

地域課題解決型ローカル 5 G 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 5 G 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)

報告書

概要版

2021年3月

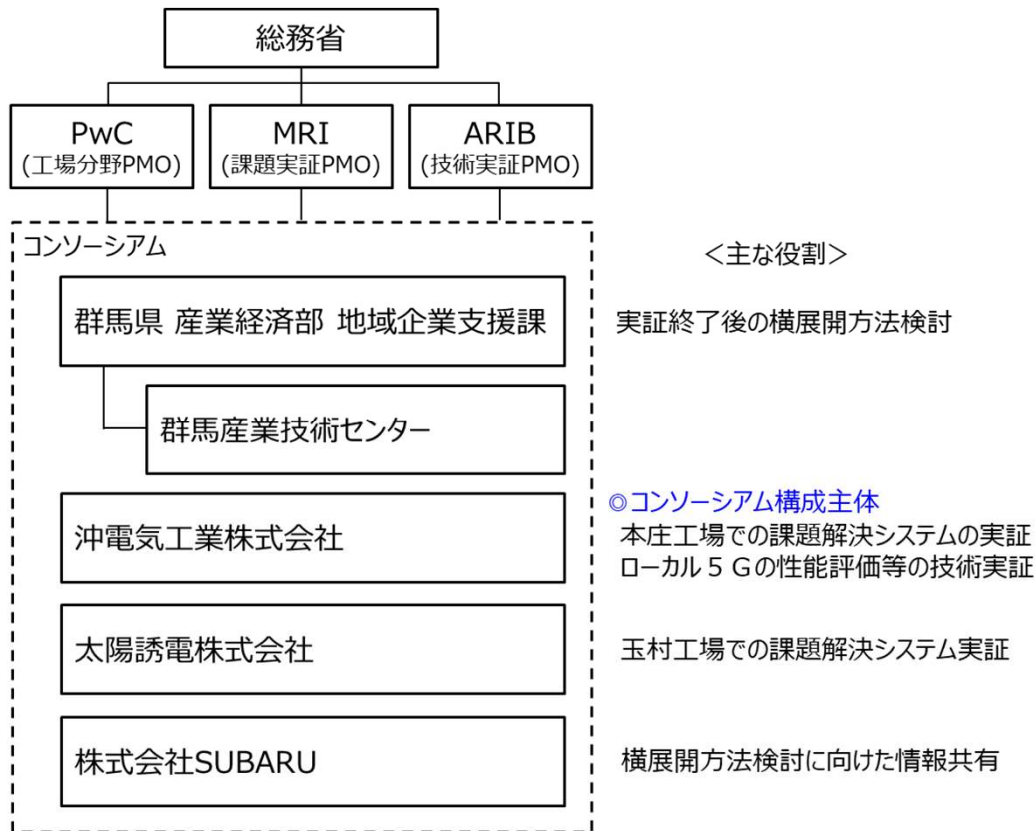
沖電気工業株式会社
(群馬県ローカル5G活用コンソーシアム)

実証概要

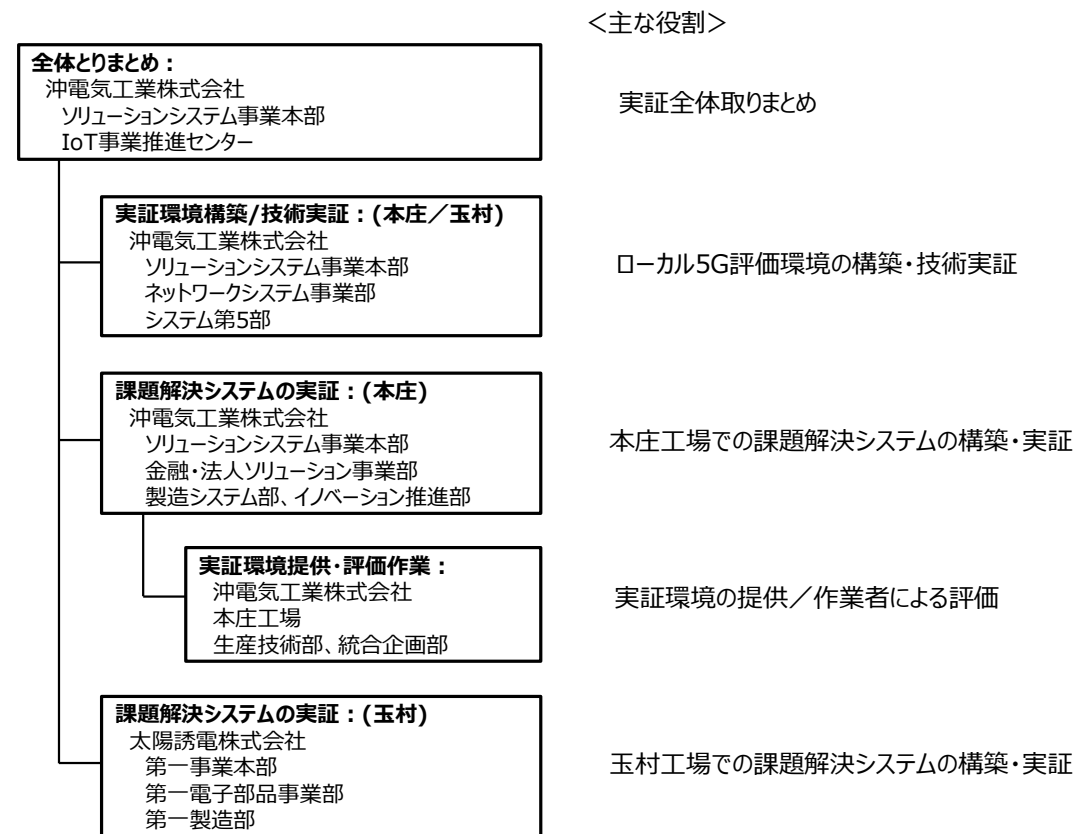
実証概要：実証体制

- 群馬県/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)、太陽誘電(株)、(株)SUBARUにて「群馬県ローカル5G活用コンソーシアム」を組成。(NDA, 協定を締結)
- 沖電気工業(株)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。

■ コンソーシアム体制



■ 実証実施体制



■ 免許人

- ・ 沖電気工業株式会社

実証概要：対象とした地域等課題及び本実証の課題解決システムとの関係性

- 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、課題を抽出。
- 抽出した課題に対して有効と想定される2つの解決案（課題解決システム）を実証対象として選定。

■ 地域課題

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、様々な課題に直面している。

■ 課題解決案

● 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キズ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。

⇒「組立・検査工程における製品の自動目視検査システム」を課題解決システムとして設定。

● 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発生する課題がある。

⇒「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」を課題解決システムとして設定。

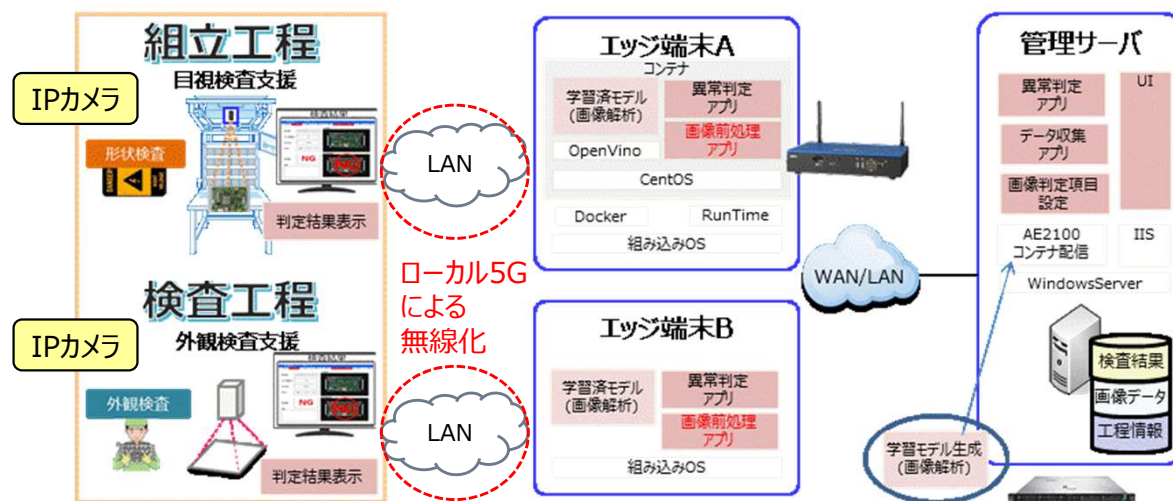
実証概要：課題解決システムの全体像

- 選定した2つの課題解決システムの構成・機能を整理。
- ローカル5Gによる無線化の適用ポイント（IPセグメンテーション）を検討。

■ 外観検査異常判定システム

システム概要：

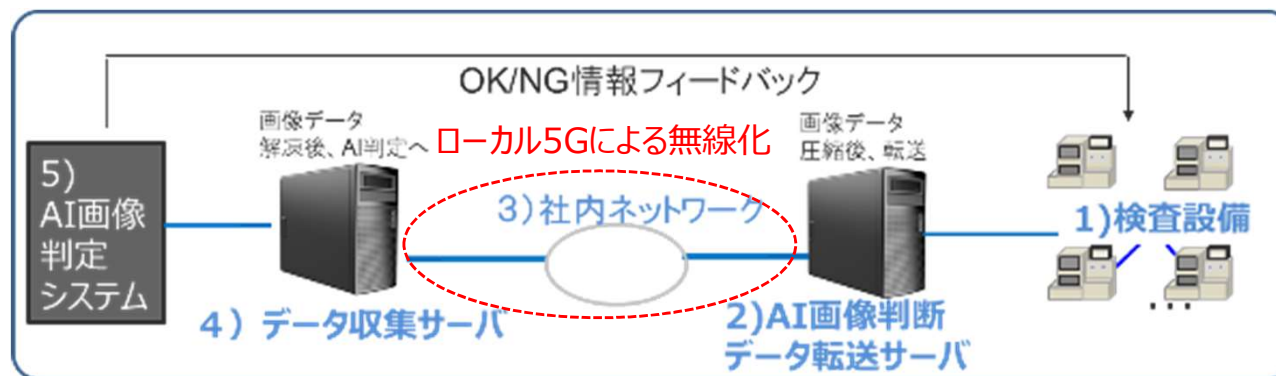
組立/検査工程における目視確認作業の自動化を目的とし、IPカメラからの高精細映像をローカル5Gを用いて上位のAI画像解析装置へ送信し、画像解析による外観異常検知を実行



■ 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



実証概要：実証環境

- 実証場所として、沖電気工業(株)の本庄工場と太陽誘電(株)の玉村工場を選定。
- 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。

〒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



※ 基地局増設および陸上移動局いずれも黄色枠の建物(屋内)に設置。

〒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

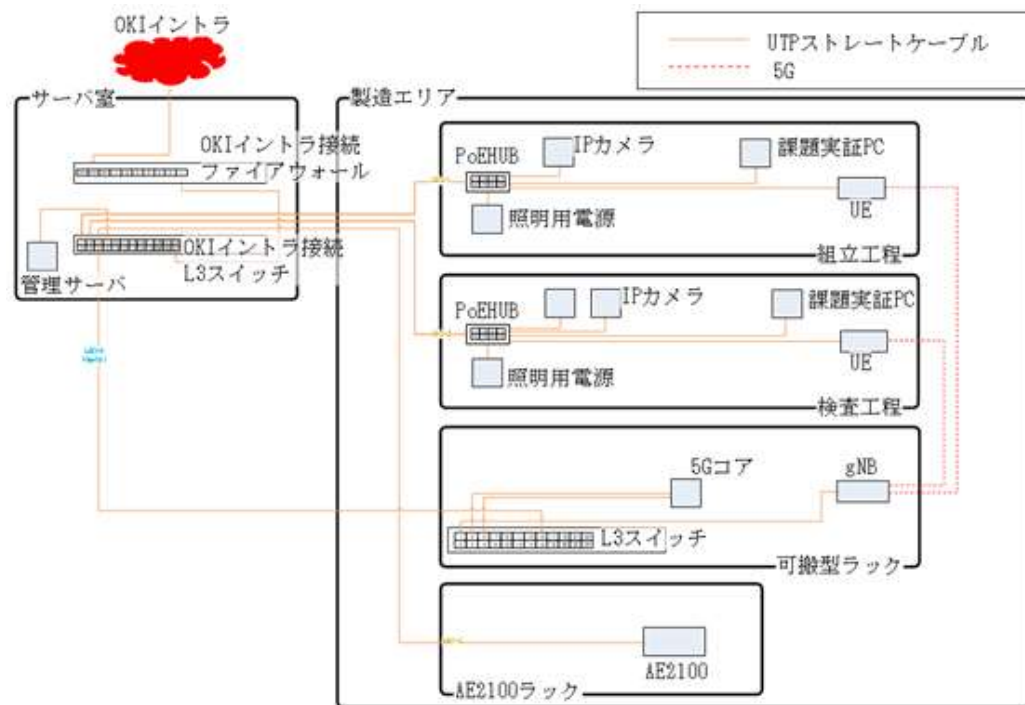


※ 基地局増設および陸上移動局いずれも黄色枠の建物(屋内)に設置。

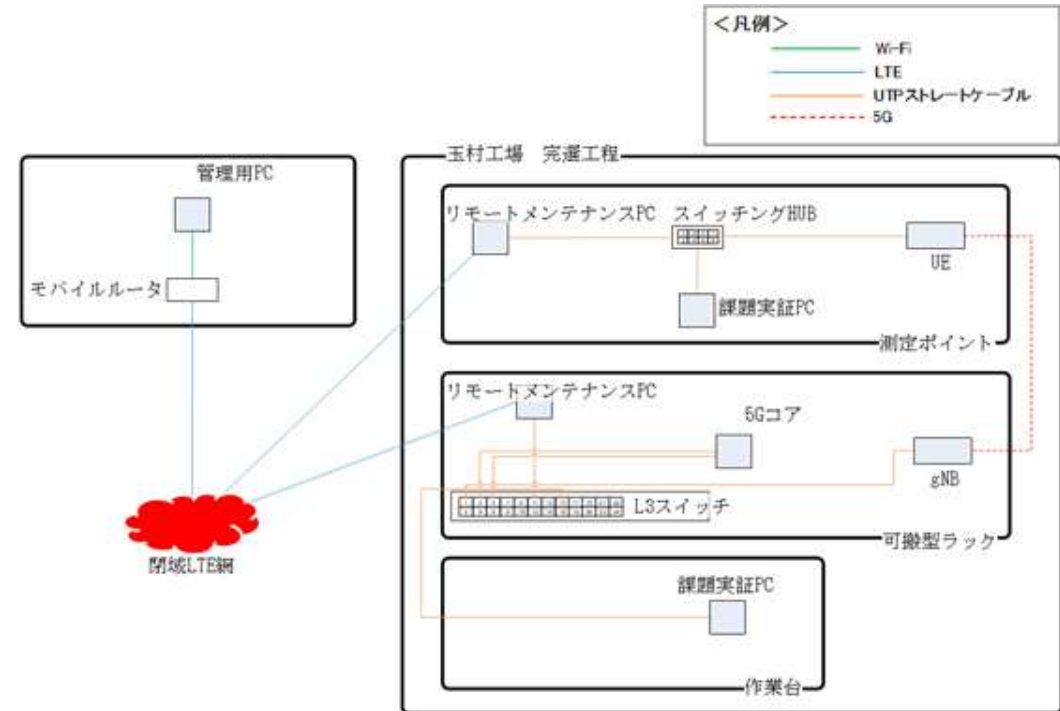
実証概要：実証環境

- 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。
- 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。

■ ネットワーク構成図



沖電気工業(株) 本庄工場



太陽誘電(株) 玉村工場

実証概要：実証環境

- 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。
- 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。

■ローカル5Gシステムの主な技術的諸元

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	

課題解決システムの実証（１）

～外観検査異常判定システム～

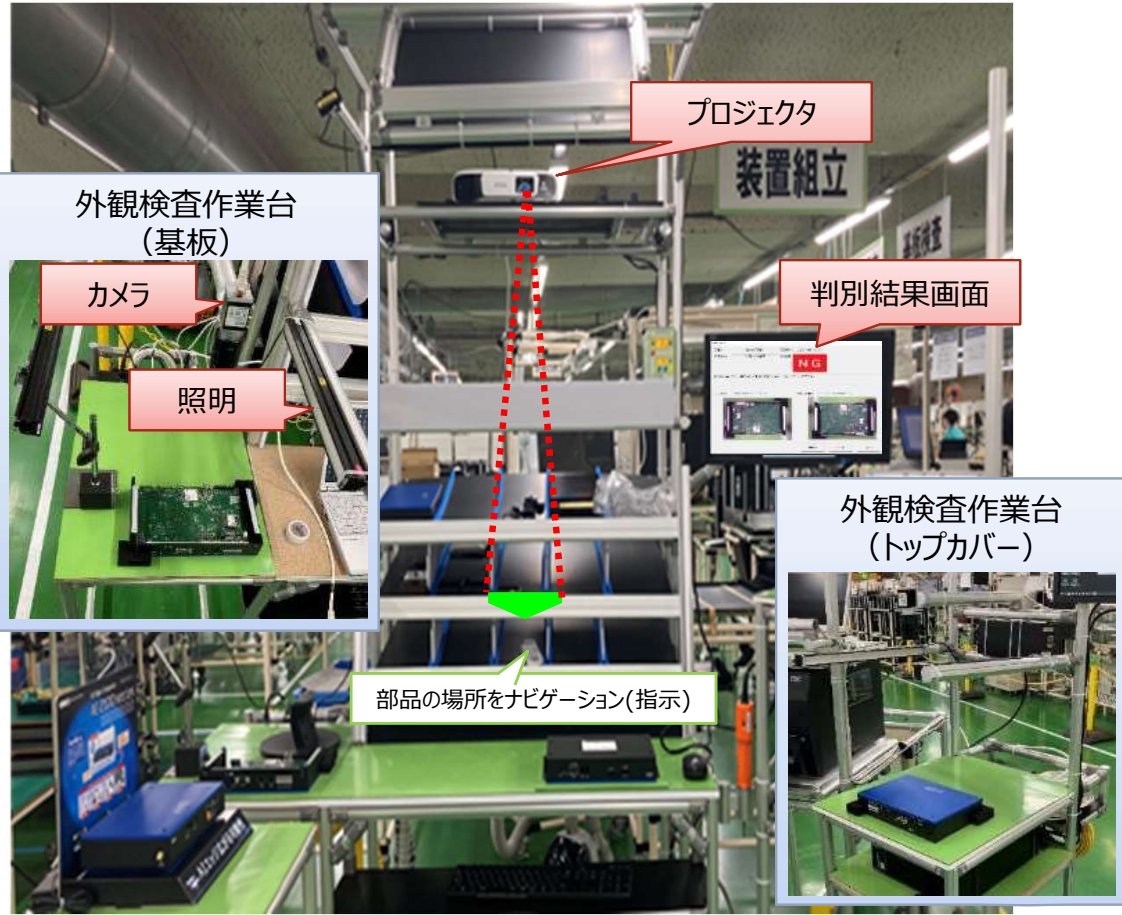
課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）：実証目標

■ 実証目標

中核工場においてローカル 5 G 等の無線通信システムを用いた課題解決システムを構築し、システムの効果面／機能面／運用面について評価・検証を実施し、横展開に向けた課題の洗い出しと、その解決策を導き出すことを目標とする。

■ 課題設定

群馬県の中小企業および沖電気工業（株）の本庄工場に対して現場課題のヒアリングを実施した結果、人手不足が深刻かつ熟練者の技術ノウハウが必要とされる「組立工程」・「外観検査工程」にて、筐体のキズ見落としや工程飛ばしといった問題があった。



課題解決システム（本庄工場）

■ 課題解決システム

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 A I 画像解析を活用した製品の自動目視検査システム」を、本庄工場の内製製品 A の製造ラインに構築し検証をおこなった。

★：ローカル5G活用工程

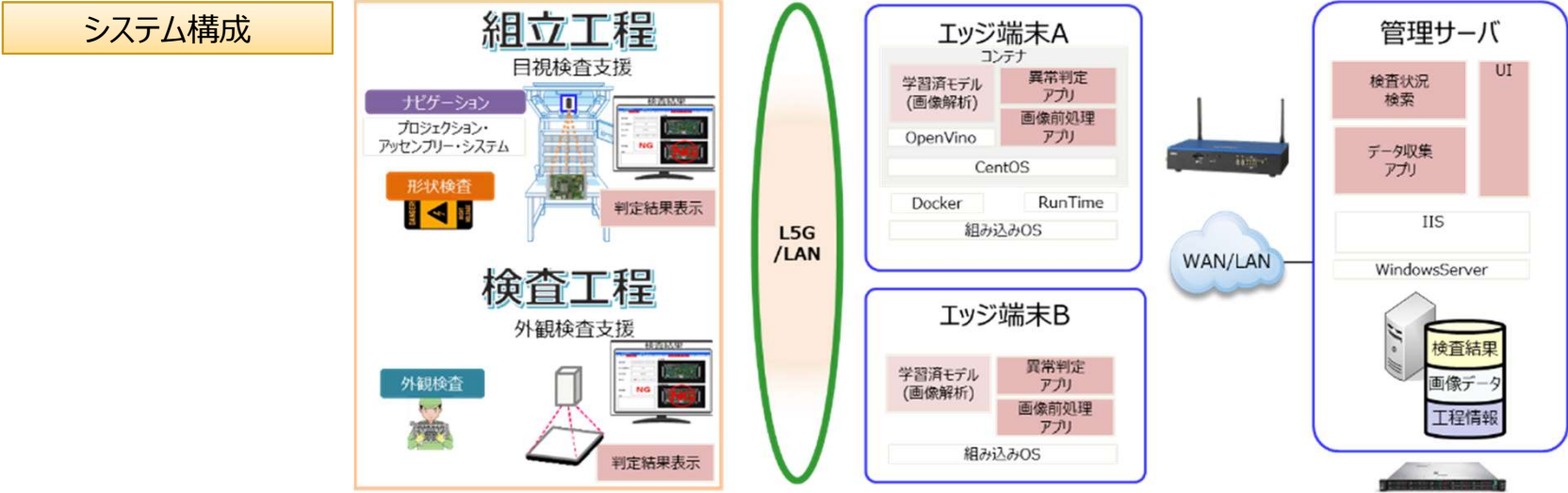
内製製品Aの組立工程・外観検査工程		課題解決システム適用有無	
組立工程		プロジェクション・アッセンブリ・システム（※1）	外観異常判定システム（※2）
六角スペーサの取付		○	-
リアカバーの取付		○	-
基板の取付/目視検査★		○	○(※3)
フロントカバー/ゴム足の取付		○	-
スリムヘッドコネジ/アースねじの取付		○	-
ラベルの貼付		○	-
外観検査工程			
トップカバーの目視検査★		○	○(※3)

課題解決システムは、大きく以下のシステムによって構成される
※1)プロジェクション・アッセンブリ・システム：工順に沿った組立作業のナビゲーション
※2)外観異常判定システム：目視検査作業の自動化/画像判定による良否判定
※3)映像伝送にてローカル5Gネットワークを活用

検証工程（組立工程・外観検査工程）

課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）：検証内容

「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、現作業にかかる工数削減などの**効果面**、目視検査における検査項目、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**、といった観点で実証実験を実施する。



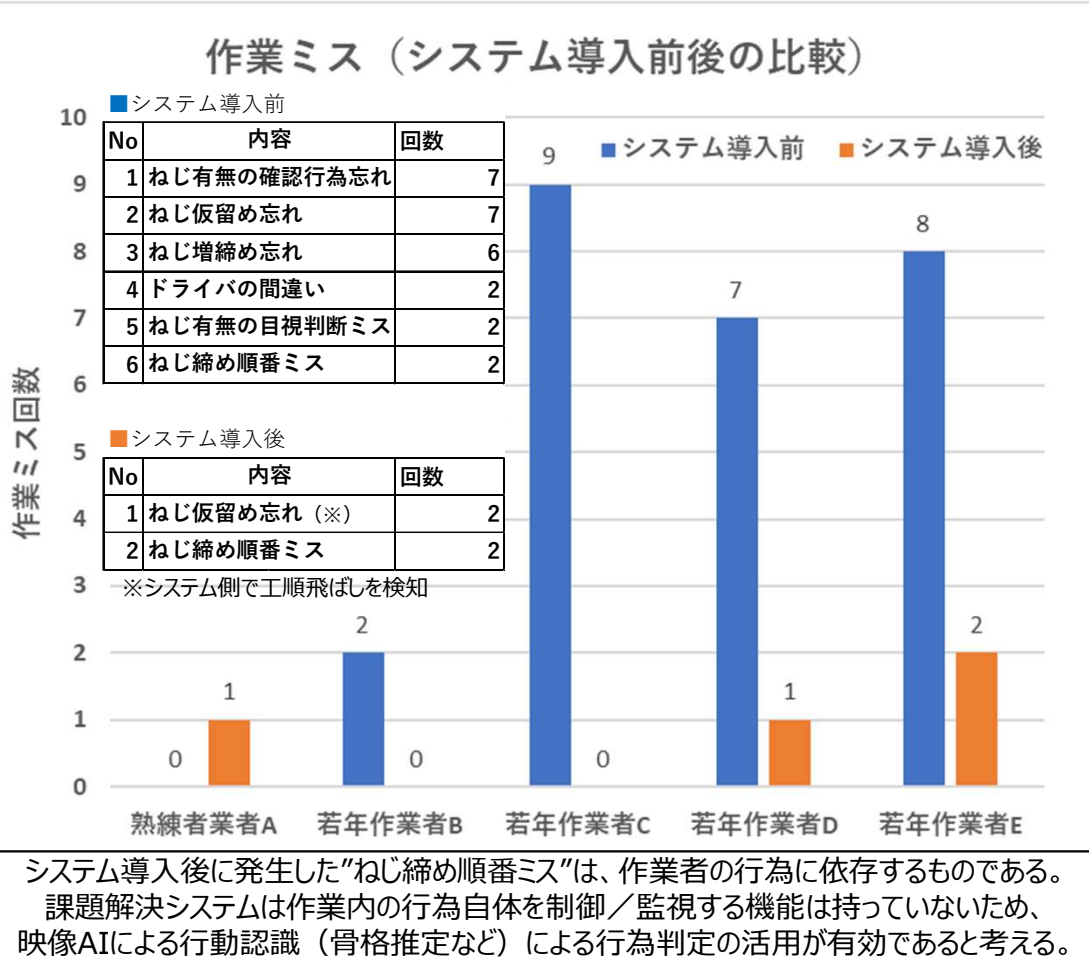
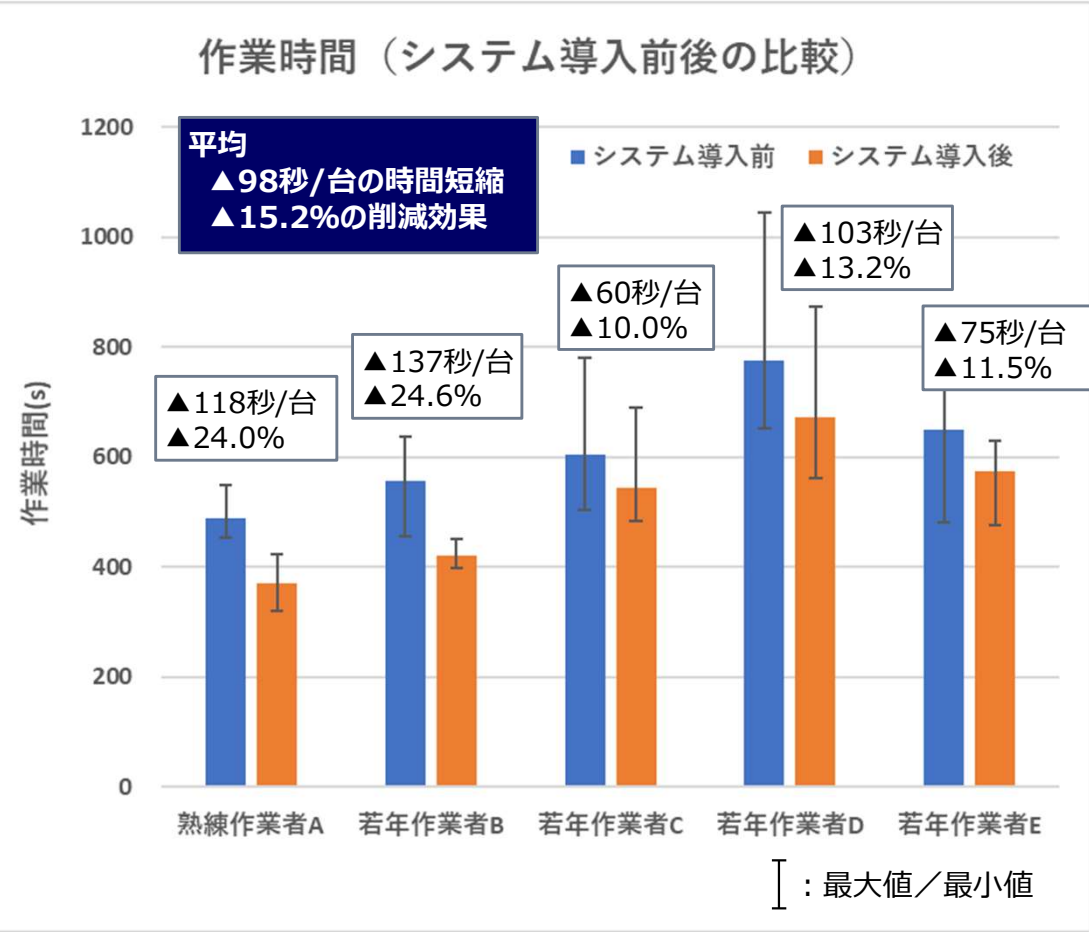
観点	No	実証目標／検証項目
効果面		実証目標：課題解決システムを導入することで、作業時間の短縮、作業ミスの低減、また作業難易度／肉体的負担／精神的負担が軽減できるか効果を考察する。
	1	課題解決システムの導入前後の作業時間（組立・検査工程）を測定し、その結果から作業効率を検証・評価する。
	2	課題解決システムの導入前後の作業ミス（工程飛ばし・目視確認時の判断ミス）を測定し、その結果から品質を検証・評価する。
	3	課題解決システムの導入前後で、作業難易度の変化／肉体的な負担の変化／心理的な負担の変化／管理面でのデータ活用についてアンケート調査する。
機能面		実証目標：外観異常判定システムを評価し、映像伝送に必要なネットワークと映像解析精度の相関関係／高い映像解析精度に必要な構成を考察する。
	4	不良品（基板のねじ無し・トップカバーキズ）の画像解析を行い、その検査結果から解析精度を検証・評価する。
	5	目視検査の判定基準に対して、測定した検知精度が基準を満たしているか測定し、その結果から品質を検証・評価する。
	6	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し、その結果からリアルタイム性を検証・評価する。
運用面		実証目標：課題解決システムの運用面における課題を洗い出し、その課題に対する解決策を考察する。
	8	課題解決システムを製造現場に適用した場合、従来と同等以上の業務遂行が可能か、使い勝手の観点で調査する。
	9	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、当該システムの設置／据付調整に問題が生じないか、環境面・安全面の観点で調査する。
	10	課題解決システムを日常的に活用していく上で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か、維持メンテの観点で調査する。

課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）：効果検証

課題解決システム導入前後の環境で、被験者5名(熟練作業員×1名、若年作業員×4名)に内製製品Aの組立・検査作業を10回ずつ行って貰い、“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/精神的負担の変化をアンケート調査した。

- ・作業時間の短縮と作業ミスの低減を確認した。
- ・作業難易度/肉体的負担/精神的負担が低減した。

【考察】不良品発覚時の手戻りコスト、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。



課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）：機能検証

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を実施した。

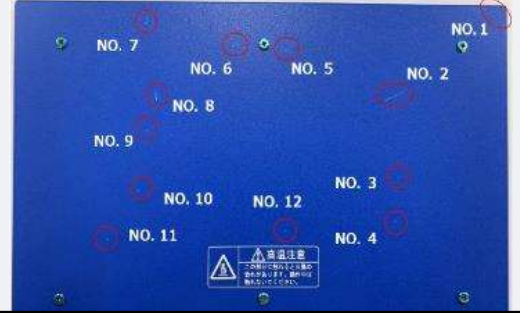
①基板検査：13箇所の内2箇所ねじを外した状態で検査

②トップカバー検査：12箇所傷がついた状態で検査

・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にあることが分かった。

・本検証環境で用いたローカル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。

【考察】高精細な画像にて精度の高い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画像解析処理（エッジ処理）を行う構成が有効であると考える。

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 	ねじ無し箇所：No.5、No.7	5472×3648	500～800	2.979（エッジ端末A）	×（※）	2/2（検知数/ねじ無箇所）
				1.043（エッジ端末B）		
		4104×2736	200～450	2.825（エッジ端末A）	×（※）	2/2（検知数/ねじ無箇所）
				1.034（エッジ端末B）		
		2736×1824	90～200	2.037（エッジ端末A）	○	2/2（検知数/ねじ無箇所）
				1.033（エッジ端末B）		
		1368×912	20～60	1.790（エッジ端末A）	○	2/2（検知数/ねじ無箇所）
				1.032（エッジ端末B）		
2 トップカバーの傷有無検査 	外観判定基準上NGの傷：2,5,6,7,8,11,12	5472×3648	500～800	3.605（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
				1.971（エッジ端末B）		
		4104×2736	200～450	3.454（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
				1.688（エッジ端末B）		
		2736×1824	90～200	1.007（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
				1.044（エッジ端末B）		
		1368×912	20～60	1.042（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
				0.929（エッジ端末B）		

※「ローカル5G伝送可否」が×となっている項目の判定結果は、ローカル5Gネットワークから切り離し、有線LANを用いて実施。

課題解決システムの実証（外観検査異常判定システム）：運用検証

課題解決システムを実運用するにあたり「使い勝手」、「環境面・安全面」、「維持メンテ」の観点で、課題抽出および対応策の検討を行う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。

・運用で一番負担となるのは、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」であると回答が得られた。

【考察】映像解析は撮像環境の変化により、画像解析精度は大きく影響を受けるため、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。

観点	検証項目	検証結果
維持メンテ	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員に負担が生じるなどの問題はないか。	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。
	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。	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。
	障害時の対応など、非定常的な運用事項に関して、作業員にとって新たに生じる負担など運用上の問題がないか。	障害時にシステムが停止しても、熟練作業員が代行して目視検査するので、運用上問題ない。

■課題

- ・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。
- ・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（案）

- ・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)
- ・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。

課題解決システムの実証（２）

～画像判断データ転送システム～

課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）：実証目標

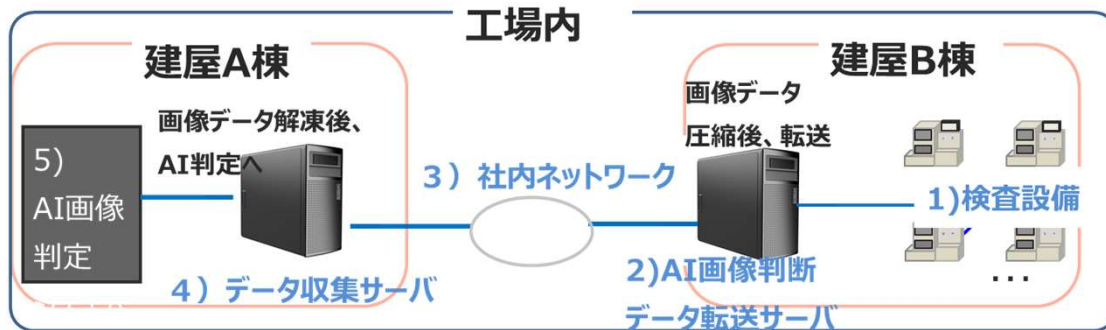
■ 実証目標

実証場所：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）玉村工場）

1. ローカル5G無線通信システムを用いた課題解決モデルの構築を目指す
 - ・「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」
 - ・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
2. 横展開への貢献：工場においてローカル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。

■ 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

課題設定全体システム



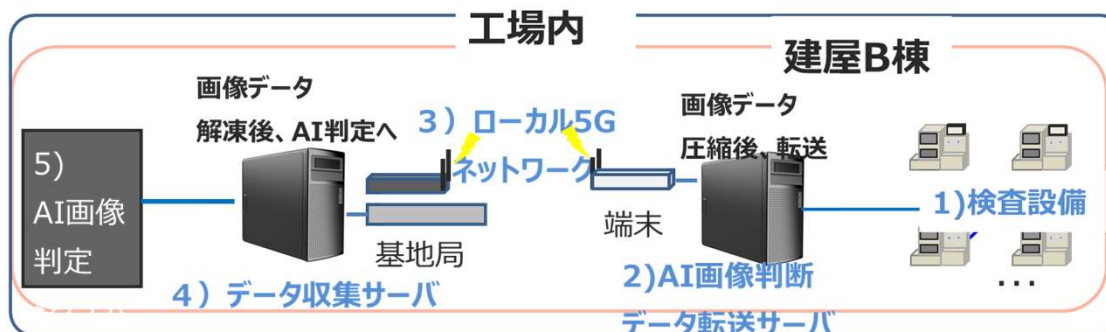
システムは以下の順でデータ転送される。

- 1) 検査設備データ→2) AI画像判断データサーバ→3) 社内ネットワーク→4) データ転送サーバ→5) AI画像判定システム

課題抽出：社内ネットワークと共用であるためトラフィック逼迫時データ転送スピードダウン、エラーが出る。

検証：データ転送の省力化・無人化・効率化、設置の自由度

課題実証モデル 同一建屋内に全システムを収容するモデル。



工程の中央に基地局設置
5か所端末を移動させそれぞれ、スループット、パケットエラーレートを測定する。
転送中断、設置位置について検討する。

課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）：効果検証

■ 課題解決システムに関する効果検証

検証内容 「自動化・省力化・無人化」 「設置の自由度」

- ・4時間データ転送を停止せず完了できたかどうかを確かめる。（表1）
- ・従来の場合と、今回の場合のメンテナンス工数の比較を行う。（表2）
- ・設置の自由度を検証する。5か所の端末設置は可能かどうか。有線と5G無線の工事費比較

表1 データ転送完了状況								表2 メンテナンス工数比較						
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	目標 自動化 省力化 無人化	確認項目	目標値	今回の結果 工数		従来工数	
No	高さ													
1	1m	4	0	0	0	完了			転送終了確認回数	0 回/日	1回/日1分	0.5H/月	1回/日10分	5 H/月
	2m	4	0	0	0	完了			中途停止回数	0回	0		5 回/月	2.5H/月
3	1m	4	0	0	0	完了			停止復旧作業時間	0	0		30分	
	2m	4	0	0	0	完了			再転送設定確認	なし	なし		20分	5 H/月
12	1m	4	0	0	0	完了			機器再起動		1回/週30分	2 H/月		
	2m	4	0	0	0	完了			小計 (月)			2.5H/月		12.5H/月
17	1m	4	0	0	0	完了			年間工数合計			18H/年		150H/年
	2m	4	0	0	0	完了								
19	1m	4	0	0	0	完了								
	2m	4	0	0	0	完了								

設置の自由度検証 → レイアウト変更の有線と5G無線の工事費比較
レイアウト変更毎に必要であった主回線（基地局-端末間）の工事が不要。（測定位置の5か所の範囲）
この工事を1回50,000円として年間4回レイアウト変更するとなると
50,000円×4回＝200,000円/年 の効果。

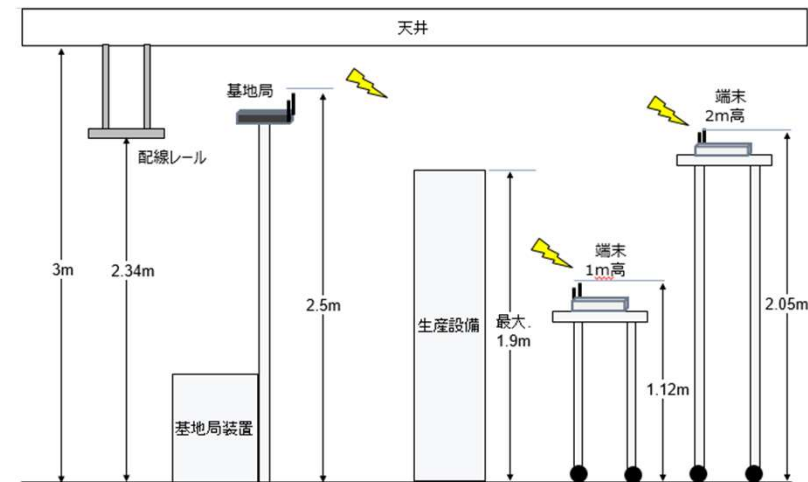
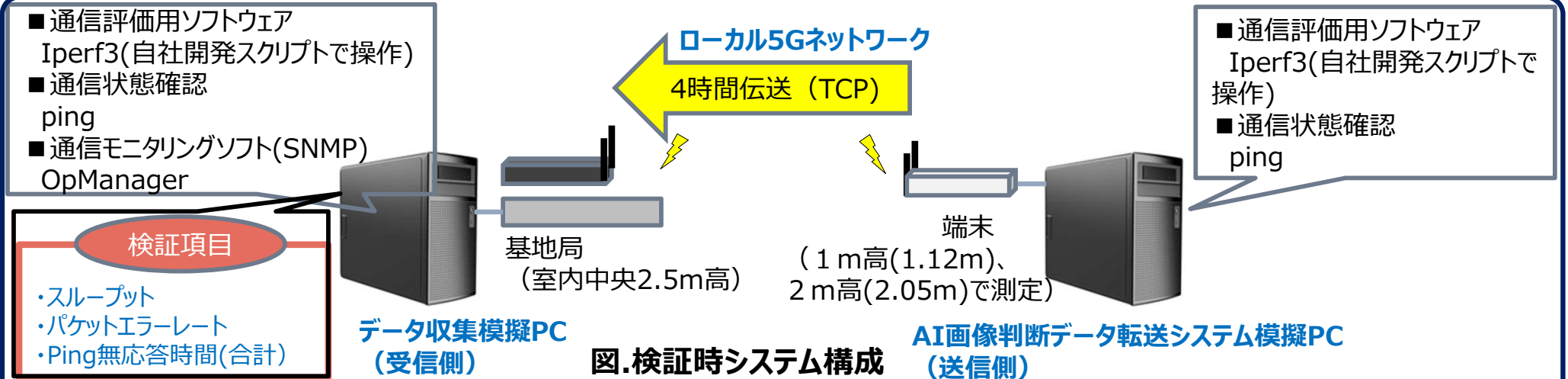
効果
年間を通じて、**メンテナンス工数 132H/年 ネットワーク工事費 20万円/年**の効果となった。

課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）：機能検証

■ 課題解決システムに関する機能検証

検証方法

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）を記録した。基地局は室内中央に2.5m高に設置。端末は1m高、2m高で、5か所選択した場所で測定を行った。



課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）：機能検証

■ 課題解決システムに関する機能検証

結果

表.課題実証結果

取得項目	目標値	各測定地点結果					
		端末高さ	地点名1	地点名3	地点名12	地点名17	地点名19
スループット (4時間平均)	70Mbps	1m高	88.3Mbps	87.9Mbps	105Mbps	101.2Mbps	101.2Mbps
		2m高	101.3Mbps	98.8Mbps	105Mbps	102.7Mbps	102.1Mbps (※1 98.3Mbps)
パケットエラーレート	0.05%	1m高	0%	0%	0%	0%	0%
		2m高	0%	0%	0%	0%	0%
Ping無応答時間 (4時間合計)	-	1m高	1575秒	1588秒	188秒	981秒	491秒 (※1 566秒)
		2m高	534秒	797秒	172秒	438秒	291秒 (※1 908秒)

※1 作業者接近による通信速度低下期間(約32分) 含んだ場合

当初目標として挙げた「スループット」「パケットエラーレート」とともに全地点でその値は上回り、通信の安定性については確認できた。

ただし、スループットに関しては現行機器(最大105Mbps)の規格内での目標値であり、今後、大容量転送の為に更なる性能の向上を期待する。

課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）：機能検証

■ 課題解決システムに関する機能検証

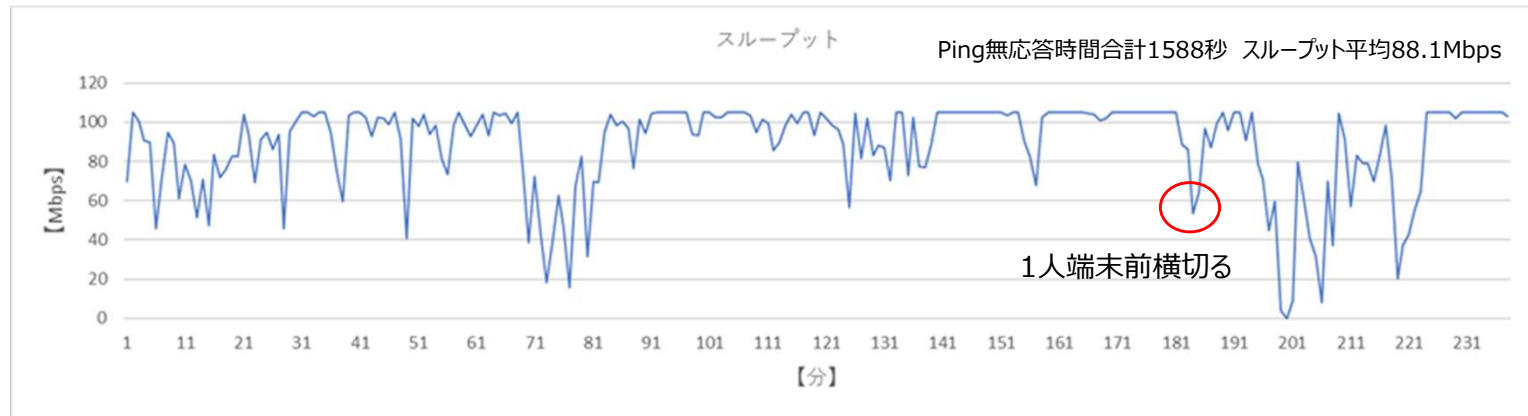


図. (例) 測定地点1 1m高スループット【分】

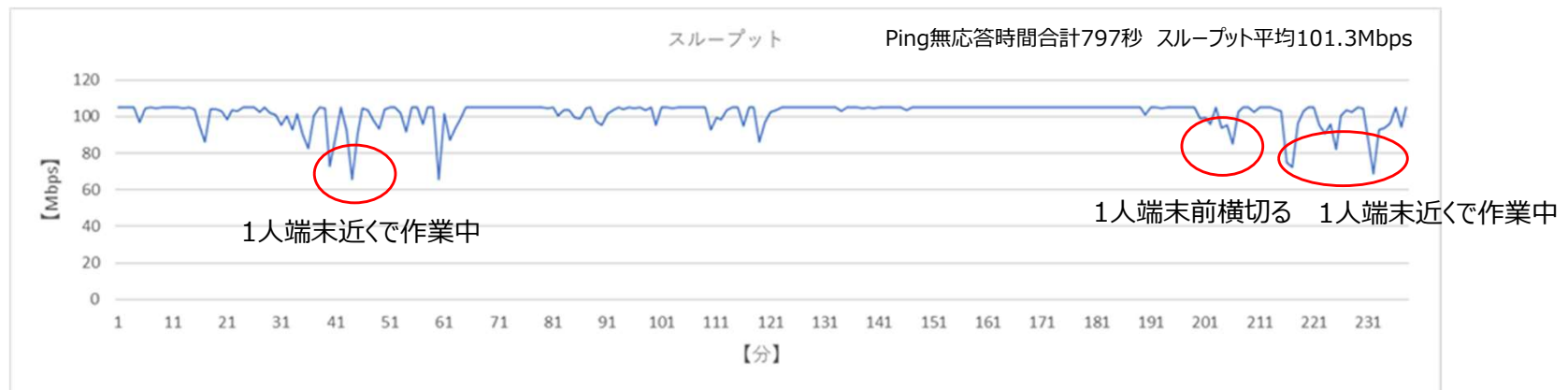


図. (例) 測定地点1 2m高スループット【分】

考察

「スループット」「Ping無応答時間」のいずれの検証項目も1m高よりも2m高の結果が良好であった。作業者が原因となる性能低下の影響についても2m高の方が少なかった。他の地点についても同様の傾向が表れており、基地局と端末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。

課題解決システムの実証（画像判断データ転送システム）：運用検証

■ 課題解決システムに関する運用検証

- ・課題解決システムの課題実証実験を通して運用に関する必要事項を抽出し、運用ルール化、ガイドライン作成。

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 ・設定方法、確認事項のマニュアル化	左記項目を基本として、「運用ルール案」を作成。
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	

・ガイドライン案

1) 工程内面積規模とスループット	2) システム系統図例	左記項目を「ガイドライン案」として作成。
3) 良好位置探索	4) 付加システム 5) 安全基準	

・課題

- (1) 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）
- (2) 設置後煩雑なセットアップが必要となること。（POCシステムであるため）
- (3) 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）

ローカル 5 G の性能評価等の技術実証

技術実証：実証概要

■ 背景となる技術的な課題

- 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

■ 技術実証の目標

- 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、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・補正項の提案等を旨とする

■ 実施事項の概要（仕様書ア、イ、ウの概要）

■ 仕様書ア

- 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

■ 仕様書イ

- 上記ア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での検証を行い、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考察

■ 仕様書ウ

- 測定地点周辺の作業員や台車等の動作・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

技術実証：実証環境

実証環境の特徴（工場環境の特徴、設置環境）

■ 沖電気工業(株) 本庄工場

- 製造物：通信装置等の電子機器
- 屋内面積：約4,800㎡ (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
- 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



埼玉県本庄市小島南4-1-1

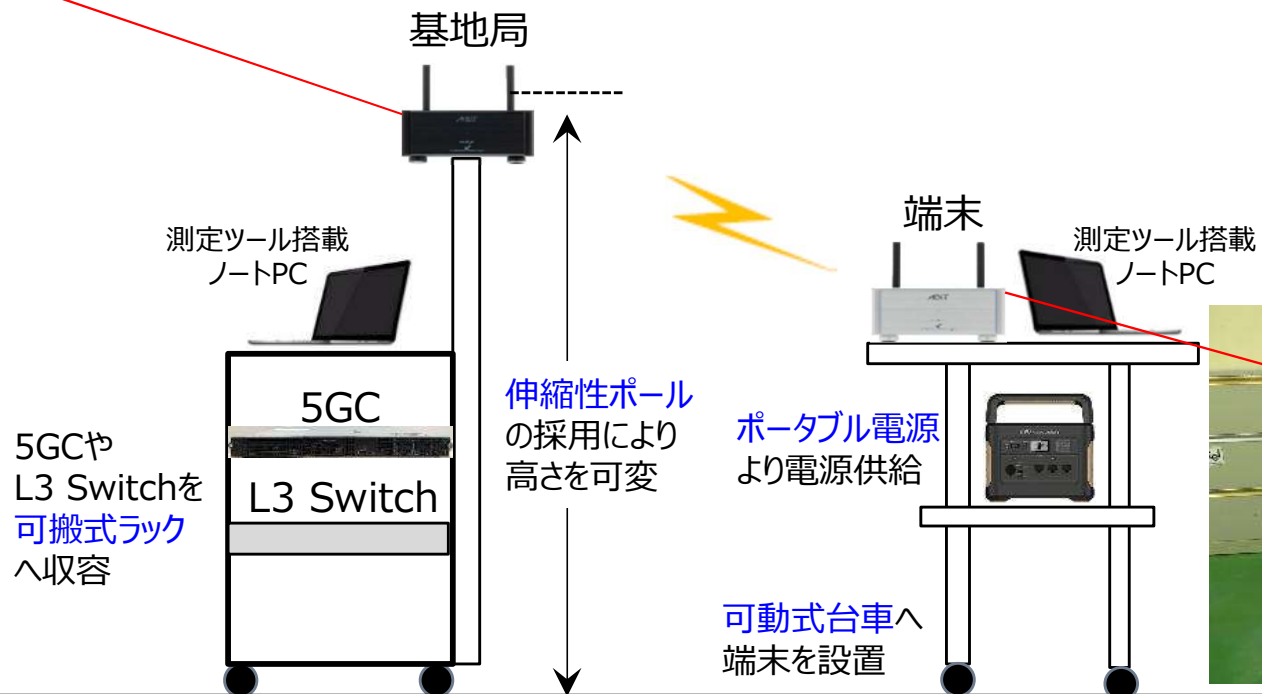
■ 太陽誘電(株) 玉村工場

- 製造物：コンデンサ等の電機部品
- 屋内面積：約370㎡ (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
- 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



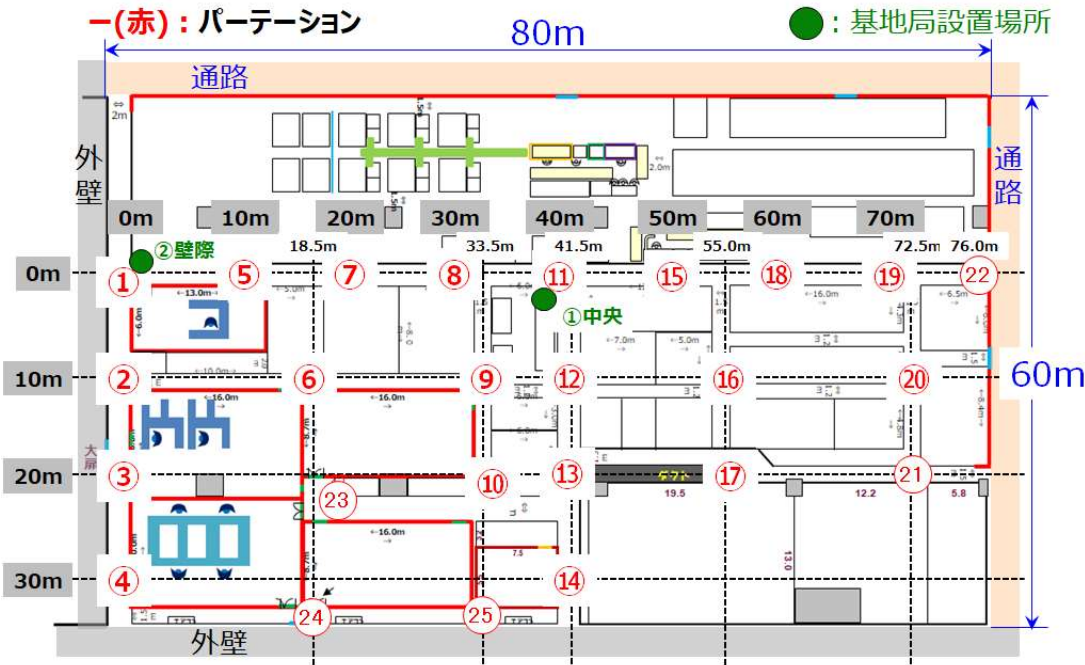
群馬県佐波郡玉村町川井1796-1

技術実証：ローカル5G評価システム構成

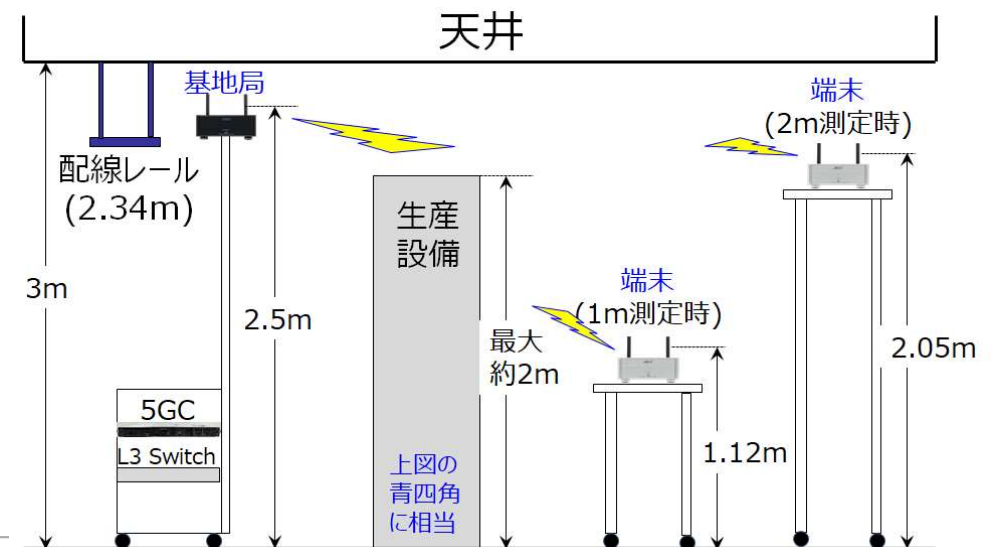


技術実証：各工場レイアウト（測定ポイント）

■ 沖電気工業(株) 本庄工場



■ 太陽誘電(株) 玉村工場



技術実証：ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

- 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。
- 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。

性能要件

- 沖電気工業(株) 本庄工場：外観異常判別システム
 - 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い異常判別が可能
- 太陽誘電(株) 玉村工場：画像判断データ転送システム
 - データ種別：JPEG形式／PNG形式の検査画像データ
 - 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：4.5TB/日のデータ量

検証項目、検証方法

- 測定項目
 - 受信電力（約1秒ごとに100サンプル）
 - 伝送遅延時間（測定パケット数：10,000パケット）
 - 伝送スループット（測定時間：60秒）
- 環境パラメータ
 - 基地局の位置：フロア中央／壁際
 - 基地局の高さ：3m／4m（本庄工場），2.5m（玉村工場）
 - 端末の高さ：1m（本庄工場），1m／2m（玉村工場）
- 通信パラメータ
 - 通信プロトコル：TCP／UDP（伝送スループット／伝送遅延時間）
 - 通信パケットサイズ：46byte／1460byte（伝送遅延時間）
 - 通信方向：ダウンリンク／アップリンク（伝送スループット，伝送遅延時間）

技術実証：ユースケースに基づくローカル5 Gの性能評価等（検証結果）

■ 玉村工場：伝送遅延時間

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

■ 玉村工場：伝送スループット

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

伝送遅延時間：

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10ミリ秒以下、最大値でも20ミリ秒以下であることを確認。本実証で用いたローカル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。最小値と最大値の差異10～20ミリ秒程度に関しては、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で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)の処理遅延等を想定。

伝送スループット：

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、本実証で用いたローカル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)のスループットを確保。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、測定値としては高速を維持できており、影響を受け難いようにみえるが、無線伝送帯域の上限値以上のデータ量を送信しており、またパケットロス分をカウントしていないため、ストリーミング動画等のアプリケーションには影響があると考え。

技術実証：ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

- 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をエリアマップへ展開。
- 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エリアマップにて比較検証。

検証項目、検証方法

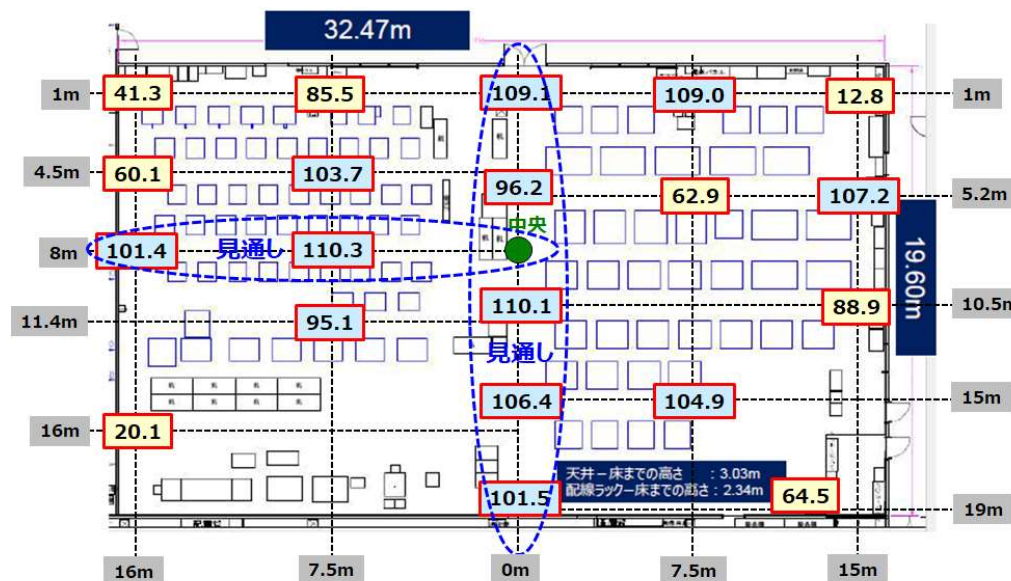
■ 検証項目

- アップリンクTCPスループット (平均値) / 受信電力 (伝搬損失) (中央値)

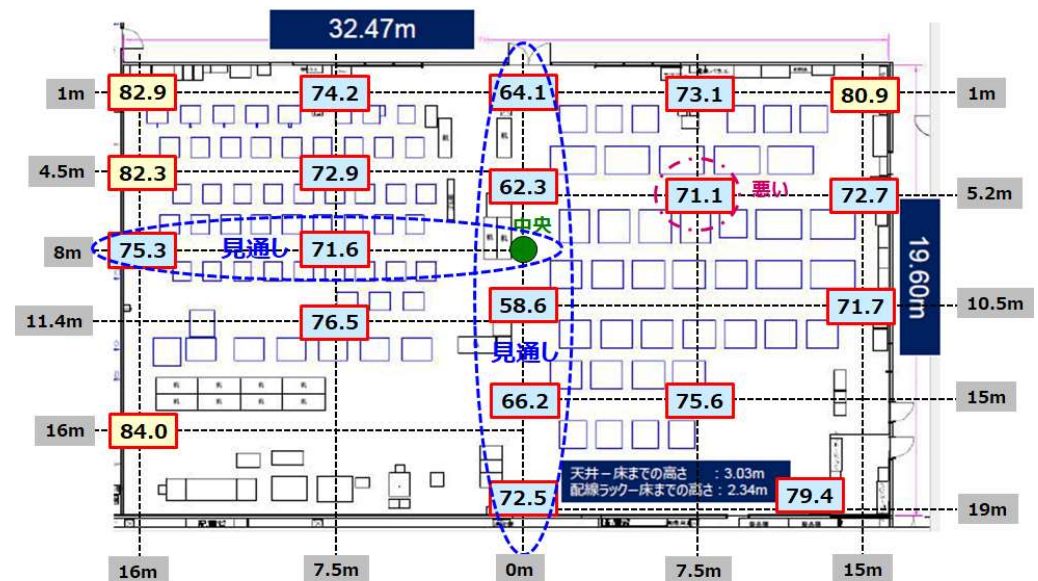
■ 検証方法

- ローカル5Gの性能評価結果よりとりまとめたTCPスループット/伝搬損失をエリアマップへ展開
- 工場の内部構造、生産設備の種類、生産ラインの規模等の差異による無線通信特性への影響を比較検証

・ 見通し環境であれば良好なスループット特性を確保でき、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は相応のスループットを得られるが、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・モノの移動状況を精査する必要があると考える。



玉村工場 基地局：中央 端末：1m
アップリンクTCPスループット (平均値) [Mbps]



玉村工場 基地局：中央 端末：1m
伝搬損失 (中央値) [dB]

技術実証：その他ローカル 5 Gに関する技術実証

- 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。
- ヒトの動き、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。

検証項目、検証方法

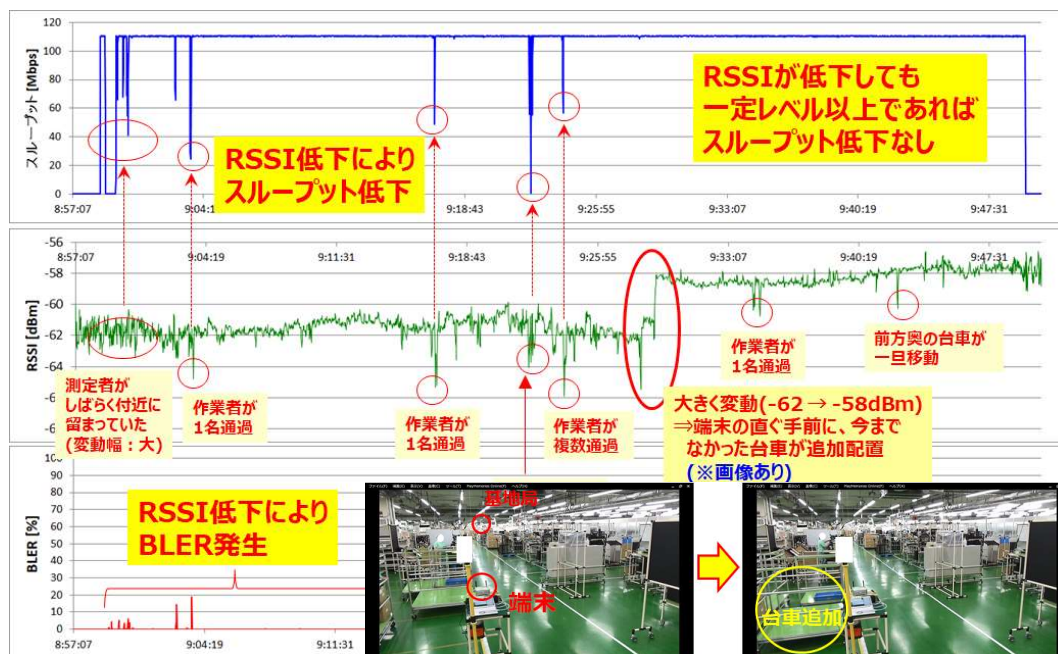
■ 検証項目

- アップリンクTCPスループット／RSSI／BLER

■ 検証方法

- 朝・昼・夜の時間帯等において、それぞれ1時間程度の連続測定を実施。
- 測定と同時にビデオカメラにて定点撮影し、上記測定項目に変動があった時に、どのような状況になったかを映像を用いて検証。

- ・ 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程度程度の劣化が発生し、TCPスループットが低下、また部材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。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。



本庄工場：朝の時間帯



本庄工場：昼の時間帯

技術実証：結果の考察、実証目標の達成方法

■ 結果の考察

- 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。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、相応の無線通信が期待できることを確認。
- 作業人や台車の移動、部材・製造品の積載、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。

■ 技術的課題の解決方策

- 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。更に端末を作業人や台車、生産設備より高く配置できれば、影響はより少なくなると想定。
- 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。
- 事前に測定器等を用いた受信電力の測定により、フロアヒートマップを作成して基地局配置を検討。

■ 更なる技術的課題

- 事前の受信電力測定には、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、目的である「工場内に適した基地局配置（設置場所の調整）」とは順序が逆になる。測定器等を用いた事前測定のための一時的な電波発射の許可、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等の条件緩和がなされることが望ましい。移設の容易性向上や展示会等での仮設置へも適用可能と考える。
- 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。

実装・横展開に関する検討

実装・横展開に関する検討

■ 前提条件

● 本事業における特徴

- ・ 中小工場への実装に向けSIer(製造ラインビルダー)とローカル5G支援サービス事業者が連携して行く事を想定
- ・ コンソーシアムはその実装ループの自走に向けてのスタート役
- ・ コンソーシアムにはその地域の自治体が横展開の主体として参画(参画する自治体の財政力は国内約中位)

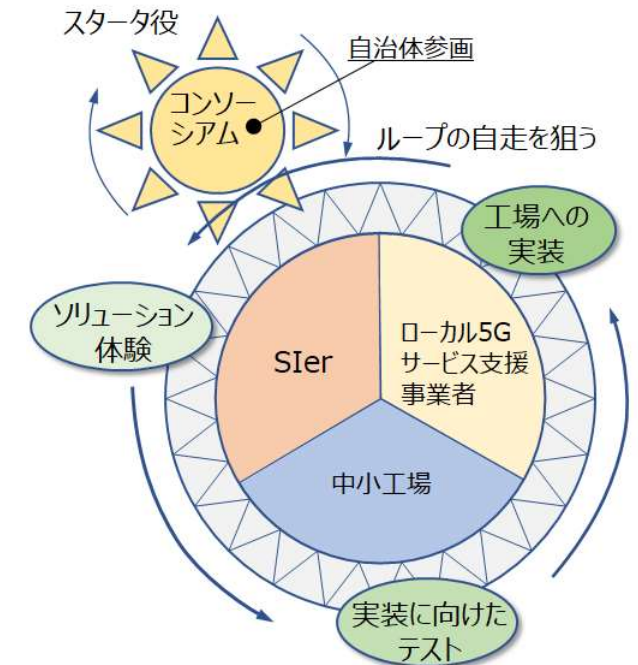
● 横展開の考え方

- ・ 中小工場との接点が多いSIerを伝道師役として見据える
- ・ 事業の中で伝道師役のSIerの数を増やしてゆく
- ・ 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

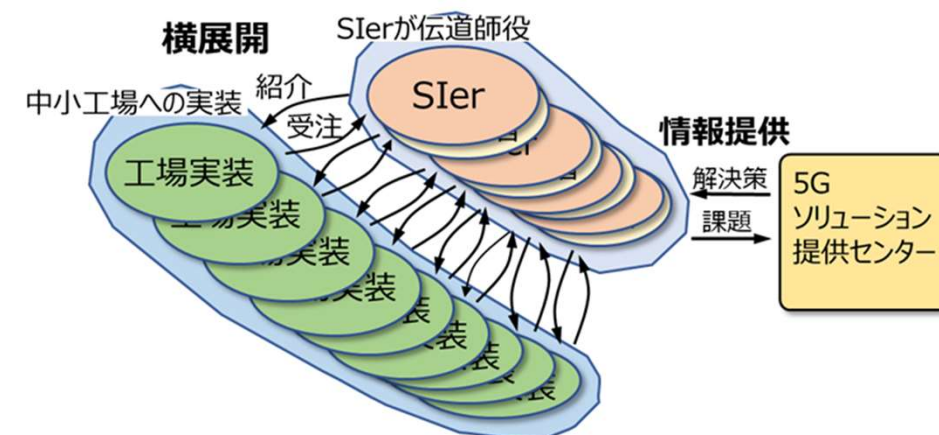
● 5Gソリューション提供センターの役割

- ・ 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

事業の特徴



横展開方法



実装・横展開に関する検討

■ 持続可能な事業モデル等の構築・計画

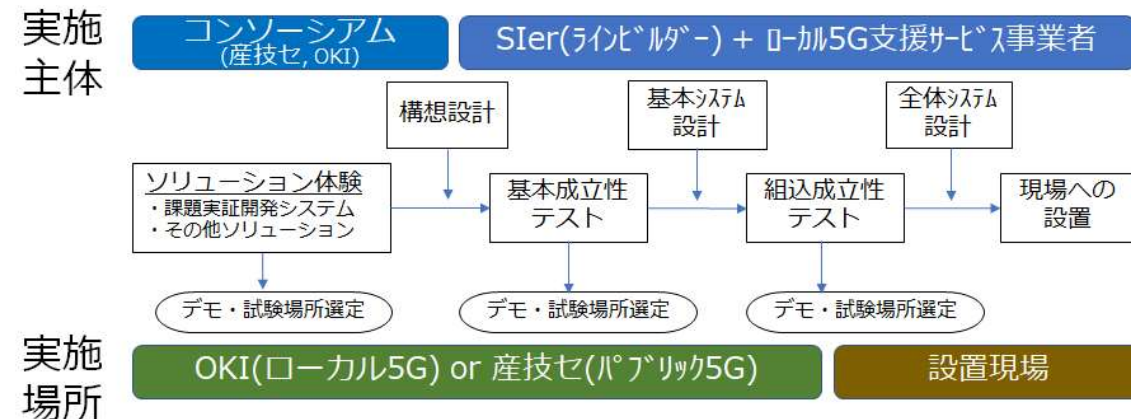
● コスト面、体制面からの検討結果

- 事業パターン a), b), c) 中、成立性が最も高い、以下のc)パターンにて検討を進める
 - 県(産業技術センター)ではパブリック5Gを活用
 - 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)

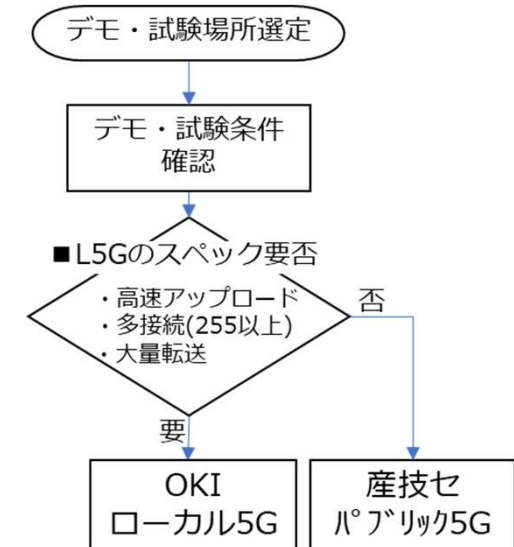
● 横展開のフロー

- ソリューション体験から製造現場への実装までを想定
- 実施主体は以下
 - ソリューション体験段階はコンソーシアム
 - 設計段階は、SIer(生産設備メーカー)と5G支援サービス企業
- 実施場所は以下
 - 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

横展開におけるフロー



実施場所の選択



実装・横展開に関する検討

■ 持続可能な事業モデル等の構築・計画

● 県(産業技術センター)の役割

- 対県内製造業
 - DX化推進に向けた更なる意識付け
- 対県内SIer
 - 現場への実装を広める為の”伝道師”としての育成
- 目標
 - 県内主要中小企業のデジタルファクトリー化

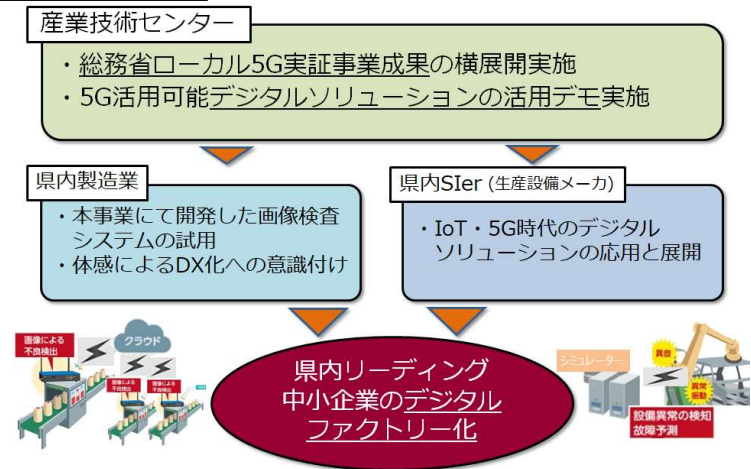
● マネタイズにおける収益源

- 県(産業技術センター)
 - 地方創生交付金
 - 共同研究費・技術支援手数料収入
- ローカル5G支援サービス事業者
 - 5G支援サービス事業収益
 - システム提供事業収益

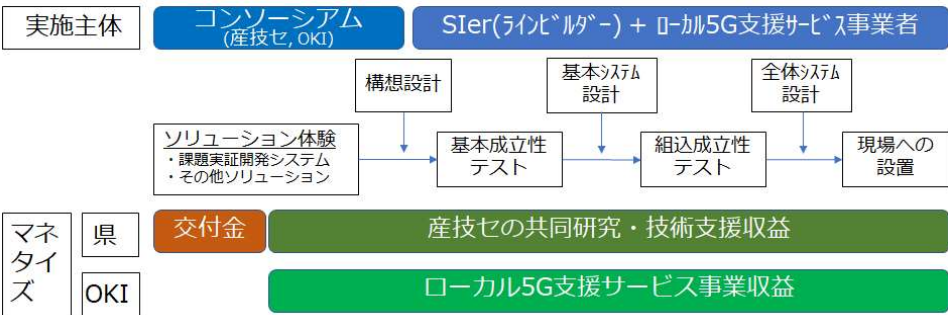
● 展開計画

- 県(産業技術センター)
 - R3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

デモ・試験場所の役割



マネタイズでの収益源



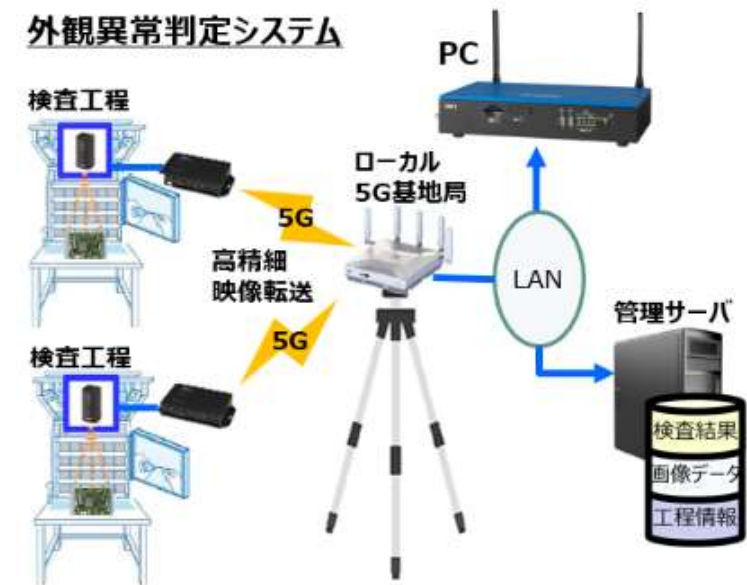
展開計画

検討項目	R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)	R5~7 (2023~25)
1. 総務省実証事業対応	プロトタイプシステム検証 事業モデル構築 実装計画策定 普及モデル検討 共同PF検討 ヒアリング調査	国産活用検討等 ローカル5G向けスマートファクトリー機器の製品化	共同PF (5Gソリューション提供センター) 運用協力	SIer等による試用、中小企業との共同研究
2. 中小企業における活用可能性の検討				
3. オープンイノベーションに向けた組織体制整備		ヒアリング調査	新組織移行準備	次期コンソーシアム設立・運営

実装・横展開に関する検討

■ 横展開に資する普及モデルに関する検討

- 横展開システム
 - ・ 最も多くの企業からニーズがあるソリューション
 - AI外観検査異常判定システム
- 普及モデル
 - ・ 検査対象、環境、運用、サポート性、コストの考慮必要
 - 満足する代表事例としては沖電気工業(株)製のシステム
- 実装・横展開上の課題と対応
 - ・ 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
 - ・ ローカル5Gの構築費用
 - 機器導入・運用法でのコスト低減策の検討（含む、5Gコア管理のクラウドサービス化）
 - 補助事業の設定の可能性の検討
 - ・ 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



計画

検討項目	R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)	R5～7 (2023～25)
4. 技術普及・情報発信 (1)産セ実証環境構築	公衆 5 G環境構築	テストベッド構築	テストベッド運用	
(2)情報発信事業	制度設計 (実証環境構築等)	成果発表	デモ展示	セミナー（技術講演会）開催等
5. 共同研究		コンソ内技術マッチング	オープンイノベーションによる共同研究、受託研究等	
	AIエッジコンピュータ活用・外観検査システム開発			
	デジタル技術・各種ワイヤレス技術の活用に係る共同研究等			
6. 人材育成	制度設計（人材育成支援）	SIer育成事業(ローカル5G活用講座) 知財支援、免許取得ノウハウ、セキュリティ等		

実装・横展開に関する検討

■ 共同利用型プラットフォームに関する検討

- **実証結果を踏まえ(仮)5Gソリューション提供センターに具備が望ましい機能**
 - ・ **SIerにソフト組込み技術が不足している課題への対策としてのLinux や Open Sourceのソフトウェアに関する組込み関連の情報供給機能**
 - 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
- **実証結果を踏まえ P F に具備・汎用化等可能な I / F 等の考え方**
 - ・ 課題解決システム（AI外観検査異常判定システム）は、上位システム（PF）に対し、当該システムの運用状況管理等を目的とする情報取得のための汎用インターフェースを公開することを想定

まとめ

まとめ

項目	内容
地域課題	・人口減少社会の到来に加えて隣県よりも低い最低賃金等の影響もあり、群馬県内の中小製造業は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等、様々な課題に直面
実証目標	・地域の中核工場においてローカル5G等の無線通信システムを用いた課題解決システムを構築し、システムの効果面・機能面・運用面について評価・検証を実施するとともに、当該システムの横展開に向けた課題の洗い出しと、その解決策を導き出す
実証環境の構築	・可搬式のラック&ポールに基地局を搭載したローカル5Gシステムを構築 ・OKI本庄工場での実証後、太陽誘電(株)玉村工場へローカル5Gシステムを移設して実証を実施 ・周波数：4.7-4.8GHz帯／構成：SA構成／利用環境：屋内（工場）
課題解決システムの実証	・<u>外観検査異常判定システム</u> - 製品の組立・検査工程において、AI画像解析による目視確認・検査作業の自動化により、作業時間の短縮や作業ミスの低減等の効果を確認 ・<u>画像判断データ転送システム</u> - 検査工程での製品の画像データ転送において、通信の安定性と伝送用サーバ設置箇所の一定の自由度を確認
ローカル 5 G の性能評価等の技術実証	・内部構造や特徴が異なる2つの工場において、屋内(工場内)でのローカル5Gの無線通信特性を評価 ・人の動作や物の移動、生産設備の遮蔽・反射等が及ぼす電波伝搬環境への影響を確認
実装・横展開に関する検討	・持続可能な事業モデル等を構築するため、自治体と企業の連携、マネタイズ手法、横展開計画を検討 ・横展開に資する普及モデルとして、ヒアリング・アンケート等より「AI外観検査異常判定システム」を選定 ・普及モデルの実装・横展開に向けた課題としてのローカル5Gの構築手続き・費用、その対応案を策定