

令和3年度

課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

中小企業における地域共有型ローカル5GシステムによるAI異常検知等の実証

成果報告書概要版

令和4年3月25日

株式会社愛媛CATV

実証概要

背景・目的

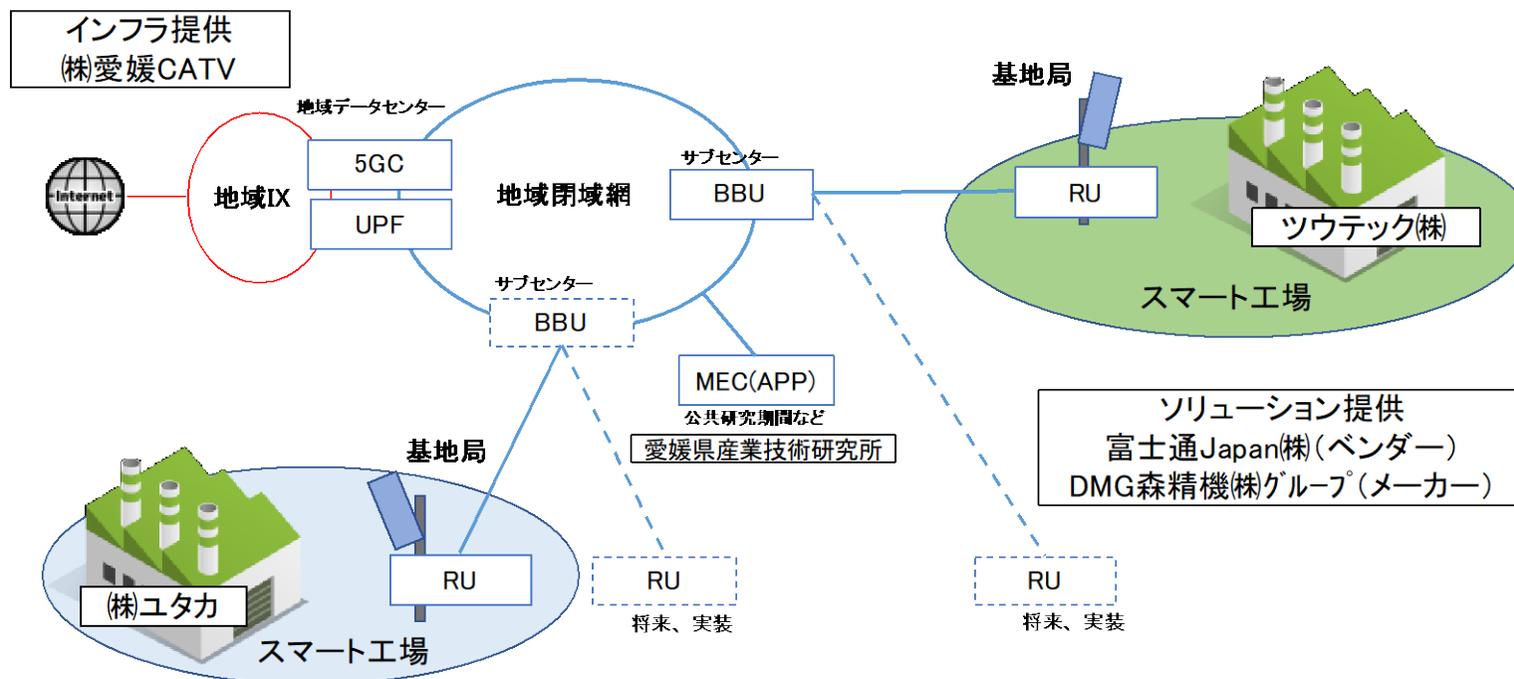
官民協働により「ものづくり企業」の促進に注力している愛媛県においてICT導入やスマート化の遅れによるハンディキャップを解消し、地域発展を図るためにローカル5Gを活用した実証を行った。

本実証では中小企業が多数を占める地域においてローカル5Gの実装を促進することを目的にコスト抑制を主目的とする共有型モデルをユースケースとし、占有型モデルに劣後しない高品質を実証することを目的とする。

実証のフィールドは精密金属部品加工工場とし、低コストローカル5Gのインフラの実証、スマート工場ソリューションの有効性を実証した。

また、同業他社案件と連携することで、県内企業に横展開することはもとより、地域における官民一体となったローカル5G導入促進に寄与する。

【共有型モデルイメージ】



実証概要 (1/2)

実証フィールド ツウテック株式会社(愛媛県東温市 精密金属加工部品工場)

愛媛県産業技術研究所(愛媛県松山市)MECサーバーを共有

実証項目

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)

○電波伝搬モデルの精緻化

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

○電波反射板によるエリア構築の柔軟化

屋外(工場敷地内)から複数工場建屋内及び事務所内に安定して電波を伝搬するための反射板の効果的な利用モデルを導出した。

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

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

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討(課題実証)

○設備の異常検知

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

○検品作業の効率化

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

○熟練技術の伝承

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

実証概要 (2/2)

実証フィールド 株式会社ユタカ(愛媛県松山市 精密金属加工部品工場)

愛媛県産業技術研究所(愛媛県松山市)MECサーバーを共有

実証項目

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)

○電波伝搬モデルの精緻化

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

○電波反射板によるエリア構築の柔軟化

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

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

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

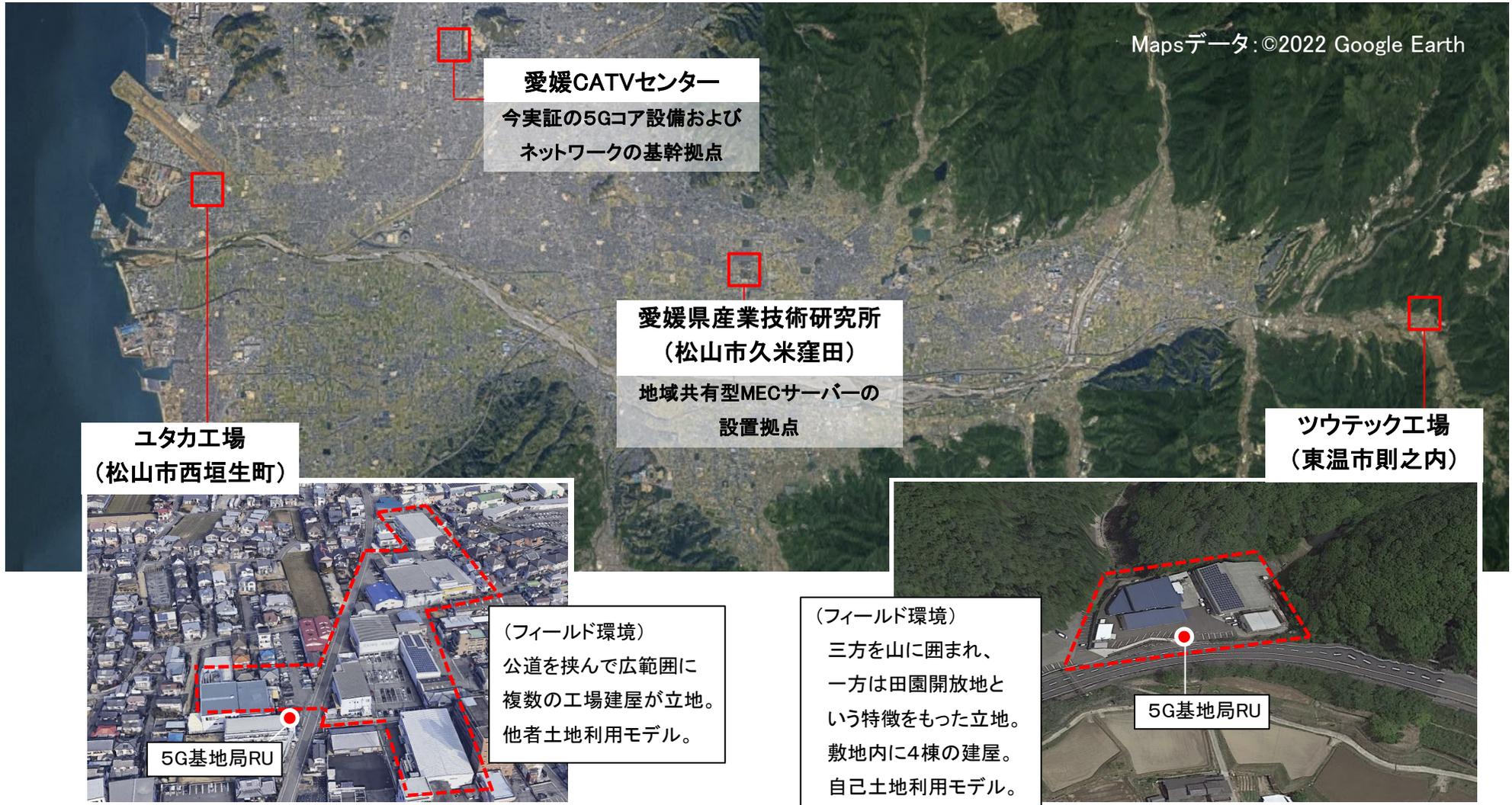
ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討(課題実証)

○設備の異常検知

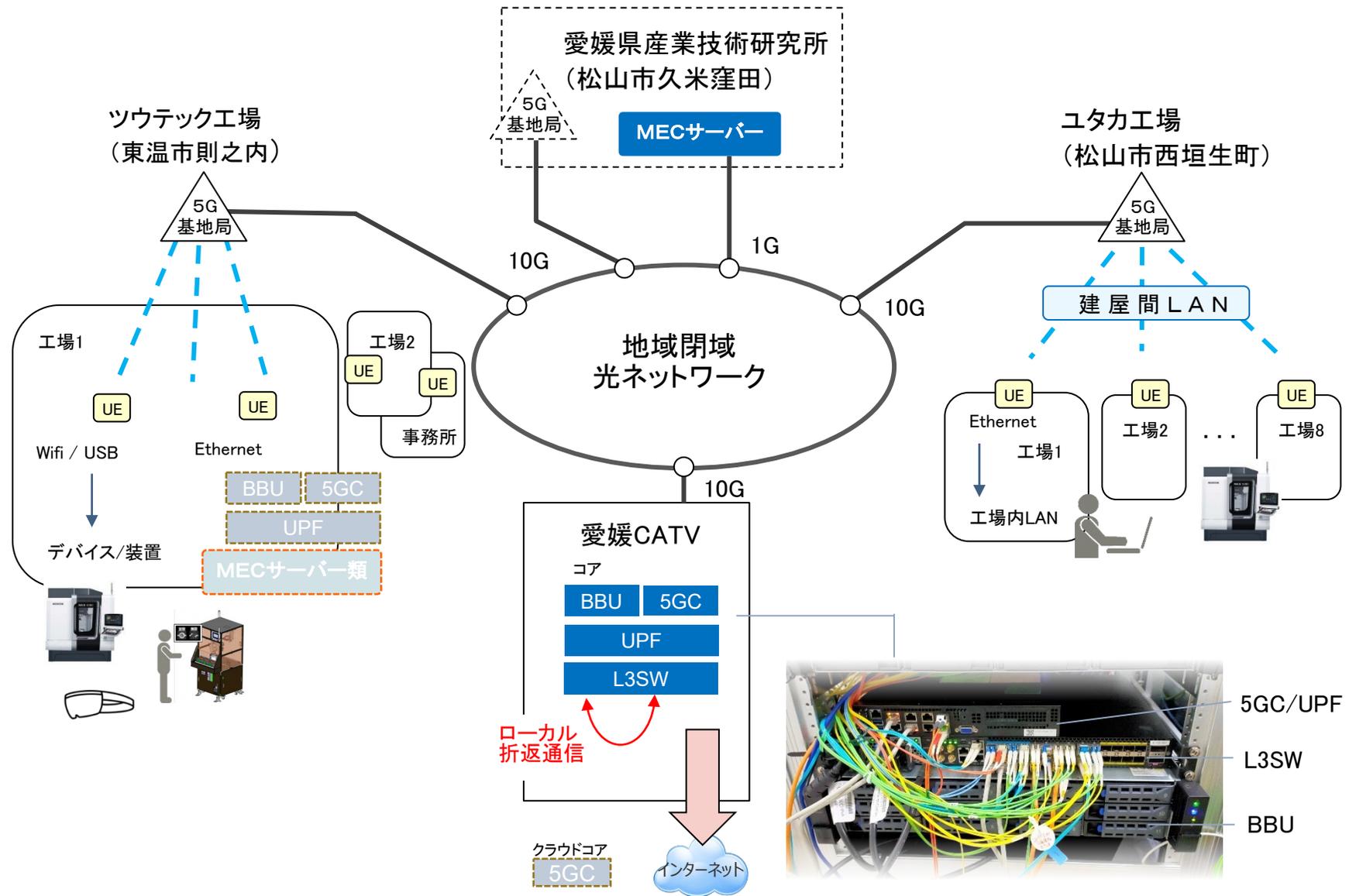
ローカル5Gの高速・低遅延性を活かし、切削工具の繊細な動作音をリアルタイムに収集してAIにより破損につながる異常音(予兆)を検知し、切削工具の適正なタイミングでの予防交換を実現し、不良品発生の低減や生産性の向上が図れることを検証した。

実証環境の構築

実証環境の構築(実施環境)

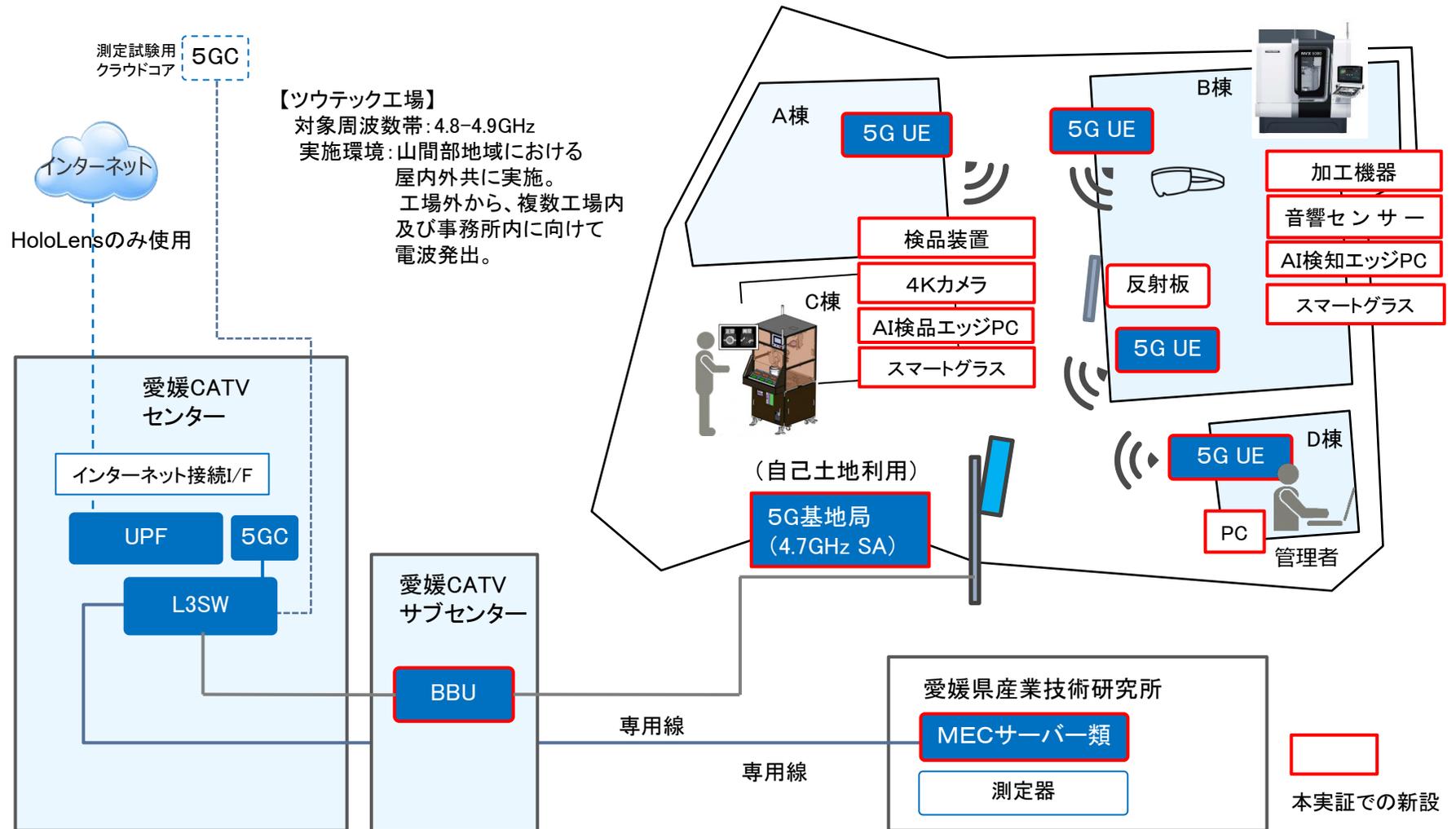


実証環境の構築(ネットワーク・システム構成)



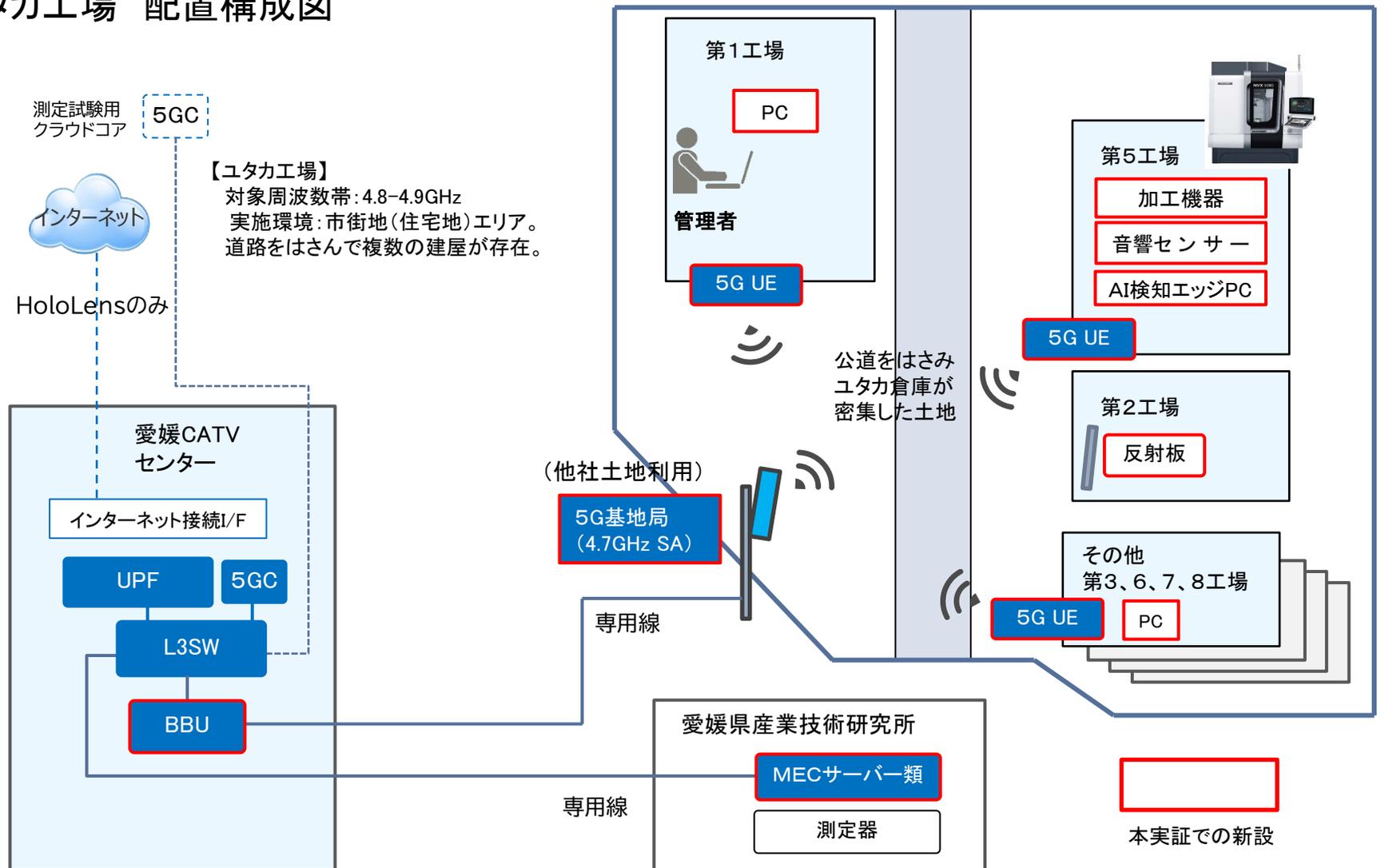
実証環境の構築(ネットワーク・システム構成)

ツウテック工場 配置構成図



実証環境の構築(ネットワーク・システム構成)

ユタカ工場 配置構成図



実証環境の構築(システム機能・性能・要件)

■ 基地局システム機能・性能・要件

実験試験局の諸元	基地局	移動局
変調方式	OFDM(QPSK 16QAM 64QAM 256QAM)	
通信方式	TDD(同期および準同期方式)	
電波の型式及び周波数の範囲	80M0 X7W 4850.01MHz	
占有周波数帯幅	100MHz	
空中線電力	0.25W × 8台=2W(33dBm)	0.2W(23dBm)
空中線利得	12.57dBi	4dBi
型式又は名称	F5G-J001001-00	RTL0306 T99W288

【ツウテック工場】

■ ローカル5G要件

対象周波数帯: 4.8~4.9GHz

実施環境: 山間部地域における屋内外共に実施。

工場外から、複数工場内及び事務所内に向けて電波発出。

■ システム機能・性能・要件

項目 ^④	システム性能・要件 ^④
スループット(上り) ^④	30Mbps~ ^④
スループット(下り) ^④	150~200Mbps ^④
基地局の数 ^④	1局 ^④
移動局の数 ^④	10台以上 ^④
移動局と接続するデバイス数 ^④	最大30台 ^④
利用する周波数帯 ^④	4.8~4.9GHz ^④
アンカーバンドの構成 ^④	なし(SA対応) ^④

【ユタカ工場】

■ ローカル5G要件

対象周波数帯: 4.8~4.9GHz

実施環境: 市街地(住宅地)エリア。道路をはさんで複数の建屋が存在。

■ システム機能・性能・要件

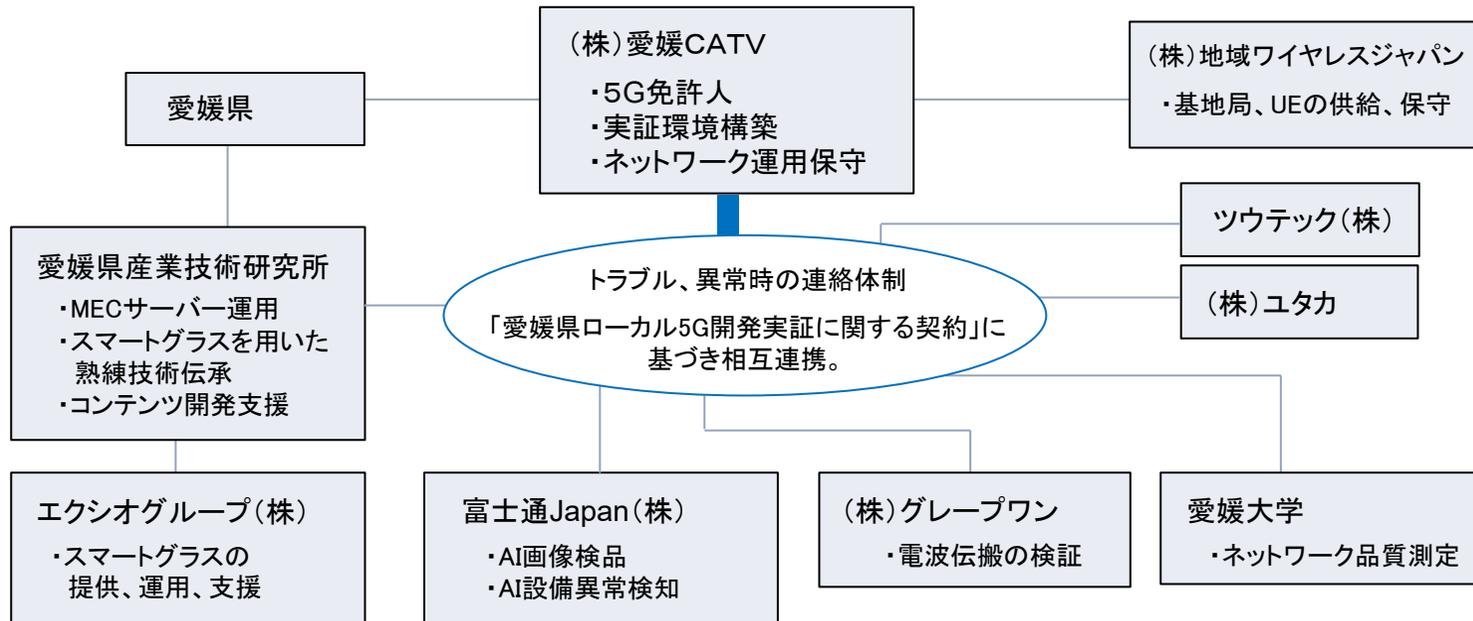
項目 ^④	システム性能・要件 ^④
スループット(上り) ^④	30Mbps~ ^④
スループット(下り) ^④	150~200Mbps ^④
基地局の数 ^④	1局 ^④
移動局の数 ^④	10台以上 ^④
移動局と接続するデバイス数 ^④	最大30台 ^④
利用する周波数帯 ^④	4.8~4.9GHz ^④
アンカーバンドの構成 ^④	なし(SA対応) ^④

免許及び各種許認可、実証環境の運用体制

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

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

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



ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討 (技術実証)

電波伝搬特性等の測定

課題解決システム利活用環境における技術的課題	エリア算定法(パラメータ仮説)によるシミュレーション結果と実測値と誤差が生じてしまい精度の追及が困難である。	
実証目標	三方を山斜面に囲まれた中に複数の工場建屋が存在する複雑な環境(郊外)および住宅地に囲まれ、道路をはさむ自己土地内に7つの工場建屋が存在する環境(市街地)においてエリア算定法と実測値の違いを明確にする。	
実証前の仮説	エリア算定法と実測値は相違して、シミュレーション結果通りの結果を得られない。	
実証内容	電波法関係審査基準に規定するエリア算定法により算出されたカバーエリア端および調整対象区域端にて受信電力を取得する。カバーエリア端の受信電力と異なっている場合にはカバーエリア端となる場所を探索する。測定結果を踏まえ、エリア算定法による精度追求に限界があることを検証した。	
実証結果と分析・考察	<p>ツウテック工場:南側には算出式よりもかなり広いカバーエリアが広がっていることが分かる。敷地の南側は基地局よりも標高が低く、さらに建物や遮蔽物もほとんどなく、ほぼ見通しの環境である。したがって、敷地南側は算出式のカバーエリアより広がっていると考えられる。</p> <p>屋内浸透なしカバーエリア 屋内浸透ありカバーエリア 屋内浸透なし調整対象区域 屋内浸透あり調整対象区域 ●:基地局</p> <p>出典:国土地理院ウェブサイト (https://www.gsi.go.jp/) ・写真地図を加工して作成</p> <p>ポイントの目安と定義 ●カバーエリア端(-119dBm ±3dB) ●調整対象区域端(-126dBm ±3dB)</p>	<p>ユタカ工場:全体的に算出式よりもかなり広いカバーエリアが広がっていることが分かる。特に北東の方角は建物や遮蔽物もほとんどなく、開放地のような環境である。したがって、北東の方角は算出式のカバーエリアより特に広がっていると考えられる。</p> <p>●:基地局 ●カバーエリア ●調整対象区域</p> <p>出典:国土地理院ウェブサイト (https://www.gsi.go.jp/) ・写真地図を加工して作成</p> <p>ポイントの目安と定義 ●カバーエリア端(-119dBm ±3dB) ●調整対象区域端(-126dBm ±3dB)</p>
1つの基地局がカバーするエリアは一様の環境になっているわけではない。環境の違いが電波伝搬の特性に大きく影響し、エリア算定法と実測値が相違する。		

電波伝搬モデルの精緻化

課題解決システム利活用環境における技術的課題

サイトジェネラルな伝搬式を使うことにより、商用展開時における電波放射後における散見される遮蔽物等による弱電スポット等の発生懸念がある。一方で他者に対する与干渉計算という観点から、サイトジェネラルな伝搬式も重要である。

実証目標

ツウテック工場: 屋外の基地局から複数工場建屋内に向けた環境における屋内浸透モデルとして、電波法関係審査基準に規定するエリア算定法のR値を精緻化する。

ユタカ工場: 住宅地に囲まれ道路をはさむ自己土地内に7つの工場建屋が存在する環境において、屋外の基地局から複数工場建屋に向けた屋外モデルとして、電波法関係審査基準に規定するエリア算定法のS値を精緻化する。

実証前の仮説

ツウテック工場: 一般的な住居などに比べてガラスが占める割合が少なく、電波法関係審査基準に規定するエリア算定法のR値が16.2よりも大きいと仮説した。

ユタカ工場: 住宅が密集しているエリアであり、電波法関係審査基準に規定するエリア算定法による端末地上高1.5mは、ほぼ見通しが無くエリア算定法よりもエリアが狭くなると仮説した。

実証内容

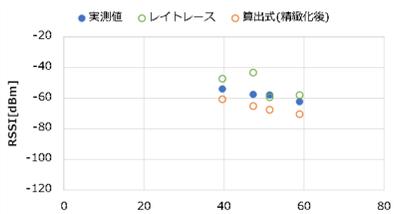
- ①3次元レイトレース法が、精緻化したエリア算定法および実測値に近い精度のシミュレーション結果をえられること検証した。
- ②電波法関係審査基準に規定するエリア算定法の精緻化により、実測値との間にどの程度の誤差が生じるか検証した。

評価には次式で定義されるRMSEを用いた。 $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_{mes.}(i) - L_{pred.}(i))^2}{N}}$

実証結果と分析・考察

ツウテック工場: B工場棟の1階、2階の測定結果を用いてR値の精緻化を実施した。R値はそれぞれ18.456/17.456という結果を得られた。同一建物であるが1階は工作機械が点在、2階は梱包材等資材置場となっており、R値が大きく異なる可能性を考慮して分割し精緻化したR値が大きく異なることはなかった。

算出式のRSSIは電波法関係審査基準に従い人体損失8dBを考慮



レイトレースのRMSE: 8.16dB (参考)
 精緻化前の算出式のRMSE: 10.51dB
 精緻化後の算出式のRMSE: 8.07dB



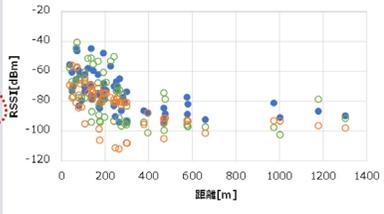
レイトレースのRMSE: 6.59dB (参考)
 精緻化前の算出式のRMSE: 9.50dB
 精緻化後の算出式のRMSE: 8.05dB

ユタカ工場: 方位による違いは認められず、800m付近を境として環境がことなることから800mを境として2つのエリアを区分けして精緻化を実施した。

S値は800m以内では10.2、その外側では16.5と言う結果を得られた。市街地と判断していた基地局周辺は郊外地のS値12.3に近い値であり、2階建て住居が密集する程度であれば市街地よりも郊外地のS値を使用したほうが実測値に近い。



出典: 国土情報院ツウサイト (https://www.tsu-site.jp) ・写真地図を加えて作成
 ポイントの目録と作業カバレッジ(119dBm ±3dB) 調整対象区(126dBm ±3dB)



※算出式のRSSIには電波法関係審査基準に従い人体損失8dBを考慮
 レイトレースのRMSE: 8.45dB (参考) 精緻化後の算出式のRMSE: 11.52dB

電波反射板によるエリア構築の柔軟化

課題解決システム利活用環境における技術的課題

電波法関係審査基準に規定するエリア算定法は建物等による遮蔽・反射・回折を考慮した計算をしていないことから、ローカル5Gの実運用時に電波法関係審査基準に規定するエリア算定法ではカバーエリア内であったとしても、建物の遮蔽による弱電スポットや建物の反射が原因となる干渉によるスループットの低下等が発見されることがある。

実証目標

電波反射板によりRSRP-90dBm以上、下りスループット150Mbps、上りスループット30Mbps(スループットはセルスループットであり、上り下りとも複数台の端末が同時に通信する場合には案分される)の性能を目標値とする。
レイトレースシミュレーションが、電波反射板に有効なツールであることを検証する。

実証前の仮説

ツウテック工場: 屋外に設置する基地局から、工場棟屋内に設置する端末へ十分な電力値の電波が届かない。

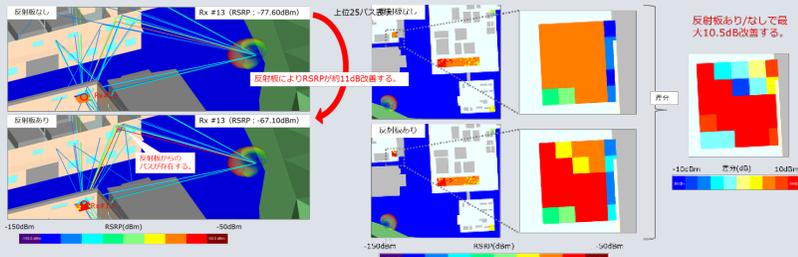
ユタカ工場: 1つの基地局で7つの工場棟へ電波を届ける必要があるが、第1工場が半値角から外れ、且つ基地局直下に位置することから端末に必要な電波を直接届けることができない。

実証内容

基地局から発出されたローカル5Gの電波が、電波反射板(1.5m四方のアルミ板)により基地局から端末へ電波を届けることができ、所要の受信電力やスループットを得られることを検証するために反射板設置前後の、目的としている場所(端末設置場所)の受信電力、通信品質、伝送性能を測定し評価した。
また、実測値の受信電力と比較し、レイトレースシミュレーションが実運用上有効であることを評価した。

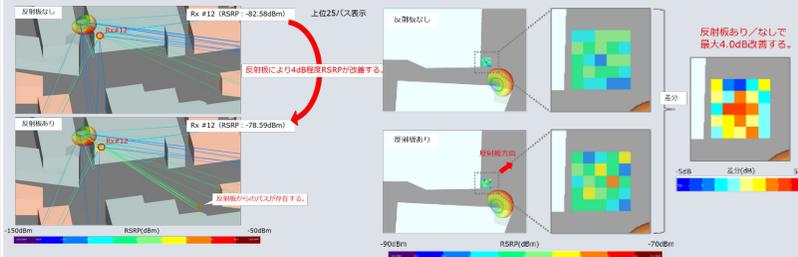
実証結果と分析・考察

ツウテック工場: レイトレーシングシミュレーションでは反射板により強い伝搬路を確保することが可能となっておりRSRPが最大10.5dB改善する計算結果であった。
実際に反射板を設置したことによりUEの実測でRSRPが+8.2dB改善、PUSCHスループットが+23.2Mbps改善し、目標値を達成した。



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

ユタカ工場: レイトレーシングシミュレーションでは反射板により強い伝搬路を確保することが可能となっておりRSRPが最大4dB改善する計算結果であった。
実際に反射板を設置したことによりUEの実測でRSRPが+1.4dB改善、PUSCHスループットが+27.8Mbps改善し、目標値を達成した。



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

フィルム反射板と金属反射板の性能評価

課題解決システム利活用環境における技術的課題

金属の反射板は重量があることから(強度が必要なため)取付金具含めて重量が高むこととなり、取り付ける箇所の強度検討等により設置場所が限定されることがある。

実証目標

軽量のフィルム反射板が金属反射板と同等以上の性能を有していることを確認する。

実証前の仮説

金属板と同等以上の性能があり設置性なども含めて、金属反射板よりも有用である。

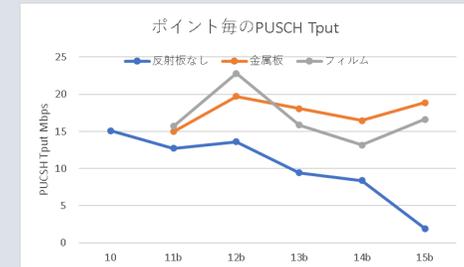
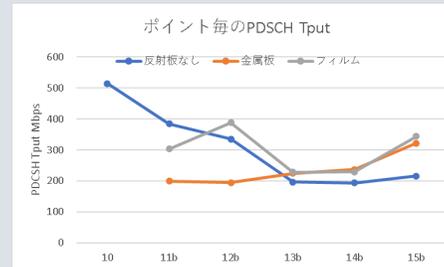
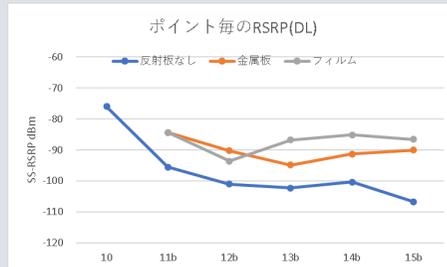
実証内容

積水化学工業株式会社が開発する透明フレキシブル電波反射フィルム(SCR-MW01)で、あらゆる物に貼り付けることが可能となっており、フィルム内部に特殊メタマテリアル層があり電波だけを反射することが可能な素材を金属板と比較した。評価ポイントは南北を建物に遮蔽されており、南東方向80m付近に位置するRUはN-LOSである。RUおよび評価ポイントがLOSとなるポイントに反射板を設置して評価を行った。



実証結果と分析・考察

サンプル数が少ないために断定はできないが、本実証の結果、フィルム反射板は反射板無しに比較して改善効果が認められ、その特性は金属反射板と同等であると判断できる。金属に比較して軽量であること、あるいは透明であることから設置場所に自由度ができる等のメリットがあり、実運用上有用な反射素材であると考えられる。



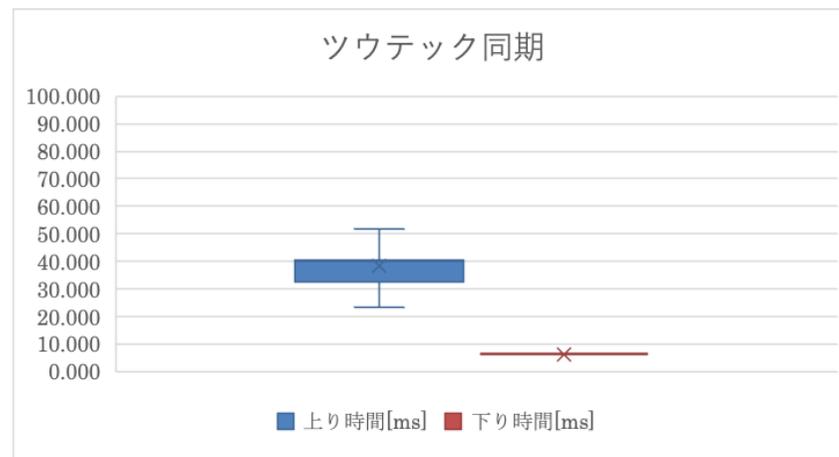
電波反射板の有用性

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

遅延計測

5つの構成を評価比較

1. キャリアLTE+公衆網
2. 5G設備を全てオンプレミス型として設置
3. 光回線(有線)で直結
4. 5GCを遠隔地(東京)に設置
5. 地域コア設備共有型
5GCをL5G地域サービス事業者(愛媛CATV)に設置し、
UEと5GC等の間を地域サービス事業者の光回線で接続



- **オンプレミス型と地域コア設備共有型では、ほぼ同程度の遅延特性であった。**
地域コア共有型・同期モード、中央値で上り40.2~45.0ms, 下り7.8~10.4ms
- **地域コア設備共有型は、5Gコア装置東京設置構成に対して、遅延特性が優れており、その差は5.2~12.2msであった。**
- **LTEと比して、ローカル5Gの利用は、遅延時間の改善が見られた。特に、下り方向の差異が顕著であり、中央値で50ms程度から10ms以下への改善も見られた。**
- **準同期モードは、同期モードに比べ上り方向の遅延時間が、10~20ms程度向上している。**
- **下り(基地局から移動局方向)の遅延の変動に比べ、上り(移動局から基地局方向)の遅延の変動は大きかった。その理由は確定できていないが、送信電力の違いによる、外乱(障害物や干渉等)の影響の受けやすさが考えられる。**

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討 (課題実証)

【課題実証概要】 ユースケース①: 音響診断による設備の異常検知 (1/2)

実証概要

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

背景・課題

【ツウテック株式会社】

切削工具の寿命の判断を行い、早期交換によるコスト増の抑制、交換が遅れた際の機械故障や不良品発生をなくす。

【株式会社ユタカ】

切削工具の高負荷時の工具破損タイミングの見極めを行い、工具破損による機械故障や不良品発生をなくす。

解決策

・解決策

- ①異常を判定しリアルタイムに管理者へ送信
- ②管理者は、通知及び音響データ正常か異常かを判断
- ③異常と判断した場合、管理者は工具交換の指示

・実装シナリオ

- ①適用効果と課題確認(本検証)
- ②蓄積データを用いた異常検知確度向上
- ③対象設備・工具の適用範囲拡大

実証目標

■効果検証

- A) 不良品発生率 - 20%改善
- B) 調達コスト - 20%改善
- C) 作業効率 - 20%改善

■機能検証

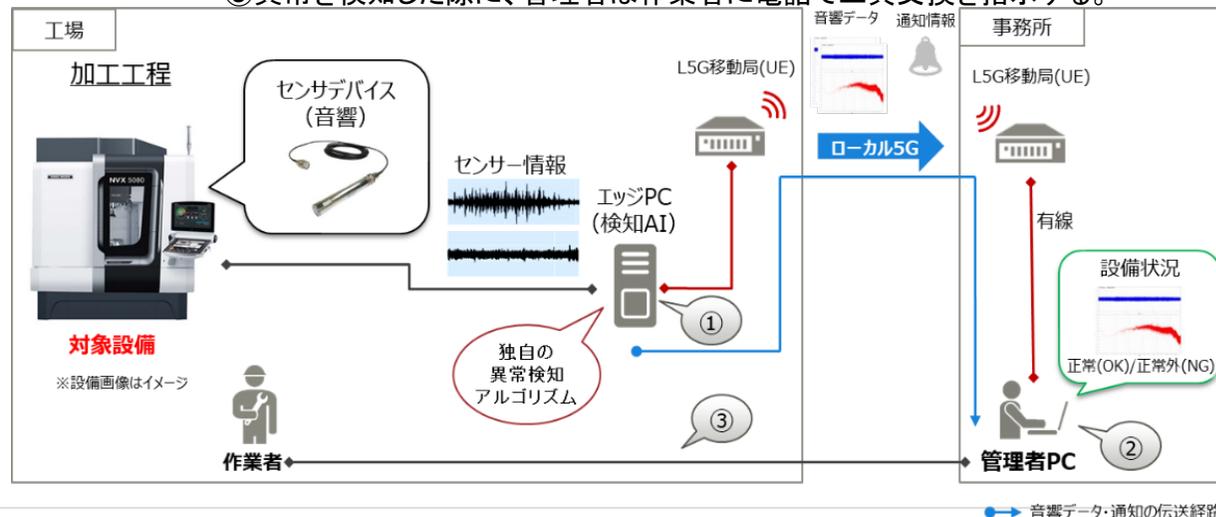
- A) 異常検知確度 - 検知確度90%以上
- B) 伝送品質 - 同一性99%以上
- C) 伝送スピード - 通知時間3秒以内
- 転送速度1.5Mbps

■運用検証

- A) 作業時間 - 既存運用時の同等以下

実証環境

- ①実証用マシニングセンタに設置したセンサデバイスより収集された音響データをもとに、エッジPCにより異常検知が行われ、ローカル5Gを通して、管理者へ送信される。
- ②管理者は設備状況を監視する。
- ③異常を検知した際に、管理者は作業者に電話で工具交換を指示する。



【課題実証概要】 ユースケース①: 音響診断による設備の異常検知 (2/2)

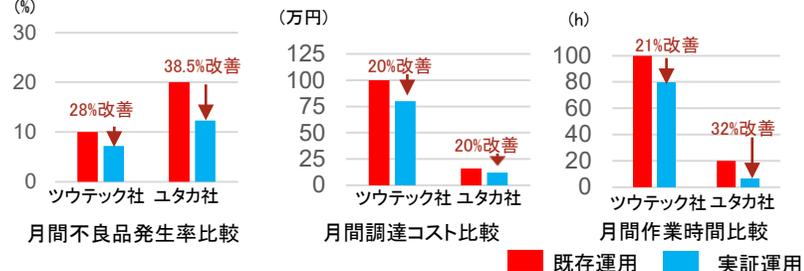
実証結果

本課題実証において、事業・環境が異なる両社の課題に対する効果および運用が可能であることを確認し、実装が可能であると判断する。機能面においては、異常検知確度が目標未達であったが、本実証で得られた異常時のデータを基に異常検知確度を向上できる見込みである。

効果検証

[総括] 両社共に生産性・コストの面で20%以上の事業改善効果が認められた。(%)

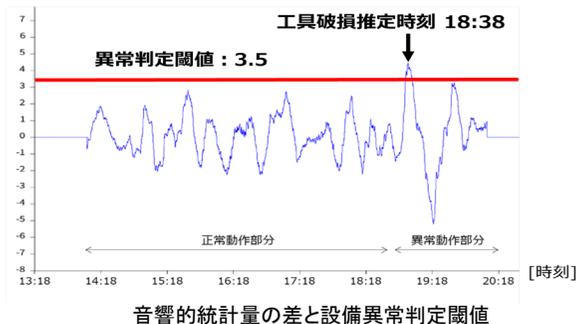
- [結果] A)不良品発生削減率 ツウテック社: ▲28.0% (不良品発生率 10→7.2%)
 ユタカ社: ▲38.5% (不良品発生率 20→12.3%)
- B)調達コスト ツウテック社: ▲20% (交換工具数 100→80個/月)
 ユタカ社: ▲20% (交換工具数 20→16個/月)
- C)作業効率 ツウテック社: ▲21% (作業時間 100→79.6h/月)
 ユタカ社: ▲32% (作業時間 20→13.6h/月)



機能検証

[総括] システム導入により設備の異常検知(破損)が可能となり、リモートによる管理者からの短時間での工具交換指示が可能であることを確認した。

- [結果] A)異常検知確度 ツウテック社: 28.6% (検知数2/異常数7)
 ユタカ社 : 57.1%(検知数4/異常数7)
- B)伝送品質 転送前後のファイルで可視データ/ハッシュ値を比較
 ⇒可視化データ/ハッシュ値が同一であることを確認
- C)伝送スピード ①通知時間3秒以内達成 ツウテック社: 0.6sec、ユタカ社: 0.73sec
 ②伝送速度1.5Mbps以下達成 ツウテック社: 11.6Mbps、ユタカ社: 5.0Mbps



※異常検知確度は異常時データを基に改善を図ることで、実装可能と考える。

運用検証

[総括] 異常検知システム適用後の加工作業における運用時間は、既存運用時間と同等であり、作業負担なく運用可能であることが分かった。

- [結果] A)作業時間 ツウテック社: ▲1.2時間/月 (12.2→11.0時間/月)
 ユタカ社: ▲0.2時間/月 (6.6→6.4時間/月)



課題および解決策

[課題] 工具破損の予兆を検知する診断アルゴリズムの実証および実装
 [解決策] 本実証で工具劣化時あるいは損傷時に見られた特徴量を用い、適正な異常予兆判定を行う診断アルゴリズムを構築し精度向上を図る。

【課題実証概要】ユースケース②: 検品対象のAI画像解析 (1/2)

実証概要

生産の中心となる熟練技術者の熟練技術を要する製品の検品が滞ることのないように、一次検品における検品品質の安定化と、遠隔地においても製品外観を画像確認することにより二次検品作業を可能とする高精細画像の送受信の実証

背景・課題

【ツウテック株式会社】

目視一次検品で発生した欠陥に対し、熟練技術者が出張などで不在な状況では、二次検品の遅れから出荷遅延の可能性がある。一次検品の品質安定化と、遠隔地においても製品画像から二次検品作業を可能とする高精細画像の送受信が必要となる。

解決策

・解決策

- ① 検査精度・時間の標準化
- ② 遠隔地からの検品

・実装シナリオ

- ① ローカル5Gによる画像検品システムの検証(本実証)
- ② 実証検証で抽出された課題解決
- ③ 社外での検品可能化に向けた施策実施

実証目標

■ 効果検証

- A) 平均滞留時間: 一次検品でNG判定された部品の二次検品確定までの時間改善が50%以上

■ 機能検証

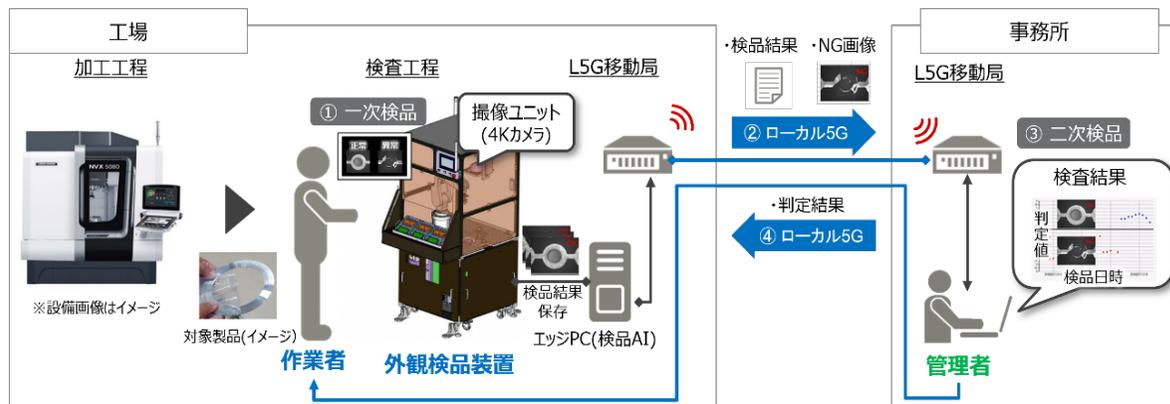
- A) 伝送品質: 一次検品画像を伝送した画像同一性が99%以上
- B) 伝送スピード: 144Mbps以上

■ 運用検証

- A) 検品正答率: 90%以上
(NG品の見逃がしが無いこと)
- B) 検品作業時間: 二次検品作業時間が現状と同等(約50秒/個)以下

実証環境

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



【課題実証概要】ユースケース②: 検品対象のAI画像解析 (2/2)

実証結果

本課題実証において、納期遅延の抑止、余剰品の削減効果を確認し、実装が可能であると判断する。
リモートにおける二次検品正答率は、目標未達であったが、画像の視認性を向上することにより、実用可能の見込みである。

効果検証

[総括] 納期遅延の抑止、余剰品の削減を確認でき、事業改善効果が認められた。

[結果] A) 平均滞留時間: ▲31%(160.7→95.2h/月)
予備品削減額: ▲10%(2→1百万円/月)



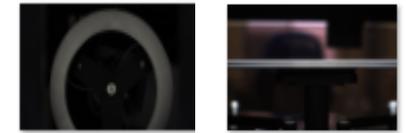
機能検証

[総括] ローカル5Gを利用した高精細画像の伝送によるリモート検品を可能とした。

[結果] A) 伝送品質: 100%
B) 伝送スピード: 40Mbps[最大](目標144Mbps)
伝送時間: 12.8(秒)
※NG画像のみ(52→10)とすることで、伝送時間2.5秒まで短縮可



検査対象部品



表面(一部) 側面(一部)

外観検品装置による伝送画像

運用検証

[総括] リモートでの二次検品作業の運用には、問題が発見されたが、画像の視認性を向上することにより、改善可能である。

[結果] A) 検品正答率
一次検品: 正解:100%、虚報0%、見逃し0%
二次検品: 正解:75%、虚報0%、見逃し25%
B) 二次検品作業時間 部品A 120秒/個(目視:76秒/個)

※視認性向上策: 画像でのNG部の局所表示、原画像提示

A)二次検品正答率

画像による二次検品結果	検品数	判定数	正答率
正解	25	20	75%
虚報		0	0%
見逃し		5	25%



課題および解決策

[課題] 本実証での検品対象2種に加え、部品対象の適用拡大
[解決策] 対象部品に合わせたAI検品モデルの拡充(ユーザー企業主体でのモデル作成)

【課題実証概要】ユースケース③：熟練技術の伝承（1/4）

■ 掲載内容

■ 実証概要

- <ユースケース③：熟練技術の伝承>

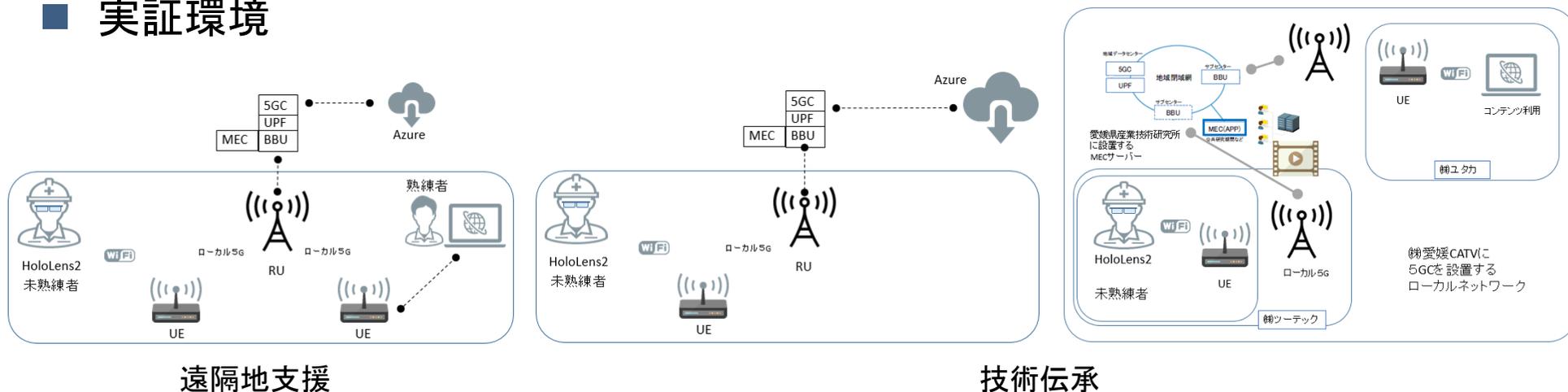
熟練技術者が有する高度な加工技術を継続するため、未熟練者への技術伝承が可能なスマートグラスを用いた熟練者技術の伝承。

■ 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

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

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

■ 実証環境



【課題実証概要】ユースケース③：熟練技術の伝承（2/4）

■ 実証内容

【遠隔地支援】

ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証

遠隔地からの工程設計（加工手順や切込み速度、量など）の指導を行うことによる指導時間の削減効果を検証した。



工程設計の指導による1週間単位での相談時間の削減効果は
週20回の相談 × 在勤率0.5 × 削減時間1時間（移動時間）= 10時間

遠隔地からの指示・支援による加工時の指導時間削減効果を検証した。



遠隔地からの指導による1週間単位での相談時間の削減効果は
週5回の相談 × 在勤率0.5 × 削減時間1時間（移動時間）= 2.5 時間

【技術伝承】



未熟練者のバリ取り作業について、スマートグラスを用いた熟練者の技術伝承について評価を行った。

6人中4人でバリ取りの良品が増加し、6人中5人で問題あるバリ取りが減少し、技術の向上が確認できた。一方で、作業時間は個人差も大きく、スマートグラスの使用前後で全体として明確な作業時間の削減と確認できるほどの変化はなく、未熟練者の作業自体は、時間短縮より、技術の向上に寄与したと考えられる。スマートグラスの使用による1週間単位での指導時間削減効果は、熟練者の移動時間を考慮し、週2回の指導 × 在勤率0.5 × 削減時間1時間（移動時間）= 1時間

スマートグラスを用いた未熟練者の機械セッティング時間の検証結果

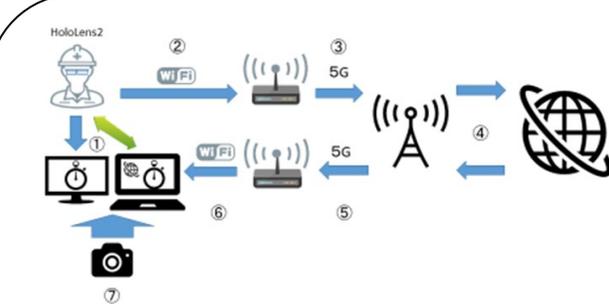
旋盤作業者に指導する削減効果として、熟練者が時間を割いて指導する内容が、スマートグラスで代替可能であったことから、1週間単位での熟練者の指導及び移動時間の削減時間は
週0.25回の機械セッティング × 在勤率0.5 × 削減時間1時間15分（移動時間込み）= 0.15625時間

	従来の熟練者の指導時間	スマートグラス使用時の未熟練者のみでのセッティング状態	削減効果（未熟練者の作業時間）	削減効果（熟練者が直接指導するために必要な時間）
旋盤（クラウド）作業者A	1時間30分	良好 （セッティング時間1時間10分）	削減時間 20分	削減時間 1時間20分
旋盤（閉域網）作業者B	1時間30分	良好 （セッティング時間1時間5分）	削減時間 25分	削減時間 1時間15分
旋盤（閉域網）作業者C（旋盤経験なし）	1時間30分	不良（行程は問題なし） （セッティング時間2時間15分）	削減されず	削減されず

【課題実証概要】ユースケース③：熟練技術の伝承（3/4）

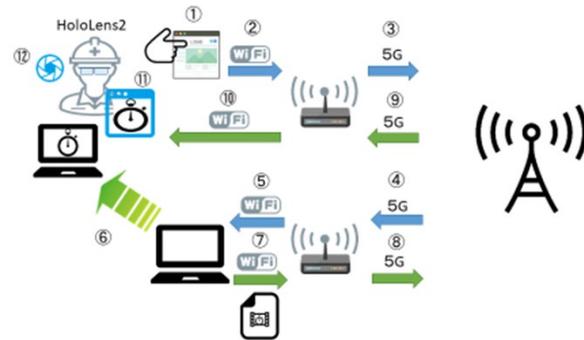
ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

伝送スピード評価



- ① RemoteAssistでPCと接続し、モニターに表示されたストップウォッチをHoloLens2で見る
- ② Wi-Fiでルーターに送る
- ③ ルーターから5Gで送る
- ④ インターネットを経由する
- ⑤ 5Gで別のルーターへ送られる
- ⑥ Wi-FiでPCへ送る
- ⑦ 元のモニターに表示されたストップウォッチ動画とPCのモニターにインターネットを経由した表示されたストップウォッチ動画を同時にカメラで写真を撮る。

クラウド利用時



- ① HoloLens2でブラウザからサーバーへストップウォッチ動画のリクエスト
- ② Wi-Fiでルーターに送る
- ③ ルーターから5Gで送る
- ④ 5Gで別のルーターへ送られる
- ⑤ Wi-Fiでサーバーへ送る
- ⑥ サーバーがストップウォッチ動画をViewerで起動
- ⑦ ストップウォッチ動画をWi-Fiでルーターに送る
- ⑧ ルーターから5Gで送る
- ⑨ 5GでHoloLens2側のルーターへ送られる
- ⑩ Wi-FiでHoloLens2に送られる
- ⑪ HoloLens2のモニターにブラウザ上でストップウォッチ動画が表示される。
- ⑫ HoloLens2で⑩の動画を同時にキャプチャする。

閉域網利用時

	クラウド利 用時(秒)	閉域網利用 時(秒)
平均値	0.431	0.796
中央値	0.417	0.773
最長値	0.623	1.27
最短値	0.269	0.225

クラウド利用時は通話状態での時間差
閉域網利用時は257MBの動画が表示される時間差
両方とも概ね1秒以内
概ね1秒程度の遅延を問題とするコンテンツ以外は
スマートグラスとローカル5Gの閉域網を用いて問題
なく使用可能。

作業性インタビュー結果

スマートグラスを使用し、作業を行った未熟練者、遠隔地からの作業支援において支援を行った熟練者にスマートグラスを用いた指導に関して視認性や作業効率についてインタビューを行った

	熟練者・未熟練者による評価・分析	実装に必要な課題
バリ取り時の作業性	<ul style="list-style-type: none"> ・動画で動きがわかりコツがわかりやすかった。 ・動画が大きく見やすかった。 ・細かな動きまで確認できて良かった。 ・速さが確認できて良かった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・内容は理解できたが、指示通りに実践できるかは別であった。
機械セッティング時の作業性	<ul style="list-style-type: none"> ・目線での操作ができることが、手を動かす方法よりも操作性が良かった。 ・手が表示される操作は工具の回転時には移さないようにしないと、巻き込まれる恐れがある。 ・ある程度慣れている作業に近い場合は詳細なマニュアルは読むのに疲れるので必要ない。 ・項目立てて、みる箇所を限定して使用したい。 ・MRを用いたセッティングマニュアルでは、ボタンの押す位置がわかりやすいなどの利点がある一方で、現実の物とMRが重なると実際自分が行っている操作がわかりにくい。 ・未熟練者の作業動画を熟練者が見ると、未熟練者がどの部分に気を付けて作業しているかがわかりやすくてよい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率の良いコンテンツの作成 ・暗い個所の作業はグラス越しでは確認しにくい。 ・手が油で汚れた場合にセンサーを汚してしまう可能性がある。
クラウド利用と閉域網利用による差	<ul style="list-style-type: none"> ・操作は図面を大きくしてみる必要がある。 ・図面の小さい文字などは拡大しなければ読みにくい。 ・工程のやり取りは図面をPDFで参考にした方が通じやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・長時間の使用は目が疲れる。

【課題実証概要】ユースケース③：熟練技術の伝承（4/4）

ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

コンテンツは静止画像や短い動画の方が扱いやすいとの意見があった。

長時間の動画コンテンツを作成し、作業を実施した場合、作業動画を見落とした際にコンテンツ動画を止め、戻ってから再生を行うという作業は煩雑となるため、手間が増えた。

一方で、スマートグラスでコンテンツを確認するためには、コンテンツ作成業務が発生し、従来までの口頭での伝達やメモ書きに比べて時間を要する作業であった。そのため、コンテンツ作成業務については、作業内容が同一で、長期間継続して行う作業に対して行うこととし、単発の発注などに対しては、遠隔作業支援などを活用する方が良いと考えられる。

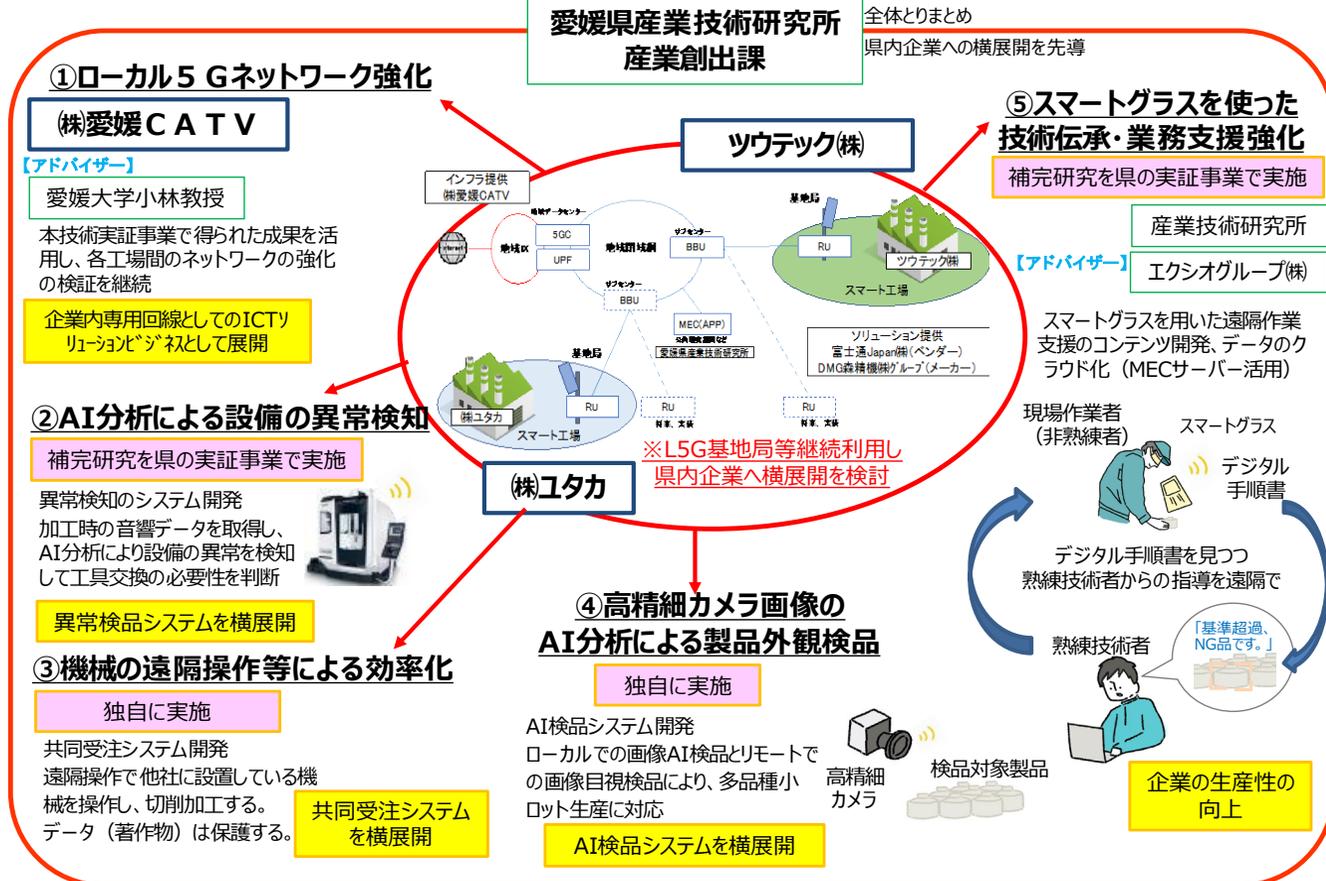


継続利用・実装計画

共有型モデルの実装には、愛媛県が中心となり、(株)愛媛CATVのローカル5G地域シェアリングモデルをフル活用することで横展開するために必要な実証事業を右図の体制で実施する。継続利用・実装計画の見通しは以下のとおり。

- 令和4~5年度は、右図のような体制において愛媛県の独自予算で異常検知と技術伝承業務支援の実証を継続。愛媛県産業技術研究所においては、横展開先企業発掘のため実証結果の周知と、シェアリングモデルの検証を愛媛CATVと共同で継続。独自の取り組みは外部資金を活用する等で開発を令和6年度まで継続実施。
- 令和7~8年度は本コンソーシアムメンバーが中心となり、ソリューションビジネスを県内製造業へ横展開し、さらに全国展開を模索。

ローカル5Gを用いたスマート工場継続体制



まとめ

まとめ

◎技術実証

○電波伝搬特性等の測定

1つの基地局がカバーするエリアの環境が異なっていることが電波伝搬特性に大きく影響し、エリア算出法によるシミュレーション結果と実測値の相違が郊外および市街地いずれでも生じる。

○電波伝搬モデルの精緻化

エリア算出法のR値(ツウテック工場)については壁素材、厚さ、面積占有率の条件により、S値(ユタカ工場)については家屋が密集するエリアと開けたエリアに分けて精緻化した結果、別紙のとおり実測値に近い算出結果を得られる値を求めることができた。詳細は別紙のとおり。

エリア算出法による精度の課題を解決するため3次元レイトレーサ法を導入し、シミュレーションを行った結果、郊外、市街地いずれにおいても精緻化した算出式と同等以上の精度であることを確認した。

○電波反射板によるエリア構築の柔軟化

カバーエリア内のRSRPが強いエリアで地物等に遮蔽されてきたデッドスポットに対し、近隣の強いRSRP値を得られる場所に反射板を設置するとその効果を最大限に活かせること。反射板により明確なパスを構築し伝送性能を向上させられることなどを確認した。

○フィルム反射板と金属反射板の性能評価

金属の反射板は重量があることから設置場所が限定されるため、軽量のフィルム反射板の性能を評価した結果、金属反射板と同等の性能を確認した。

○遅延計測

地域コア設備共有型をオンプレミス型ほか複数条件で比較した結果、地域コア共有型ローカル5Gにより、オンプレミス構成と同等の通信遅延を実現でき、コアの共有により設備コストを抑えながらローカル5Gの特徴を活かせることを確認した。

◎課題実証

○ユースケース①:音響診断による設備の異常検知

本課題実証において、事業・環境が異なる両社の課題に対する効果および運用が可能であることを確認し、実装が可能であると判断した。機能面においては、異常検知確度が目標未達であったが、本実証で得られた異常時のデータを基に異常検知確度を向上できる見込みである。

○ユースケース②:検品対象のAI画像解析

本課題実証において、納期遅延の抑止、余剰品の削減効果を確認し、実装が可能であると判断した。リモートにおける二次検品正答率は目標未達であったが、画像の視認性を向上することにより、実用可能の見込みである。

○ユースケース③:熟練技術の伝承

スマートグラスを用いてコンテンツを利用した作業を行ったところ、一部業務において作業時間が増加したケースはあるものの、概ね円滑な作業支援を行うことができた。

まとめ(別紙)

R値(ツウテック工場)の条件

壁素材	厚さmm	面積占有率	精緻化R値
石膏ボード	200.0	76.58	B棟 1F 18.456 2F 17.456
鉄	2.0	13.82	
ガラス	3.0	9.6	

S値(ユタカ工場)の条件

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