで共同利用型のクラウドサービスとして提供することにより、システムの初期投資コストを低減することは可能と考えている。

群馬県では、ローカル 5G システムを含むデジタルファクトリー化に対する補助金事業の設定の可能性を検討し、可能な場合は設定していく。

(3) ローカル 5G 構築

群馬県では、SIer 内にもローカル 5G の活用が出来る知識を持つ人材育成を行っていくとともに、群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアムを中心にローカル 5G 支援サービス事業者に関する情報の共有・提供を行っていく。

OKI では、ローカル 5G 支援サービスのメニューや費用の明確化を行い、協業者や導入者側が構築の検討を進める事に役立つ情報を提供する。

(4) ソフトウェア開発

群馬産業技術センターでは、共同研究の中で SIer に対して組込の支援を実施し、技術移転を行っていく。

OKI では、ローカル 5G 支援サービスの提供や、自社製品の顧客に対するアフターフォローの中でソフトウェア開発についても切れ目のないフォローを行っていく。

7.3.3 横展開計画

横展開計画は先に実装計画にて示したもののそのものであるが、ここではその詳細について説明する。

7.3.3.1 横展開の主体

本事業における横展開は群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアムにて進めるが、その中でも、群馬県が主体となって進めることとなる。しかし、事業の継続性の観点から群馬県では群馬産業技術センターにローカル 5G を設置出来ないため、ローカル 5G システムを常設

し、かつ、ローカル 5G 支援サービスを行う OKI も主体となって進める。

7.3.3.2 サービスや事業展開等を通じた普及展開に向けた取組の考え方・ゴール

ローカル 5G やそこに適用可能なソリューションの横展開のための伝道師として、製造ラインの設計・製作を行う SIer を活用することで、少なくとも県内でも規模の大きい中小企業のデジタルファクトリー化の早期実現を目指す。そのため、県としては県内 SIer の人材育成活動や次期コンソーシアムへの SIer の取込みを実施するとともに、群馬産業技術センターの共同研究を通じてのローカル 5G 活用可能技術の移転を行っていく。

7.3.3.3 体制

体制は、令和 3 年度に現在の群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアムの新規組織への移行準備を行い、その後次期コンソーシアムの設立と運営を実施していく。これは、下図に示す横展開計画の 3 の部分に相当する。

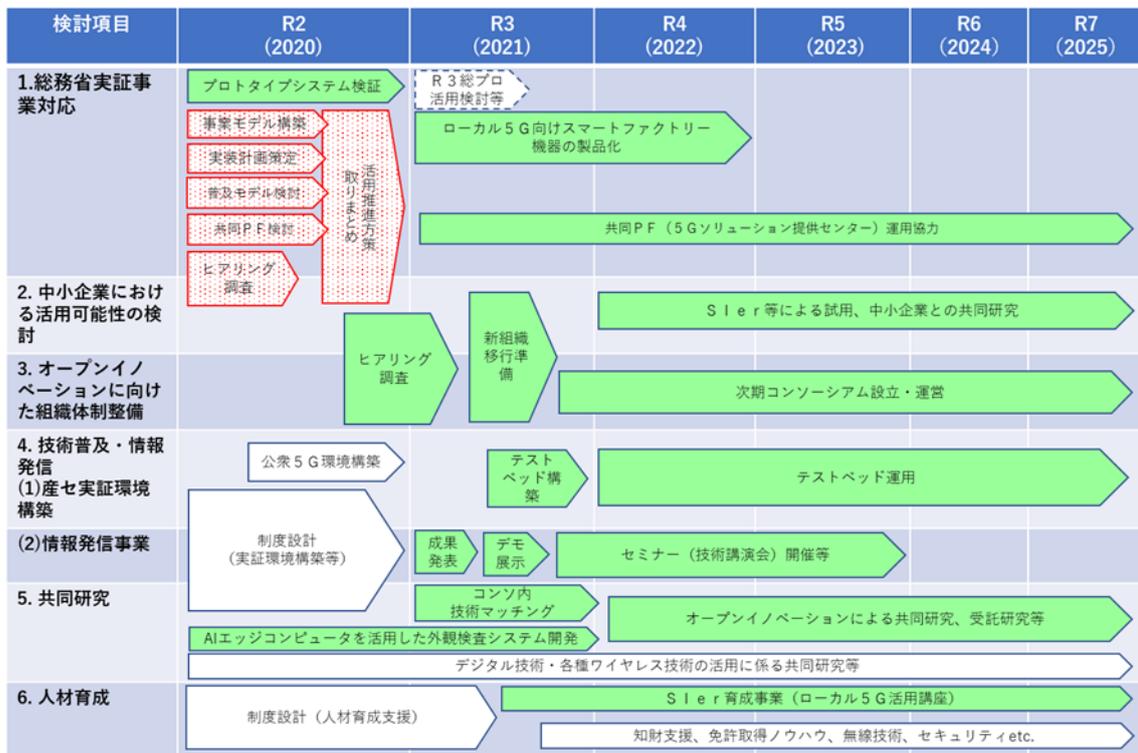


図 7.3.3.3-1 横展開計画

なお、想定している次期コンソーシアムであるが、5G 及びローカル 5G 技術の普及等を起爆剤としながら、「ものづくり産業」におけるデジタル技術導入・活用を広く支援していくための体制を整えるものとして、検討を進めていく予定である。

具体的には、「群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアム」や経済産業省から選定を受けている「群馬県 IoT 推進ラボ」等を母体として、中小 SIer、移動体通信事業者、デジタルソリューション導入に意欲的な地域の大手・中堅・中小製造業者、業界団体など、多くのプレイヤーを巻き込み持続的に発展させた「群馬県ものづくり産業 DX コンソーシアム」(仮称)の設立検討を進め、令和 4 年度からの設立を目指す。

なお、同組織の目的としては、①5G 及びローカル 5G 技術の活用も視野に、現場工程をバーチャルに構築し、リアルな現場の状況を監視しながら機器故障の予知保全に活用することで、生産技術の更なる高度化を図る「デジタルファクトリー」と、②製品開発における設計・試作・評価工程を、MBD（モデルベース開発）、CAD、CAM、CAE 等の活用によりバーチャル上で実施し、開発期間や生産開始期間の短縮化を図る「デジタルエンジニアリング」の導入等を県内中小ものづくり企業においても広く実践するとともに、ものづくり産業におけるデジタル・トランスフォーメーション(DX)を実現し、本県ものづくり産業の活性化を図ることを想定している。

7.3.3.4 事業展開のステップ・取組

事業展開は、7.2.1 実装計画の部分で説明したものと同じであるが、横展開のカギとなる伝道師役の SIer に対しては、上図の横展開計画の 6.人材育成の中の SIer 育成事業の中で、ローカル 5G 活用講座、AI 活用人材育成講座、ロボット SIer 育成講座を通しての人材育成を実施していく。

7.3.3.5 展開にあたっての課題および対応策

今回のローカル 5G の横展開にあたり、最大の課題はローカル 5G システムの価格と導入者側の投資可能金額の大きな開きである。この部分は一地方自治体が努力してもいかんともし難い部分である。現状で考えられる対応策としては、ローカル 5G システムのコア装置のコストの削減であり、この部分をクラウド化し共同利用化することにより、初期投資価格を低く抑える事である。この対応可否については、ローカル 5G 支援サービスを実施している OKI にて今後検討を実施していく計画である。

また、5G 規格の標準化が進み、オープン化が図られることによって、5G 機器ベンダー間の価格競争によるコスト低減の進展が期待されるところである。

7.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

7.4.1 本事業の課題解決システムを他の地域等で実装するために5Gソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能【P】

5Gソリューション提供センターの役割を考えると、課題解決システムを今回の代表事例以外で実現した場合、または、その他のソリューションに関わるシステムを構築する場合にも生ずるであろう共通課題に対応出来るようにすることである。

7.4.1.1 組込ソフト情報供給機能

これは、課題解決システムの代表事例のPCへのAIの組込性の評価を実施した結果得られた課題に対応するためのものである。ソリューション用のソフトウェアがLinux上のOpen Souceにより作成される事は現在の主流となっているため、サポートが不足している部分があることは、代表事例特有の事象ではなく、すべてのソリューション用のソフトウェア構築においてあり得ることである。従って、これが横展開を進める上でのボトルネックにならないようにするため、PC内へのソリューション用の環境構築や組込を誰でも容易に出来るようにする必要がある。その為に5Gソリューションセンターに必要となる機能は、ソフトウェア用の環境構築や組込上の課題解決を行うための情報やリソースを提供する機能である。

7.4.2 本事業の課題解決システムについて5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方【P】

ここで必要となるのは、課題解決システムの情報だけでなく、上述の機能を具体化したものを同時に供給していくことである。

7.4.2.1 機能の具体化

ソフトウェア用の環境構築や組込み上の課題解決を行うための情報やリソースを提供する機能の具体策として以下のものが想定される。

(1) 方策へのアクセス

プログラマーのための技術情報共有サービスであるQiitaやGitHubなどのリポジトリにそのシステムに関する情報を掲載し、技術者が対応策に容易にアクセス可能なようにする。

(2) 容易な方策の提供

Docker等のコンテナにより、構築済みの環境の提供を実施する。

(3) 疑問点の解決

Qiita, GitHub での FAQ 対応を実施する。

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

今回、代表事例とした外観検査異常判定システム（課題解決システム）のシステム概要図（図 4.3.2-2 参照）における管理サーバ上ソフトウェアについては、共同利用型プラットフォーム上に実装して、クラウドサービスとして提供することが可能である。AI エッジコンピュータ上で判定した結果を、共同利用型プラットフォーム上の管理サーバに工程情報とともに送信することによって、受信した判定結果の画面表示や過去の判定結果の検索と照会が可能である。これにより、ユーザー（例えば、工場の管理者等）が本情報を用いて品質管理/分析に活用することができる。以下に同システムが提供する API 仕様を示す。

ファイル転送インターフェースは以下の機能を活用

■ファイル送受信

状態	
ファイル送信	SendFileCmd
ファイル受信	RecvFileCmd

■ファイル情報

全転送データサイズ	TotalDataSize
転送済みデータサイズ	TransDataSize
受信情報・レコード形式	RecvRecordType
受信情報・レコード長	RecvRecordLength
ホスト転送コマンド	HostCommand
ホストデータセット名	HostFileName
端末側ファイル名	PCFileName
ホストタイプ	HostType

■ファイル転送状況

転送状態	
転送状態の問い合わせ	QueryTransFile NoticeTransStatusFlag NoticeTransStatus
ファイル転送の中断	CancelTransFile

- ・外部他システムより課題解決システム（外部連携 AP）の呼び出し
課題解決システム起動
設定ファイルで、①システム起動時、②開始画面表示時、③作業画面表示時、④

終了画面表示時、⑤終了画面で終了時、⑥終了画面で継続時、⑦終了画面切替時、にそれぞれ実行する課題解決システム（連携アプリケーション）を指定可能とする。起動時、パラメータに①作業員 ID、②組順 ID を設定する。その際、パラメータの文字列はダブルクォーテーションで囲むものとする。

例) 連携アプリケーション=「C:\¥AP.EXE」 作業員 ID=「012345」 組順 ID=「A001 X/Y」の時

起動コマンド：「C:\¥AP.EXE “012345” “A001 X/Y”」

課題解決システム(連携アプリケーション)を起動後、起動正常/起動異常を判断し、正常時は処理を継続、異常時はエラーメッセージ表示する。

API として規定する通信 IF は HTTP1.1 の通信仕様に準拠するものとし、システムに対する制御をローカルホスト上の URL に対する HTTP リクエストとして実現する。

文字列パラメータの場合は必要に応じてパーセントエンコードを行うこと。

レスポンスのフォーマットは以下の通り。

200:OK

{[レスポンス]:[レスポンス値],[メッセージ]:[メッセージ文言]}

No	名称	形式	説明
1	レスポンス	文字列	“resp”（固定文字列）
2	レスポンス値	文字列	正常応答時：“ack” 否定応答時：“nack”
3	メッセージ	文字列	“message”（固定文字列）
4	メッセージ文言	文字列	メッセージ文言

尚、クラウド PF における上記内容については、各 PF によって仕様が異なるため、本項での記載を除く。

7.4.4 共同利用を想定したクラウド処理での性能や費用に関する検討

ここでは、代表事例とした「外観検査異常判定システム」を共同利用するクラウド処理とした場合を想定し、その性能面や費用面について、エッジでの PC による処理と比較する。なお、比較するシステム中には必ずローカル又はパブリックの 5G を使用しているという前提条件の下で比較を行う。また、クラウドで外観検査異常判定を行う場合には、クラウドに判定処理対象毎に異なった AI の学習済みモデルをアップロードして処理させることになる。従って、通常はクラウドに仮想 PC を確保する形となり、IaaS になると想定される。

7.4.4.1 クラウド処理で想定するネットワーク形態

「外観検査異常判定システム」の場合、クラウドで実施するものは画像の AI 判定処理である。上述のように 5G を使用することを前提とすると、そのネットワーク接続方法としては以下の方式が考えられる。

a) カメラ → ローカル 5G → LAN → クラウドでの AI 判定処理

自社ネットワーク環境内にローカル 5G を構築し LAN 経由で共同利用のクラウドに接続する方式。

b) カメラ → パブリック 5G → LAN → クラウドでの AI 判定処理

パブリック 5G を利用し LAN 経由で共同利用のクラウドに接続する方式。これは、費用面や周囲環境、または、導入フェーズなど何らかの理由によりローカル 5G を導入していない場合での対応方式である。なお、パブリック 5G では、閉域網内のクラウドを直接利用するサービス形態も提供されているが、これはオンプレミスのサーバ利用であり、ここでの共同利用形態とは異なるため比較対象には入れない。

7.4.4.2 異常判定性能面からの比較検討

「外観検査異常判定システム」を、エッジ PC を用いて構築した場合とクラウドを用いて構築した場合について、異常判定精度と異常判定速度に関して比較を行う。

(1) 異常判定精度について

AI による画像処理の場合、同一の AI 学習済みモデルに対して、同一の画像を判定させた場合には同一の結果を出す。このため、AI の異常判定精度にはほぼ差異は生じない。これは、AI の学習済みモデルが同一であれば、両者は同一の計算を行うことになるためである。従って、単に PC でのエッジ処理とクラウド処理の間の比較の場合には差異は無いといえる。

次に、ネットワーク形態間について考える。ローカル 5G にて構築されたネットワークの場合にはアップリンクの速度をある程度確保可能であるが、パブリックの場合にはダウンリンク偏重となる。参考例として群馬産業技術センターで運用されている NTT ドコモの Sub6 のアップリンクの速度を携帯のアプリケーションで簡易的に測定した結果では 40 Mbps 強であった。外観検査異常判定システムを生産ラインで使用することを考えると、画像の転送時間は 100 ms 以内には抑えたい。簡易測定結果に対して、安定して転送可能な速度が約半分の 20 Mbps であると仮定し、その条件下で検査対象の画像として RGB 24 bit 画像を無圧縮で転送することを想定すると、100 ms で転送できる画像は、QVGA (320x240) までである。これまでの経験上、製品の細かい異常まで判定することを考えると 1M ピクセルの画像(1280x1024)程度は使いたいが、この転送には約 1600 ms 掛かってしまう。1M ピクセルの画像を 100 ms で転送するためには 300 Mbps 以上は必要である。従って、ネットワークにパブリック 5G を使用した場合には、高精細画像を用いて判定しなければならない検査において、判定精度上の課題が生ずる可能性が考えられる。また逆に、QVGA 程度の画像でも十分異常検出が可能な検査に対してはパブリック 5G の速度でも対応可能では

ないかと思われる。

また、クラウド処理の場合には上述の 5G 以外の部分でも、アクセスの集中によりネットワーク負荷が多くなった場合には転送速度に影響が出るが、その対策として画像の分解能を落とすことになった場合には、上述の内容と同様に異常判定性能にも影響が生ずる可能性がある。

(2) 異常判定速度について

異常判定速度は、エッジ処理の場合は使用している PC の性能のみにほぼ左右されることとなる。一方クラウドの場合には、基本的な速度は、クラウドまでのネットワークのスピード、クラウドで確保可能な仮想 PC の性能で左右される。また、共同利用という性格上、そのスピードは、クライアントからサーバへのアクセスの集中度合いに応じて変化することが考えられる。

工場の製造工程での使用を考えると異常判定速度が変化することは、一定の製造タクトを確保することに対して大きな影響を及ぼす可能性があるということである。したがって、異常判定速度の観点からは、共同利用のクラウドでの処理は、デモでの利用や製造ラインへの導入前の検証テストまでの利用が現実的と思われる。ただし、確保可能な最低スピードが保証でき、かつ、製造工程に必要な異常判定速度を十分に満たす場合には、実際の工場の製造工程にも適用可能と考えられ、ケースバイケースとなる。

7.4.4.3 費用面での比較検討

「外観検査異常判定システム」を、エッジ PC を用いて構築した場合とクラウドを用いて構築した場合、費用面での差異があるのはサーバの使用料である。前述のように、AI を使用した検査の場合には、IaaS が用いられる事になると想定される。IaaS の場合には費用は比較的安価であり、例えば Microsoft Azure の場合、仮想 PC を 8vCPUs, 32GB RAM, 0GB Temporary storage という中小工場規模での外観検査異常判定システムに適用可能と思われる条件で \$0.595/時間であり、1 年間の連続稼働でも 65 万円程度である。一方、エッジ PC は例えば OKI AE2100 の場合、10 台の導入で 330 万円、そのハードウェアとソフトウェアの合計保守費は 10 台迄が年間 10 万円掛かる。この条件における費用を累積したものを下の図に示す。この例の場合では、初年度から 6 年目まではサーバの仮想 PC の方がエッジ PC の費用を下回り、その後はエッジ PC の費用が下回ってきている。これはあくまでも参考例であり、エッジ PC や仮想 PC の選定により費用が逆転する年数は変化するが、初期はサーバの仮想 PC の方が安く、数年後にはエッジ PC が安くなる傾向は変わらないと思われる。ただし、仮想 PC 場合、自社による機器のメンテナンスや入れ替えは不要であるが、エッジ PC では機器の故障への対応や性能の陳腐化への対応として、5~10 年後にはまた再投資が必要となるため、長期的に見ると両者に費用面での大きな差異は無いと思われる。

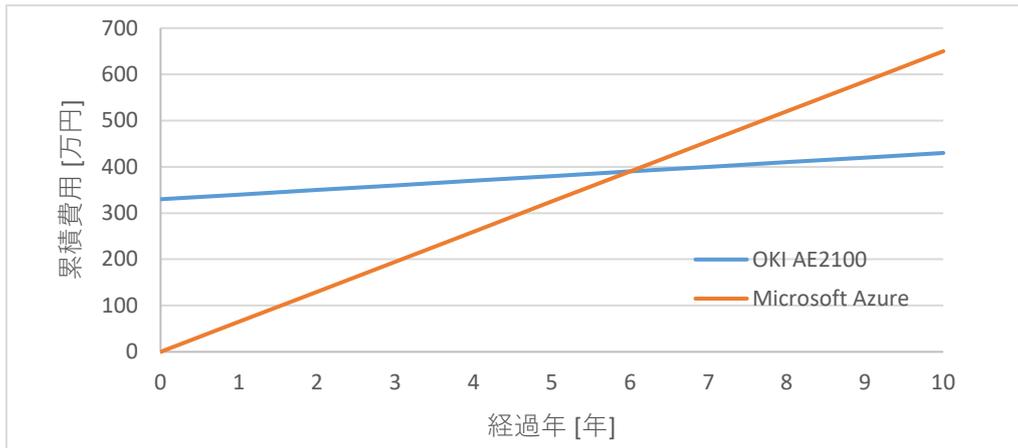


図 7.4.4.3-1 エッジ PC とサーバでの処理の費用比較例

注) エッジ PC は OKI AE2100 を 10 台、サーバは Microsoft Azure にて仮想 PC として 8vCPUs, 32GB RAM, 0GB Temporary storage を使用した場合を想定

次にローカル 5G を構築する場合とパブリック 5G を利用する場合についての比較を行う。ローカル 5G の場合には前述のように、初期費用が約 1 億円、年間保守費用が約 1000 万円、5 年毎のコアサーバの更新費用が 5000 万円である。これに対し、例えば NTT ドコモの場合には、対応する 5G ルータは一台 7.5 万円、対応するサービスは 5G ギガホプレミアであり、1 回線当たりの月額が 7315 円であり、通信量に対する上限設定は無い。10 回線の使用を想定した場合、初期費用は事務手数料込みで約 80 万円、年間の回線使用料は約 90 万円である。金額的には、圧倒的にパブリック 5G の方が有利であるが、当日を含む直近 3 日間のデータ利用量が特に多い場合に通信速度が遅くなる場合や、一定時間内または 1 接続で大量のデータ通信があった場合、長時間接続した場合、一定時間内に連続で接続した場合は、その通信が中断されることがあるという注意事項がある。これは、パブリック用途の契約の特性上、特定顧客による中継局の容量の占有を防ぐ必要があるためであるが、この事項により、工場の製造工程での外観検査異常判定用の連続画像転送用としては使用が困難であると思われる。従って、費用的にはパブリック 5G の利用は非常に安価であるが、大量のデータ利用の制限事項により、外観異常検査での利用は、デモや製造ラインへの導入前の検証テスト、または、製造現場での利用の場合には低容量かつ間欠的な検査を行う工程への適用に留まると考えられる。

7.4.4.4 共同利用を想定した場合のまとめ

「外観検査異常判定システム」を、エッジ PC を用いて構築した場合とクラウドを用いて構築した場合、さらに、ネットワークにローカル 5G を用いた場合とパブリック 5G を用いた場合で、異常判定精度と異常判定速度に関して比較した結果、以下の通りと考えられる。

- 異常判定性能には、接続するネットワークの速度やその変化に対して大きな影響を受けるため、共同利用のクラウド処理を使用する場合には導入時のテスト段階までの使用にとどめるか、低速または低解像度の画像での検査が可能な工場の製造工程での使用にとどめることが必要と考えられる。
- また、影響はローカル 5G を使用した場合よりも、パブリック 5G を適用した場合に大きいと言える。

- 費用面では、エッジPCを使用した場合とクラウドの場合では、初期はクラウド利用が安く、数年後に逆転すると見込まれるが、機器の入れ替えを考慮すると両者に大きな差異は無いと考えられる。
- ネットワークとして、ローカル 5G とパブリック 5G の利用を比較すると費用面では圧倒的にパブリック 5G が有利であるが、データ利用の制限事項に抵触する可能性があることから、導入時のテスト段階までの使用にとどめるか、低容量かつ間欠的な検査が可能な工場の製造工程での使用に留めることが必要と考えられる。

7.5 まとめ

以上、自治体が参画する形での横展開方式を検討した。群馬産業技術センターでは、平成 28 年度から AI 画像検査技術を工場の製造現場に実装するための活動を実施しており、その際には製造ラインの設計・製作を行う複数の SIer に対して、AI を生産ラインに組み込むための技術支援を行い、SIer が実際に客先の工場へ納入した実績も出ている。ここでは製造現場への実装の横展開の核として SIer を見据えた活動を行っている。今回のローカル 5G の横展開もこの実績が出始めている活動をヒントとして計画したものであり、ローカル 5G の供給価格面の課題が解決されれば、横展開が成功する可能性は十分にあるモデルであると考えている。

また、前述のように群馬県は全国ではおよそ中位からやや下位の財政規模であり、大方の地方公設試験機関が横展開事業を実施する場合の参考モデルになると考えられる。

8. 会合等の開催（該当する活動がある場合）

2020年10月9日(金)より、隔週金曜日にて「群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアム」の会議を開催した。参加者は、当コンソーシアムメンバーである群馬県、太陽鵜殿(株)、(株)SUBARU、沖電気工業(株)に加えて、11月20日(金)の第4回会議からは、工場分野 PMO の PwC にもご参加いただいた。以下に開催した会議の日程を示す。

- ・ 第1回 会議 2020年10月9日(金) 15:00～16:30
- ・ 第2回 会議 2020年10月23日(金) 15:00～16:30
- ・ 第3回 会議 2020年11月6日(金) 15:00～16:30
- ・ 第4回 会議 2020年11月20日(金) 15:00～16:30
- ・ 第5回 会議 2020年12月4日(金) 15:00～16:30
- ・ 第6回 会議 2020年12月18日(金) 15:00～16:30
- ・ 第7回 会議 2021年1月8日(金) 15:00～16:30
- ・ 第8回 会議 2021年1月22日(金) 15:00～16:30
- ・ 第9回 会議 2021年2月5日(金) 15:00～16:30
- ・ 第10回 会議 2021年2月19日(金) 15:00～16:30

9. まとめ

9.1 実証概要

本実証では、群馬県ならびに群馬産業技術センター、および県内に事業拠点を持つ沖電気工業株式会社（以降、OKI）、太陽誘電株式会社（以降、太陽誘電(株)）、株式会社 SUBARU にて「群馬県ローカル 5G 活用コンソーシアム」を組成し、それぞれ NDA、協定を締結した上で、OKI がコンソーシアム構成主体となり、群馬県及び他参画企業と連携して PJ を推進した。図 1.3.1-1 にコンソーシアム体制、図 1.3.1-2 に実証実施体制を示している。なおローカル 5G の実験試験局の免許人は OKI が担当した。

まず、群馬県内の製造業（特に中小工場等）における実態を調査した。群馬県内の中小製造業は、人口減少社会の到来に加えて、隣県よりも低い最低賃金などの影響もあり既に深刻な労働力不足に陥っているほか、働き方改革、技術継承、生産技術高度化への対応など、様々な地域課題に直面している、ということを出した。その地域課題に有効と想定される 2 つの解決案（課題解決システム）を実証対象として選定した。

(1) 外観検査異常判定システム

熟練者の技術ノウハウが必要とされる組立・検査工程において、深刻な人手不足により筐体の傷の見落としや工程飛ばしといった問題が発生する課題がある。

⇒課題解決システムとして「組立・検査工程における製品の自動目視検査システム」を設定。

(2) 画像判断データ転送システム

従来のシステムでは、社内 LAN とネットワークを共用していたためトラフィックが逼迫し、しばしば転送エラーが発生して転送作業の再試行や人を介在しての復旧作業というロスが発生する課題がある。

⇒課題解決システムとして「検査工程・製品データの効率的な高速転送の検証システム」を設定。

次に、上記にて選定した 2 つの課題解決システムの構成・機能を整理し、ローカル 5G による無線化の適用ポイントを確定するために IP セグメンテーションを検討した。図 6.1.1-1 に外観検査異常判定システムの全体像とシステム概要、図 6.1.1-2 に画像判断データ転送システムの全体像とシステム概要を示している。

実証場所として、OKI の本庄工場と太陽誘電(株)の玉村工場を選定した。いずれの場所も「移動範囲」として工場の屋内を通信エリアとする実験試験局の免許を取得している。図 2.3-1 に OKI の本庄工場における外観と実証エリア、図 2.3-2 に太陽誘電(株)の玉村工場における外観と実証エリアを示している。実証にあたっては、各工場における既存ネットワークとの親和性（共用可否）を考慮し、ローカル 5G 機器の配置、およびネットワーク構成を検討した。また、ローカル 5G の稼働状況を遠隔監視するための仕組みを考案した。図 3.1.2.1-1 に OKI の本庄工場におけるネットワーク物理構成図、図 3.1.2.2-1 に太陽誘電(株)の玉村工場におけるネットワーク物理構成図を示している。

なお本実証では、工場内でのエリアカバレッジを考慮し、4.7GHz 帯ローカル 5G の無指向アンテナを選定した。また導入時コストやアップリンク重視の課題解決システムを踏まえ、SA 構成/非同期を採用した。表 1.5.1-1 に本実証にて用いたローカル 5G 機器の無線局諸元（実験試験局の免許の申請概要）を示している。

9.2 課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）

本実証における 1 つの課題解決システムとして、外観検査異常判定システムを対象とした。図 4.4.2-2 にシステム導入後の検証環境、図 4.4.2-3 にデータ測定の対象工程を示している。「組立・検査工程における高精細映像の AI 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」をベースに、高精細映像伝送にローカル 5G を活用し、同工程における作業効率化などの効果面、目視検査における検査項目および検査精度などの機能面、現場運用スキルおよび品質基準の適正化という運用面、といった観点にて実証実験を実施した。

効果検証では、課題解決システム導入前後の環境において、被験者 5 名（熟練作業員×1 名、若年作業員×4 名）に対して内製製品 A の組立・検査作業を 10 回ずつ行い、「作業時間」と「作業ミス」を測定した。また、被験者に対して作業難易度・肉体的負担・心理的負担の変化をアンケート調査した。図 4.4.4-1 にシステム導入前後の作業時間の比較、図 4.4.4-2 にシステム導入前後の作業ミスの比較を示している。測定結果として、作業時間の短縮と作業ミスの低減を確認した。また、作業難易度・肉体的負担・心理的負担の低減を確認した。本課題解決システムの導入により、不良品発覚時の手戻りコストや不良品出荷時のリコールに伴う解体・修復コストや損害賠償といったコスト発生リスクを低減できると考える。

機能検証では、製造現場に求められる精度、品質、リアルタイム性、実装の柔軟性の観点より、下記の状況を想定して検証した。

- ・基板検査：13 箇所のうち 2 箇所のねじを外した状態で検査（図 4.5.4-1 を参照）
- ・トップカバー検査：12 箇所に傷がついた状態で検査（図 4.5.4-2 を参照）

表 4.5.5-1 に検証結果を示している。画像解像度（解析精度・システム応答時間）とネットワーク帯域はトレードオフの関係にあることが分かった。また、本検証環境にて用いたローカル 5G ネットワークでは、低解像度の映像のみ伝送可能であった。従って、高精細な画像にて精度の高い AI 画像解析処理を行うには、デバイス（カメラ）に近いエッジ領域で AI 画像解析処理（エッジ処理）を実行する構成が有効であると考えられる。

運用検証では、課題解決システムを実運用するにあたっての「使い勝手」、「環境面・安全面」、「維持メンテナンス」の観点において、課題抽出および対応策の検討を実施した。具体的には、OKI の本庄工場の現場作業員・システム保全責任者・運用責任者にヒアリングを実施した。運用において最も負担となるのは、高精度な映像解析を維持するための定期的な「維持メンテナンス」であるとの回答が得られた。課題として、映像解析では撮像環境の変化による解析精度への影響が大きいため、運用の中でも定期的なメンテナンスが必要であることが挙げられる。また客観的評価基準をもとにした作業員による調整方法やスケジューリング等の運用ルール、およびパラメータチューニング等をサポート可能なツール/GUI を整備する必要があると考える。

定期メンテナンスルールにおいて、映像解析の精度を確認する方法を構築する必要があるが、解決策(案)として下記のようなルールが考えられる。

- ・判定結果の基準となる良品、不良品のサンプルを用意して判定処理を行い、判定精度を確認する。

- ・判定精度が基準に満たない場合、カメラや照明の設置環境が設計書通りになっているか確認する。
- ・基準画像と現在の画像とのマッチング差異により調整する。
(マッチングスコア値を表示する機能により調整サポートが可能)
- ・学習モデルのチューニングを行う。(パラメータ設定の GUI 化)

レイアウト変更等による撮像環境の変化により、モデルのチューニングが必要になった場合、開発元へ依頼する等して、モデルの再チューニングが必要となるが、解決策(案)としてモデルのパラメータ調整が可能なツール/GUIを作成することが考えられる。

- ・ディープラーニングを使用した外観検査機能も有効と考えられる。照明の照度を変化させるなどの様々な撮像環境で撮影した画像からディープラーニングで学習モデルを生成し、撮像環境の変化などを吸収できるような汎用的なモデルを生成する。

9.3 課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）

本実証におけるもう 1 つの課題解決システムとして、画像判断データ転送システムを対象とした。図 5.3.4-1 に従来のデータ転送システム、図 5.3.4-2 に本件実証のモデル、図 5.4.1-1 に工程（実証エリア）レイアウトを示している。実証エリアの中央に基地局を設置し、実証エリア内の 5 箇所へ端末を移動・配置し、それぞれの地点においてスループット、パケットエラーレートを測定し、基地局や端末の設置位置に基づいて転送中断の有無や頻度を検証した。

効果検証では、自動化・省力化・無人化によるメンテナンス工数軽減の観点と、端末設置の自由度確保によるレイアウト変更時の工事費用削減の観点で、検証を実施した。表 5.4.4-1 にデータ転送完了状況、表 5.4.4-2 にメンテナンス工数比較を示している。検証結果より、年間を通じて 132H のメンテナンス工数の軽減、また 20 万円程度の工事費用の削減の効果があることがわかった。

機能検証では、4 時間の TCP 通信によるデータ伝送を行い、通信評価ソフトウェアを使用してスループット、パケットエラーレート、通信状態（ping 応答結果）を測定した。基地局は実証エリアの中央に 2.5m 高に設置。端末は選定した 5 箇所へ 1m 高、2m 高に配置して測定を実施した。測定ツールとして、通信評価ソフトウェアには Iperf3（独自開発スクリプトを使用）、通信状態確認には ping、通信モニタリングソフトウェア（SNMP）には OpManager を使用した。表 5.5.4-1～表 5.5.4-5 に各測定地点 5 箇所における測定結果を示している。全ての測定箇所で、当初目標としていた「スループット」「パケットエラーレート」を達成し、通信の安定性を確認した。但しスループット値に関しては、本実証にて用いた Sub6 帯ローカル 5G 機器の上限値（約 105Mbps）内での目標値としたため、今後、大容量転送のために更なる性能向上を期待する。また「スループット」「ping 無応答時間」のいずれの検証結果においても、端末が 1m 高よりも 2m 高のほうが良好であった。作業者の遮蔽等による電波伝搬環境の劣化が原因となる性能低下の影響についても 2m 高のほうが少ない傾向となった。基地局と端末との間の経路上には障害物が少ない場所を選択する事が有効であると考えられる。

運用検証では、本課題解決システムの実証を通して運用に関する必要事項を抽出し、運用ルール(案)、およびガイドライン(案)を作成した。表 5.6.4-1 に運用ルール(案)の作成に至る検証フローを示している。検証項目は下記の通りである。

- (1) データ転送確認
 - ・別系統ネットワークからのリモート監視
 - ・設定方法、確認事項のマニュアル化
- (2) トラブル対策
 - ・ローカル 5G システムの動作定期報告（日報）
 - ・トラブル発生時の連絡網の確保
- (3) 安全対策・リスク低減対策
 - ・工程内での実験のための周知徹底
 - ・作業員の妨げとならないような設置の安全性の確保。社内基準の適用

また下記の項目に対するガイドライン(案)を作成した。(詳細は 5.4.5 節を参照)

- (1) 工程内面積規模とスループット
- (2) システム系統図例
- (3) 良好位置探索
- (4) 付加システム
- (5) 安全基準

なお本課題解決システムを導入するにあたっての更なる技術的な課題として、下記項目が想定されるため対応が必要になると考える。

- ・データ転送時の電波状態により中断等、状況確認が必要となる。(リモート監視が必要)
- ・設置後、煩雑なセットアップが必要となること。(現行機器は PoC システムであるため)
- ・水平展開を行うにあたり、判断の目安がわからない場合がある。(ガイドライン拡充が必要)

9.4 ローカル 5G の性能評価等の技術実証

本実証では、工場（屋内）に適した Sub6 帯ローカル 5G の基地局設置条件を求めるための検証が必要であることを技術的な課題と認識し、工場内へのローカル 5G 導入ガイドライン作成に資するデータを取得して既存の電波伝搬モデルに関する工場内の電波伝搬環境を踏まえた新たな係数・補正項の提案等を目指すことを技術実証の目標とした。目標の達成に向けて下記の事項を実施した。

- ・ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等
 - 工場内において、基地局から半径 50m 以内にある 20 箇所程度の測定地点でのローカル 5G に関する無線通信特性を測定し、取得したデータより性能評価、技術的課題の整理、課題の解決方策等について考察
- ・ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等
 - 上記にてとりまとめたローカル 5G の各種データを用いて、工場の内部構造、生産設備の種類や生産ラインの規模等が異なる複数の工場において、それぞれの工場内に適したローカル 5G のエリア構築やシステム構成について考察
- ・その他ローカル 5G に関する技術実証
 - 測定地点周辺の作業や台車等の動作・移動、部材や完成品等の積載・搬送等の環境変動に伴う電波伝搬環境の変化が及ぼす無線通信特性への影響を検証し、置局設計時の回線設計における設計マージン等を検討

実証環境は OKI の本庄工場と太陽誘電(株)の玉村工場の 2 箇所を選定した。2.3 節に、各工場の立地と特徴を示している。本庄工場では約 80m×60m の約 4,800 m²を実証エリアとし、玉村工場では、約 32.5m×19.6m の約 635 m²を実証エリアとした。本庄工場の天井の高さは最大で 4.5m 程度、生産設備の高さは最大で 3m 程度であり、玉村工場の天井の高さは最大で 3m 程度、生産設備の高さは最大で 2m 程度である。図 6.1.2-1 にローカル 5G 評価システムの NW・システム構成、図 6.1.2-2 に設置環境、図 6.1.2-5 基地局側および端末側の外観を示している。本実証にて用いたローカル 5G システムは、5GC (5G コア) 装置、基地局、端末の 3 種類の機器にて構成されている。5GC は可動式ラックへ収容して移設の容易性を確保し、基地局は伸縮性ポールへ搭載して設置高さを調整可能とした。端末は、可動式台車へ搭載してポータブル電源からの電源供給とした。図 6.3.3-2 に本庄工場での基地局の設置場所と測定地点、図 6.3.3-3 に玉村工場での基地局の設置場所と測定地点を示している。

ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等では、上記 2 つの工場において、基地局・端末の配置や高さのバリエーションを変えて無線通信特性を測定した。表 6.3.3-1 に測定項目と測定パラメータを示している。ユースケースに基づき、伝送スループットは UDP (映像伝送)、TCP (ファイル伝送) を検証した。測定結果を表 6.3.4-1～表 6.3.4-16 に示している。伝送遅延時間に関しては、通信距離や伝搬損失、またパケット長の大小によらず、平均値は 10 ミリ秒以下、最大値でも 20 ミリ秒以下となることを確認した。本実証にて用いたローカル 5G 機器では、パケットのデータ長が 1460byte までであれば、ほぼ遅延時間差なく送受信可能であった。最小値と最大値の差異が 10～20 ミリ秒程度になることに

関しては、ローカル 5G 機器が測定ツールを搭載した PC からパケットを受け取ったタイミングと、そのパケットを無線部から送信できるタイミングのズレや、測定ツール（PC ソフトウェア）の処理遅延等が想定される。伝送スループットに関しては、一定の範囲内（通信距離内）において見通し等により電波伝搬環境が良好な場合、本庄工場・玉村工場とも、TCP・UDP また UL・DL いずれの場合も、本実証にて用いたローカル 5G 機器の無線伝送帯域の上限値である約 110Mbps 程度(UL)・約 27Mbps 程度(DL)のスループットとなることを確認した。見通し外、もしくは見通しであっても多数の反射波等により電波伝搬環境が悪く受信電力が低くなる場合、TCP スループットでは大きな影響を受ける。一方、UDP スループットでは、測定値としては上限値に近い値を確保できており影響を受け難いように見えるが、上限値以上のデータ量を送信していること、またパケットロス分をカウントしていないことより、ストリーミング動画等のアプリケーションには影響があると考えられる。

ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等では、上記 2 つの工場におけるローカル 5G の性能評価結果を無線通信特性エリアマップへ展開し、工場の内部構造や生産設備等の差異による無線通信特性への影響を比較検証した。図 6.4.3-1～図 6.4.3-16 に検証結果を示している。一定の範囲内（通信距離内）において見通し環境であれば良好な TCP スループット特性を得られ、また見通し外環境であっても、反射波等により受信電力が高い地点では相応の TCP スループット特性を得られるが、ある一定レベル以上の受信電力を確保できていても TCP スループットが低くなる地点があるため、その地点の周囲環境や測定時のヒトの動作・モノの移動状況を更に精査する必要があると考える。

その他ローカル 5G に関する技術実証では、工場の 1 日のサイクル（製造スケジュール）等に伴う環境変動による無線通信特性への影響を検証した。ヒトの動作・モノの移動等による無線通信特性の劣化要因を置局設計時の設計マージンの算出へ活かすことを目指した。検証結果を図 6.5.3-1～図 6.5.3-5 に示す。本庄工場においては、作業員や台車の通過等の一時的な遮蔽により、受信電力に 2～4dB 程度の劣化が発生し、TCP スループットが低下、また部材・製造品等の積載や台車の配置換えによって電波伝搬環境が変化し、受信電力が 4dB 程度変化することを確認した。更に、朝・昼・夜の時間帯により 2dB 程度の変動があるため、8～10dB 程度の設計マージンを見積もる必要があると考える。

以上の評価・検証により、複雑な内部構造を持つ工場内であっても、一定範囲内において見通しを確保できれば良好な無線通信特性が得られることを確認した。また、見通し外であっても工場内の生産設備（金属性）等での反射波等により受信電力が高い地点は、相応の無線通信特性が期待できることを確認した。但し、作業員や台車等の移動、部材・製造品等の積載、生産設備の配置換え等により電波伝搬環境が変化し、それによって無線通信特性が劣化することを確認した。

上記の技術的課題の解決策として、電波伝搬環境の変化による無線通信特性劣化を軽減するためには基地局を生産設備よりも高く設置することが望ましいと考える。更に端末を作業員や台車、生産設備等よりも高く配置できれば、影響はより少なくなると想定される。事前に測定器等を用いて受信電力を測定することにより、フロアヒートマップを作成・確認して基地局配置を検討することが有効と考える。なお、工場内では多数の生産設備等の反射波によるマルチパスが発生し、ヒトの動作・モノの移動によるフェージングが発生するため、基地局、端末ともに固定設置であっても、移動体通信等に適用されている受信ダ

イバーシティ等のマルチパスフェージング対策は必須になると考える。

更なる技術的課題として、事前の受信電力測定には、基地局を工場内へ設置する必要があるが、そのためには、現行の制度では無線局免許を取得済みでなければならない。つまり、受信電力測定の目的の 1 つでもある「工場内に適した基地局配置（設置場所の調整）」とは順序が逆となってしまふ。従って、測定器等を用いた事前の受信電力測定のために一時的な電波発射を許可することや、無線局免許を取得後であっても、基地局の設置場所の変更には簡易的な手続きを適用する等の条件緩和がなされることが望ましいと考える。それにより移設の容易性向上や展示会等での仮設置へも対応が可能になると考える。また、工場内におけるユースケースは UL 偏重での利用形態が多いと想定され、今後、同期もしくは準同期での運用が基本になれば、ローカル 5G 導入の対象となる分野や利用形態が限定されてしまう可能性がある。非同期での運用、または更に UL 偏重が許容されるようなフレーム構成の適用（準同期の多様化）等の検討がなされることが望ましいと考える。

9.5 実装・横展開に関する検討

実装・横展開に関する検討においては、中小工場にローカル 5G 等の活用により普及モデルを含むデジタルソリューションを実装し、スマートファクトリー化することを目標とした。中小工場への実装に向けては、製造ラインの設計・製作を生業とする SIer（システムインテグレータ）やローカル 5G 支援サービス事業者が連携することを想定した。本コンソーシアムでは、その地域の自治体が参画していることを特徴として検討を実施した。横展開の考え方としては、中小工場との接点が多い SIer を「伝道師」役として見据えることや、事業の中で伝道師役の SIer の数を増やしていくこと、また各 SIer が複数の中小工場への展開を進めることで実装の加速を狙うことを想定した。また 5G ソリューション提供センターの役割として、SIer が横展開を進める中で生じた課題に対してその解決策となる情報提供を行うことを想定した。図 7.1.2-1 に事業モデルの構想図、図 7.1.3-1 に実装及び横展開の実施体制を示している。

持続可能な事業モデル等を構築・計画するにあたり、コスト面、体制面からの検討が必要と考えた。事業パターン a)、 b)、 c) を考案し、成立性が最も高いと考えられるパターン c) にて検討を進めることとした。県（産業技術センター）ではパブリック 5G を活用し、ローカル 5G はコンソーシアム内のローカル 5G 支援サービス事業者に常設（免許人は OKI）することを想定した。横展開のフローとして、ソリューション体験から製造現場への実装までを想定し、それぞれ実施主体と実施場所を検討した。ソリューション体験段階における実施主体はコンソーシアム、設計段階における実施主体は SIer（生産設備メーカー）とローカル 5G 支援サービス事業者）とした。また実施場所として、現場への基本成立性テストまではコンソーシアム、組込み成立性テスト以降は設置現場とした。図 7.2.3.1-1 に横展開におけるフローを示している。その際の県（産業技術センター）の役割は、県内製造業に対しては DX 化推進に向けた更なる意識付けを行うこと、県内 SIer に対しては現場への実装を広めるための「伝道師」として育成することを想定している。マネタイズにおける収益源として、県（産業技術センター）は地方創生推進交付金や共同研究費・技術支援手数料での収入を想定し、ローカル 5G 支援サービス事業者はローカル 5G 支援サービス事業やシステム提供事業での収益を想定している。令和 3 年度以降、次期コンソーシアムを設立し、中小 SIer を横展開の実働者として巻き込んだ活動を実施することを計画している。図 7.2.1.2-1 に展開計画、図 7.2.3.2-1 にデモ・試験場所の役割、図 7.2.3.4-1 にマネタイズでの収益源を示している。

横展開に資する普及モデルとして、最も多くの企業からニーズがある「外観検査異常判定システム」を選定した。普及モデルとするためには、検査対象、環境、運用、サポート性、コストを考慮する必要があるが、それらを満足する代表事例としては沖電気工業(株)製のシステムが望ましいと考える。なお実装・横展開する際に想定される課題への対応として、以下の事項を検討した。

- (1) ローカル 5G の構築手続き
 - ・ SIer の人材育成
 - ・ 構築支援サービスの情報提供

(2) ローカル 5G の構築費用

- ・ 機器導入・運用方法でのコスト低減策の検討
(5G コア管理のクラウドサービス化を含む)
- ・ 補助事業の設定の可能性の検討

(3) PC への AI 組込み (Open Source 対応)

- ・ 共同研究での組込み技術の支援
- ・ ソフトウェアを含む切れ目ないフォロー

共同利用型プラットフォーム (PF) に関しては、SIer にソフトウェア組込み技術が不足しているという実証結果を踏まえた課題に対して、SIer へ Linux や Open Source 等のソフトウェア組込み関連の下記技術情報を供給する機能を具備することが望ましいと考える。

- ・ プログラマーのための技術情報共有サービス (Qiita など) による情報提供
- ・ リポジトリ (GitHub など) による情報提供
- ・ コンテナ (Docker など) による構築済みの環境の提供

また共同利用型 PF への具備・汎用化等が可能な I/F 等の考え方としては、課題解決システムの 1 つとした「外観検査異常判定システム」において、運用状況管理等を目的とする上位システムを、共同利用型 PF に実装し、その上位システムに対するインターフェースを汎用インターフェースとして公開するということが想定される。

10. 参考資料

10.1. 報道発表

(1)

- ・年月日：2020年9月17日
- ・件名：総務省「地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証に係る工場分野におけるローカル5G等の技術的条件等に関する調査検討の請負」を受託
- ・内容：本テーマを受託したことを紹介
- ・掲載箇所：OKI プレスリリース
<https://www.oki.com/jp/press/2020/09/z20050.html>

10.2. システム研修資料（事業で作成されたもの）

- ・特になし。