

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

5G及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の
見える化及び遠隔指導の実証

成果報告書

令和4年3月25日

PwC コンサルティング合同会社

目次

1. 実証概要.....	1
1.1 背景・目的.....	1
1.1.1 実証の背景.....	1
1.1.2 実証の目的.....	4
1.2 実証の概要.....	5
1.2.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討.....	5
1.2.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検討.....	5
2. 実証環境の構築.....	7
2.1 実施環境.....	7
2.1.1 実施環境.....	7
2.1.2 実証場所.....	7
2.2 ネットワーク・システム構成.....	12
2.2.1 ネットワーク・システム全体構成.....	12
2.2.2 ネットワーク・システム構成要素.....	13
2.2.3 キャリア 5G ネットワークの構成.....	14
2.2.4 データフュージョンシステムの構成.....	16
2.2.5 超短遅延映像伝送システムの構成.....	20
2.2.6 キャリア 5G 端末の構成.....	22
2.3 システム機能・性能・要件.....	23
2.3.1 キャリア 5G ネットワーク.....	23
2.3.2 データフュージョンシステム.....	24
2.3.3 超短遅延映像伝送システム.....	24
2.3.4 キャリア 5G 端末.....	29
2.4 免許及び各種許認可.....	30
2.5 その他要件.....	31
2.5.1 キャリア 5G ネットワーク.....	31
2.5.2 データフュージョンシステム.....	31
2.5.3 超短遅延映像伝送システム.....	32
2.5.4 キャリア 5G 端末.....	33
2.6 実証環境の運用.....	34
3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）.....	35
3.1 実証概要.....	35
3.2 実証環境.....	36
3.3 実証内容.....	40
3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定.....	40
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化電波伝搬モデルの精緻化.....	68

4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）	85
4.1 実証概要	85
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標	86
4.2.1 背景にある課題	86
4.2.2 実現を目指す将来像	90
4.2.3 課題を踏まえた実装シナリオ及び実証目標	92
4.3 実証環境	96
4.4 実証内容	97
4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証	98
4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証	138
4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討	170
4.4.4 継続利用の見通し・実装計画	177
4.4.5 課題実証における追加提案	187
5. 普及啓発活動の実施	231
5.1 映像制作への協力	231
5.2 実証視察会の実施	234
6. 会合等の開催	240
6.1 キックオフミーティング	240
6.2 コンソーシアム内定例会議	241
6.3 継続利用検討ワークショップ	242
6.4 総務省への文書の提出	243
6.4.1 月次報告書・週次報告書	243
6.4.2 課題管理表	244
6.5 中間成果報告会	245
6.6 最終成果報告会	248
7. 実施体制	250
8. スケジュール	252
9. まとめ	253
別紙	255

1. 実証概要

1.1 背景・目的

1.1.1 実証の背景

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、令和元年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、令和元年12月24日、一部制度化を実施したことに引き続き、令和2年12月18日には、その他の周波数帯の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。令和2年度開発実証事業では、ローカル5G等を活用したソリューションの創出に資する19件の実証事業が実施され成果が取りまとめられた。合わせて令和3年度の開発実証事業の実施方針とともに公表されたところである（令和3年4月16日総務省報道発表）¹

また、令和3年度の開発実証事業の実施に当たって、総務省では、令和3年6月16日（水）～同年7月15日（木）までの間、請負事業者を通じて、実証提案の公募を実施した。公募の結果、74件の実証提案の提出があり、外部の有識者を構成員とした評価会等の結果を踏まえ、以下25件の実証提案が選定された。²

表 1-1 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」選定実証提案

No.	実証件名	代表機関	主たる実施地域
1	中山間地域でのEVロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル5Gの技術的条件及び利活用に関する調査検討	東日本電信電話株式会社	北海道 浦臼町

¹ 「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に係る令和2年度成果及び令和3年度実施方針の公表（令和3年4月）：https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000291.html

² 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」に係る実証提案の公募の結果：https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000304.html

2	フリーストール牛舎での個体管理作業の効率化に向けた実証事業	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所	北海道 常呂郡 訓子府町
3	ローカル 5G を活用した遠隔型自動運転バス社会実装事業	一般社団法人 ICT まちづくり共通プラットフォーム推進機構	群馬県 前橋市
4	新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現	東日本電信電話株式会社	埼玉県 深谷市
5	道路における災害時の被災状況確認の迅速化および平常時の管理・運営の高度化に向けた実証	中央復建コンサルタンツ株式会社	埼玉県 越谷市
6	空港における遠隔監視型自動運転に向けた通信冗長化設計による映像監視技術の実現	東日本電信電話株式会社	千葉県 成田市
7	スタジアムにおけるローカル 5G 技術を活用した自由視点映像サービス等新たなビジネスの社会実装	三菱電機株式会社	東京都 文京区
8	ローカル 5G を活用した鉄道駅における線路巡視業務・運転支援業務の高度化	住友商事株式会社	東京都 目黒区
9	ローカル 5G と AI 技術を用いた鉄道駅における車両監視の高度化	京浜急行電鉄株式会社	東京都 大田区
10	ローカル 5G ネットワーク網を活用したコンサート空間内におけるワイヤレス映像撮影システムの構築	株式会社 stu	東京都 渋谷区
11	大型複合国際会議施設におけるポストコロナを見据えた遠隔監視等による安心・安全なイベントの開催	株式会社野村総合研究所	神奈川県 横浜市
12	5G 及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証	PwC コンサルティング合同会社	神奈川県 横浜市
13	大都市病院における視覚情報共有・AI 解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現	トランスコスモス株式会社	神奈川県 川崎市
14	ローカル 5G を活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証	となみ衛星通信テレビ株式会社	富山県 南砺市
15	富士山地域 DX 「安全・安心観光情報システム」の実現	NPO 法人中央コリドー情報通信研究所	山梨県 富士吉田市
16	ローカル 5G を活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に関する開発実証	株式会社協和エクシオ	岐阜県 美濃市

17	ローカル 5G を活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理の取組み	株式会社 ZTV	三重県 鳥羽市
18	港湾・コンテナターミナル業務の遠隔操作等による業務効率化・生産性向上の実現	西日本電信電話株式会社	大阪府 大阪市
19	高速道路上空の土木建設現場における、安全管理の DX 化に求められる超高精細映像転送システムの実現	清水建設株式会社	大阪府 高槻市
20	スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI 画像認識による見守りの高度化	株式会社長大	奈良県 三郷町
21	プラントの遠隔監視によるガス漏れ等設備異常の効率的検知の実現	広島ガス株式会社	広島県 廿日市 市
22	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（ユタカ社工場）	株式会社愛媛 CATV	愛媛県 松山市
23	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（ツウテック社工場）	株式会社愛媛 CATV	愛媛県 東温市
24	共生社会を見据えた障がい者スポーツにおけるリモートコーチングの実現	株式会社電通九州	福岡県 田川市
25	ローカル 5G を活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現	株式会社正興電機製作所	長崎県 壱岐市
26	ローカル 5G を活用した災害時におけるテレビ放送の応急復旧	株式会社地域ワイヤレスジャパン	沖縄県 浦添市

本報告書は、上記選定された実証提案のうち、No.5「5G 及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実施」にて実証を行った内容を記す。

1.1.2 実証の目的

本実証では、ものづくりの基盤技術となる溶接において、溶接時の映像、音声データ、電流電圧データをダッシュボードに表示し、熟練者がリアルタイムに遠隔指導を行うことで、熟練者の不足、技術継承機会の低下といった製造現場における課題を解決することを目的とした。

技術実証では、このユースケースを前提とし、仕様書で規定されている“a. ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定”、“b. I. 電波伝搬モデルの精緻化”について検討を行う。その際、今回得られた知見が、他の似たような環境（金属加工を実施する工場等、屋内施設）においても適用できるよう、“遮蔽、反射環境における電波伝搬特性”及び“屋内環境におけるエリア展開の在り方”を意識しながら検討を進めていくこととする。

(1) ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討

ローカル 5G システムを様々な用途や環境で柔軟に利用していくためには、エリア構築に関する技術の確立や、他システムとの干渉調整を柔軟にすることが求められ、ローカル 5G の適切な技術基準の改定が必要になる。

工場における狭空間では、大型製品等の電波遮蔽物や異種の無線システム、稼働による環境変化等により、電波の反射や回折、干渉などの影響を受ける。また、工場においては、レイアウト変更に伴う設備の設置位置の変更が頻繁に発生することや、有線による躓き等の危険性から、無線通信の活用ニーズは高く、将来的にローカル 5G を普及させていくためには、製造現場のユーザが円滑にシステム構築を検討することができるよう、電波伝搬特性等の測定によるモデルの精緻化が求められる。

(2) ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検討

ローカル 5G を用いたソリューションを着実かつ早期に実装していくためには、ユーザ企業の適切な課題解決により経済性を確保することや、機能面・運用面の問題を解決することが必要である。また、実証事業を実施するコンソーシアムでのローカル 5G システムの継続利用に加えて、ソリューションの拡張性による普及展開が広まっていくことが重要である。

1.2 実証の概要

1.2.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討

本実証では、IHI 横浜事業所内 技術開発本部 511 棟に置局される 4.5GHz 帯（4.5～4.6GHz）のキャリア 5G 基地局 1 局を用いて実証試験を行った。周波数帯はローカル 5G 周波数帯 4.7GHz 帯（4.6～4.9GHz）の隣接チャンネルであることから、電波伝搬特性も同様の結果が得られると考えられる。

ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定においては、エリア形成の検証として、エリア算出法に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値及びそこから導く伝搬ロス特性により行った。ユーザへのサービス提供品質の評価としては、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間について、下り受信電力値との関係性で評価し、課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。

また、テーマ別実証としては、電波伝搬モデルの精緻化を行った。精緻化の対象パラメータは“R”を選択する。なお、“R”は建物内に基地局を配置する際に建物侵入損失の値に応じて修正するパラメータであり、本実証環境の様に堅牢な壁を有する環境においてのモデルケースを示すにあたって適切なパラメータであると考えられる。本検討において精緻化したパラメータ値により、ローカル 5G 運用エリアに合わせてエリア算出法を適正化する等の制度改正につながることを目指す。

1.2.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検討

ものづくりの基盤技術である溶接について、IHI 社では熟練者不足と技術継承が課題となっている。高度な溶接技術は製造現場の競争力の源泉であるが、近年の熟練技能者の減少が将来、案件の受注機会喪失や、売上減少、製品品質の低下といった問題につながる恐れが大いにある。

本実証では、ローカル 5G とデータフュージョン技術を用いて、溶接士の技能の見える化を図り、リアルタイムな遠隔溶接指導を行うことで、熟練技能者の指導効率の向上と、若手溶接士の早期育成を実現することを目的とする。

遠隔溶接指導においては、溶接士の作業映像、溶接時に発生する音、作業に用いている溶接トーチに流れる電流・電圧などのデータが必要になる。指導者側から適切な指示を送るためには、これらのデータの同期がとられた形で指導者側に送付され、認識されることが望ましい。本実証では、カメラ（動画）、電流・電圧センサ、音声等のデータをローカル（エッジコンピュータ）でフュージョン（統合・同期）させた後、5G システムにおいてデータを送受信する「データフュージョンシステム」を構築して実施した。また、遠隔地からの溶接指導の実現に向けては、実運用や他工場、他社への展開を見据え、導入効果、システム機能、運用に関する検証を実施した。

ソリューションの実装性に関する検証としては、遠隔指導に加え、溶接データを蓄積したマザー工場の将来的な実現等に向け、実装・継続利用のために適切な導入・運用体制、費用対効果の検証、ソリューションの拡張性、実装スケジュール等について検討を行った。加えて、ソリューションの普及展開に向けては、製造業企業のニーズに関するアンケート調査、ヒアリング調査等を行った。

また、追加提案にあたる技能伝承システムの検討にあたっては、溶接士の動作や溶接状態等を、カメラ、モーションセンサ、マイク等で計測し、データから溶接作業のコツを解析するデータ処理方法等を検討する。これにより、溶接作業を例とした技能伝承システムを実現するにあたっての課題を抽出した。基本提案との差分としては、①IMUセンサ(加速度センサ)を用いた動作計測、②5Gデータ送信のためのエッジボード追加改良、③溶接作業のコツを解析するデータ処理方法等の検討の大きく3点を想定した。

2. 実証環境の構築

2.1 実施環境

2.1.1 実施環境

「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）」及び「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）」ともに、株式会社 IHI の横浜事業所を選定した。

横浜事業所には、化学プラント用圧力容器・大型鉄構物・回転機械・シールド掘削機等の産業用機械の製造を行う第一・第二工場の他、溶接試験場が存在している。

溶接試験場においては、他の国内工場で実施されている溶接に関する設備等がある他、工場環境等を模擬して設置されていることから、今後、他工場での波及を行うことを想定した場合、最も適切となるため、当該事業所を選定した。

2.1.2 実証場所

神奈川県横浜市磯子区新中原町 1

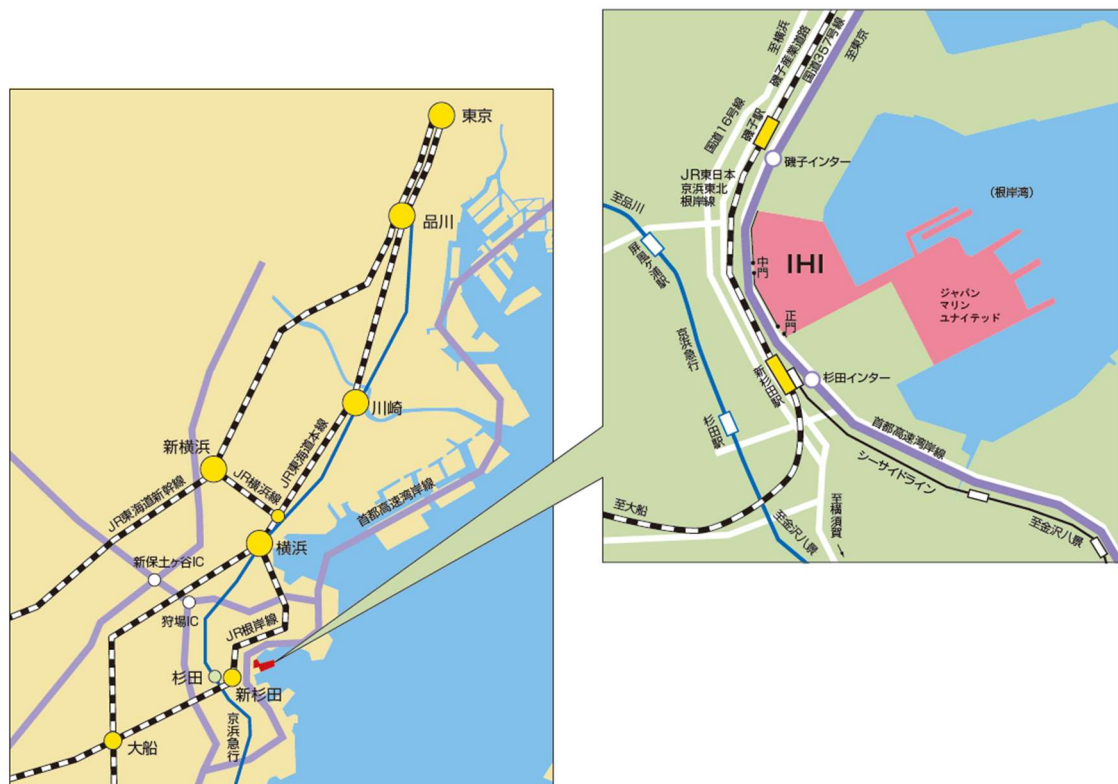


図 2-1 実証場所の概要図

技術実証を行う建物屋内は、溶接など製造現場における様々な研究・開発を実施しており、また、図 2-4 および図 2-5 のように金属製の遮蔽板及び、什器が複数設置されており、遮蔽または反射による電波伝搬特性への影響が発生する環境である。



図 2-2 IHI 横浜事業所

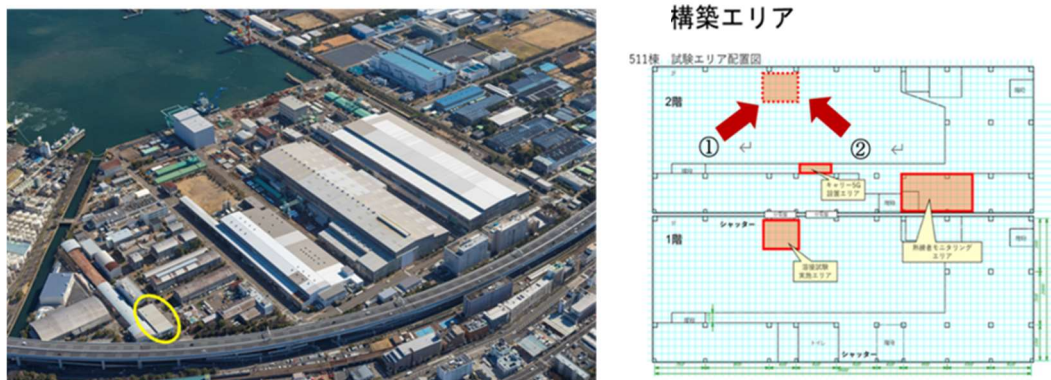


図 2-3 横浜事業所 511 棟



図 2-4 ①の方向から見た状況



図 2-5 ②の方向から見た状況

511棟 溶接試験実施エリア詳細

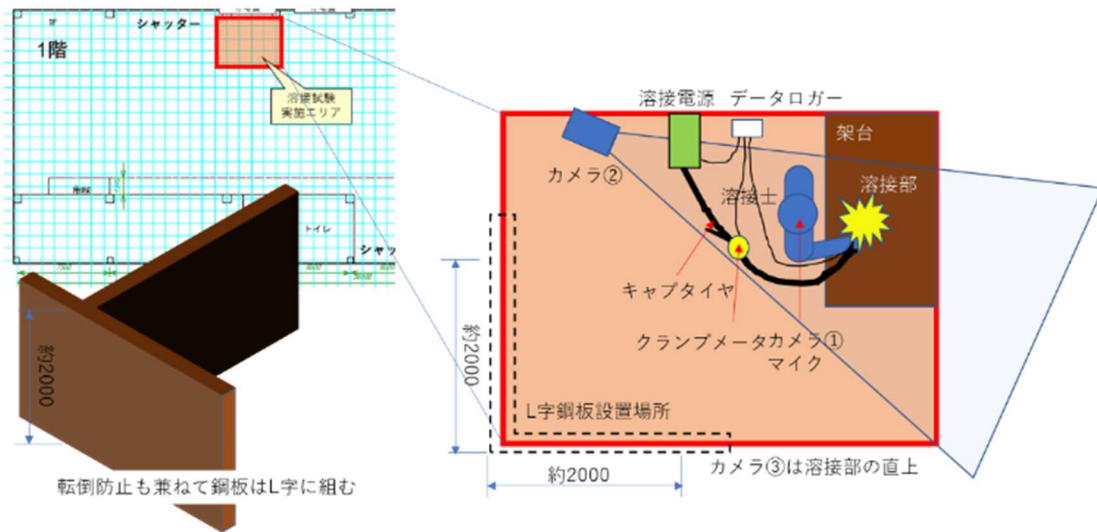


図 2-6 遮蔽物・反射物の状況

溶接工に関する遠隔教育を行う実証のため、本実証は溶接試験場である511棟において実施する。511棟は縦56m、横20mであり、2階建ての建物である。

本棟の2階に5G基地局を設置し、1階において溶接試験を実施した。なお、熟練者による溶接のモニタリング・教育に関しては、2階に設けられた会議室で実施した。図2-7に、511棟試験エリア配置図を示す。

511棟 試験エリア配置図

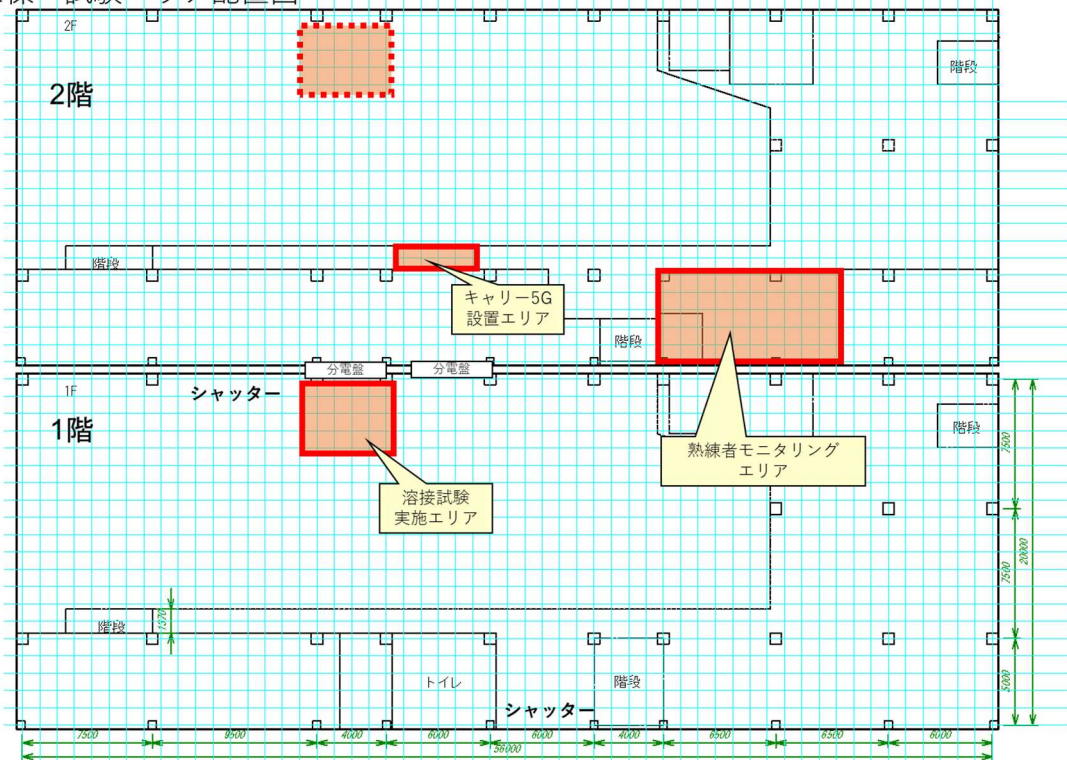


図 2-7 511棟試験エリア配置図



図 2-8 図 2-7 に示す 511 棟試験エリア配置図の写真

2.2 ネットワーク・システム構成

2.2.1 ネットワーク・システム全体構成

今回の実証環境におけるネットワーク・システムの全体構成を下図に示す。

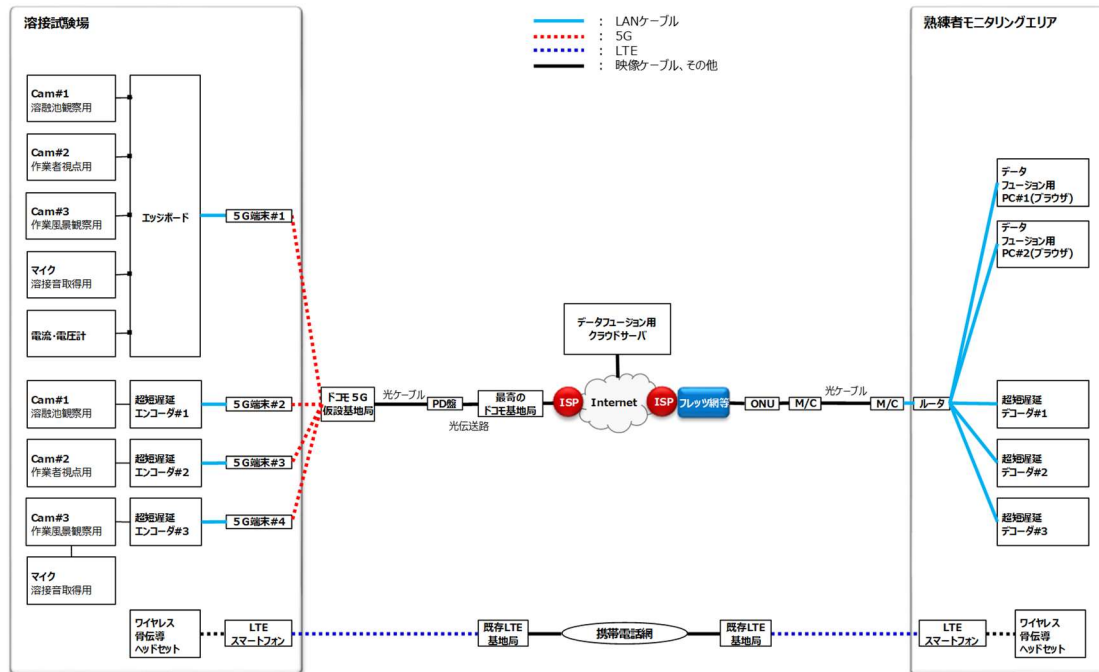


図 2-9 システム全体構成図

社会実装時、熟練者モニタリングエリアは、溶接作業場と同一建屋ではなく、都道府県市町村等を跨いだ遠隔地となるケースが多いと思われる。

については、社会実装時、同一建屋内の同一 5G 基地局を利用して、溶接試験場側と熟練者モニタリングエリア側のトラフィックが流れることはないため、熟練者モニタリングエリアは、疑似的な遠隔地とし、熟練者モニタリングエリア側のトラフィックが 5G 基地局を經由しない様にするため、熟練者モニタリングエリア側の通信回線は、フレッツ光を利用した有線回線とした。

2.2.2 ネットワーク・システム構成要素

今回の実証環境におけるネットワーク・システムを構成する各要素の構成内訳は、下表の通りである。

表 2-1 構成要素の内訳等

構成要素	概要説明	役割	数量	設置形態
キャリア 5G ネットワーク	RU, CU 及びコアネットワークにより構成され、キャリア 5G を使用するネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬特性等に関する技術的検討及びローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討における実証作業を行うためのネットワークとして使用する。 	1 式	固定
データフュージョンシステム	カメラ（動画）、電流・電圧センサ、音声等のデータをローカル（エッジコンピュータ）でフュージョン（統合・同期）し、フュージョン後のデータをモバイル網などのベストエフォート型ネットワークを介して、ストリーミングするための双方向データ伝送システム	<ul style="list-style-type: none"> データフュージョン カメラ（動画）、電流・電圧センサ、音声等のデータをローカル（エッジコンピュータ）でフュージョン（統合・同期）し、キャリア 5G ネットワークを介したストリーミング配信可能な様にする。 ストリーミング再生 ネットワークを介し、ストリーミング配信されたフュージョン後のデータを再生する。 	1 式	固定
超短遅延映像伝送システム	「映像の遅れ」を極限まで抑えることで、遠隔地の映像をよりリアルタイムに配信できるようにしたシステム	<ul style="list-style-type: none"> 映像エンコーディング ビデオカメラ等を映像エンコーダ機器に接続し、キャリア 5G ネットワークを介し、映像デコーダ機器に映像を直接送信できる様にする。 映像デコーディング ネットワークを介し、中継された映像を再生する。 	3 式	固定
キャリア 5G 端末	キャリア 5G ネットワークとの通信を行うための機器	<ul style="list-style-type: none"> データフュージョンシステムおよび超短遅延映像伝送システムに於いて、キャリア 5G ネットワークを介したデータ通信を行う。 	5 台	固定

2.2.3 キャリア 5G ネットワークの構成

今回の実証環境におけるキャリア 5G ネットワークの構成を下図に示す。

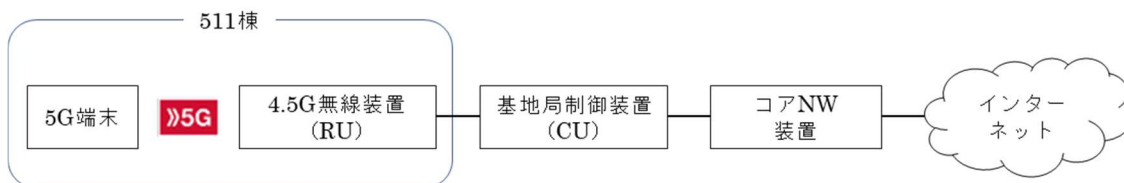


図 2-10 キャリア 5G ネットワーク構成図

基地局無線部特性及び性能は以下の通り。

- ・ 通信方式：キャリア 5G（ドコモ）
- ・ LTE をアンカーバンドとしたノンスタンドアロン（NSA）方式
- ・ 無線局数：1 局
- ・ 周波数帯：4.5GHz 帯
- ・ 帯域幅：100MHz（4.5-4.6GHz）
- ・ キャリア間隔：30KHz（4.5GHz）
- ・ 変調方式：DL（QPSK,16QAM,64QAM,256QAM）、UL（QPSK,16QAM,64QAM）
- ・ 同時接続数：1500UE/セル（無線局）

表 2-2 キャリア 5G システム（基地局）の概要

	基地局 A
製造ベンダ	富士通社
台数	1 台
設置場所（屋内/屋外）	屋内
同期/準同期	同期
UL : DL 比率	1:4
周波数帯	4.5GHz 帯
SA/NSA	NSA
UL 周波数	4.5～4.6GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	
UL 中心周波数	4.55GHz
DL 中心周波数	
キャリア間隔	30KHz（4.5GHz）
UL 変調方式	QPSK,16QAM,64QAM
DL 変調方式	QPSK,16QAM,64QAM,256QAM

MIMO	2×4MIMO
同時接続数	1500UE/セル（無線局）

2.2.4 データフュージョンシステムの構成

今回の実証環境におけるデータフュージョンシステムの構成を下図に示す。

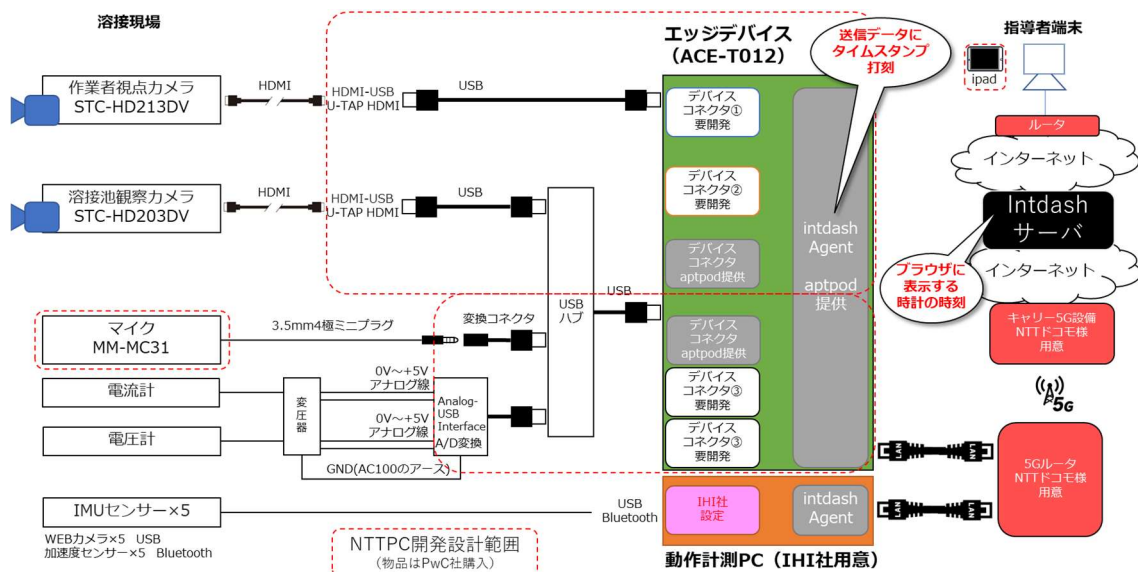




図 2-11 データフュージョンシステムの構成図

表 2-3 データフュージョンシステムの概要

エッジデバイス		アスク社 ACE-T012
機械と環境	電力要件	12-19V
	サイズ (mm)	120 (D) x 120 (W) x 45.75 (H) mm
	動作湿度	10% ~ 90%
I/O	ストレージ	1x Micro SD card slot
	ビデオ	1x HDMI Type A
	LAN	1x RJ-45 for GbE
	拡張スロット	1x M.2 M Key
		1x M.2 E Key
		1x M.2 B Key
		1x 120-pins Connector for MIPI CSI-II
USB	1x MicroSD	
	2x USB3.2 Gen1 Type A	
	1x USB2.0 TypeAB	

	その他	1x Front Panel
		1x RS232
		2x UART
		5x GPIO
		1x I2C
		1x SPI
		1x CAN
		1x eDP (12V Support)
ACE-T012 写真		
HDMI-USB 変換器		AJA 社 U-TAP HDMI
技術仕様	ビデオフォーマット	ビデオ (HDMI) (HD) 1920 x 1080p 23.98, 24, 25, 29.97, 30, 50, 59.94, 60 (HD) 1920 x 1080i 25, 29.97, 30 (HD) 1280 x 720p 50, 59.94, 60
	デジタルビデオ入力	HDMI v1.4a, 24-bits/30-bits または 36 bits/pixel, RGB または YUV
	デジタルオーディオ入力	2 チャンネル, 24-bit HDMI エンベッドオーディオ, 48 KHz サンプルレート
	ビデオキャプチャー	16-bits/pixel, YUV (ビデオ入力は、必要に応じて短縮されます)
	オーディオキャプチャー	2 チャンネル, 16-bit, 48 KHz サンプルレート (オーディオ入力は、必要に応じて短縮されます)
	ホスト IF	USB 3.0/USB 2.0 UVC/UAC 対応

	サイズ (WDH)	83.82 mm x 60.96 mm x 25.4 mm
	重量	200g
	電源	5V USB バスパワー; 最大 3.5W
	動作環境	<ul style="list-style-type: none"> ・安全動作温度 : 0°C ~ 40°C (32° F ~ 104° F) ・安全保管温度 (電源オフ時) : -40°C ~ 60°C (-40° F ~ 140° F) ・動作相対湿度 : 10% ~ 90% (結露なきこと) ・動作高度 : 3,000m 未満 (10,000 フィート未満)
U-TAP HDMI 写真		
ANALOG-USB 変換器		Aptpod 社 EDGEPLANT ANALOG-USB Interface
型式	EP1-AG08A	
電源	USB バスパワー (定格 5V、400mA、2W)	
ホスト IF	USB 2.0 High Speed (USB Type-B)	
対応 OS	Linux および Windows10 (Windows10 は後日対応予定)	
アナログ入力変換方式	$\Delta\Sigma$ 型	
アナログ入力ポート数	8 ポート、差動入力	
アナログ入力サンプリング周波数	0.01Hz、0.1Hz、1Hz、10Hz、156.25Hz、312.5Hz、625Hz、1.25KHz、2.5KHz、5KHz、10KHz (ソフトウェアで設定可能、全ポート共通)	
アナログ入力絶対最大定格	$\pm 12V$	
アナログ入力レンジ	+5V、 $\pm 5V$ 、 $\pm 10V$ (ポートごとにソフトウェアで設定可能)	

アナログ入力データ分解能	16bit
アナログ出力ポート数	1 ポート、シングルエンド
アナログ出力レンジ	0V～+5V
アナログ出力データ分解能	12bit
電源出力電圧	5V
電源出力電流	最大 80mA
電源出力保護回路	過電流保護
絶縁耐圧（USB - アナログ間）	1KV
認証	FCC、CE
動作温度	-25 °C ~ +65 °C
動作湿度	10% ~ 90%（結露なきこと）
保管温度	-40 °C ~ +85 °C
標準外形寸法（幅×奥行×高）	106mm × 79mm × 31mm
質量（本体）	約 210g
ANALOG-USB 写真	

2.2.5 超短遅延映像伝送システムの構成

今回の実証環境における超短遅延映像伝送システムの概要構成および各要素の内訳を以下に示す。

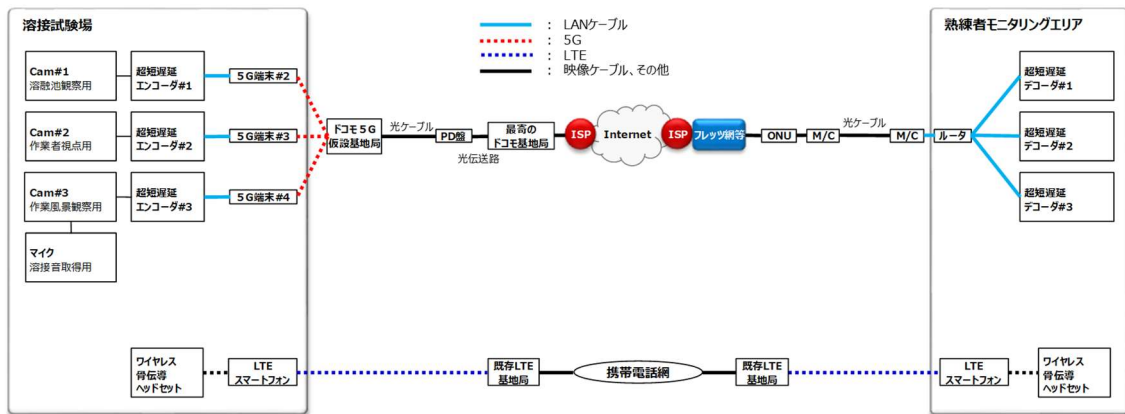


図 2-12 超短遅延映像伝送システムの概要構成図

表 2-4 超短遅延映像伝送システム構成要素の内訳一覧

構成要素	概要説明	型番	メーカー	数量	設置形態	備考	
1	カメラ 1 (溶融池観察用)	溶融池観察用の映像を撮影するためのカメラ	STC-HD203DV	OMRON SENTECH	1 台	固定 (注 1)	
2	カメラ 2 (溶接士目線カメラ)	溶接士目線の映像を撮影するためのカメラ	STC-HD213DV	OMRON SENTECH	1 台	固定 (注 2)	
3	カメラ 3 (全体俯瞰用)	溶接作業の作業風景を撮影するためのカメラ	FDR-AX60	SONY	1 台	固定 (注 2)	
4	マイク (溶接音取得用)	溶接音を取得するための集音マイク	MM-MC31	SANWA SUPPLY	1 個	固定	カメラ 3 と接続
5	ワイヤレス骨伝導イヤホン	周辺音を聞き取りながら遠隔地からの溶接熟練者との音声コミュニケーションを行うためのワイヤレス骨伝導イヤホン	Aeropex	AfterShokz	2 個	固定 (注 3)	
6	映像送信機 (映像エンコーダ)	ビデオカメラ等を映像エンコーダ機器に接続し、キャリア 5G ネットワークを介し、映像を映像デコーダ機器に直接送信する	Smart-telecaster Zao-SH	SolitonSystems	3 台	固定	
7-1	映像受信機本体	ネットワークを介し、中継された映像をデコードし、再生する	Z4G4	HP	3 台	固定	映像受信機用 SDI 出力ボード搭載
7-2	映像受信ソフトウェア (ZaoView)		Smart-telecaster ZaoView	SolitonSystems	3 個	搭載	映像受信機本体にインストール

73	映像受信機用 ディスプレイ		AORUS FI25F	GIGABYTE	3台	固定	映像受信機 本体と接続
8	映像変換器 (SDI to HDMI)	中継された音声付映像ソ ースのみを HDMI ディ スプレイに出力するた めの映像変換器	Micro Converter SDI to HDMI 3G	Blackmagic design	3台	固定	映像受信機 本体および HDMI ディ スプレイと 接続
9	キャリア 5G 端末	NTT ドコモの商用 5G サービスに対応している 5G 端末	iR730B-001	IDY	3台	固定	映像送信機 (映像エン コード)と 接続

(注 1) 溶接マスクへの取り付けによる設置とする。

(注 2) 三脚等での固定による設置とする。

(注 3) 溶接作業側スマートフォン、遠隔指導側スマートフォンと Bluetooth 接続し、溶接作業者及び遠隔指導者が頭部に装着する。

2.2.6 キャリア 5G 端末の構成

今回の実証環境において利用するキャリア 5G 端末を利用する箇所は、図 2-9 システム全体構成図に示す通りとする。

2.3 システム機能・性能・要件

今回の実証環境におけるネットワーク・システムを構成する各要素のシステム機能・性能・要件を以下に示す。

2.3.1 キャリア 5G ネットワーク

5G の無線アクセスネットワーク (RAN:Radio Access NW) を収容するコアネットワークは、交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワークであり、端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。インターフェースとして、eUTRAN (LTE/LTE-Advanced の RAN) を収容する既存コアネットワークである EPC (Evolved Packet Core)、および RAN-コアネットワーク間のインターフェースとして、eUTRAN-EPC 間は S1 インターフェースを流用する構成となる。EPC では、ユーザの認証、ユーザデータパケットの転送経路の設定、QoS 制御、移動制御などの機能を提供している。呼制御方式としては、常時接続である「Always-ON」コンセプトを採用し、移動端末の電源 ON と同時に IP アドレスが割り振られ、固定網と同様に通信が可能となる。

表 2-5 ドコモ 5G の交換機 (EPC) 諸元

5G-RAT 収容オプション		Option3 (NSA)	
EPC 機能部稼働環境		NFV (仮想化)	
主な機能部	MME	基地局制御、モビリティ制御	
	ESPGW	S-GW	3GPP アクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイ
		P-GW	EPC が接続する外部ネットワークとの接続点であり、IP アドレスの割り当てや S-GW へのパケット転送等を行うゲートウェイ
	PCRF	ユーザデータ転送の QoS 及び課金制御	



図 2-13 ドコモ 5G の交換機（EPC の一部機能部が実装されたハードウェア）

2.3.2 データフュージョンシステム

カメラやセンサ等の複数データを対象に、時刻同期のためのタイムスタンプを付与しつつ、低遅延でクラウドへデータを送信する仕組みとしてデータフュージョンシステムを用いる。当該システムは、データフュージョンに対応ミドルウェアをエッジボードにインストールおよび環境構築して使用する。

当該ミドルウェアは、数十ミリ秒間隔程度の高い頻度で生じる時系列データを、5G 網などのベストエフォート型ネットワークを介して高速・大容量かつ安定的にストリーミングするための双方向データ伝送用の IoT フレームワークであり、高いリアルタイム性（低遅延）、欠損したデータの完全回収、伝送効率の向上、伝送データの流量制御等の特徴を有する。なお、遠隔地においてはインターネットを通じて PC ブラウザによりダッシュボード上で映像・センサデータ等をリアルタイム確認またはプレイバック確認が可能である。

2.3.3 超短遅延映像伝送システム

今回の実証環境で利用する超短遅延映像伝送システムのシステム機能・性能・要件を下表に示す。

表 2-6 システム機能・性能・要件（超短遅延映像伝送システム）

No	項目	内容
1	システム機能	<p>主な機能は以下の通り。 （詳細は、表 2-7 機器仕様一覧（超短遅延映像伝送システム）に示す通り。）</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 伝送データ並列圧縮処理機能による超短遅延映像中継機能 ➤ 遅延付き再生機能 ➤ 複数回線データ分割伝送機能 ➤ 複数回線冗長伝送機能 ➤ シリアルデータ送受信機能
2	要件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証実験環境に於いて、エンコーダへの映像入力からデコード機器に接続されているディスプレイまでの区間に於ける映像伝送遅延 200msec 以下の実現が期待できること。 ・ 5G 端末による映像伝送が可能なこと。 ・ 遅延付き再生機能を有している等、複数のカメラ映像と対となる超短遅延映像システムを用いた構成に於いても、同期ずれを軽減する機能を有していること。
3	性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ End-End で有線接続且つ、途中区間に余分な機器接続を廃した最小構成によるローカル環境に於いて、エンコーダへの映像入力からデコード機器に接続されているディスプレイまでの区間に於ける映像伝送遅延が 100msec 以下であること。

表 2-7 機器仕様一覧（超短遅延映像伝送システム）

No	品目、製品写真	仕様	
1	カメラ 1 (溶融池観察用)	型番	STC-HD203DV
		メーカー	OMRON SENTECH
		モノクロ/カラー	カラー
		映像出力	1080P60 / 1080P59.94 / 1080P50 / 1080P30 / 1080P29.97 / 1080P25 / 720P60 / 720P59.94 / 720P50
		撮像素子	1/2.8 インチ 2.3 メガピクセル CMOS (SONY: IMX136)
		セルサイズ (H x V, μ m)	2.8 x 2.8
2	カメラ 2 (作業員視点用カメラ)	型番	STC-HD213DV
		メーカー	OMRON SENTECH
		モノクロ/カラー	カラー
		映像出力	1080P60 / 1080P59.94 / 1080P50 / 1080P30 / 1080P29.97 / 1080P25 / 1080i60 / 1080i50 / 720P60 / 720P59.94 / 720P50
		撮像素子	1/2.8 インチ 216 万画素 カラー CMOS (SONY: IMX291)
		セルサイズ (H x V, μ m)	2.9 x 2.9

No	品目、製品写真	仕様		
3	カメラ3 (全体俯瞰用)	型番	FDR-AX60 ³	
		メーカー	SONY	
4	マイク (溶接音取得用)	型番	MM-MC31	
		メーカー	SANWA SUPPLY	
		形式	コンデンサタイプ	
		指向性	無(全)指向性	
		周波数特性	100~13000Hz	
		入力感度	-32dB±3dB (0dB=1V/Pa 1KHz)	
		-52dB±3dB (0dB=1V/ubar 1KHz)	0	
		インピーダンス	2.2KΩ	
		サイズ	W55×D64×H143mm	
		プラグ形状	直径3.5mm4極ミニプラグ (CTIA規格準拠)	
		ジャック形状	直径3.5mmステレオミニ (ヘッドホン・スピーカー用)	
		ケーブル	1.6m	
		重量	88g(ケーブル含む)	
5	ワイヤレス骨伝導 イヤホン	型番	AEROPEX	
		メーカー	AfterShokz	
		骨伝導技術	第8代骨伝導技術	
		Bluetooth	Bluetooth V5.0	
6	映像送信機 (映像エンコーダ)	型番	Smart-telecaster Zao-SH	
		メーカー	SolitonSystems	
		重量	約350g	
		サイズ	幅77mm×高さ123mm×奥行き35mm(突起を除く)	
		電源	専用コネクタ×1基、内蔵バッテリー(約20Wh、約60分稼動、約150分充電)×1基搭載	
		消費電力	約20W	
		映像入力端子	BNC(75Ω din1.0/2.3)×1基、HDMI×1基搭載	
		通信端子	micro USB2.0×3基、USB2.0×1基搭載	
		動作環境	動作時	0~+40℃ / 20~80%RH(結露無きこと)
			保存時	-20~+60℃ / 10~80%RH(結露無きこと)
通信	適用回線	5G、LTE、WiFi、Ethernet		
	エラー訂正	ARQ、パケットソート		

³ FDR-AX60 主な仕様 | デジタルビデオカメラ Handycam ハンディカム | ソニー (sony.jp) : <https://www.sony.jp/handycam/products/FDR-AX60/spec.html>

No	品目、製品写真	仕様			
			プロトコル	UDP/IP, TCP/IP (RASCOW2)	
			マルチリンク	最大 4 回線	
			シリアル通信	指定の USB シリアル変換ケーブルによる拡張	
		映像	符号化方式	H.265 Main Profile	
			対応入力フォーマット	<ul style="list-style-type: none"> • HDMI 1980×1080 : 25p, 29.97p, 30p, 50p, 50i, 59.94p, 59.94i, 60p, 60i 1280×720 : 50p, 59.94p, 60p • SDI 1980×1080 : 25p, 29.97p, 30p, 50i, 59.94i, 60i 1280×720 : 50p, 59.94p, 60p 	
			ビットレート	128kbps～15Mbps	
			フレームレート	最大 29.97fps (入力映像が 1080p 59.94 / 29.97 の場合) 最大 59.94fps (入力映像が 720p 59.94 の場合)	
			音声 (双方向)	符号化方式	Opus
		チャンネル		Stereo	
		サンプリング		48KHz	
		入力		Embedded Audio	
		出力		3.5φ ステレオミニプラグ	
				ビットレート	16~510 kbp
		7	映像受信機 (映像デコーダ)	映像受信機本体	
		型番	HP Z4G4 Workstation		
		メーカー	HP		
		OS	Ubuntu 18.04 LTS		
		CPU	IntelR XeonR W-2123 Processor (3.6GHZ、4Core、8.25M キャッシュ)		
		RAM	32GB DDR4 SDRAM (2666MHz ECC Registerd、8GB x4)		
		HDD	1TB HDD (SATA、7200rpm)		
		GPU	NVIDIAR QuadroRTX4000 8GB		
		出力インターフェース	DisplayPort / SDI *SDI 出力は要 SDI 出力ボード		
		ネットワークインターフェース	LAN 1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T 対応		
		SDI 出力ボード搭載有無	有		

No	品目、製品写真	仕様	
		映像受信ソフトウェア	
		型番	Smart-telecaster Zao View
		メーカー	SolitonSystems
		同時接続数	Zao-SH×1
		伝送モード	遅延優先モード (Low-latency) / 帯域優先モード (Bandwidth)
		符号方式	H.265 Main Profile
		映像ビットレート	128Kbps～15Mbps
	音声 (双方向)	符号化方式	Opus
		チャンネル	Stereo
		サンプリング	48KHz
		入力	内蔵サウンドカード
		出力	Embedded Audio (DisplayPort または内蔵サウンドカード) *SDI 出力は要 SDI 出力ボード
		ビットレート	16～510 Kbps
		追加遅延量設定	0msec～1000msec
		遅延警告表示	有 (50msec～1000msec)
		外部機器遅延量設定	0msec～1000msec
		シリアル通信	指定の USB シリアル変換ケーブルによる拡張
		映像受信機用ディスプレイ	
		型番	AORUS FI25F
		メーカー	GIGABYTE
		ディスプレイ (リフレッシュレート/液晶表示最大解像度)	24.5 インチワイド (240 Hz/1920×1080)
		応答速度	0.4ms (MPRT)
		入力端子	HDMI2.0x2 DisplayPort1.2x1

2.3.4 キャリア 5G 端末

今回の実証環境で利用するキャリア 5G 端末の諸元を下表に示す。

表 2-8 5G 端末諸元 iR730B-001

通信方式		5G/4G/3G	
NTT ドコモ IOT 完了情報	5G	対応有無	S
		対応周波数	Band n78/n79
	4G	対応有無	S
		対応周波数	Band 1/3/19/28/42
		カテゴリ	Cat.12
		DL CA	5CC
		UL CA	2CC
	3G	対応有無	S
		対応周波数	Band I/VI/XIX
		DL カテゴリ	Cat.24
		UL カテゴリ	Cat. 7
	Function	CS 音声	NS
		VoLTE	S
		データ通信	S
		SMS	S
		eDRX	NS
PS・M		NS	
SIM サイズ		ドコモ nanoUIM	
GPS		S	

2.4 免許及び各種許認可

本実証においては、NTT ドコモが免許人としてキャリア 5G 商用免許（4.5GHz）1 局の申請を行った。免許取得にあたっては、採択後速やかに総務省総合通信局に無線局免許申請を行い、実証開始までに無線局免許を取得した。また、4.5GHz 帯申請時の確認事項となっているヘリポートとの離隔については、本基地局の申請位置から半径 50m の範囲にヘリポートが存在しないことを確認済みである。

2.5 その他要件

2.5.1 キャリア 5G ネットワーク

本実証実験においては、以下の、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和 2 年法律第 37 号）に基づく開発供給計画認定を受けた製品を利用した。

1. 認定の日付:令和 2 年 12 月 21 日
2. 認定番号:2020 導 1 総第 0001 号-1
3. 認定開発供給事業者の名称:株式会社 NTT ドコモ

なお技術実証に用いる測定機材については、校正証明書を添付の上、実証試験前に測定系の構築及び事前測定を実施した。

2.5.2 データフュージョンシステム

本実証事業において開発を実施する対象は次のものとする。データフュージョンを実行するエッジ機器と各デバイス（カメラ、マイク、電流計、電圧計）との接続インターフェース（デバイスコネクタ）を開発する。開発はエッジ機器メーカーから提供される SDK を活用し各デバイス側の仕様をエッジボードに対応させることとする。

- カメラデバイス – エッジボード間インターフェースプログラム
- マイク、電流計、電圧計 – エッジボード間インターフェースプログラム

本実証事業においてデバイスから得られるデータ（電流/電圧などのセンサデータ、作業シーンなどの映像データ）は個人情報に該当するものではないものを取り扱う事とするが、作業員などの個人情報に該当するデータがある場合には個人情報保護法に基づき対処を実施するものとする。

実証前にデータフュージョンシステムの品質を担保するため、12 月中にインターフェース開発完了および疑似環境におけるシステム動作確認を行った上で、1 月に実証環境構築を行った。

なお、本実証実験においては、データフュージョンシステムにてクラウド型サービスである aptpod 社の「intdash」を利用する。本実証実験におけるクラウド上への個人情報データの収集は無い。「intdash」のセキュリティ対策についてはサービスガイドの「07. intdash の運用基盤と安全性」に準じる。⁴

⁴ aptpod 社:オートモーティブプロ評価ガイド ver1.0.0,
https://www.aptpod.co.jp/download/AutomotivePro_Intro.pdf

2.5.3 超短遅延映像伝送システム

開発を伴う機器利用はない。については、令和3年11月下旬に東京都新宿区内のNTTドコモのラボ施設内で、超短遅延エンコーダへの映像入力からデコード機器に接続されているディスプレイまでの区間について、LANケーブルによる有線接続構成（無線区間なし）にて、映像伝送遅延時間を測定した。また、今回の実証環境に於いても、令和3年12月24日に同様に有線接続構成にて、映像伝送遅延時間を測定した。

表 2-9 ローカル環境での映像伝送遅延時間

項番	実施場所	実施日	設定値			映像伝送遅延時間
			映像解像度	Frame rate	Video Bitrate	
1-1	NTT ドコモの ラボ施設(東京 都新宿区内)	2021/ 11/15	Full-HD (1920× 1080)	30 fps	14 Mbbs	平均 63.0 msec
1-2					10 Mbbs	平均 61.9 msec
2-1-1	熟練者モニタ リングエリア	2021/ 12/24	Full-HD (1920× 1080)	30 fps	12 Mbbs	平均 59.9 msec
2-1-2					10 Mbbs	平均 59.4 msec
2-2-1	(横浜市磯子 区内)	12/24	HD (1280× 720)	60 fps	12 Mbbs	平均 31.0 msec
2-2-2					10 Mbbs	平均 31.2 msec

クラウドサービスの利用はないが、インターネットプロバイダ網を経由して、グローバルIPアドレスを固定割当されている受信拠点に直接映像データ等の伝送を行った。

なお、伝送されるデータに作業員などの個人情報に該当するデータが存在する可能性があるが、本システムには録画機能は有しておらず、電磁的な記録や保管等はされない。

2.5.4 キャリア 5G 端末

開発を伴う機器利用はない。なお NTT ドコモの相互接続性試験^(注1)完了済の製品であるため、ラボ環境などでの性能確認は実施しないこととした。

(注 1) NTT ドコモのネットワークで利用される法人のお客さま向けのメーカーブランド製品と、NTT ドコモのネットワークとの相互接続性を確認する試験。メーカーブランド製品とは、NTT ドコモが製品のブランド名に NTT ドコモの名称をつけて販売する製品ではなく、メーカー各社が独自に開発しメーカーのブランド名をつけて販売する製品のことを指す。

2.6 実証環境の運用

今回の実証環境では、各検証に於いて、実証実験参加者全員に対して、実証実験に於ける体制やルール等を周知すると共に、意思疎通を図るために実証開始前に実証作業計画書を作成した。図 2-14 に、トラブル・異常時における連絡体制図を示す。トラブル・異常が発生した場合においては、実証コンソーシアム各社から実証コンソーシアム代表機関 (PwC コンサルティング合同会社) に連絡し、その後実証事業事務局 (株式会社三菱総合研究所)、その後総務省に連絡する流れとした。

また、本実証ではキャリア 5G の商用免許運用となることから、実証時以外においても停波などは行わず常時運用とする。また 5G 機器の警報監視についてドコモオペレーションセンターにて 24 時間実施し、機器異常時はオペレータによる遠隔制御を行い、システムの正常性維持を図る。具体的には、5G 基地局に関するトラブルの場合は、株式会社 NTT ドコモにて対応し、実証コンソーシアム代表機関 (PwC コンサルティング合同会社)、その後実証事業事務局 (株式会社三菱総合研究所) に連絡する流れとした。

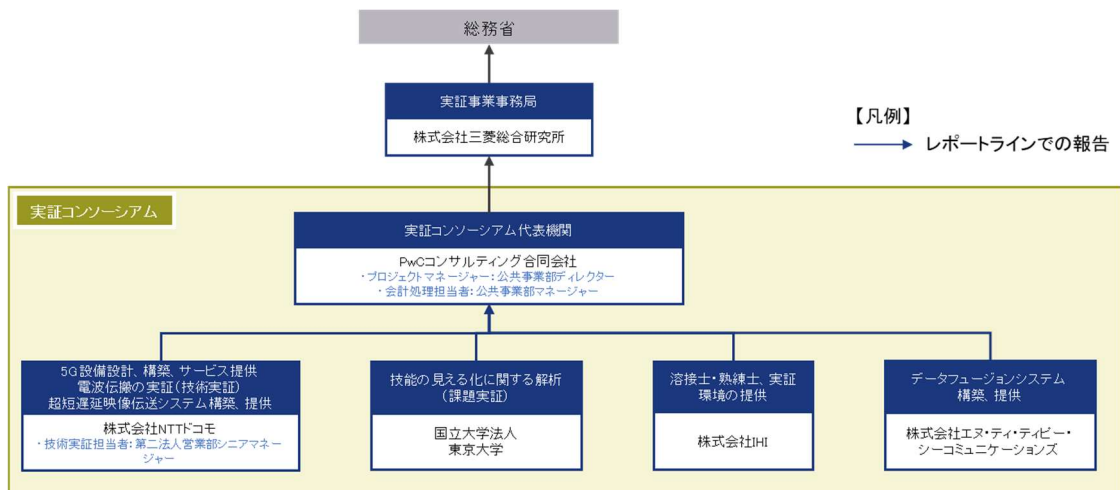


図 2-14 トラブル・異常時における連絡体制

3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

工場分野における課題実証では“ものづくりの基盤技術となる溶接について、溶接時の映像、音声データ、電流電圧データをダッシュボードに表示し、熟練者のリアルタイムでの遠隔指導を行う事で、熟練者の不足、技術継承機会の低下といった製造現場における課題の解決”を目的としている。技術実証においても、このユースケースを前提とし、仕様書で規定されている“a.ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定”、“b. I.電波伝搬モデルの精緻化”について検討を行う。その際、今回得られた知見が、他の似たような環境（金属加工を実施する工場等、屋内施設）においても適用できるよう、“遮蔽、反射環境における電波伝搬特性”及び“屋内環境におけるエリア展開の在り方”を意識しながら検討を進めていくこととした。

また、電波伝搬特性の解析においては、ITU や 3GPP における 5G 検討で用いられているパラメータ等を活用して検討を行った。

表 3-1 技術実証の概要

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

3.2 実証環境

神奈川県横浜市磯子区新杉田町の株式会社 IHI 横浜事業所内 技術開発本部 511 棟に置局される 4.5GHz 帯 (4.5~4.6GHz) のキャリア 5G 基地局 1 局を用いて実証試験を行う。なお、ドコモが運用するキャリア 5G 周波数帯は 4.5GHz 帯 (4.5~4.6GHz) であり、ローカル 5G 周波数帯 4.7GHz 帯 (4.6~4.9GHz) の隣接 CH であることから、電波伝搬特性も同様の結果が得られると考える (図 3-1 参照)。

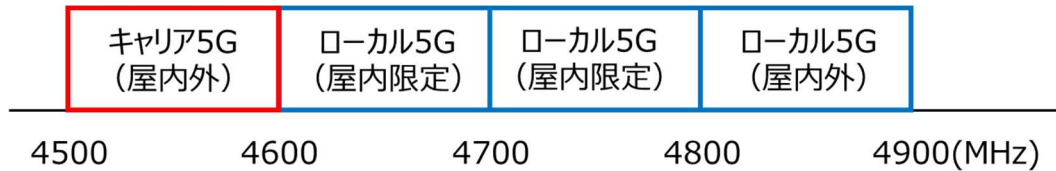


図 3-1 4.5GHz~4.9GHz における周波数配置

図 3-2 及び図 3-3 に株式会社 IHI 横浜事業所における技術実証試験フィールドおよび基地局設置状況を示す。

技術実証を行う建物屋内は、溶接など製造現場における様々な研究・開発を実施しており、図 3-4 の様に、金属製の遮蔽板及び、什器が複数設置されており、遮蔽または反射による電波伝搬特性への影響が発生する環境である。

技術実証に使用する 5G 無線システムの諸元については、「2.2 ネットワーク・システム構成」を参照されたい。

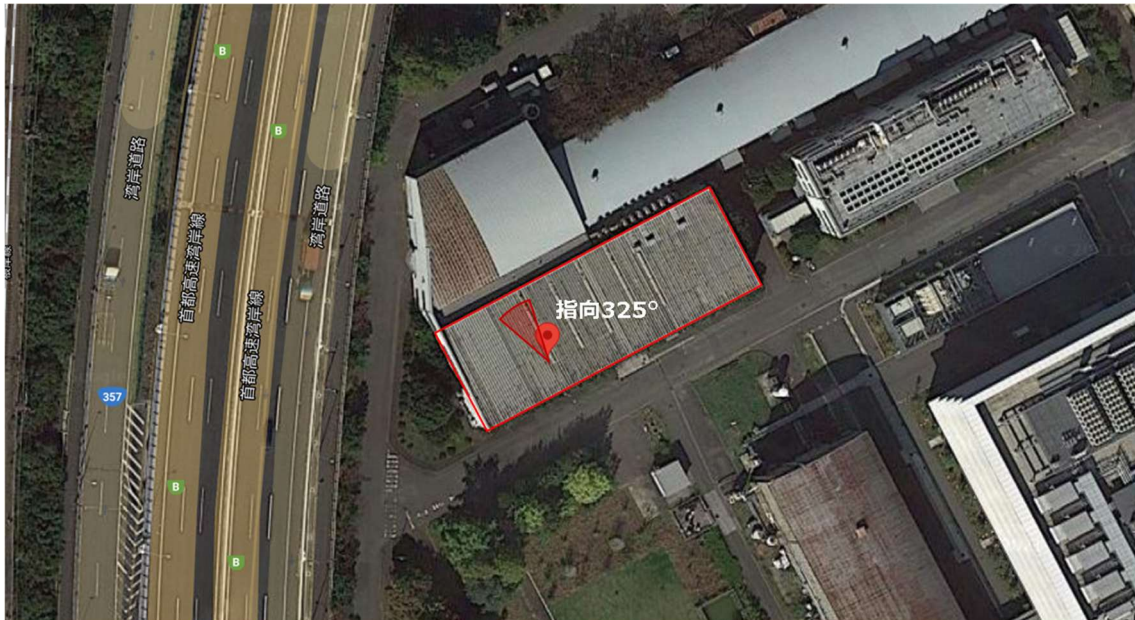


図 3-2 技術実証試験フィールドおよび基地局設置状況

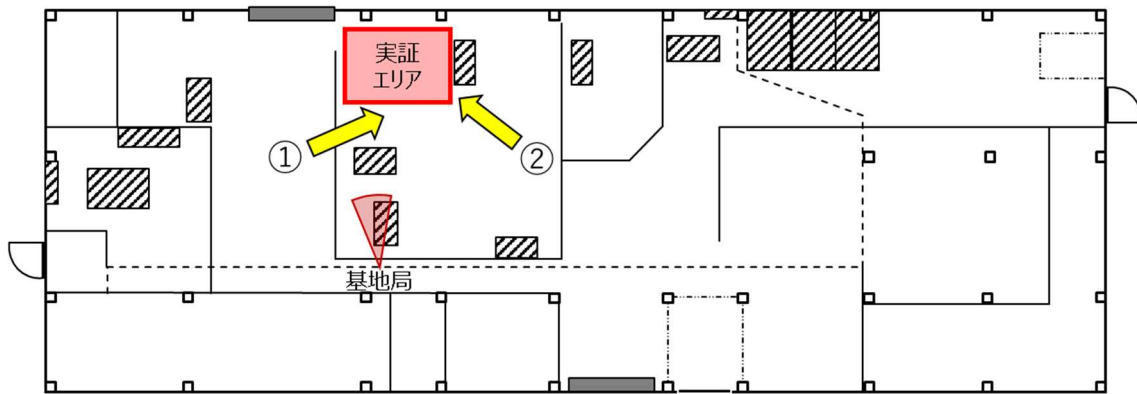


図 3-3 技術実証試験フィールドおよび基地局設置状況

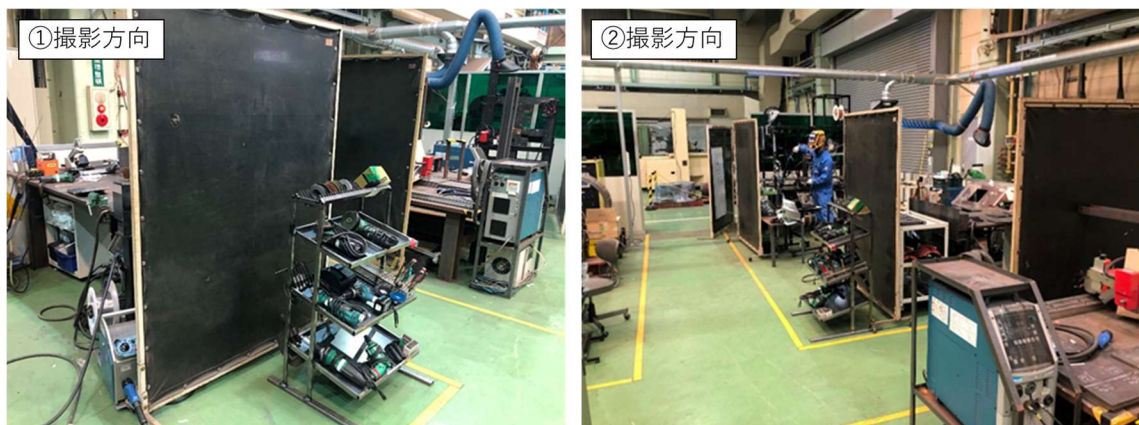


図 3-4 遮蔽物・反射物の状況

各種データの実測に使用した測定機器を表 3-2 に示す。

表 3-2 実測に使用した測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu エリアテスタ ML8780A ⁵	SS-RSRP SS-RSRQ	図 3-5 設定値：表 3-3
SigmAML ⁶	受信電力値 パスロス	図 3-6
GArmin eTrex30xJ ⁷	GPS 座標（屋外測定用）	図 3-7

⁵ アンリツ株式会社: エリアテスタ ML8780A / ML8781A ver14.00, <https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-jl11400.pdf>

⁶ 株式会社メリテック:Sigma ML, <https://meritech.co.jp/products.php>

⁷ GArmin:eTrex® 30 x, <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs>



図 3-5 Anritsu エリアテストの外観



図 3-6 Sigma-ML の外観



図 3-7 Garmin eTrex30xJ の外観

本実証を通して、エリアテストの主な設定値は表 3-3 を用いることとする。

表 3-3 エリアテスト設定値

項目	設定値
測定周波数	4.5GHz 帯
帯域幅	100 MHz
測定項目	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR
測定周期	0.1 s
アンテナパターン	オムニ

測定においては、多数の測定点における測定を効率的に実施するため、図 3-8 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施する。

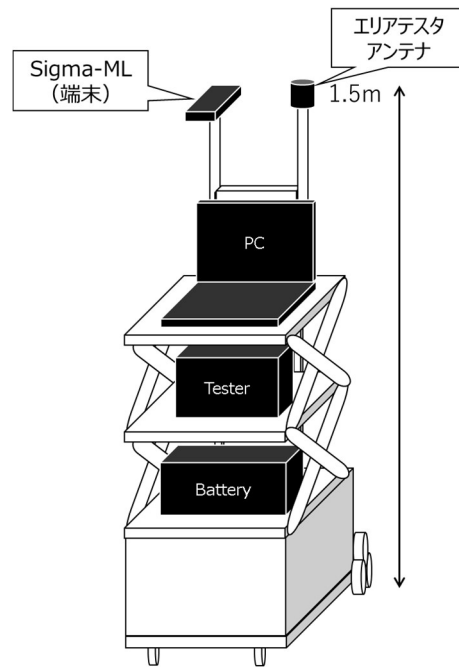


図 3-8 実測に用いる測定補助用治具

3.3 実証内容

3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定

3.3.1.1 実証目標

工場分野における課題実証では“ものづくりの基盤技術となる溶接について、溶接時の映像、音声データ、電流電圧データをダッシュボードに表示し、熟練者のリアルタイムでの遠隔指導を行う事で、熟練者の不足、技術継承機会の低下といった製造現場における課題の解決”を目的としている。

課題実証において提案するキャリア 5G を用いたユースケースで要求される性能を表 3-4 に示す。

課題実証では、上り回線において、映像、音声、電流電圧データを送信する為、ローカル 5G 性能としては、上り回線の伝送スループットが重要となる。従って、技術実証においても、上り回線のスループットが表 3-4 に示す 45Mbps を満たすことを実証目標とする。その際、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供の観点から評価を行う。

それらの評価結果から、類似の環境（金属加工を実施する工場等、屋内施設）においてローカル 5G サービスを提供する場合に適用可能なエリア形成やサービス提供品質の知見を取り纏めることも実証目標とする。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

本項で取得する測定データについては、後述する技術実証項目において評価を行う際に活用することとする。

表 3-4 課題実証で要求される所要性能

項目	上り (UL)
通信速度	45 Mbps (カメラ 3 台同時接続時)
映像伝送遅延時間	200 msec 以下
利用条件	同時通信カメラ 3 台 常時接続 目標遅延は End-End での値となる

3.3.1.2 評価・検証項目

実証環境におけるローカル 5G の性能評価として、エリア形成の検証と、ユーザへのサービス提供品質の評価を行う。

まず、エリア形成の検証は、「電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法」（以下、「エリア算出法」とする。）に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値及びそこから導く伝搬ロス特性により行う。

次に、ユーザへのサービス提供品質は、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間が、表 3-4 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。

これらの評価・検証を通じて、ローカル 5G 性能向上のための課題抽出と解決策等についても考察を行う。

表 3-5 に、評価項目と測定項目との関係を示す。

表 3-5 技術実証試験における評価項目と測定項目との関係

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目
エリア形成の検証	<ul style="list-style-type: none"> エリア算出法に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端において実測する下り受信電力値とエリア端閾値の比較 測定地点における伝搬ロスと、いくつかの電波伝搬モデルとの比較 	下り受信電力 (SS-RSRP)
サービス提供品質の評価	<ul style="list-style-type: none"> カバーエリア端における、伝送スループットと遅延時間が、課題実証で要求される基準を満たしているか評価 	伝送スループット 遅延時間

(1) 測定方法

測定については、仕様書の規定に従い、エリア算出法に基づく基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域（図 3-9）において行うこととし、以下の考え方で実施する。

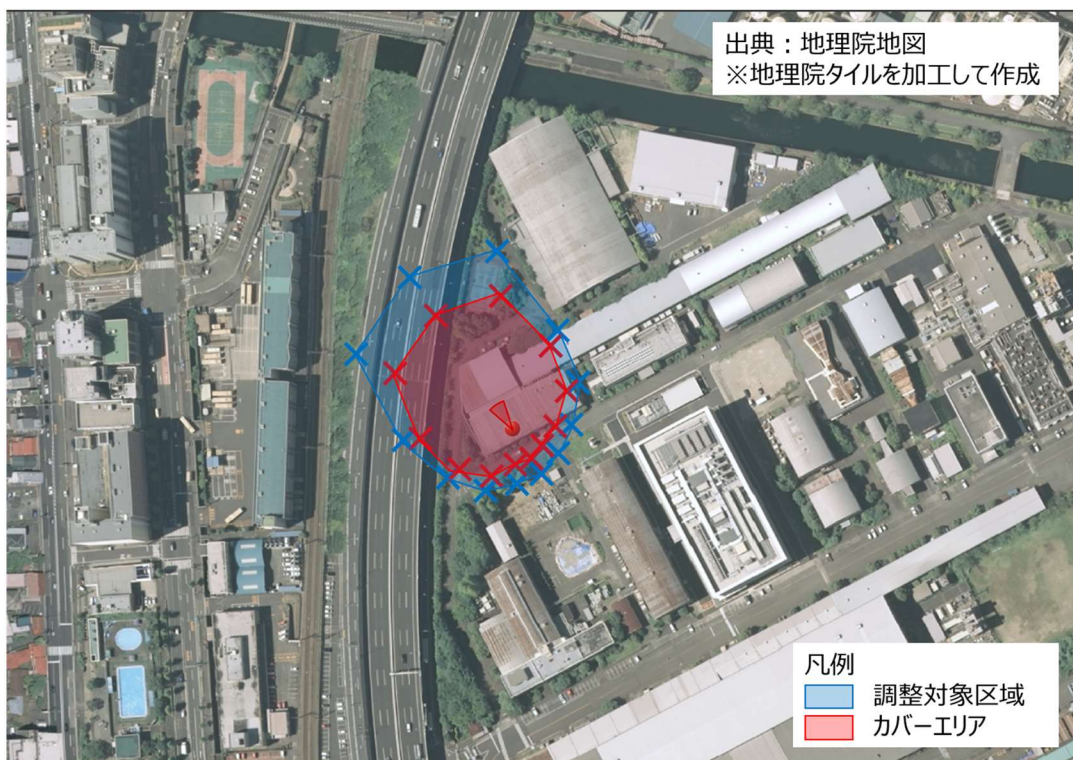


図 3-9 エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域図

➤ 測定地点の考え方（屋内）

屋内、屋外の測定地点に置いて下記考え方にに基づき測定地点を選定する。測定地点番号は技術実証を通して同じであり連番となっていないことに注意されたい。

※なお、各測定地点において障害物等により測定困難な地点については、測定地点をずらす等の調整を行う。

・ 屋内測定地点

工場内（以下、「屋内」とする。）において、工作機器、溶接等を実施する為の移動クレーン等の配置を勘案し、且つ移動可能な場所として、計 42 測定点を選定する（図 3-10）。

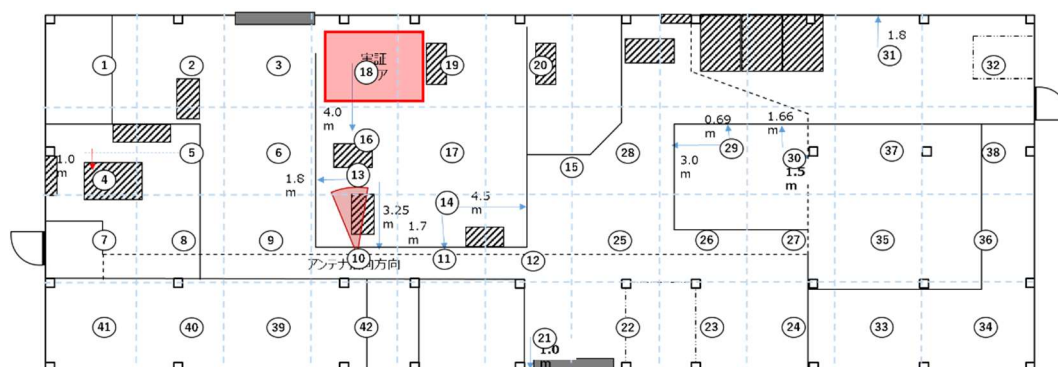


図 3-10 屋内における測定地点

・ 屋外測定地点

屋外においては、工場周辺の環境、およびエリア算出法により算出されたカバーエリア端、調整対象区域端の他、測定に必要と考えられる地点として、60 測定点を選定する（図 3-11）。

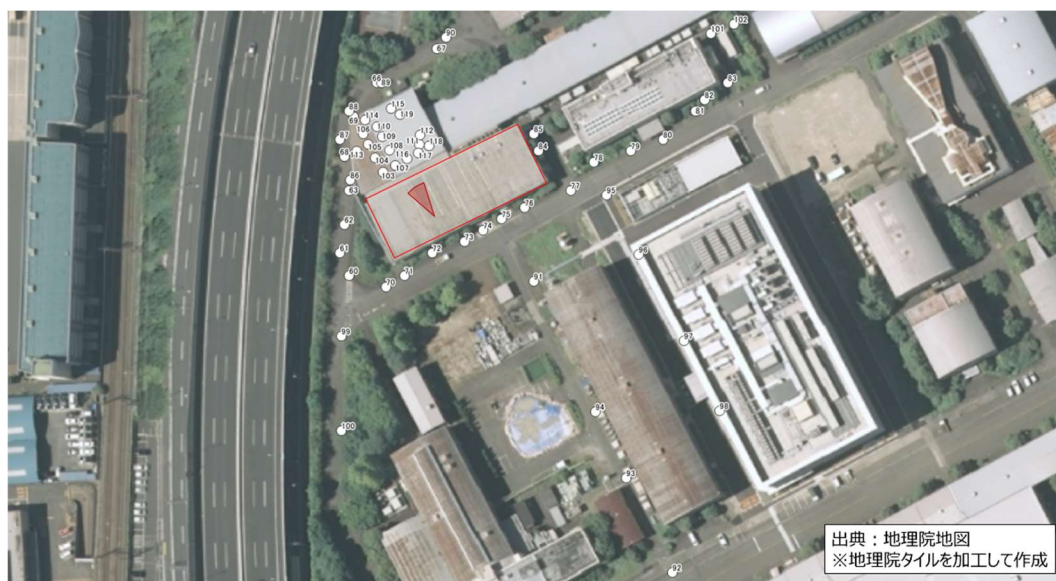


図 3-11 屋外における測定地点

➤ 測定項目

- 下り受信電力及び受信品質

一般的に 5 G NR のエリア指標として用いられている SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) 及び SS-RSRQ(Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality)、SS-SINR (Synchronization Signal-Signal to Interference Reti)について実測する。

SS-RSRP は、1 リソースエレメント当たりの SSS (Secondary Synchronization Signal)の受信電力であり、基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータである。SS-RSRQ は、受信品質を評価するパラメータであり、近隣基地局の干渉が増大すれば RSRQ が小さくなる。

SS-SINR も RSRQ 同様に受信品質を評価するパラメータであり、RSRQ は分母に RSSI、つまり全体帯域の電力を用いるが、SINR では RS と同じリソースブロックの帯域内に存在する干渉電力を分母とする。干渉電力は、同じ帯域内の隣接セルからの信号に加えて雑音成分や、CP(Cyclic Prefic)時間を超えて遅延したマルチパスとなり、その干渉電力が増大すれば SINR が小さくなる。

- 伝送スループット及び遅延時間

伝送スループット (アップリンク (以下、「UL」とする。) /ダウンリンク (以下、「DL」とする。))、および遅延時間について計測する。

➤ 測定手法と実測模様

各種データの実測については、上記の考え方にに基づき選定した測定地点に測定員が赴き、表 3-2 に示す測定器及び表 3-3 に示す設定値を用いて実測する。また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点においては測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録する。ただし、技術実証フィールドは人流の多い場所でもある事から、周囲の安全に考慮しつつ、測定が難しい地点については測定地点をずらすなどで対応する。

SS-RSRP 及び SS-RSRQ は、エリアテストを用いて、1000 サンプル/地点のログ取得を実施する。

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、 10λ (λ は波長) の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。

伝送スループットは、表 3-6 に示す「ドコモスピードテストアプリ」を用いて、各測定地点において UL/DL それぞれ 3 回程度の測定を実施する。遅延時間についても、同様に、サーバと端末間の Round Trip Time (以下、「RTT」とする。)を計測する。理由として、今回の実証はローカル 5G 基地局ではなく、NTT ドコモが商用運用する基地局を利用しているため、純粋な無線区間における伝送スループットや RTT は計測することができない。そのため、伝送スループットについては、総務省がガイドライン、計測手法を定め、各携帯電話事業者が実測、公表している実効伝送スループットと同じ手法 (サーバと端末の間の伝送スループット) で計測する。遅延時間についても、同様に、サーバと端末間の RTT を計測する。また、

NTT ドコモの商用環境を利用しているため、計測値は、5Gに加え、NSA 構成の LTE も含めたデータであることに留意されたい。

表 3-6 伝送スループット及び遅延時間測定ツール

測定機器名	測定項目	備考
ドコモスピードテストアプリ 調査用特別仕様 ⁸ ※調査用特別仕様のソフトウェアであり、 RTT 測定が可能	伝送スループット RTT	図 3-12

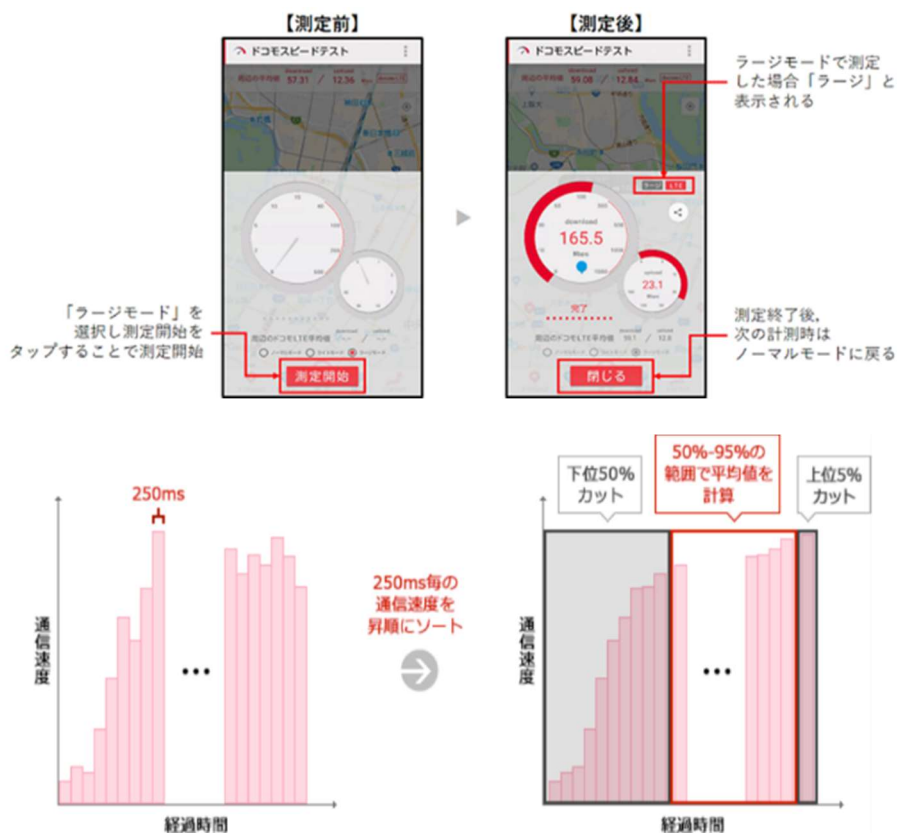


図 3-12 測定ドコモスピードテスト概要

3.3.1.3 評価・検証方法

ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定に関しては下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととする。

⁸ NTTdocomo: ドコモスピードテストアプリ,
https://www.nttdocomo.co.jp/area/speed_test/

(1) 実証環境におけるエリア形成の検証

エリア形成の検証としては、エリア算出法に基づく、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値及びそこから導く伝搬ロス特性により行う。

具体的には、実証環境におけるカバーエリア及び調整対象区域をエリア算出法により作図する（エリア算出法によるエリア図）。その後、それぞれのエリア端における実際の下り受信電力値とエリア端閾値との比較を行う。下り受信電力値とエリア端閾値が異なっている場合は、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端閾値が実測される地点と基地局との距離の確認を行うことにより実測値による推定エリア図を作成する。最後に、エリア算出法によるエリア図と実測値による推定エリア図の差分を評価する。

加えて、20か所の測定地点において実測した下り受信電力値と測定地点～基地局間距離から算出した伝搬ロス特性を、携帯電話システムの設計等に用いられている電波伝搬モデルと比較することで、実証環境における4.5GHz帯（4.5~4.6GHz）の電波伝搬特性の評価を行う。

(2) 実証環境におけるユーザへのサービス提供品質の評価

ユーザへのサービス提供品質の評価として、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間について、下り受信電力値との関係性で評価し、表 3-7 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。

表 3-7 課題実証で要求される所要性能（再掲）

項目	上り（UL）
通信速度	45 Mbps（カメラ 3 台同時接続時）
映像伝送遅延時間	200 msec 以下
利用条件	同時通信カメラ 3 台 常時接続 目標遅延は End-End での値となる

3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) 下り受信電力、受信品質測定結果

実証環境における下り受信電力及び受信品質の測定地点は、3.3.1.2 章にて示している。実測結果を図 3-13・図 3-14・図 3-15・図 3-16 及び表 3-8・表 3-9 に示している。

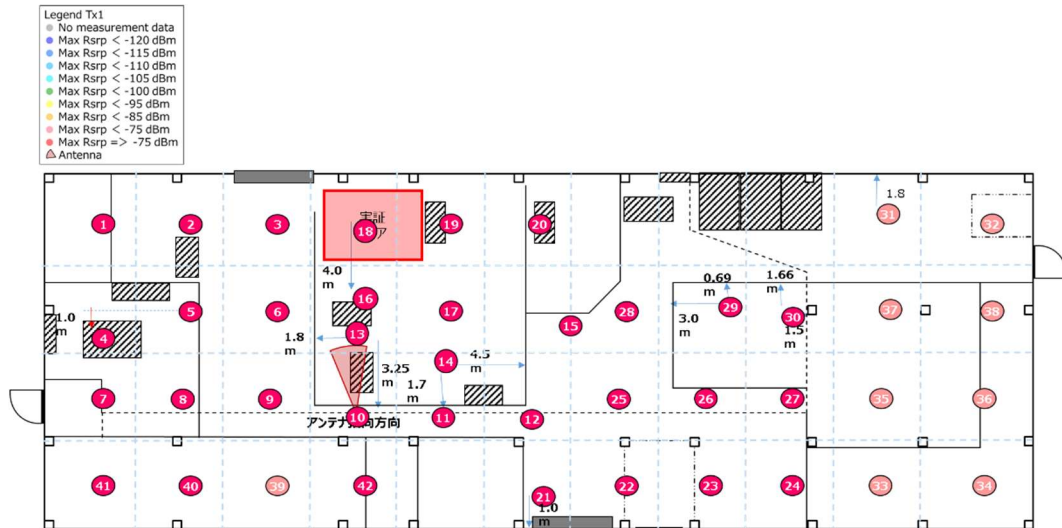


図 3-13 SS-RSRP 測定結果（対象工場内部）

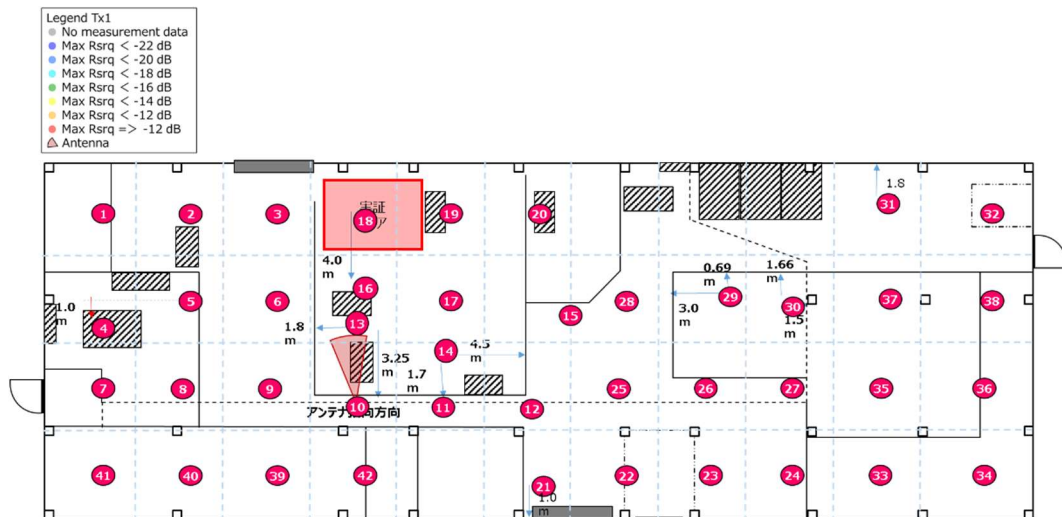


図 3-14 SS-RSRQ 測定結果（対象工場内部）

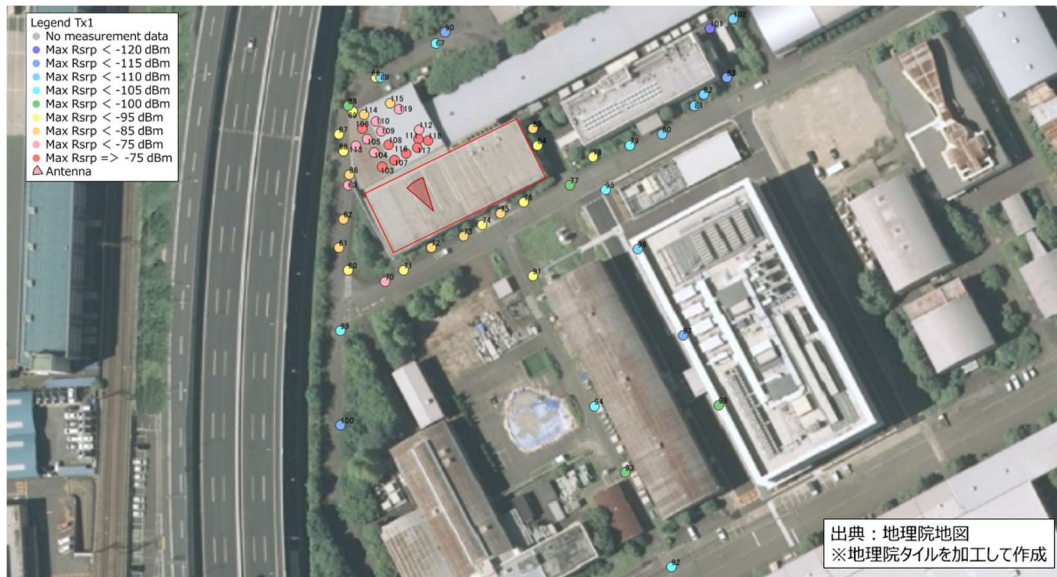


図 3-15 SS-RSRP 測定結果（対象工場外部）

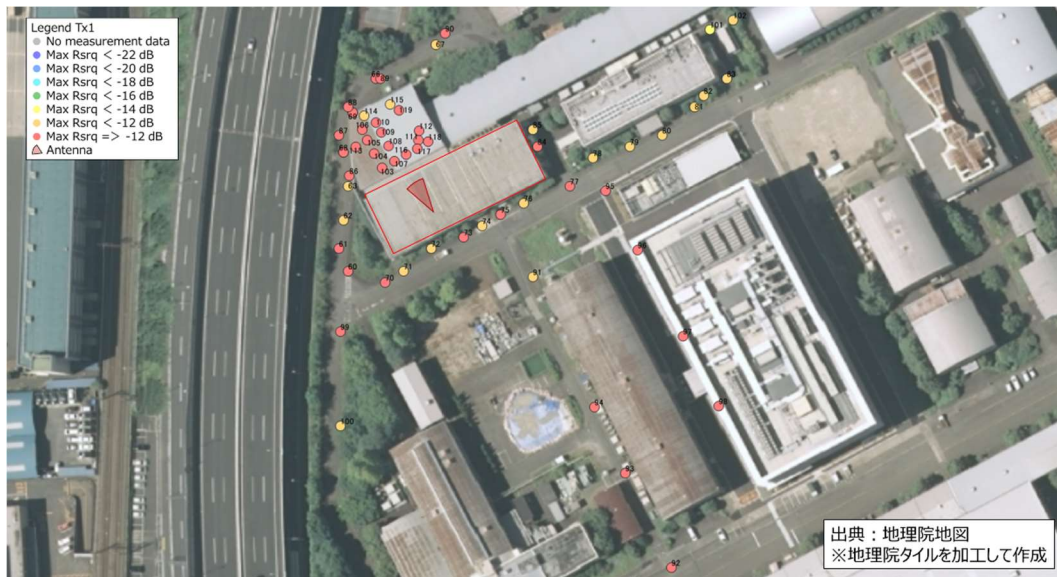


図 3-16 SS-RSRQ 測定結果（対象工場外部）

表 3-8 対象工場内部における SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離[m]	SS-RSRP [dBm]	SS-RSRQ [dB]	SS-SINR [dB]
1	22.17	-63.32	-10.76	21.38
2	18.34	-57.56	-10.93	21.57
3	15.27	-58.75	-10.78	21.56
4	19.56	-62.46	-10.00	21.72
5	15.93	-62.36	-10.70	21.77
6	12.11	-63.15	-11.86	21.05
7	19.15	-61.80	-10.62	21.52

8	14.49	-61.21	-10.79	21.56
9	10.46	-61.57	-10.86	21.69
10	7.27	-61.12	-10.70	21.67
11	6.91	-64.36	-10.66	21.65
12	9.59	-62.83	-10.79	21.66
13	8.79	-56.94	-10.69	21.62
14	7.60	-59.84	-11.14	21.53
15	12.11	-64.42	-10.91	21.51
16	10.24	-53.31	-10.32	21.78
17	9.38	-55.42	-10.73	21.70
18	13.09	-54.28	-10.68	21.64
19	13.35	-50.91	-10.47	21.58
20	14.75	-59.94	-10.96	21.50
21	10.92	-71.34	-10.69	21.59
22	13.85	-70.85	-11.23	21.27
23	18.20	-72.68	-11.80	20.41
24	22.73	-74.66	-11.25	20.72
25	13.60	-67.44	-10.53	21.72
26	17.93	-70.70	-11.00	21.54
27	22.59	-71.61	-11.35	20.91
28	14.88	-69.34	-11.13	21.26
29	18.20	-69.23	-10.82	21.40
30	23.15	-69.99	-10.53	21.56
31	29.74	-78.03	-11.72	20.83
32	34.85	-79.57	-10.62	21.15
33	27.48	-79.99	-10.95	20.64
34	33.14	-81.42	-11.22	20.73
35	27.34	-77.50	-11.17	20.89
36	32.86	-82.10	-10.19	20.93
37	28.19	-75.58	-10.39	21.57
38	33.71	-80.66	-11.36	20.85
39	12.35	-73.35	-10.91	21.31
40	14.88	-73.21	-10.59	21.07
41	19.15	-73.78	-10.89	20.92
42	7.99	-71.58	-11.02	21.48

表 3-9 対象工場外部における SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離[m]	SS-RSRP [dBm]	SS-RSRQ [dB]	SS-SINR [dB]
60	34.10	-97.28	-11.07	14.04
61	33.62	-92.73	-11.21	14.82
62	30.38	-87.25	-13.35	14.63
63	30.37	-78.44	-12.88	13.73
64	36.70	-94.28	-10.61	11.43
65	43.38	-98.08	-11.06	11.47
66	56.20	-95.89	-11.51	9.19
67	55.19	-108.20	-12.02	6.98
68	63.08	-96.18	-11.60	11.51
69	36.70	-99.88	-11.10	10.76
70	27.87	-83.83	-11.42	16.10
71	21.74	-95.30	-13.19	11.84
72	12.65	-90.26	-12.01	15.56
73	13.73	-86.92	-11.18	16.50
74	17.47	-96.72	-13.28	12.04
75	22.87	-91.11	-11.34	14.95
76	30.43	-95.37	-12.42	12.71
77	46.09	-101.88	-11.80	12.74
78	55.81	-99.91	-12.23	11.68
79	68.38	-105.66	-12.10	8.41
80	79.58	-112.52	-12.36	6.30
81	92.76	-114.40	-12.46	4.97
82	96.99	-114.38	-12.33	4.30
83	106.13	-115.62	-12.05	3.64
84	41.29	-95.56	-11.82	13.46
85	43.40	-92.85	-12.70	13.14
86	42.77	-91.53	-10.81	12.26
87	41.23	-99.06	-10.97	12.40
88	45.65	-102.45	-10.80	11.44
89	48.48	-112.03	-11.23	7.34
90	59.95	-116.87	-11.97	5.41
91	38.71	-95.38	-12.58	14.31

92	139.06	-109.83	-10.96	10.86
93	105.21	-103.53	-10.98	15.48
94	82.08	-105.55	-11.66	14.01
95	60.79	-106.17	-11.43	11.20
96	72.49	-111.17	-11.77	10.73
97	101.93	-115.76	-11.79	5.95
98	117.74	-104.34	-11.75	9.95
99	49.23	-107.54	-11.48	12.98
100	75.59	-119.91	-12.55	4.24
101	117.36	-126.39	-15.13	-2.70
102	89.19	-113.34	-13.42	5.58
103	26.69	-69.22	-10.02	22.04
104	25.01	-78.80	-11.77	18.72
105	29.65	-76.45	-11.43	19.46
106	28.24	-71.23	-10.77	20.88
107	25.93	-71.26	-11.23	20.52
108	26.52	-71.57	-11.24	21.05
109	29.55	-78.45	-10.82	19.50
110	33.31	-75.66	-10.15	20.65
111	33.22	-73.59	-10.96	21.25
112	33.65	-75.75	-11.24	19.08
113	41.53	-79.20	-10.74	19.31
114	31.59	-92.52	-12.56	13.52
115	39.45	-87.15	-12.28	14.85
116	38.43	-65.08	-11.05	21.25
117	23.98	-68.03	-11.27	21.29
118	23.37	-54.47	-10.69	21.00
119	22.89	-77.83	-10.85	19.34

(2) 伝送スループット、RTT 測定結果

実証環境における伝送スループット及び RTT 測定については、本実証においてキャリアア 5G を使用している都合上、対象工場外において試験対象局以外のキャリア 5G にバンドオーバーしてしまうため、対象工場内のみで実施している。

実測結果を図 3-17・図 3-18・図 3-19 及び表 3-10 に示す。

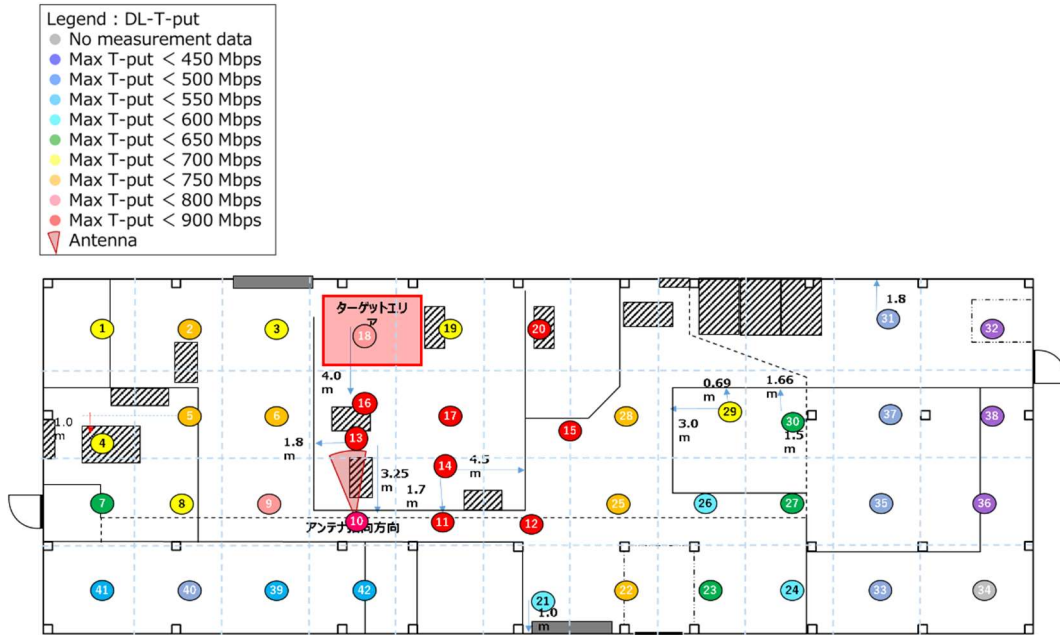


図 3-17 DL 伝送スループット測定結果 (対象工場内部)

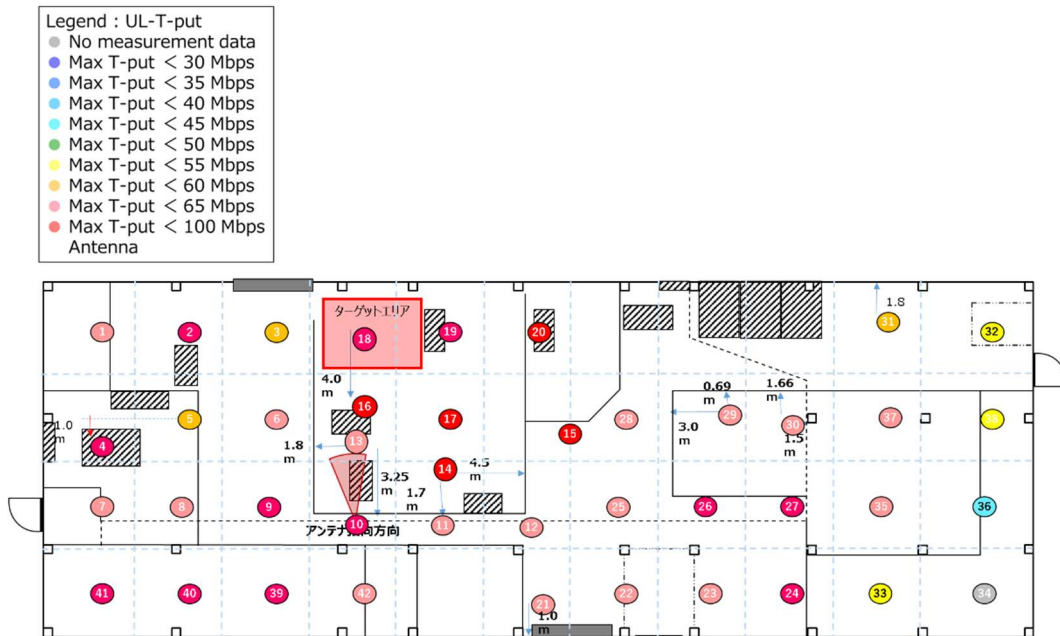


図 3-18 UL 伝送スループット測定結果 (対象工場内部)

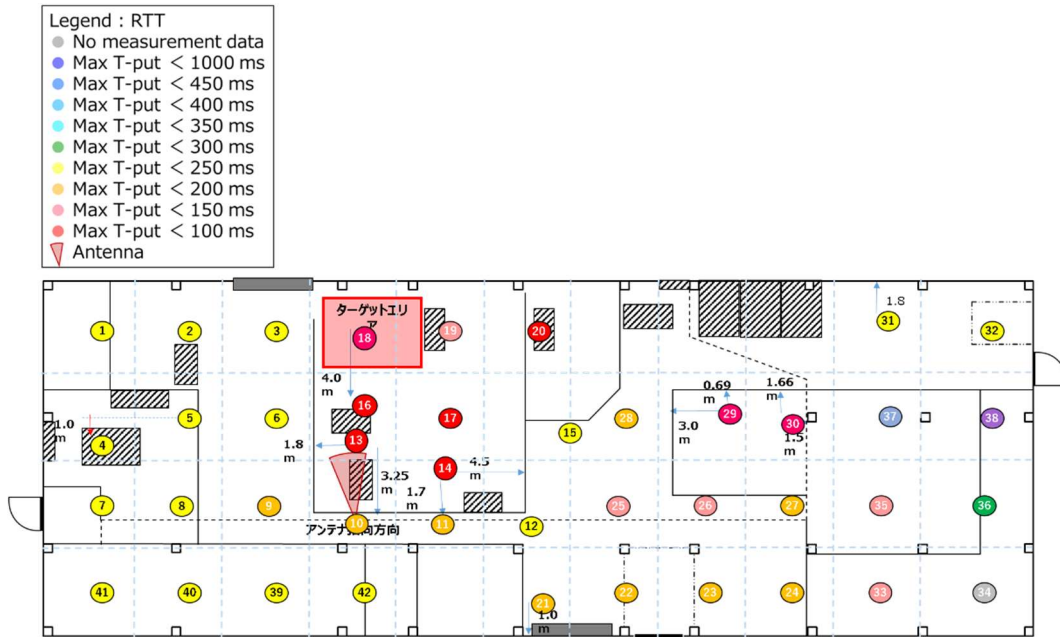


表 3-10 伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離[m]	DL T-put [Mbps]	UL T-put [Mbps]	RTT [ms]
1	22.17	688.29	61.24	202.87
2	18.34	726.36	67.62	215.67
3	15.27	687.04	57.44	218.31
4	19.56	677.49	67.75	223.22
5	15.93	713.48	56.86	219.10
6	12.11	706.17	62.24	239.97
7	19.15	607.48	62.69	243.16
8	14.49	664.86	60.03	223.15
9	10.46	778.30	66.78	183.62
10	7.27	824.46	65.96	183.11
11	6.91	740.89	64.99	191.25
12	9.59	741.86	62.56	201.53
13	8.79	825.56	61.95	99.93
14	7.60	848.72	72.29	82.06
15	12.11	808.56	69.50	227.07
16	10.24	816.15	66.74	71.74
17	9.38	802.76	65.30	86.95
18	13.09	762.89	67.31	93.17

19	13.35	650.64	69.03	106.20
20	14.75	803.59	65.12	96.50
21	10.92	580.60	64.90	180.12
22	13.85	701.64	63.94	191.93
23	18.20	610.10	62.22	184.71
24	22.73	573.22	65.53	191.14
25	13.60	718.90	63.04	99.92
26	17.93	558.20	67.12	99.27
27	22.59	600.30	65.98	198.71
28	14.88	718.97	63.88	191.77
29	18.20	681.71	63.75	91.68
30	23.15	632.70	63.55	57.17
31	29.74	450.49	55.67	236.58
32	34.85	430.38	51.41	218.88
33	27.48	451.19	54.04	110.70
34	33.14			
35	27.34	507.09	64.49	117.47
36	32.86	385.25	39.41	302.54
37	28.19	490.87	64.71	206.87
38	33.71	426.46	51.93	286.33
39	12.35	525.68	65.81	237.52
40	14.88	466.45	65.28	245.40
41	19.15	517.79	62.59	237.94
42	7.99	531.57	62.70	218.88

(3) 実証環境における電波伝搬特性の評価

今回の実証環境である株式会社 IHI 横浜事業所 511 棟内部は、周辺環境を含めて概ね基地局からの見通しを確保でき、ソリューションを展開するうえでは自己土地内においてサービスエリアの構築がしやすいと考えられる。

また、3.2 章で示すとおり、工場建屋は強固なコンクリート造の建屋であり、内部に置局された基地局からの電波漏洩は、壁面損失が大きいことから少ない環境であり、自己土地内においてサービスエリアの構築がしやすいと考えられる。

一方、作業環境を具備した工場という特殊な環境であり、一般的な壁面構造と異なることから、ローカル 5G 基地局から想定するサービスエリア外への電波漏洩について更に精査する必要があり、ローカル 5G を運用するには、隣接する他事業者への電波干渉を最低限に抑えつつ、自己土地内で必要十分なサービスエリアを確保するサイトエンジニアリングが求められる。そのため、まずは、実証環境における 4.5GHz 帯の電波伝搬特性の評

価を行う。

3.3.1.4 章 (1) にて示した下り受信電力の実測データ (SS-RSRP) を用いて、工場建屋等の環境における 4.5GHz 帯の電波伝搬特性を考察する。

具体的には、実測した下り受信電力値から伝搬ロスを出し、それらの距離特性を求める。さらに、携帯電話システムの設計等に用いられている、いくつかの電波伝搬モデルから求められる伝搬ロスとの比較を行うことで、工場等の環境における 4.5GHz 帯の電波伝搬特性の評価を行う。

ここで、実測値との比較に用いる伝搬式を表 3-11 に示す。

表 3-11 実測値との比較に用いた電波伝搬式

電波伝搬式	概要
自由空間伝搬	<p>開放地に適用。周波数範囲、伝搬距離、送受信機の高さなどの適用制限はない。</p> $L = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log f + 20 \log d + 20 \log \left(\frac{4\pi}{c} \right) = 20 \log f + 20 \log d + 32.4 \text{ [dB]}$ <p>f: 周波数[MHz]、d: 距離[km]、c: 3.0×10⁸[m/s]</p>
ローカル 5G 審査基準	<p>電波法関係審査基準 (平成 13 年総務省訓令第 67 号) 令和 2 年 12 月 18 日制定</p>
3GPP モデル	<p>ITU-R P.1411 ベースの伝搬式。環境により基地局、移動局高が規定されている。</p> <p>RuralMacro:基地局 10~150 m、移動局 1~10 m UrbanMacro:基地局 25 m、移動局 1.5~22.5 m UrbanMicro:基地局 10 m、移動局 1.5~22.5 m InH Office (LOS) :直線距離 1~100 m InH Office (NLOS) :直線距離 1~86 m InH ShoppingMall:直線距離 1~150 m</p>

工場内に設置した基地局について、実測した下り受信電力データから算出した電波伝搬特性を図 3-20 に示す。図中、●は LOS データ、×は NLOS のデータを示している (LOS か NLOS は、測定地点から基地局アンテナが目視できるかで判断している。) なお、データのばらつきを平均的に評価するため図中に対す近似曲線 (一点鎖線) を合わせて示している。

実測値と比較した伝搬式は、自由空間伝搬と、ローカル 5G 審査基準で用いられている伝搬式 (奥村・秦式) である。

結果からは、以下のことがわかる。

- 見通し環境における電波伝搬モデルは、自由空間モデルとの一致が良い

- 見通し外環境においては、伝搬ロスが自由空間損失よりも少なく出ている地点が複数存在するが、これは屋内環境におけるマルチパス影響によるものと考えられる。
- 見通し外環境における電波伝搬モデルは、近似曲線（一点鎖線）の傾きから、奥村・秦式（中小都市、市街地もしくは郊外地）モデルと傾向が概ね一致している。

これらの結果から、工場建屋等の環境については、ローカル 5G 審査基準で用いられている、奥村・秦式（中小都市、市街地もしくは郊外地）モデルで概ね推定ができると考えられる。なお、今回実証を行った工場内環境においては、多数の機材及び什器類が配置されており、基地局アンテナ放射方向には大型のシャッターが存在している。このような状況下においては基地局からの送信出力が大きい場合、乱反射が発生するマルチパス環境となることから、基地局からの直接波のみを考慮したエリア算出が必ずしも一致しないことに留意する必要がある。

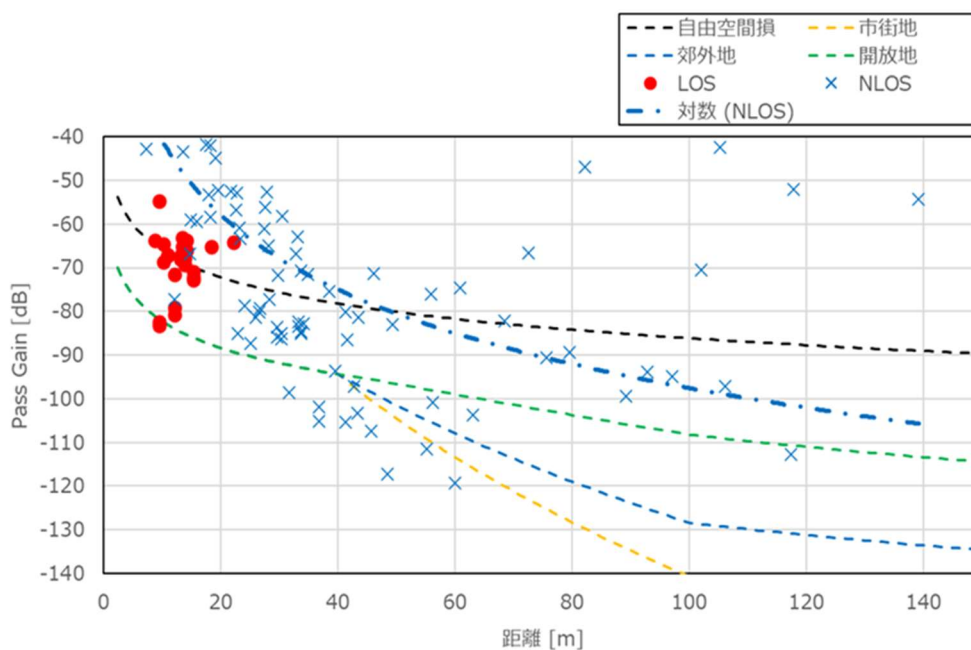


図 3-20 基地局からの伝搬ロスの距離特性

(4) 実証環境におけるローカル 5G 性能評価

実際の工場等の環境において、ローカル 5G の性能が想定通りに実現できているかを、実測した SS-RSRP、SS-RSRQ、伝送スループット、ラウンドトリップタイムにより評価する。

ローカル 5G の性能評価は、3.3.1.3 章に示す評価方法に基づきエリア形成の観点と、ユーザーへのサービス提供品質の観点から実施した。前者については、基地局からの受信レベルを用いて、設計通りのエリアが構築できているか否か、できていない場合はどのような原因で想定され、対策としてどのような方策が取りえるのかを考察する。後者については、ローカル 5G ネットワーク上に構築されるアプリケーションやシステムのパフォーマンスに直接的な影響を与えると考えられる、伝送スループットとラウンドトリップタイムの実測結果を用いて考察する。

1) 実証環境におけるローカル 5G エリア形成について

ローカル 5G 性能評価の前提となる、実証環境のターゲットエリア（サービスを提供したいエリア）を図 3-21 に示す。

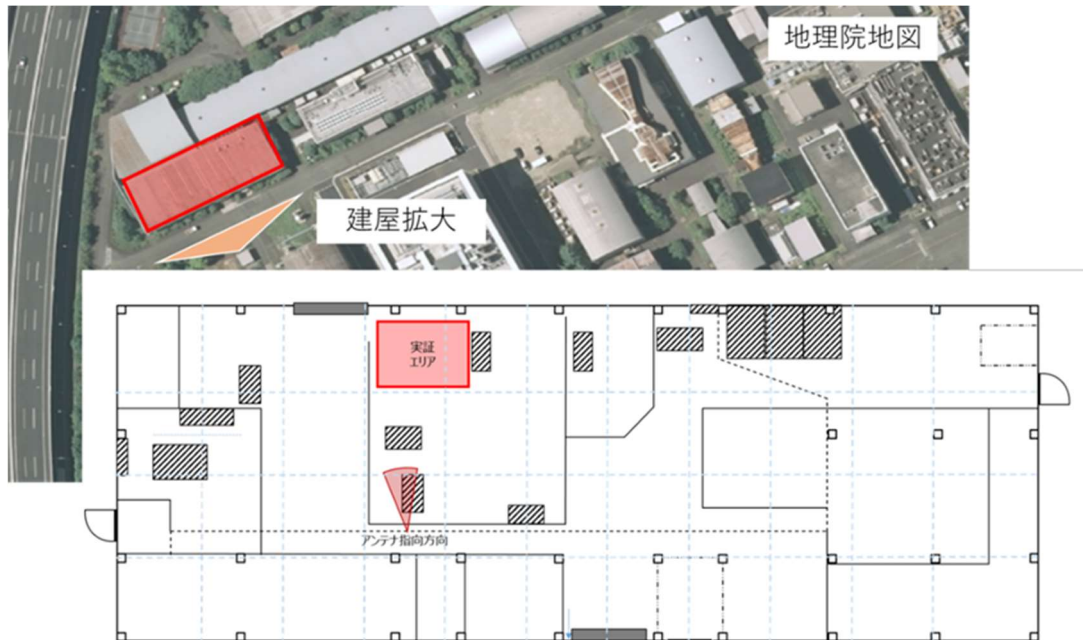


図 3-21 工場建屋内のターゲットエリア

ここでは、下り受信レベル（SS-RSRP）の測定結果からエリア形成の観点での評価を行う。

図 3-22・図 3-23 に基地局によるエリア形成状況を示す。

なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 30KHz であるため、上述したエリア端閾値を 100MHz から、30KHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）	: -119.8 dBm
調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）	: -126.2 dBm

結果からは、以下のことがわかる。

- 屋内サービスエリアにおいては、良好な受信電力及び受信品質が得られている
- 屋外のエリア算出法との差分値として、カバーエリアは基地局後方において最大 145m 程度となる。これは、基地局送信出力が 48.9 dBm と大きく、屋内の乱反射影響に寄り基地局後方への電波漏洩が支配的であるためと考えられる。
- また、調整対象区域は測定可能な範囲において調整区域端閾値となる下り受信電力が観測されなかった。しかしながら、基地局後方に存在する周辺建物における遮蔽効果が見込まれることからカバーエリアと同様に最大 145m 程度の差分が考えられる。

これらの結果から、本実証環境においては屋内における乱反射（マルチパス）の影響により屋外でのエリア算出法から算出される受信電力値よりも実測値が強くなること

が課題となるとして上げられる。なお、屋内環境においては十分な受信電力及び受信品質が得られていることから、基地局出力を下げる等の方策が望ましい。

すなわち、工場内環境においては乱反射（マルチパス）の影響により強い漏洩電力が観測されるため、基地局の送信出力を下げるもしくは、基地局を遮蔽効果の高い堅牢な壁面付近に設置する等の置局設計が望ましいと考えられる。

また、下り受信品質 SS-SINR について、本実証では基地局 1 局を用いた評価を実施しており、付近に干渉影響となる無線局は存在していない環境となる。そのため、SINR における"IN"は、環境雑音または CP（Cyclic Prefix）時間を超えて遅延したマルチパスが支配的と考えられるが、屋内に設置した基地局と屋内各測定地点の距離は最大でも 35m 程度であり CP 時間を超えて遅延波が観測されることは考えにくく、"IN"に影響を与える要因は環境雑音が支配的と想定する。加えて、RSRP 同様に屋内環境ではほぼ変化はなく良好な性能が得られていることから"S"となる主波及び CP 時間内の遅延波に依存しているものと考えられる。

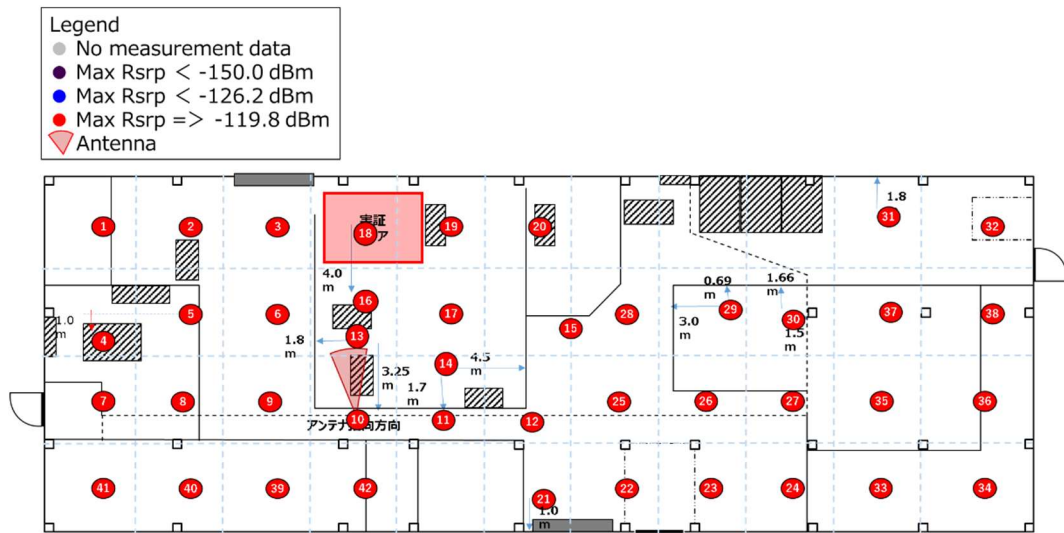


図 3-22 基地局における受信レベル SS-RSRP から評価した想定カバーエリア（対象工場内部）

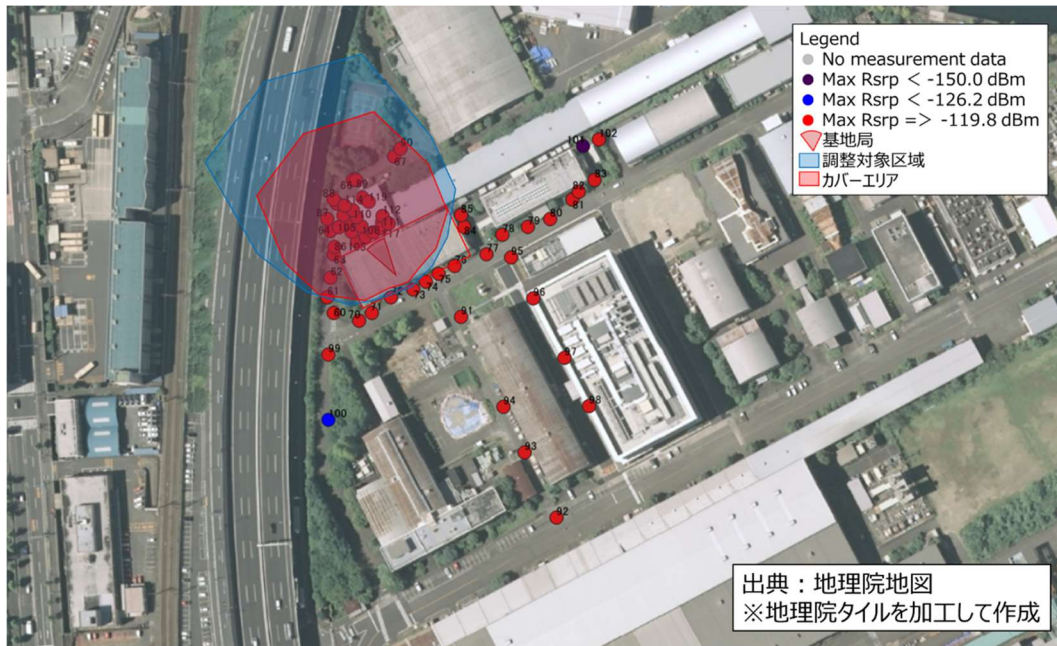


図 3-23 基地局における受信レベル SS-RSRP から評価した想定カバーエリア (対象工場外部)

2) 実証環境におけるローカル 5G サービス提供品質

ここでは、伝送スループット、ラウンドトリップタイムの測定結果から、ユーザへのサービス提供品質の観点での評価を行う。

図 3-24・図 3-25・図 3-26 は、図 3-21 の工場内ターゲットエリア内において実測した伝送スループット (DL/UL) とラウンドトリップタイムを図面上に記載したものである。また、図 3-27 は工場内ターゲットエリア内における下り受信電力 (SS-RSRP) と伝送スループット、RTT との関係グラフ化したものである。

結果からは、以下のことがわかる。

- UL 伝送スループットにおいては、カバーエリア内において、下り受信電力の値によらず、ほぼ一定であり、目標値としている 45 Mbps を達成している。
- DL 伝送スループットにおいては、カバーエリア内において、下り受信電力に比例している。
- 伝送遅延 (RTT) においては、下り受信電力によらずバラつきが発生している。これは今回の測定対象区間は一般商用網を用いているため、背景呼によるトラフィックの増減に依存しているためと考えられる。

これらの結果から、カバーエリアで規定されている閾値以上の電力値を確保することで、所要性能を達成することが可能と考えられる。また、本実証においては屋内での伝送性能は十分な性能を確保できていることから、前述した乱反射による通信品質の劣化影響については顕在化していないと考えられる。

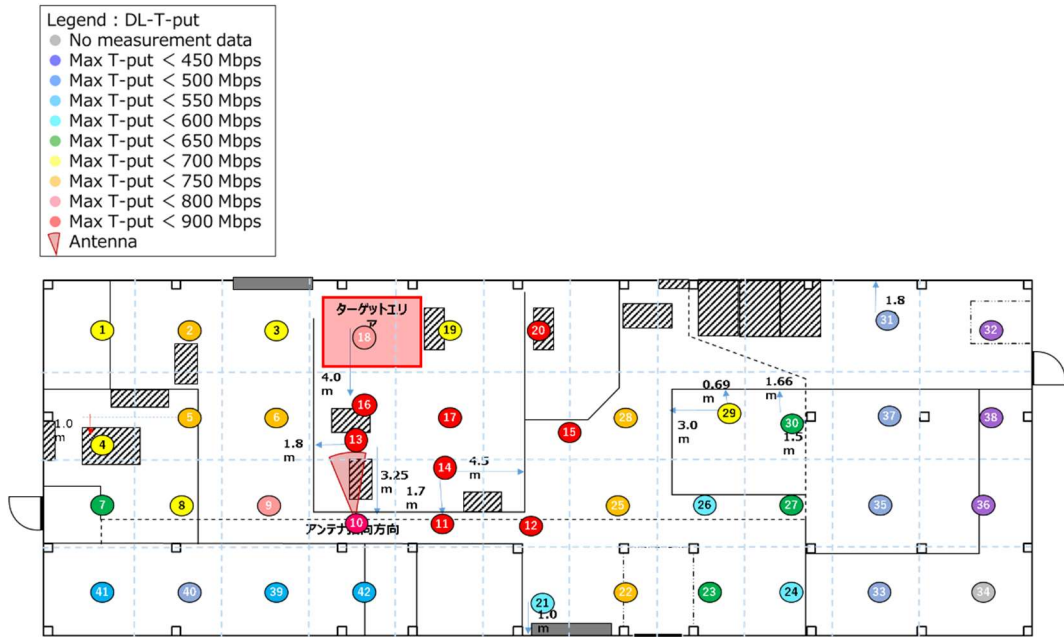


図 3-24 DL 伝送スループット測定結果 (対象工場内部)

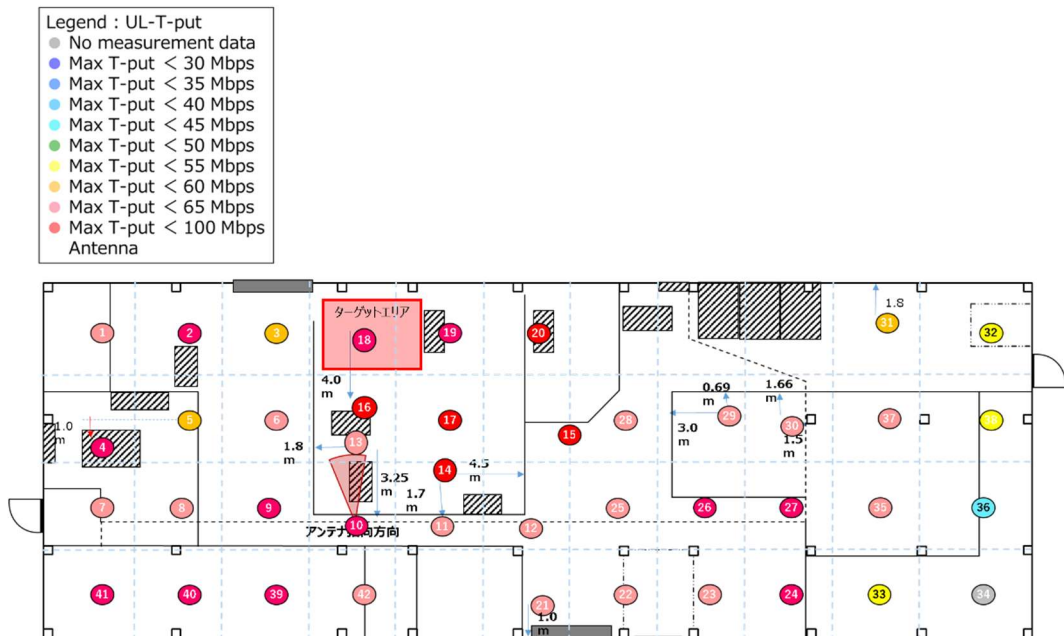


図 3-25 UL 伝送スループット測定結果 (対象工場内部)

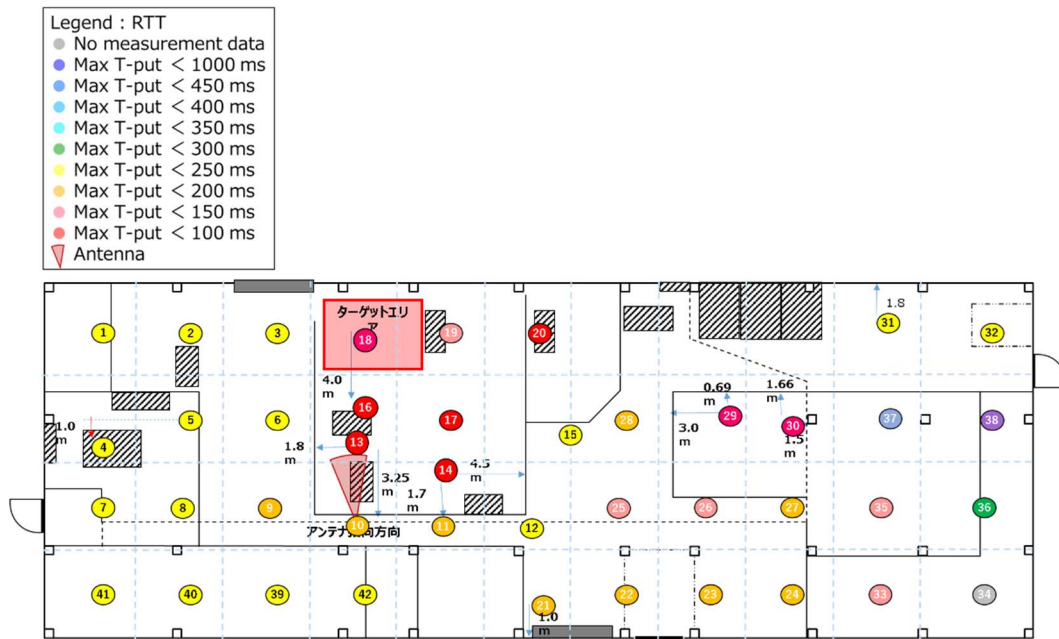


図 3-26 RTT 測定結果 (対象工場内部)

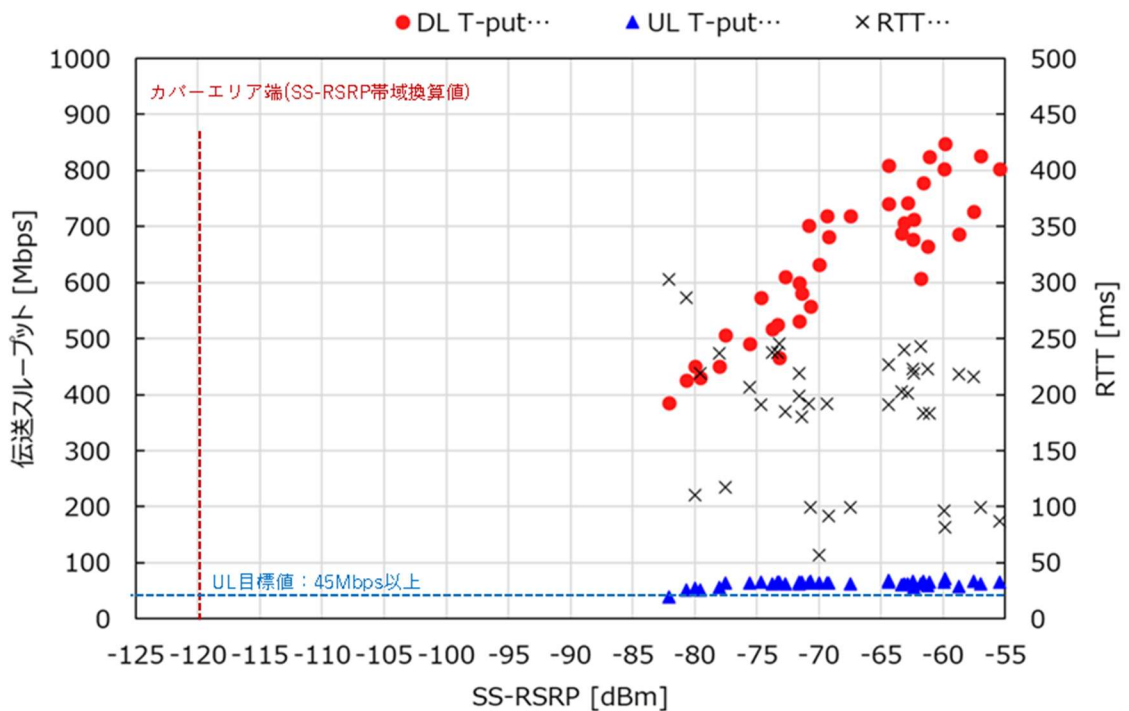


図 3-27 伝送スループットと SS-RSRP の関係

図 3-28・図 3-29・図 3-30 は、工場建屋内ターゲットエリア内における伝送スループット、RTT の測定結果を累積確率分布としてグラフ化したものである。

伝送スループットについては課題実証の目標値である、UL=45Mbps を評価指標とすると、見通し環境においては概ね 90%以上、見通し外環境においては概ね 85%以上の確率で

評価指標を上回っていることが確認できる。なお、**RTT** については見通し外において見通しよりも良好な値となっているが、これは今回の測定対象区間は一般商用網を用いているため、背景呼によるトラフィックの増減に依存しているためと考えられる。

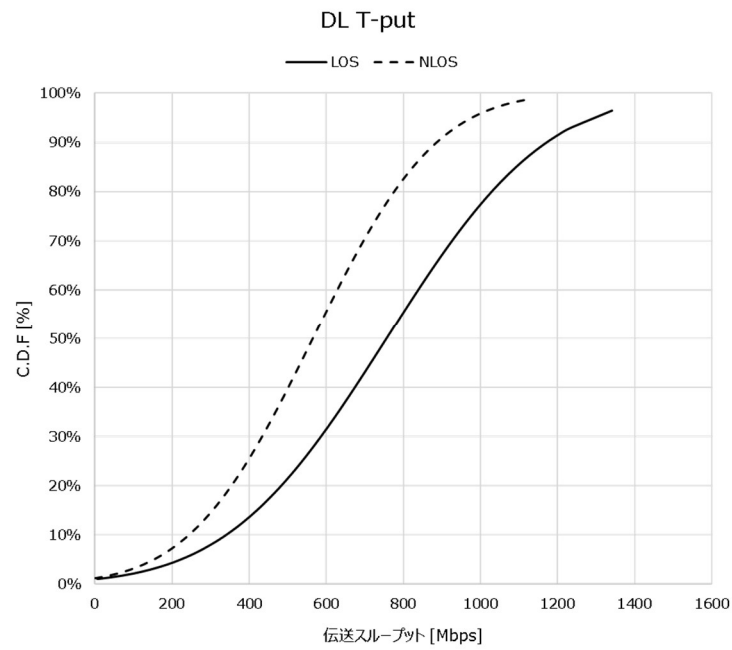


図 3-28 DL 伝送スループット累積分布

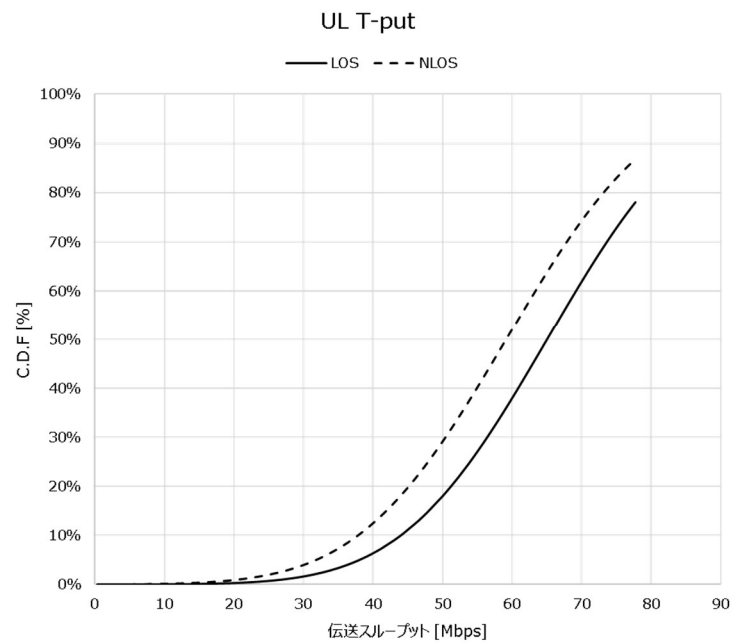


図 3-29 UL 伝送スループット累積分布

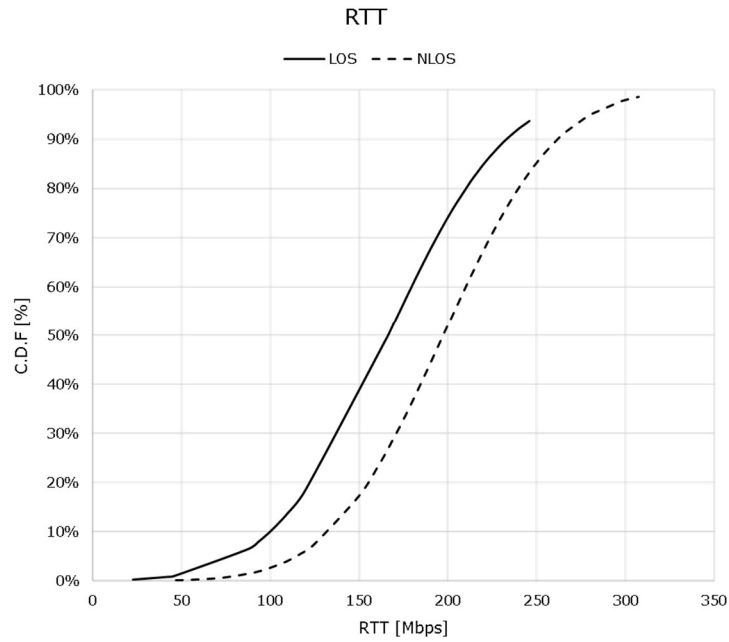


図 3-30 RTT 累積分布

(5) 工場内において考えられる電波伝搬特性及び伝送性能への影響評価

本実証においては工場内における様々なユースケースに焦点をあて、下記に示す 2 つの環境影響について調査を実施した。

- 工場内において金属板が移動する際の電波伝搬特性及び伝送性能への影響
- 工場内において溶接作業が実施される際の電波伝搬特性及び伝送性能への影響

まず、工場内において金属板が移動するユースケースを想定し、ワーストケースとなる端末基地局間に金属板が存在する環境を模擬して試験を実施した。

今回検証に使用した金属板は実際の工場環境でクレーンによる移動等が想定される縦横 2m、厚さ 20cm のスチール板を用意した。また、金属板の配置パターンとしては、端末及び測定器側のアンテナから基地局が見通し外となるように、横に並ぶ場合と、縦に積み重ねる場合の 2 パターンにて実施した (図 3-21)。

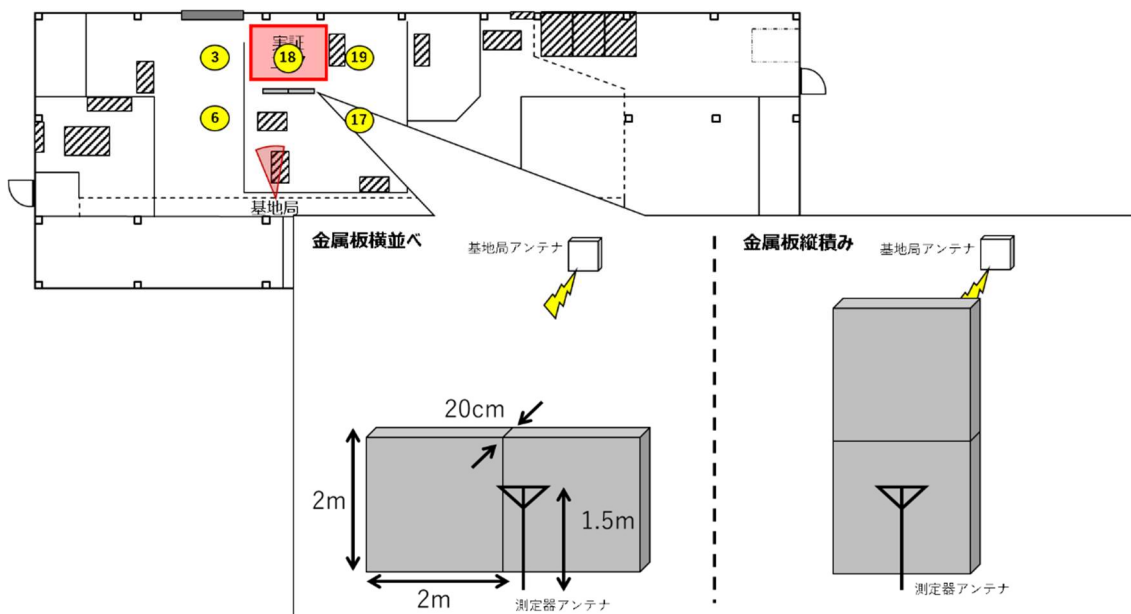


図 3-21 実証環境における金属板配置パターン

金属板あり/なしにおける実測結果を表 3-11～表 3-12 に示す。なお、それぞれの測定地点は同じであり、図 3-21 中に○で示す金属板の背面 1m 程度の地点とその周辺にて実施している。

結果から、受信電力/品質について、金属板設置前後で配置パターンによらず概ね変化はないことが分かる。また、伝送性能については商用回線を用いている関係上、若干の変動はあるものの、受信電力/品質と同様に影響は軽微と考えられる。これらは、金属板による遮蔽効果よりも、測定地点の背面における反射波等が支配的であることが挙げられる。そのため、本実証環境の様な小・中規模の工場環境においては、金属板等が移動する環境であっても、電波伝搬特性及び伝送品質に対する影響は軽微であると考えられる。

表 3-11(a) 金属板設置前後における下り受信電力 (SS-RSRP) 比較結果

測定点 ID	SS-RSRP [dBm]		
	金属板設置前	金属板設置後 (横並べ)	金属板設置後 (縦積み)
3	-58.75	-58.05	-58.72
6	-63.15	-63.07	-61.43
17	-55.42	-55.42	-56.26
18 (金属板真裏)	-54.28	-54.12	-54.98
19	-50.91	-53.97	-51.24

表 3-11 (b) 金属板設置前後における下り受信電力 (SS-RSRQ) 比較結果

測定点 ID	SS-RSRQ [dB]		
	金属板設置前	金属板設置後 (横並べ)	金属板設置後 (縦積み)
3	-10.78	-11.14	-11.08
6	-11.86	-10.59	-10.45
17	-10.73	-10.79	-10.98
18 (金属板真裏)	-10.68	-10.44	-10.64
19	-10.47	-10.45	-10.56

表 3-12 (a) 金属板設置前後における UL 伝送スループット比較結果

測定点 ID	UL 伝送スループット [Mbps]		
	金属板設置前	金属板設置後 (横並べ)	金属板設置後 (縦積み)
3	57.44	63.86	61.35
6	62.24	62.28	66.54
17	65.30	68.29	63.79
18 (金属板真裏)	67.31	62.94	66.88
19	69.03	64.70	63.90

表 3-12 (b) 金属板設置前後における DL 伝送スループット比較結果

測定点 ID	DL 伝送スループット [Mbps]		
	金属板設置前	金属板設置後 (横並べ)	金属板設置後 (縦積み)
3	687.04	769.94	799.17
6	706.17	788.50	813.32
17	802.76	717.29	759.08
18 (金属板真裏)	762.89	829.92	792.91
19	650.64	663.65	643.49

表 3-12 (c) 金属板設置前後における伝送遅延 RTT 比較結果

測定点 ID	伝送遅延 RTT [ms]		
	金属板設置前	金属板設置後 (横並べ)	金属板設置後 (縦積み)
3	218.31	176.93	191.36
6	239.97	180.52	175.59
17	86.95	230.48	197.48
18 (金属板真裏)	93.17	179.82	177.77
19	106.20	188.33	187.68

次に、本実証環境の様な工場内複数の場所で溶接作業が行われる場合、溶接時に発生するであろう電磁波ノイズが電波伝搬特性及び伝送性能に与える影響について試験を実施した。ユースケースにおいては、実証エリア及びその付近で溶接作業が行われる環境を想定し、図 3-22 に示す実証エリア内 2 カ所において溶接作業を実施し、その周辺において実測を行った。

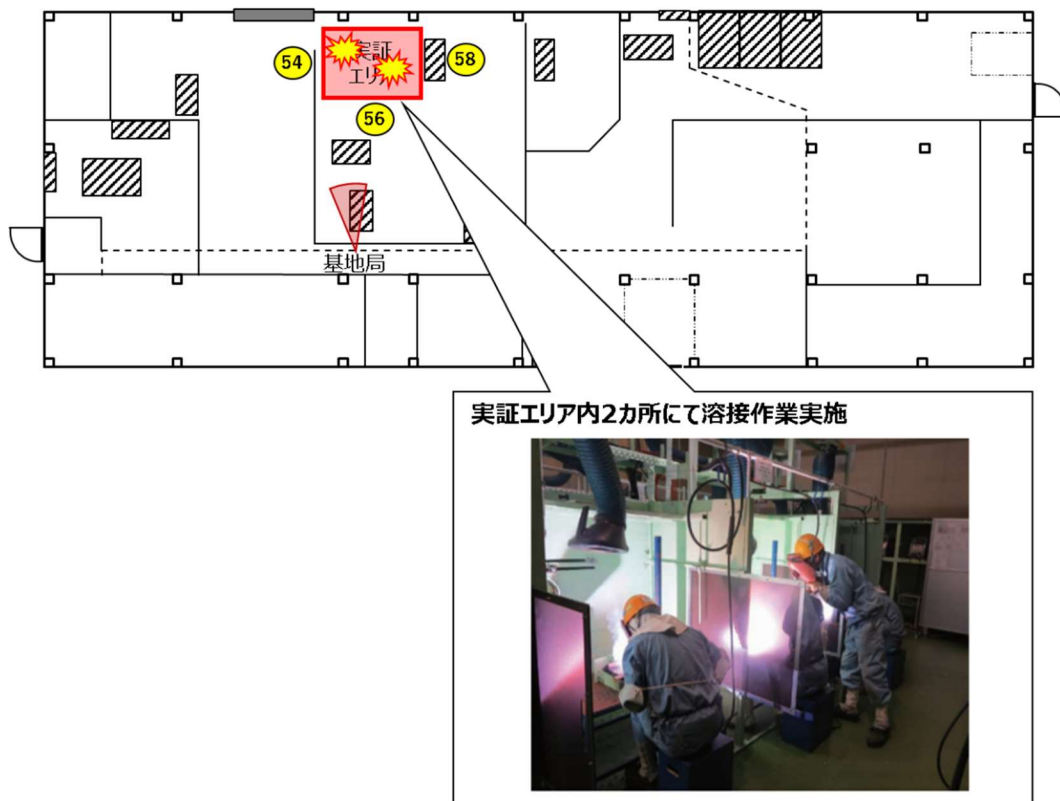


図 3-22 実証環境における溶接作業実施エリア

溶接作業あり/なしにおける実測結果を表 3-13 及び表 3-14 に示す。なお、それぞれの測定地点は同じであり、図 3-22 中に示す地点にて実施している。

結果から、受信品質について、周辺環境で溶接作業が実施されていたとしても概ね変化はないことが分かる。また、伝送性能については商用回線を用いている関係上、若干の変

動はあるものの、受信電力/品質と同様に影響は軽微と考えられる。これらから、溶接作業で発生する電磁波ノイズが本実証で使用した 4.7GHz 帯電波に与える影響はほぼないと考えられる。

表 3-13 (a) 溶接作業あり/なしにおける下り受信電力 (SS-RSRP) 比較結果

測定点 ID	SS-RSRP [dBm]	
	溶接作業なし	溶接作業あり
54	-54.96	-55.17
56	-50.92	-53.19
58	-56.25	-54.92

表 3-13 (b) 溶接作業あり/なしにおける下り受信電力 (SS-RSRQ) 比較結果

測定点 ID	SS-RSRQ [dB]	
	溶接作業なし	溶接作業あり
54	-10.53	-10.39
56	-10.25	-9.95
58	-10.42	-10.39

表 3-14 (a) 溶接作業あり/なしにおける UL 伝送スループット比較結果

測定点 ID	UL 伝送スループット [Mbps]	
	溶接作業なし	溶接作業あり
54	83.70	72.55
56	58.10	60.85
58	77.90	73.45

表 3-14 (b) 溶接作業あり/なしにおける DL 伝送スループット比較結果

測定点 ID	DL 伝送スループット [Mbps]	
	溶接作業なし	溶接作業あり
54	697.50	701.95
56	868.20	578.50
58	796.80	731.35

表 3-14(c) 溶接作業あり/なしにおける伝送遅延 RTT 比較結果

測定点 ID	伝送遅延 RTT [ms]	
	溶接作業なし	溶接作業あり
54	183.34	206.78
56	250.52	240.99
58	194.80	194.55

(6) 技術的課題の解決方策

今回の実証では、工場屋内環境においてセクタ指向性のアンテナ 1 局を活用しキャリア 5G の環境構築を行った。その結果、実測値から得られた伝搬特性は見通しにおいては自由空間伝搬、見通し外においては奥村・秦式（中小都市、市街地もしくは郊外地）と概ね一致していることが分かった。しかし、工場内の乱反射の影響により想定エリア図と比較して実測値の値が強く、屋外への電波漏洩が多く観測されている。そのため、本実証環境における工場内のローカル 5G（4.7GHz 帯）エリア構築としては、基地局出力を下げる等の方策が有効であると考えられる。今回サービスエリア内において十分な伝送性能を得ることが出来ており、この結果からも仮に送信出力を抑えた場合においても、本実証環境の様な実証エリアが工場内の一部である場合は十分なエリア形成が可能と考えられる。

なお、上記の考えは小・中規模の工場内に基地局を置局する場合であり、大規模な工場においてはより乱反射による電波漏洩の影響は少ないと考えられる。

3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化電波伝搬モデルの精緻化

3.3.2.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

工場分野における課題実証では“ものづくりの基盤技術となる溶接について、溶接時の映像、音声データ、電流電圧データをダッシュボードに表示し、熟練者のリアルタイムでの遠隔指導を行う事で、熟練者の不足、技術継承機会の低下といった製造現場における課題の解決”を目的としており、図 3-31 に示すカメラ等を設置する工場内のエリアをカバーするため、キャリア 5G 基地局 1 局を活用して実証を行っている。

本実証環境においては図 3-32 の様に、壁面材質が堅牢であることが想定され、エリア算出法に基づくエリア図が屋内に閉じた環境になることが考えられる。

そのため、工場分野におけるユースケースを前提とした場合、隣接する他者土地において干渉調整の対象となるシステムが運用されている場合、エリア算出法において調整対象区域が広域に計算されることで、不必要な干渉調整が発生することが考えられる。これらから、自己土地外への電波漏洩等の電波伝搬特性を把握したエリア構築が課題となる。

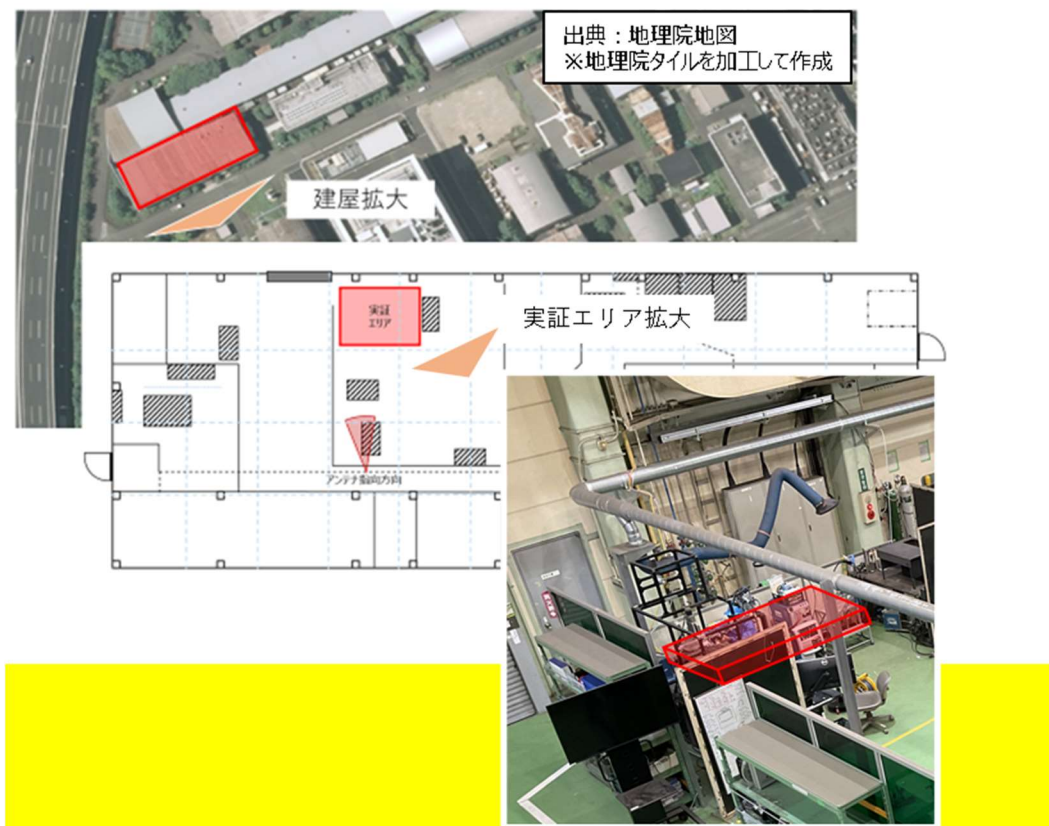


図 3-31 工場内実証エリア



図 3-32 工場壁面の様子

(2) 実証目標

3.3.2 章においては柔軟なローカル 5G システムの設計・構築に資する検討として、仕様書要件⁹で規定されているエリア算出法に含まれるいくつかのパラメータ (図 3-33) を対象とし、その値を精緻化することが求められる。

本検討において得られる精緻化したパラメータ値により、ローカル 5G 運用エリアに合わせてエリア算出法を適正化する等の制度改正につながることを目標としている。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

今回の実証環境においては、キャリア 5G 局 4.5GHz 帯 (4.5~4.6GHz) をローカル 5G 局 4.7GHz 帯と見なして、屋内置局を想定しているため精緻化の対象パラメータは図 3-33 から“R”を選択する。なお、“R”は建物内に基地局を配置する際に建物侵入損失の値に応じて修正するパラメータであり、本実証環境の様に堅牢な壁を有する環境におけるモデルケースを示すにあたって適切なパラメータであると考えられる。

⁹ 令和 3 年課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証 (令和 3 年 6 月) P34 表 2 より引用

利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7GHz帯	K ⁹	斜面や植生、水面の影響の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる ● 斜面や植生、水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する
	S ¹⁰	選択基準の詳細化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる
	R ¹¹	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である
28GHz帯	hr ¹²	選択基準の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局が見通せない測定点を確保できる
	R ¹³	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である

図 3-33 精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実証環境の要件

3.3.2.2 実証仮説

今回精緻化の対象とするパラメータ“R”については、4.7GHz帯のローカル5G技術的条件等を検討した情報通信審議会報告書¹⁰において、建物侵入損として詳しく記載されている（表 3-12 参照）。建物侵入損は、建物の外壁の材質によって想定される値が変化することが示されており、一般的な建物外壁（Traditional）では、50%の期待値において R=16.2 dB となっている。また、4.7 GHz帯のローカル5G審査基準においては、R=16.2 dBが規定値として定められてもいる。しかし、今回、技術実証を行う場所は、施設が立ち並ぶ工場施設の屋内となり、騒音対策、防災対策として遮蔽効果が高くなることが想定される。

また、工場施設内には多数の機材や、金属板等が配置されている環境であり、建物侵入損としては壁面の損失以外にも考慮すべき損失が有ると考えられる。そのため、建物侵入損の値は表 3-12 に示す Thermally-efficient における期待値 5% (=13.3 dB) ~期待値 50% (=31.4 dB) の間にあるものと仮定する。

表 3-12 4.7GHz帯における建物侵入損

建物の種別	建物侵入損の期待値			
	5%	10%	20%	50%
Thermally-efficient ^{*1}	13.3 dB	16.6 dB	21.0 dB	31.4 dB
Traditional ^{*2}	4.2 dB	6.0 dB	8.8 dB	16.2 dB

(※1) Thermally-efficient：金属化ガラス（断熱効果を高めるために使用する建築用の紫外線を遮断するガラス）、金属ホイルを裏打ちしたパネルを用いた建物。

(※2) Traditional：上記以外の建物

¹⁰ 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和2年7月14日）P123 表 4.2.1.2-1 より引用

なお、エリア算出法では、表 3-13 に示すように、送受信間距離 d_{xy} が 40m 以下の場合には、計算対象地域の環境に応じて、建物侵入損に対して考慮する補正值“R”の選択が必要である。本実証環境において、工場壁面のため堅牢である点と、多数の機材や、金属板等が配置されている点を考慮し、補正值“R”は表 3-12 に示す Thermally-efficient における期待値 50%である 31.4dB とする。

表 3-13 電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢
(d_{xy} が 40m 以下の場合)

補正項	定義	選択肢
R	建物侵入損に対して考慮する補正項	16.2 dB
		<ul style="list-style-type: none"> 実際の建物侵入損が明確な場合は明示の上、建物に応じた値を適用する。 本実証環境においては 31.4 dB とする。

上記仮説に基づき修正したパラメータ値における、カバーエリア及び調整対象区域図を図 3-34 に示す。なお、特定の方向においては対象となる壁面までの距離よりもそれぞれの閾値が短く算出されており、本来考慮しない損失が見込まれていることから、対象壁面までをそれぞれの閾値端としている。

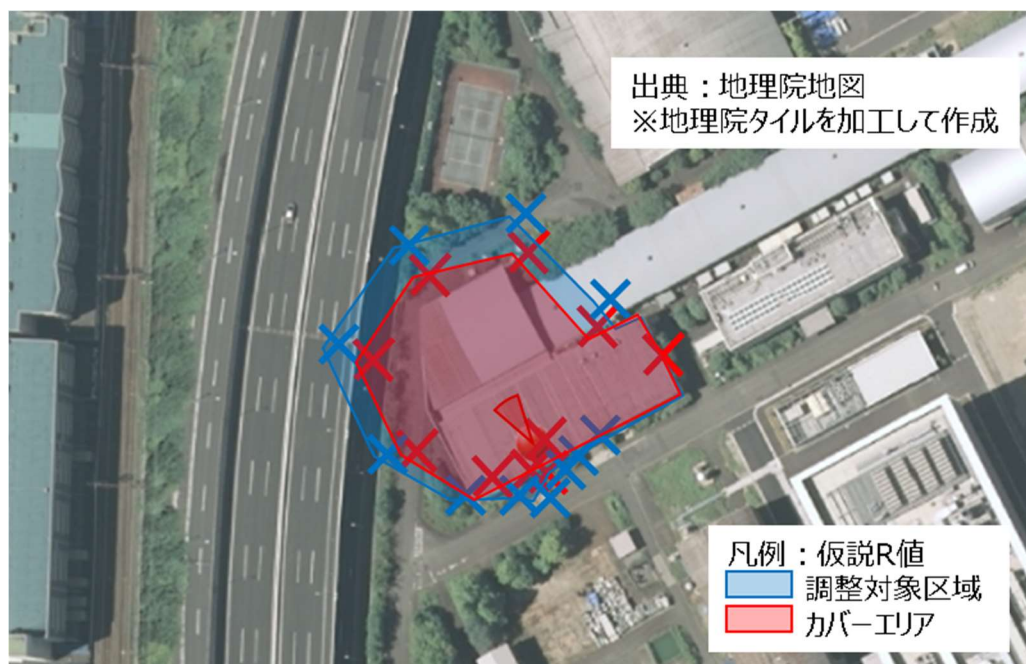


図 3-34 仮説パラメータ R (=31.4dB) を用いたエリア図

3.3.2.3 評価・検証項目

精緻化の対象パラメータ“R”について、仮設と実測結果から得られる知見の両方を用いて評価・検証を行い、実証環境における適切な R 値を導く。

また、この評価・検証において、実証環境におけるローカル 5G の電波伝搬モデルの精緻化に関する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も考察を行う。

3.3.2.4 評価・検証方法

1) 測定方法

測定については、以下の考え方で実施する。測定機器に関しては技術実証全体を通して同じであり 3.2 章にて記載している。

また、測定に関する懸念事項として建物侵入損 R が大きい際に、壁面外側の受信電力が小さくなり測定できなくなる場合が考えられるが、測定に用いるエリアテストのダイナミックレンジの下限は -129 dBm であり、想定しうる損失を見込んだマージン値を考慮して測定可能な地点を選定した。

➤ 測定エリアの考え方

エリア算出法と比較を行うための下り受信電力値の実測は、 $R=31.4$ dB という仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域において実施する。

エリア図は置局点に対し全方位で作図する必要があるため、精緻化後のエリア算出式の評価としては、ある一方向だけではなく、できるだけ全方位での実測を実施することが望ましい。

そのため、図 3-35 の実測エリア内において置局点を中心として 30° 方向ごとに方位を区切り、カバーエリア端、調整区域端でそれぞれ 12 点（方位）ずつの点について、測定を実施する。ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応した。

なお、観測された下り受信電力値が、エリア算出法により導出されるカバーエリア端、調整対象区域端の閾値と異なる場合はそれぞれの閾値が観測される範囲まで測定エリアを広げることとした。

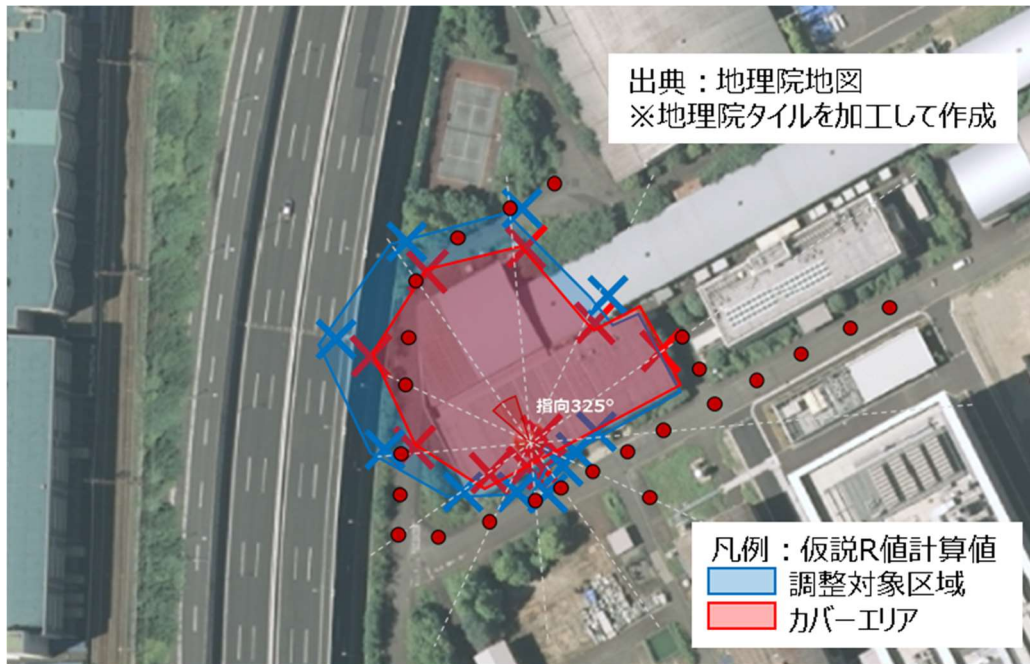


図 3-35 測定地点

➤ 測定項目

一般的に 5G NR のエリア指標として用いられている SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) 及び SS-RSRQ (Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality) について実測した。

➤ 測定手法と実測模様

各種データは、上記の考え方に基づき選定した測定地点に測定員が赴き、表 3-2 に示す測定器及び表 3-3 に示す設定値を用いて実測した。また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点においては測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録した。ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応した。

SS-RSRP 及び SS-RSRQ は、エリアテスタを用いて、1000 サンプル/地点のログ取得を実施した。

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、 10λ (λ は波長) の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施した。

測定においては、測定点間の移動を効率的に実施するため、図 3-8 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施した。

2) 評価・検証方法

電波伝搬モデルの精緻化については 3.3.1 章、3.3.2 章で実測した各種データを用いて下記に記載する流れで評価・検証を進める。

① 仮説 R 値に基づくカバレッジエリアおよび調整対象区域図の作成

実証環境内に設置する1つの基地局について、仮説R値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を作成した。詳細は3.3.2.2章の実証仮説を参照されたい。

② 実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図の作成

①で作成した仮説に基づくエリア図との比較を行う為、実測した各種データを図面上にプロットし、カバーエリア及び、調整対象区域の閾値から実測値による推定エリア図を作成した。

③ 仮説R値に基づくエリア図と、実測値から推定されるエリア図との比較

仮説R値に基づくエリア図の妥当性を評価するため、①、②で作図したエリア図の比較を行った。また、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端が異なる箇所においてはその差分値を取り纏めた。

④ 実測値から建物侵入損失を算出

R値の精緻化のもう1つのアプローチとして、建物内/外で実測した下り受信電力値から建物侵入損失を算出する。なお、建物侵入損失とは、厳密には、建物近傍路上における受信レベルと建物中央部における受信レベルとの差を意味するが、今回はエリア設計上建物外への漏洩電力を対象としているため、それぞれの基地局アンテナから、直線上となる建物内壁と建物外壁の電界強度差分を建物侵入損失として検証する(図3-36)。

$R = \text{建物外参照点の電界強度} - \text{建物内部測定点の電界強度} - \text{FSPL補正值}$

また、純粋な壁面損失を算出するため、基地局から建物外参照点と建物内部測定点間の距離に応じた自由空間損失(FSPL)の差分を減算し補正するものとする。

なお、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的/一般的な成果を得るため、壁面の材質や、それに伴う面積率などを記録し、汎用的に利用可能なR値の精緻化を実施する。

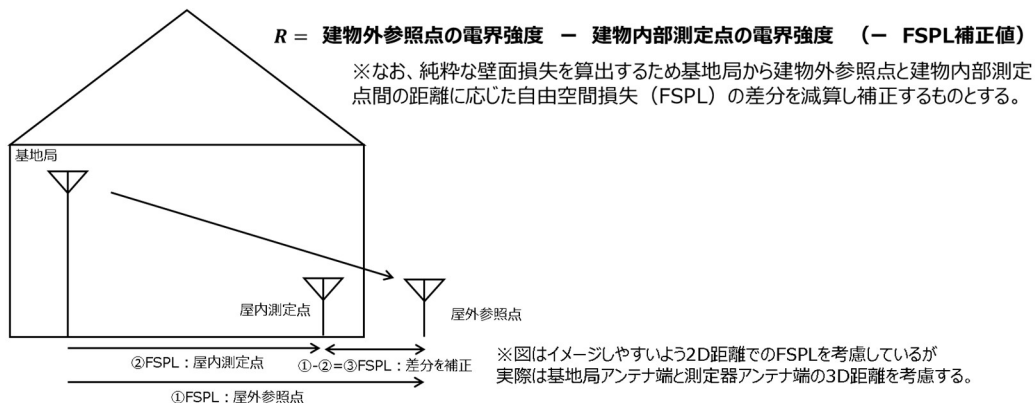


図 3-36 実測値からの R 値算出手法

⑤ 対象パラメータの精緻化

仮説に基づき設定した対象パラメータ“R”の値について、③の結果から得られる①、②エリア図の差分、④から得られる建物侵入損失の値を活用し、対象パラメータ“R”の値について精緻化を行う。

精緻化を行った対象パラメータ“R”を用いて、再度カバーエリア及び調整対象区域図を作成し、図 3-36 に示す実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価した。詳細は 3.3.2.5 章 (2) を参照されたい。

3.3.2.5 実証結果及び考察

実証環境における測定結果の取りまとめは、3.3.1.4 (1) で取り纏めており、本章においてもそのデータを活用する。

(1) 仮説 R 値に基づくカバーエリア及び調整対象区域図

図 3-37 に、実証環境内に設置するそれぞれの基地局について、仮説 R 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を示す。詳細は 3.3.2.2 章における実証仮説を参照されたい。

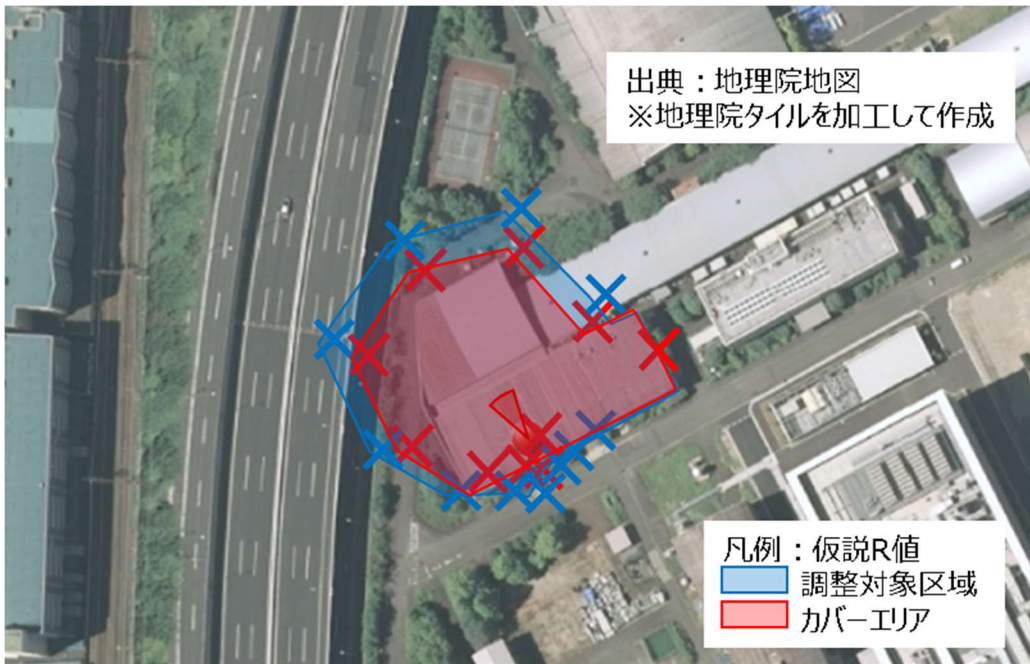


図 3-37 仮説パラメータ R (=31.2dB) を用いて算出したカバーエリアおよび調整対象区域

(2) 測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図

図 3-38・図 3-39 に実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図を示す。なお、エリア図の推定においては、定点による測定結果のみでは詳細な推定が困難であるため、実証環境周辺において立ち入り可能な場所を面的に測定した結果も参考にしつつ評価を実施している。

図中、赤破線は 4.6-4.9GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル (100MHz 幅の場合：-84.6dBm)”を前提に実測値から評価した想定カバ

一エリア端である。一方、青破線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz幅の場合：-91.0dBm）”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は30KHzであるため、上述したエリア端閾値を100MHzから、30KHzへ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-119.8dBm
 調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）：-126.2dBm

結果から、測定可能エリアにおいて取得できたデータについては、ほとんどがカバーエリア閾値以上の受信レベルとなり、基地局後方においても強い漏洩電力が観測された。これは、基地局設置位置が建物内壁に近いことと、屋内環境において乱反射が発生し、屋外においてもその漏洩電波が補足されたことが想定される。なお、調整対象区域の閾値となる測定点は1点しか観測されなかったが、周辺建物による遮蔽影響を考慮し、対象建物以外の外壁をそれぞれのエリア端として推定している。

また、レイトレーシング法を用いたエリアシミュレーションを実施し、マルチパス環境における、より実環境に近いカバレッジを算出した。エリアシミュレータについては構造計画研究所が提供する「Wireless InSite」を活用した。図中赤塗箇所はカバーエリア閾値以上の電力値となる。結果から基地局後方においても実測値と概ね近い傾向のカバーエリアの広がり確認できる。

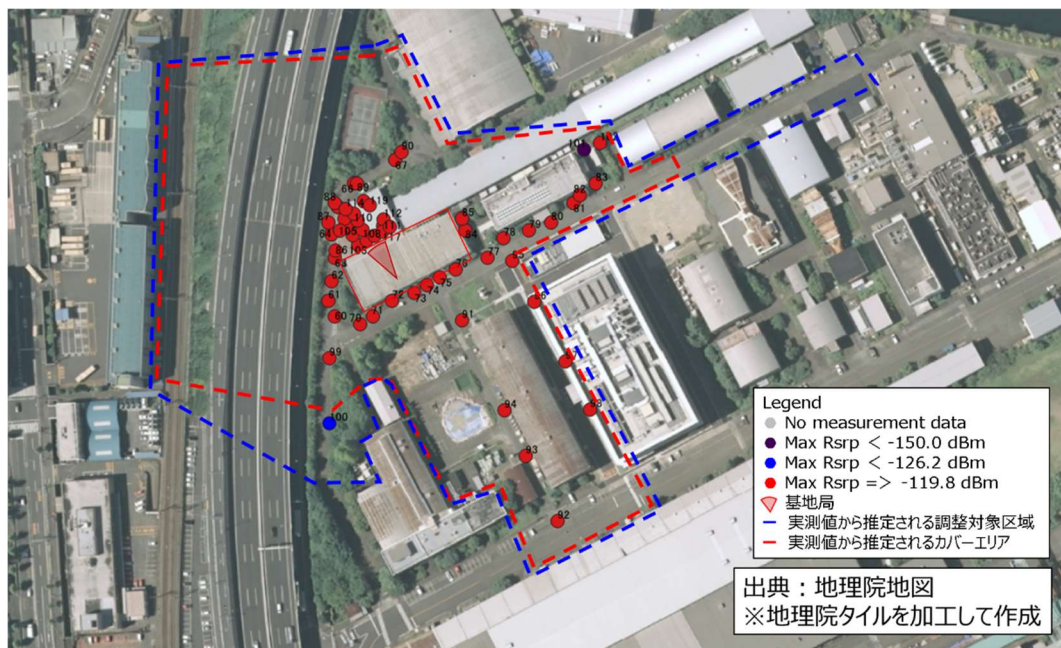


図 3-38 実測値から推定したカバーエリアおよび調整対象区域

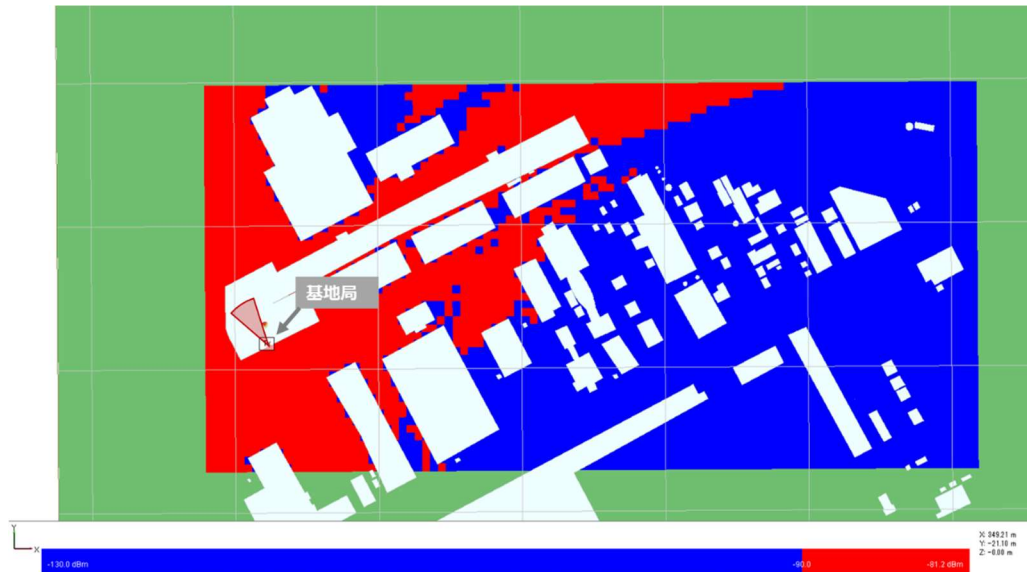


図 3-39 シミュレーションによる計算結果

(3) 仮説に基づくエリア図と実測値から推定されるエリア図との比較

3.3.2.5 章 (1) にて仮説値から算出したエリア図と、3.3.2.5 章 (2) にて実測値から推定したエリア図の比較を行い、仮説値の妥当性を評価する。

図 3-40 に仮説値におけるエリア図と実測値から推定したエリア図を示す。

結果から、仮説エリア図と実測値からの推定図において大幅な差分が見られた。これはまず、エリア算出法においては基地局からの直接波のみを考慮したエリア算出であり、本実証環境の様な屋内に基地局を設置した場合に発生する内壁もしくは機材及び什器等からの反射波が考慮されていないためと考えられる。また、仮説値で見込んだ建物侵入損失 R 値についても実環境より小さいものとなっていることが想定される。

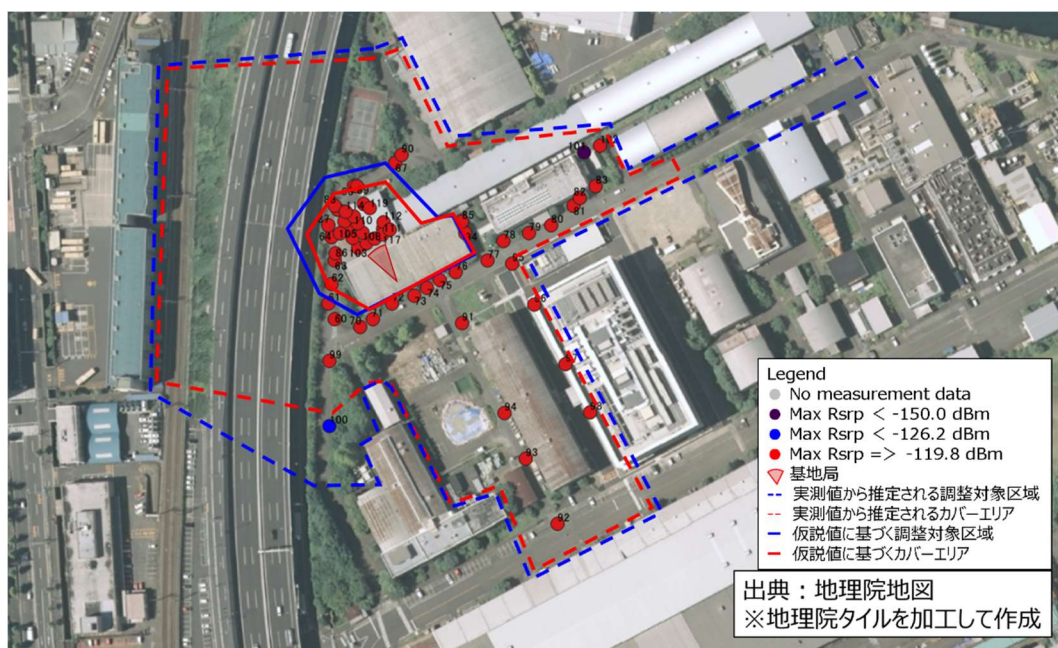


図 3-40 仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較

(4) 実測値を用いた建物侵入損失の算出

R 値の精緻化のもう 1 つのアプローチとして、建物内/外で実測した下り受信電力値から建物侵入損失を算出する。なお、建物侵入損失とは、厳密には、建物近傍路上における受信レベルと建物中央部における受信レベルとの差を意味するが、今回はエリア設計上建物外への漏洩電力を対象としているため、それぞれの基地局アンテナから、直線上となる建物内壁と建物外壁の電界強度差分を建物侵入損として検証する（図 3-41）。

$$R = \text{建物外参照点の電界強度} - \text{建物内部測定点の電界強度}$$

また、純粋な壁面損失を算出するため、基地局から建物外参照点と建物内部測定点間の距離に応じた自由空間損失（FSPL）の差分を減算し補正するものとする。

なお、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的/一般的な成果を得るため、壁面の材質や、それに伴う面積率などを記録し、汎用的に利用可能な R 値の精緻化を実施する。

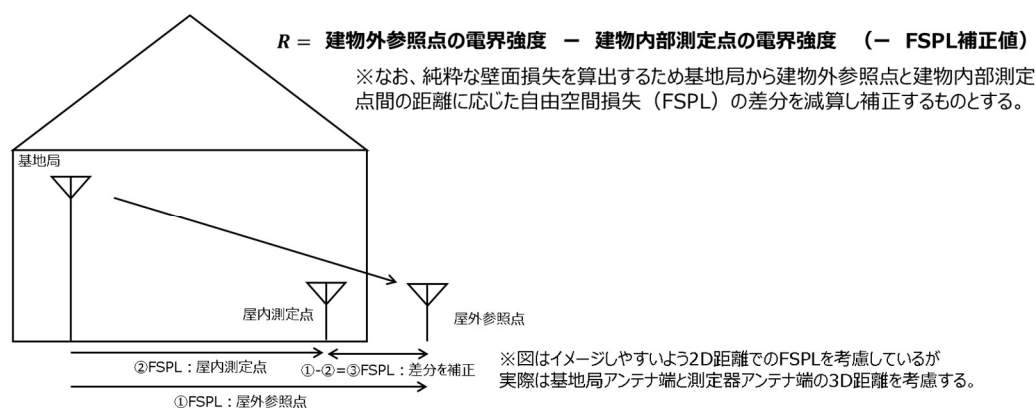


図 3-41 実測値からの R 値算出手法（再掲）

図 3-42～図 3-45 および、表 3-14・表 3-15 に、実証環境における壁面損失算出対象の測定地点及び算出結果を示す。図中の黒鎖線で結ばれる屋内測定点と屋外参照点において、壁面損失の導出を行う事とする。なお、屋内測定点と屋外参照点の比較においては前述した手法により自由空間損失を補正しているが、その他損失は周辺環境要因にて異なり、建物外壁から遠方の屋外参照点はその他損失の影響が支配的になる。そのため、自由空間損失以外が含まれると判断した屋外参照点は精緻化対象から外している。また、基地局指向方向においては対象建物に併設する形で別の建物が存在している。本実証においてはこのような併設する建物による R 値への影響を確認するため、対象建物内の屋内測定点から併設する建物を挟んだ形で屋外参照点を設け、その遮蔽効果も併せて確認する（図 3-42・図 3-43）。また、R 値は壁面の材質・構造ごとに異なる為、壁面ごとに精緻化を行う事とする。

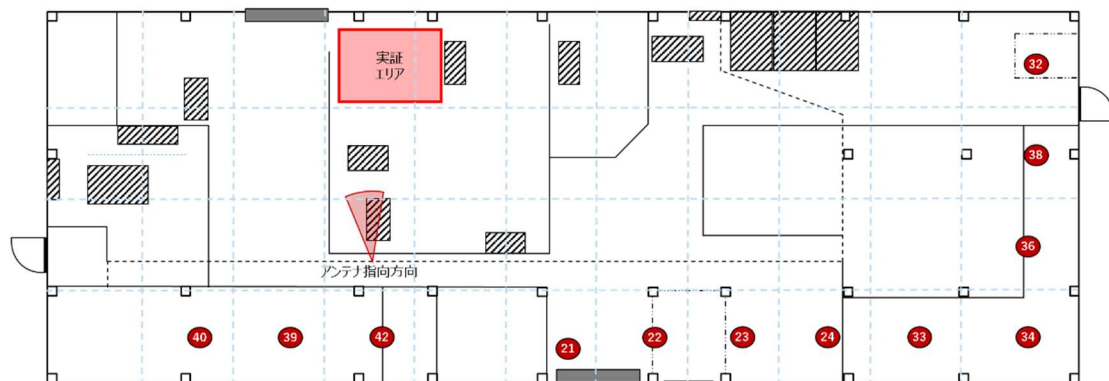


図 3-42 実証環境における緻化対象測定地点（屋内測定点）

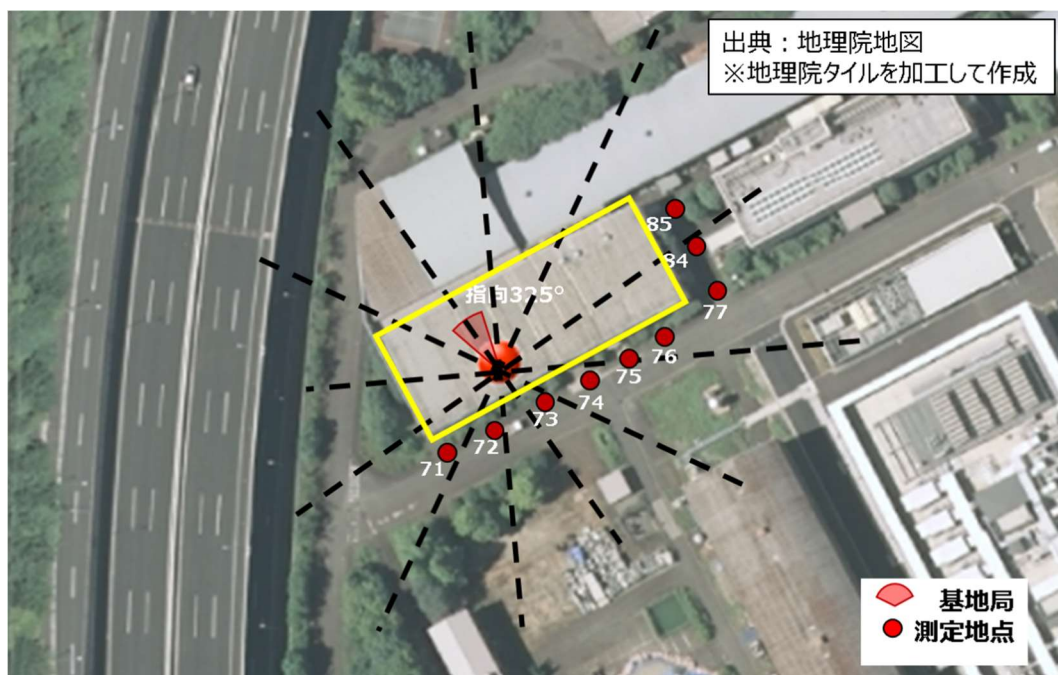


図 3-43 実証環境における緻化対象測定地点（屋外参照点）

表 3-14 実証環境における精緻化結果

比較対象		実測平均値 SS- RSRP[dBm]		自由空間損失 差分[dB]	電界強度差 分[dB]	R 値[dB]
屋内 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点			
40	71	-74.77	-96.03	3.35	21.26	17.91
39	72	-73.53	-90.61	0.39	17.09	16.70
42	73	-71.89	-87.35	4.86	15.46	10.60
21	74	-71.62	-97.51	4.18	25.89	21.71
22	75	-71.02	-91.44	4.41	20.42	16.01
23	75	-74.48	-91.44	2.04	16.96	14.93
23	76	-74.48	-95.83	4.49	21.35	16.86
24	75	-74.61	-91.44	0.11	16.83	16.72

24	76	-74.61	-95.83	2.57	21.22	18.65
33	76	-80.21	-95.83	0.92	15.63	14.71
34	77	-81.43	-102.20	2.88	20.76	17.88
36	84	-82.97	-95.97	2.00	12.99	10.99
38	84	-81.01	-95.97	1.78	14.96	13.18
38	85	-81.01	-93.27	2.21	12.26	10.05
32	85	-79.83	-93.27	3.30	13.44	10.14

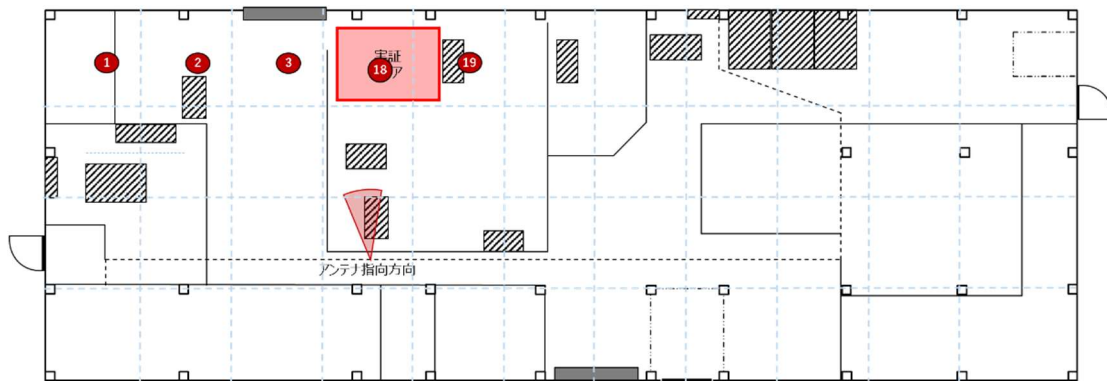


図 3-44 実証環境における緻化対象測定地点（屋内測定点）

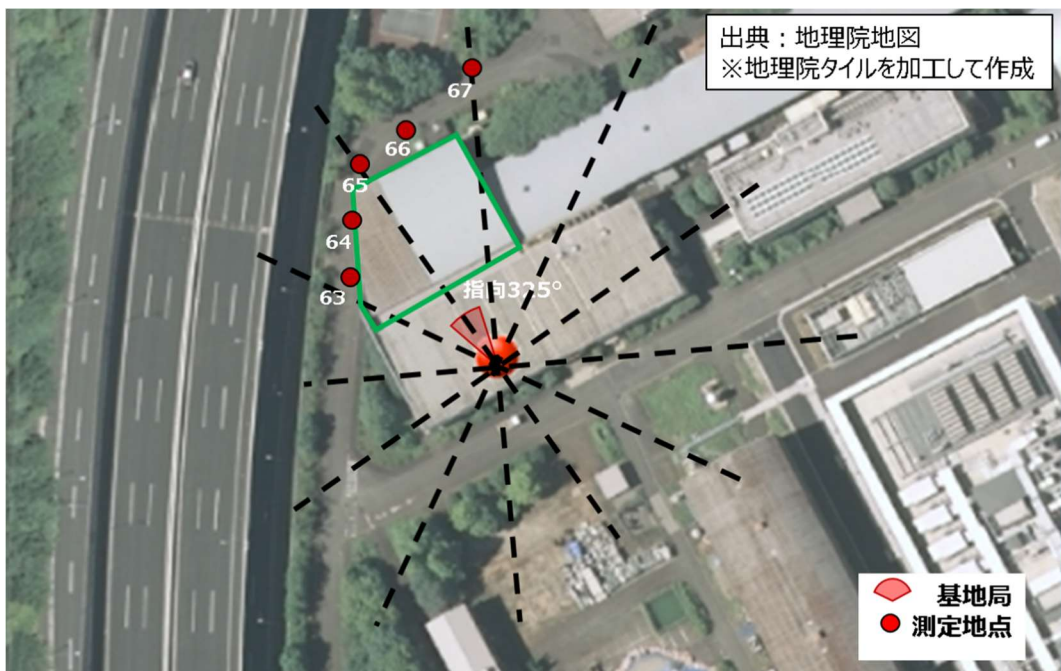


図 3-45 実証環境における緻化対象測定地点（屋外参照点）

表 3-15 実証環境における精緻化結果

比較対象		実測平均値 SS-RSRP[dBm]		自由空間損失 差分[dB]	電界強度差 分[dB]	R 値[dB]
屋内 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点			
1	64	-63.40	-95.89	4.37	32.49	28.12
1	65	-63.40	-100.43	5.83	37.04	31.21
1	66	-63.40	-102.54	8.08	39.14	31.06
1	67	-63.40	-110.32	7.92	46.92	39.00
2	64	-57.58	-95.89	6.02	38.31	32.28
2	65	-57.58	-100.43	7.48	42.85	35.37
2	66	-57.58	-102.54	9.73	44.95	35.23
2	67	-57.58	-110.32	9.57	52.74	43.17
3	64	-59.26	-95.89	7.61	36.63	29.02
3	65	-59.26	-100.43	9.07	41.18	32.11
3	66	-59.26	-102.54	11.32	43.28	31.97
3	67	-59.26	-110.32	11.16	51.07	39.91
18	64	-55.07	-95.89	8.95	40.82	31.87
18	65	-55.07	-100.43	10.40	45.36	34.96
18	66	-55.07	-102.54	12.65	47.46	34.81
18	67	-55.07	-110.32	12.49	55.25	42.75
19	64	-51.42	-95.89	8.79	44.47	35.68
19	65	-51.42	-100.43	10.24	49.01	38.77
19	66	-51.42	-102.54	12.49	51.12	38.63
19	67	-51.42	-110.32	12.33	58.90	46.57

表 3-16 に表 3-14 にて算出した R の精緻化値と対象壁面の材質/厚さ/面積率を示す。なお、精緻化値については壁面ごとに算出した R 値の平均値を記載している。図 3-46 に壁面ごとの測定状況を示す。

結果からは、以下のことがわかる。

- 本実証環境における壁面は、鉄筋コンクリート及び複数の窓で構成されていることから一般的な壁面における R 値に近い 15.1 dB と仮説値よりも低い値となることが分かる。
- 別の建屋が併設されている方向においては対象建物と同様の壁面 2 枚で構成されており、35.6 dB と上述した値の 2 倍より 5 dB 程度大きな値となっている。これは併設された建屋内の空間及び機材等が併せて考慮されているためと考えられる。

表 3-16 4.7GHz 帯における実証環境 R 値

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	仮説値 R[dB]	精緻化値 R [dB]
4.7GHz	代表値					16.2
	窓などの開口部が多い壁面方向	コンクリート	200mm	70%	31.4	15.1
		ガラス	20mm	30%		
	別の建屋が併設されている方向（計2層の壁面を通過）	コンクリート	200mm	70%	31.4	35.6
ガラス		20mm	30%			



図 3-46 屋外参照点の状況

(5) 精緻化パラメータの妥当性評価

3.3.2.5 章 (4) にて精緻化を行った対象パラメータ“R”を用いて、再度カバーエリア及び調整対象区域図を作成し、実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価する。

図 3-47 に精緻化後のパラメータを用いて算出したカバーエリア及び調整対象区域図を示す。図中破線は 3.3.2.2 章で示す仮説値 R (31.2 dB) におけるエリア図であり、実線は表 3-16 に示す精緻化値 R を考慮したエリア図である。

結果から、仮説値に比べ、精緻化値 R が小さいことにより、エリア図は全体的に広がっていることが分かる。

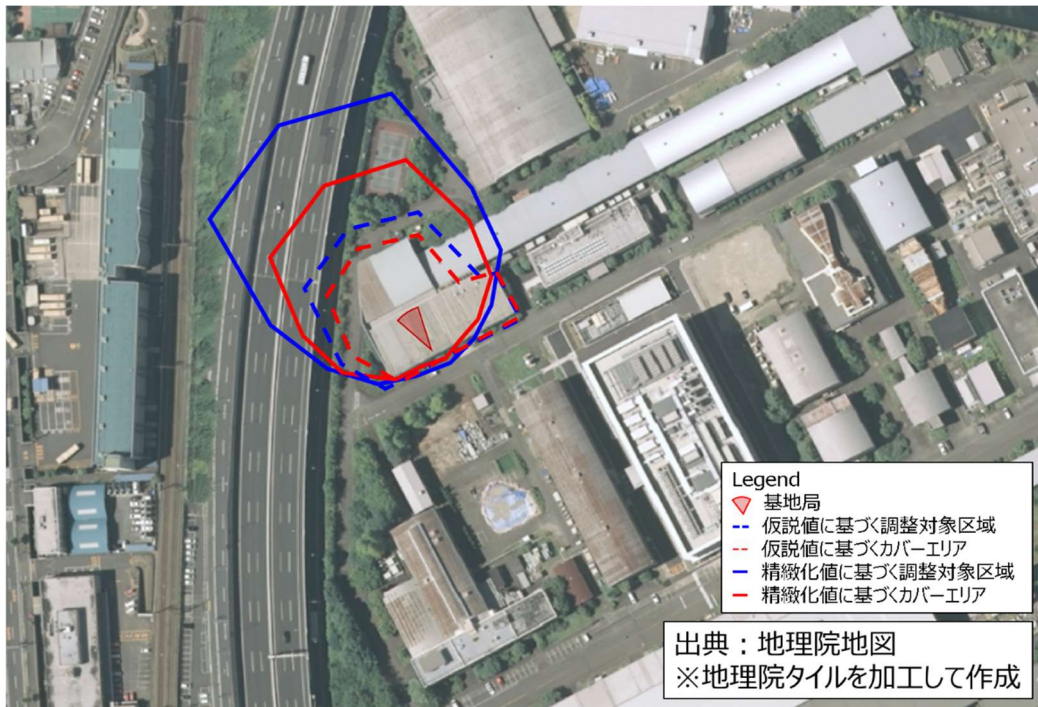


図 3-47 精緻化パラメータを用いたカバーエリア及び調整対象区域図

図 3-48 に精緻化後のパラメータを用いて算出したカバーエリア及び調整対象区域図と実測値から推定したカバーエリア及び調整対象区域図との比較結果を示す。

結果から、工場環境においては、精緻化値を用いたとしても実測値から推定されるエリア図と大きく乖離していることが分かる。本実証環境においては、屋内に多数の金属製機器や基地局指向方向に大型の金属製シャッターが存在しており、伝搬路構造としてはそれらによる乱反射の影響が大きい環境である。加えて、壁面構造は実証仮説で推定した堅牢な壁面と比べてより一般的な鉄筋コンクリート壁面に近いものであり、壁面に対して30%程度窓による複数の開口部が存在している。そのため、マルチパス環境における反射波が屋外へ漏洩し、エリア算出法と比較してもカバーエリアがかなり広い環境となっている。すなわち、本実証環境の様な小・中規模の工場においては屋内に置局する場合、エリア算出法上考慮出来ない環境要因があるということが分かった。しかしながら、3.3.1.4 章(3)で示した通り、実測値から算出した電波伝搬モデルは基地局から 40m 以上の傾向において奥村・秦式(中小都市、市街地もしくは郊外地)に近い値となるため、マルチパス影響が少なくなる基地局遠方においては既存の伝搬モデルにおいて近似できると考えられる。また、マルチパスの影響を抑えるため、基地局の送信出力を抑えるような置局設計をする場合は、乱反射によるマルチパス影響を軽減でき、エリア算出法から想定されるエリア図と近い実測値が得られるものと考えられる。また、大規模工場においては屋内の空間が小・中期規模工場と比べて開放的であることから、上記影響を軽減できると考えられるため、今後そのような環境においてもより詳細な検討が必要であるだろう。

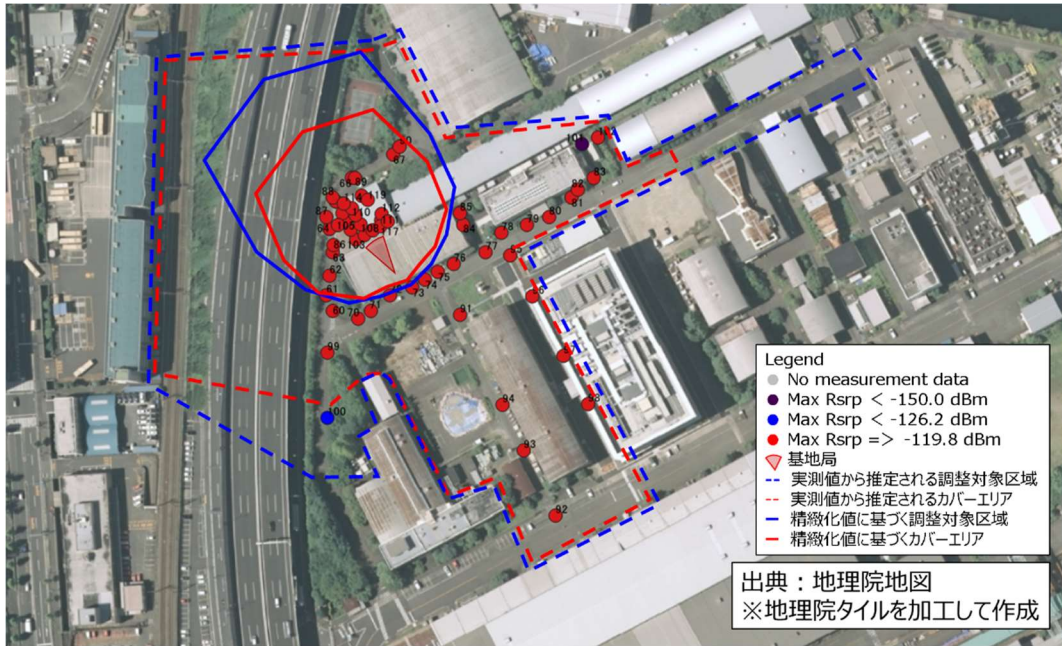


図 3-48 精緻化エリア図と実測値推定エリア図との比較

(6) 技術的課題の解決方策

今回の実証では、工場屋内環境においてセクタ指向性のアンテナ 1 局（キャリア 5G 4.7GHz 帯）を活用し、工場環境におけるエリア算出法パラメータ R 値の精緻化を実施した。その結果 R 値においては一般的な壁面と概ね近い値となった。また、対象建物に別の建屋が併設される環境においては、同様の壁面構造である場合 R 値を倍にすることで、その方向における R 値を精緻化する手法が有効であると考えられる。

これらの結果から、自己土地外への電波漏洩の観点では、前述した通り、工場内においては壁面及び機材、什器等からの反射波によって、建物外への漏洩電力が一般的な建物と比べて強い傾向となる。その場合、他者土地にて他のローカル 5G システムが運用される場合は互いに干渉調整が必要となることから、サービスエリア内のカバレッジを十分とりつつ、出来る限り調整対象区域を抑える置局設計が求められる。

本実証環境では基地局の送信出力を最大（48.9dBm/100Mhz）として置局設計を行ったが、結果としてはサービスエリア内において十分なカバレッジを確保できていることから、基地局の送信出力を下げる等の置局設計が望ましいと考えられる。例えば、本実証エリアにおいては、-75dBm/30kHz 以上の下り受信電力値が得られており 3.3.1.4 章(4)に示す通り、UL 伝送スループットの要求値を満たすためには-85dBm/30kHz 以上の電力値を確保すれば良いことから（図 3-19）、10dB 程度（38.9dBm/100Mhz）の受信電力の低減が可能であると考えられる。また、本環境の様なマルチパス影響が見られる環境においてはエリア算出法における直接パスのみを考慮した推定は困難であると考えられ、今後より詳細な検討が必要である。例えば、建物内壁により基地局からの反射波が支配的となるような小規模建屋等の環境において、屋外における漏洩電力とエリア算出法との差分値を定量的に評価し、相対的に補正をかける等の方策が一例として考えられる。

4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

4.1 実証概要

ものづくりの基盤技術である溶接について、IHI では熟練者不足と技術継承が課題となっている。高度な溶接技術は製造現場の競争力の源泉であるが、近年の熟練技能者の減少が、将来、案件の受注機会喪失や、売上減少、製品品質の低下といった問題につながる恐れが大いにある。

本実証では、ローカル 5G とデータフュージョン技術を用いて、溶接士の技能の見える化を図り、リアルタイムな遠隔溶接指導を行うことで、熟練技能者の指導効率の向上と、若手溶接士の早期育成を実現することを目的とした。

遠隔溶接指導においては、溶接士の作業映像、溶接時に発生する音、作業に用いている溶接トーチに流れる電流・電圧などのデータが必要になる。指導者側から適切な指示を送るためには、これらのデータの同期がとられた形で指導者側に送付され、認識されることが望ましい。本実証では、カメラ（動画）、電流・電圧センサ、音声等のデータをローカル（エッジコンピュータ）でフュージョン（統合・同期）させた後、5G システムにおいてデータを送受信する「データフュージョンシステム」を構築して実施した。但し、「データフュージョンシステム」においては、ローカル側にデータ統合のためのエッジコンピュータを設置するためシステム遅延が発生する。実用化に向けては、データフュージョンを行わず、システム遅延が発生しない構成「超短遅延映像伝送システム」においても遠隔指導が可能か検証することが有効である。そのため、本実証では、「データフュージョンシステム」と「超短遅延映像伝送システム」の検証を行った。

また、遠隔地からの溶接指導の実現に向けては、実運用や他工場、他社への展開を見据え、導入効果、システム機能、運用に関する検証を実施した。導入効果としては、熟練技能者の指導効率化による費用削減効果とソリューション導入にかかるコストとの費用対効果分析といった定量評価や、遠隔指導に基づいて溶接した製品の品質等の評価を行い、実証目標と実証結果との比較考察を実施した。

ソリューションの実装性に関する検証としては、実装・継続利用のために適切な導入・運用体制、費用対効果の検証、ソリューションの拡張性、実装スケジュール等について検討を行った。加えて、ソリューションの普及展開に向けては、製造業企業のニーズに関するアンケート調査や、普及に向けた想定ターゲットに対する普及展開計画の策定を行った。

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

4.2.1 背景にある課題

4.2.1.1 中韓企業の競争力向上と日本企業のシェア低下

IHI が位置付けられる総合重機業界においては、中国・韓国企業の台頭と日本企業のシェア低下が課題となっている。平成 23 年時点では、世界の売上上位 10 社のうち日本企業は 3 社、中国または韓国企業は 2 社であったが、令和元年では、上位 10 社のうち日本企業は 1 社、中国または韓国企業は 4 社となり、中韓企業の競争力向上が著しい。

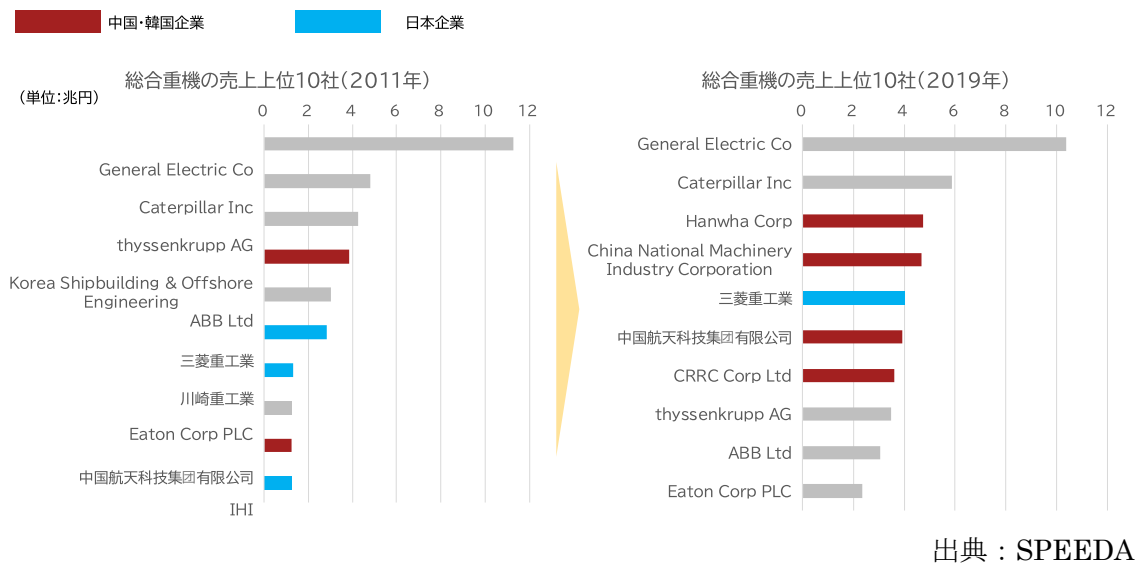


図 4-1 総合重機業界における中韓企業のシェア増加

4.2.1.2 熟練技能者の退職による日本企業の競争力低下

こうした日本企業のシェア低下の背景には、技術面では、日本の少子高齢化に伴う熟練技能者の退職と、技能継承の難しさが要因にあると考えられる。IHI 社では、溶接に関する熟練技能者の不足によって、受注機会の減少や、国際的な競争力の低下につながる恐れを問題視している。溶接はものづくりの基盤技術であり、高度な溶接技術に関するノウハウや熟練技能は、製造現場における競争力の源泉となっているからである。

IHI 社は、総合重工業メーカーとしてエネルギー、インフラ、産業機械、航空・宇宙等の領域で事業を行っているが、多くの製造現場では、高度な溶接技術が用いられている。特に、ボイラやインフラ設備など、形状が複雑で大量生産できない製品の製造には、高度な溶接技術が求められ、高度な技能を持つ溶接士の育成には 10 年以上の期間を要する場合もある。

4.2.1.3 ものづくりに不可欠な溶接技能の重要性

金属の接合方法は機械的接合、材質的接合、化学的接合の3種類に大別できる。機械的接合とはボルトやリベットなどを利用する方法であり、化学的接合は接着剤などによる接合方法である。これに対して材質的接合方法は、母材同士を熔融させて接合する溶接や、母材を熔融させずに接合する拡散接合など、いわゆる「溶接・接合」技術がこれにあたる。溶接・接合では突き合わせやすみ肉などさまざまな継手形状があり、それぞれに合った技術が必要である¹¹。



図 4-2 突き合わせ継手の断面図

溶接技術は、ものづくりに不可欠であり、発電所用ボイラや、航空機、橋梁など、産業機械からインフラ設備に至るまで幅広い領域の基盤技術となっている。他方で、大型構造物等の溶接にあたっては、製品の溶接箇所のもとまで溶接士が近づく必要があり、ライン工程の自動化が難しい。また、受注生産による一点ものの製品が多く、人の手で作業を行う必要がある。そのため、将来的にも溶接技術をすべて自動化することはできず、溶接士の技能育成は今後とも重要な課題になると考えられる。



図 4-3 IHI のボイラの主力製造拠点である相生工場¹²¹³

¹¹ IHI 技報 Vol.55 No.2

¹² 日刊工業新聞: 現場をゆく (192) IHI・相生工場 - ボイラ配管溶接,
<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/414123>

¹³ 日刊工業新聞:IHI、モノづくり改革が転換点-海洋構造物関連事業は存続か撤退か瀬戸
際, [nikkan.co.jp/articles/view/00404487](https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00404487)

4.2.1.4 IHI における溶接士・熟練溶接士の減少

なお、図 4-4 に示すように、日本全体でも 46 歳以上の熟練溶接士の人数は若手よりも少ない傾向にあり、熟練技能者の減少による高度な技能の喪失が懸念される。また、若手の溶接士や、熟練溶接士が確保できなくなり、外注への依頼が増加している。

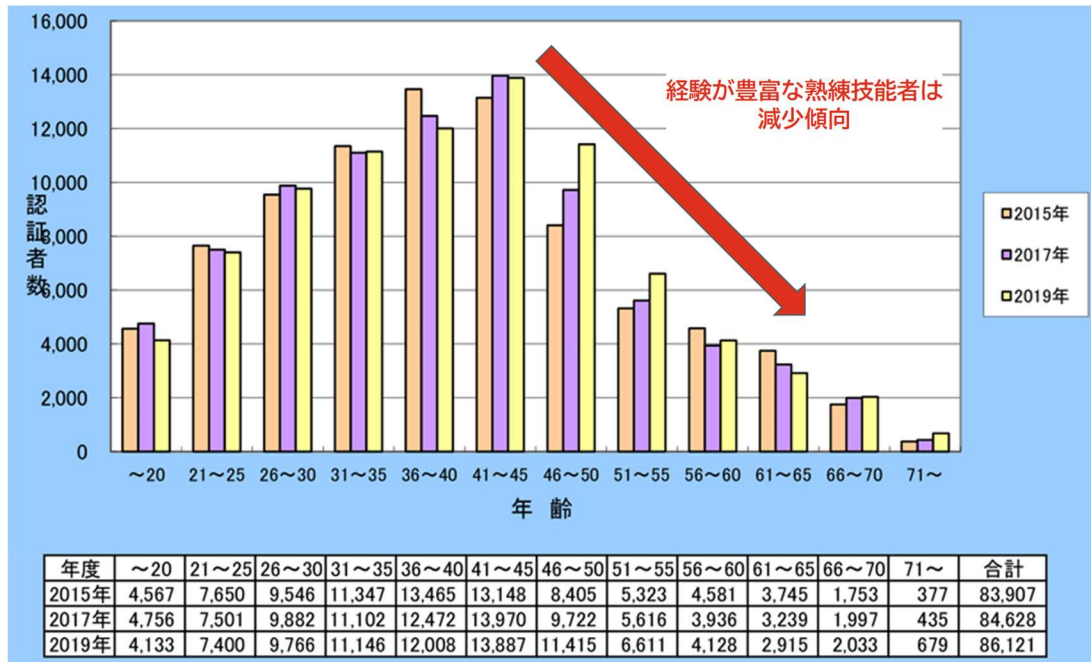


図 4-4 溶接技能者認証者数の年齢構成¹⁴

IHI 社では、熟練工の退職と、少子化による若手の溶接士の減少によって、製品の受注機会減少という問題に直面する恐れがある、溶接士の技能を有効活用することや、若手溶接士の早期育成が課題である。

また、外注の際には、技能の確認を行っているが、短期間で技能評価を行うため、十分な技能検証を行うことができない。高技能の溶接士を確保するには、現地の外注業者を育成する必要があるが、育成のための高技能な技術者を派遣するために、出張費、調整等の業務が発生する。そのため、溶接士の技能育成を遠隔で行うことも重要な課題になると考えられる。

しかし、熟練工は高度な溶接作業を行うことが求められ、若手溶接士の指導にかけられる時間は限られているため、指導効率の向上が必要である。そのため、本実証では、熟練工が遠隔から指導を行う仕組みを構築することで、指導効率の向上を図り、若手溶接士の早期育成を図ることを目指した。

¹⁴ 一般社団法人日本溶接協会溶接情報センター:溶接関係の統計－溶接技能者認証者の年齢構成－, <http://www-it.jwes.or.jp/statistics/statistics4.jsp>

4.2.1.5 現状のオペレーションにおける課題

新人溶接士は技術訓練所における訓練や JIS 溶接資格の取得の他、基本的に OJT で溶接の技能を磨いている。実際の製品には、マニュアルに掲載されていない高度な技能が求められる溶接が多くあり、特殊な材料や、狭隘部、曲がりくねった継手など、実践を積みながら技能を習得する必要がある。熟練技能者になるためには長い習熟期間を要する。

しかし、溶接士は、人によって技能レベルや性格、溶接トーチの運棒の癖などは様々であり、熟練技能者はそれらの若手に適した指導を日々行っている。

【新入社員の訓練風景】



【若手を指導する熟練技能者】



図 4-5 新入社員の訓練風景及び若手を指導する熟練技能者

しかし、近年の熟練技能者の減少によって、高度な技能が求められる製品の受注が難しくなっており、海外企業との競争においても、製品の品質で劣っていない場合でも、技能者の人数による生産能力で差がついていると考えられる。そのため、熟練技能者は高度な溶接業務に追われる一方で、若手の指導に十分な時間を割くことができず、全社的な技能レベルの向上がうまく図れていないという課題に直面している。

IHI 社の工場では、発電所用ボイラやインフラ設備等の大型構造物を溶接対象としているため、若手溶接士を指導するためには、作業場所まで熟練技能者が赴く必要があり、熟練技能者の時間の損失につながっている。また、IHI 社は海外売上比率が 48%（令和元年）となっており、外国人の溶接士に対する指導を行う必要もある。その際、英語やインドネシア語など被指導者に合わせた特定の言語を話せる指導者が対応することが求められるが、被指導者の近くにそうした熟練技能者がいない場合も多々あり、遠隔による指導を行うことができれば、指導効率が大きく向上すると考えられる。

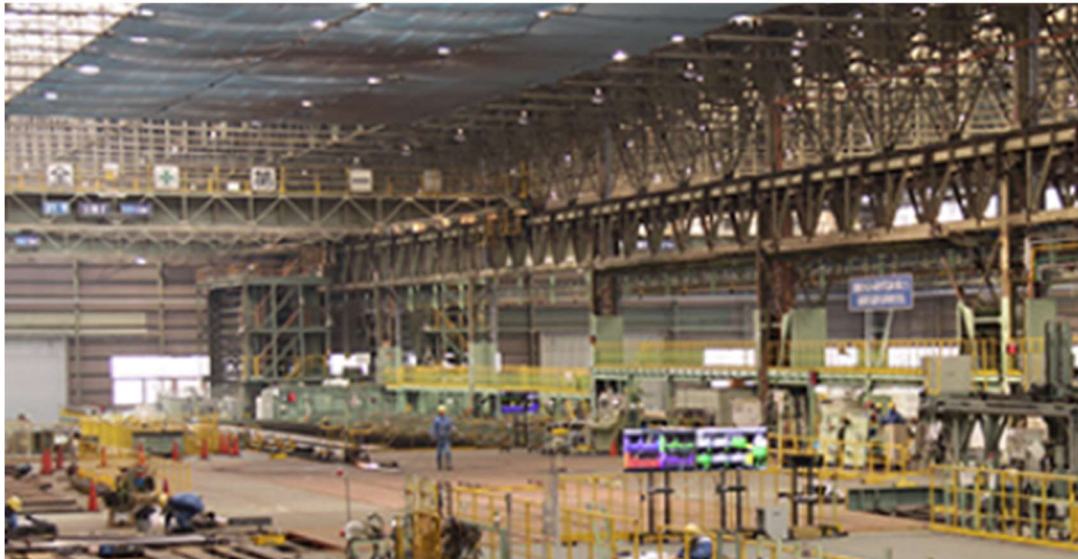


図 4-6 ボイラ・LNG タンク等を製造する相生工場¹⁵

4.2.2 実現を目指す将来像

現時点では、溶接に関するデータ計測に無線を活用する仕組みの確立や、取得したデータによる技能の見える化には至っていない。そこで、本実証では、将来的なマザー工場におけるAI分析や、品質保証の自動化に向けて、まずは熟練技能者による遠隔指導を導入することで、適切なデバイスの設置やデータ取得、無線による伝送などの仕組みを構築し、将来像の実現に向けた検討を行った。

実現したい将来像は、①マザー工場に蓄積されたデータを活用したAI分析、②作業データを保存することによる製品の品質保証、③育成プログラムの精度向上、④顧客提案における客観的な溶接士の技能表示、⑤溶接作業の自動化といった応用が考えられる。また、実現したい将来像に対する課題についても検討を行った。実現したい将来像及び、実現したい将来像に対する課題の詳細を以下に示す。

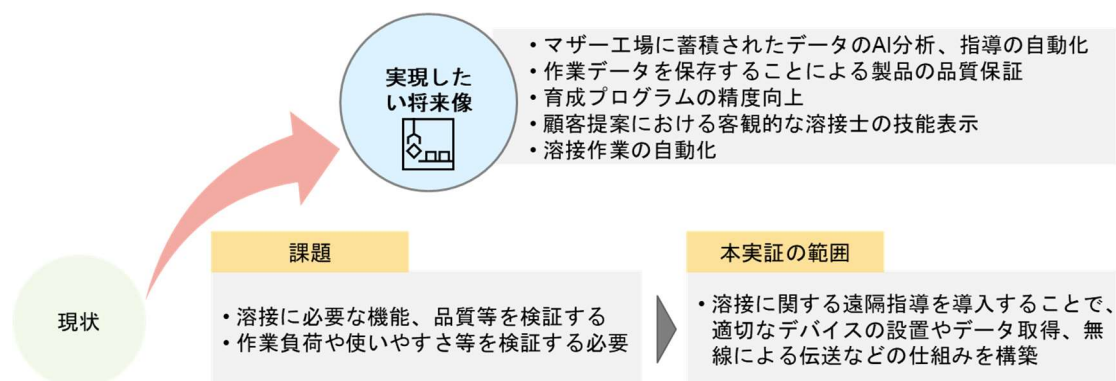


図 4-7 実現したい将来像と実証の関係

¹⁵ IHI 社: https://www.ihl.co.jp/ad_cm/?s=09

表 4-1 実現したい将来像・実現したい将来像に対する課題

<p>実現したい将来像</p>	<ul style="list-style-type: none"> <p>・ マザー工場に蓄積されたデータを活用した AI 分析</p> <p>マザー工場に溶接技術に関するデータを蓄積することで、技能を体系化し、より早く若手技能者が習得できる仕組みを目指す。マザー工場に工場環境、機械、人の動き方等のデータを蓄積し、AI 解析を行うことで、溶接士が困った際に自動で指示を出せる仕組みを将来的に構築する。</p> <p>・ 蓄積した作業データを品質保証に活用</p> <p>作業をすべてトレースして蓄積、保存し、品質保証（確認）につなげ、ドライブレコーダーのように過程を保存し、稼働の安全性につなげることを目指す。トレーサビリティを確保し、事故があったとき、品質保証をする工程は必要であり、マザー工場にログが残れば保証のニーズを満たすことができる。</p> <p>・ 育成プログラムへの活用</p> <p>技能の見える化により、教育は必要な対象者の選定や、訓練内容の策定の精度向上を目指す。これにより、効率的に熟練溶接士を輩出することができ、熟練技能者の退職による自社の競争力低下を防止することができる。</p> <p>・ 顧客提案における客観的な溶接士の技能表示</p> <p>技能の見える化により、業務で必要なスキルを洗い出すことができ、従業員一人ひとりのスキルを一覧にした技能マップの精度が向上する。これにより、客観的に溶接士の技能を示すことができ、顧客提案の際における説得力のある説明材料として活用することができる。また、上司の主観により行われていたプロジェクトへのアサインについても、客観的に行うことができる。</p> <p>・ 溶接作業の自動化への活用</p> <p>技能の見える化により、品質向上に必要な技能のナレッジを蓄積することができ、ロボット操作に必要な技能が明らかになる。これにより、溶接士が行っている溶接作業の技能再現が可能となるため、作業を自動化することができる。</p>
<p>実現したい将来像に対する課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> <p>・ 求められる機能、データ品質等を検証する必要がある</p> <p>適切な溶接作業のデータを蓄積するには、どの程度の映像解像度が必要なのか、また、映像と音声、電流・電圧等のデータ同期は必要なのか、映像の遅延はどの程度許容されるのかといった範囲がわからない。</p> <p>・ 作業負荷や使いやすさ等の運用面を検証する必要がある</p> <p>計測デバイスの使いやすさや作業負荷、安全性、拡張性等の課題がわからないため、運用面での検証を行う必要がある。</p>

4.2.3 課題を踏まえた実装シナリオ及び実証目標

4.2.1 章の課題を踏まえ、本実証では 5G を活用した、溶接の熟練技能者による若手への遠隔溶接指導に取り組んだ。遠隔溶接指導のイメージを以下に示す。

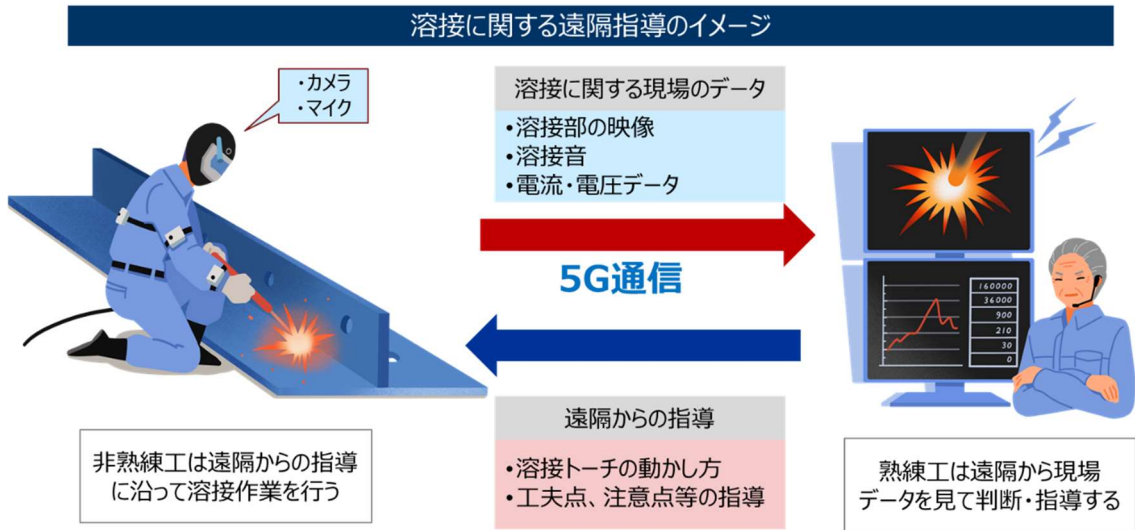


図 4-8 遠隔溶接指導のイメージ

溶接の指導においては、溶接トーチの動かし方等、リアルタイムに指示を出す必要があり、製造現場からの映像遅延が生じた場合には、適切な指導を行うことが困難である。また、IHI 社においては、高度な溶接方法や顧客に提供する製品自体の情報は秘匿性が高く、高度なセキュリティが要求される。そこで、本実証においては、将来的な遠隔ソリューションの導入を目的として、遠隔地から送信される溶接部映像、溶接音、音声、電流、電圧等のデータに対して、熟練者が遠隔から状況を判断し、適切な指導を実施し、若手溶接士の育成に資するかどうかについて検証を行った。本実証における実証目標及び、5G の必要性について以下に示す。

表 4-2 実証目標

- 本実証においては、将来的な遠隔ソリューションの導入を目的として、遠隔地から送信される溶接部映像、溶接音、音声、電流、電圧等のデータに対して、熟練者が遠隔から状況を判断し、適切な指導を実施し、若手溶接士の育成を目標とした。

表 4-3 本実証における実証目標

<p>効果検証</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔指導ソリューションを用いて遠隔指導を可能となることを目標とする。 • 若手溶接士が遠隔指導により、指導前の品質と比較して、より高い品質の溶接を可能とすることを目標とする。 • 遠隔指導ソリューションを用いることにより、熟練工が指導のために現場を移動する時間が削減できることを目標とする。
<p>機能検証</p>	<p>機能面における、データフュージョンシステム及び超短遅延映像伝送システムの目標は以下の通りとした。</p> <ul style="list-style-type: none"> • データフュージョンシステム <ul style="list-style-type: none"> ➢ 通信遅延：1,000msec ➢ スループット（上り）：12Mbps ➢ フレームレート：30fps ➢ データ同期：可能 • 超短遅延映像伝送システム <ul style="list-style-type: none"> ➢ 通信遅延：200ms ➢ スループット（上り）：3ch 合計 36Mbps ➢ フレームレート：30fps
<p>運用検証</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔指導における安全性、指導のしやすさ・受けやすさ、機器の使いやすさ、指導・作業効率を確保することを目標とする。

表 4-4 本実証における 5G の必要性

<p>リアルタイム性のある映像による遠隔指導</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔指導の場合、リアルタイムで現場のデータを遠隔地に届け、フィードバックを行うことが重要である。溶接トーチを少し右に、とか、波打つように、とか手取り足取り教えるためにはリアルタイム性が必要になる。 • データフュージョンシステムでは、データ同期にかかるエッジボードのアプリケーション上の遅延も含めて、500 ms の遅延が想定される一方で、データ同期を図らない超短遅延映像伝送システムでは、200 ms の遅延が想定される。
<p>リアルタイム性のあるデータの同期（フュージョン）</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔指導の場合、リアルタイムで正確な指導を行うべく、指導者は接部映像、溶接音、音声、電流、電圧等の情報を一覧化して確認する必要がある。一覧化する際には、すべての情報の表示タイミングを一致させる必要がある。そのため、リアルタイム性が必要になる。

<p>セキュリティを確保したデータ伝送</p>	<ul style="list-style-type: none"> 溶接技能は自社のノウハウであり、どのように鉄板を熱するのか、製品がどのように溶けるか、チタンやアルミなどの高価な材料の溶接方法など、セキュリティに配慮しなければならない。また、顧客製品そのもののデータ保全も重要であり、ローカル 5G によるセキュリティの確保が有効であると考えられる。
<p>省配線による安全性の向上</p>	<ul style="list-style-type: none"> 溶接の現場では、配線による躓きや、作業負荷の増加などは安全性の観点から避ける必要がある。省配線によるソリューションが有効であると考えられる。
<p>複数の溶接士による同時接続</p>	<ul style="list-style-type: none"> 複数の溶接士が同時に遠隔指導を受ける場合も想定され、有線ではなく無線で同時接続を可能にすることが有効であると考えられる。

将来的に、マザー工場に溶接技術に関するデータを蓄積、技能を体系化し、より早く若手技能者が習得できる仕組みを構築するには、AI やデータ解析を実施するための現場データの同期（フュージョン）が行われている必要がある。図 4-9 に実証環境に構築したセンサ・画像データをフュージョンする仕組みを示す。



図 4-9 データフュージョンシステムの機材

また、本実証においては、これらの実証目標の実現や、今後、IHI 社での実装・拡張が可能となる構成を考慮したうえで、5G を活用することで溶接士の作業を複数のカメラ、マイク、電流電圧等を用いてデータ取得し、リアルタイムに熟練者モニタリングエリアに伝送し、熟練者より溶接の指示を行う仕組みを検証した。図 4-10 に溶接士の作業を撮影するカメラ

を示す。



図 4-10 溶接士のヘルメットに設置されたカメラ

これらの取組によって、若手溶接士を効果的に育成することで高技能な溶接技術を伝承するとともに、熟練技能者の効率的な稼働を実現することを目標とした。具体的には、令和4年前期までに遠隔指導システムが遠隔指導に有効かについて明らかにし、令和4年後期以降に、IHI社内における遠隔指導システムの導入の検討を始める。

4.3 実証環境

溶接工に関する遠隔教育を行う実証のため、今回の実験場所として、株式会社 IHI の横浜事業所を選定した。横浜事業所には、化学プラント用圧力容器・大型鉄構物・回転機械・シールド掘削機等の産業用機械の製造を行う第一・第二工場の他、溶接試験場が存在している。

溶接試験場においては、他の国内工場で実施されている溶接に関する設備等がある他、工場環境等を模擬して設置されていることから、今後、他工場での波及を行うことを想定した場合、最も適切となるため、当該事業所を選定した。

横浜事業所の所在地及び本実証を行うエリアのレイアウトについては、図 2-1 及び図 2-7 を参照されたい。本実証を行う株式会社 IHI 横浜事業所 511 棟の 1 階と 2 階の空間は繋がっており、2 階からは一定のエリアを見渡すことができる。なお、一般的な工場のように、天井クレーンを設置していることから、天井空間は広がっている。2 階に 5G 基地局を設置することで、LOS（見通しあり）が確保され、天井空間は広がっており、一定の範囲まで電波が到達することが想定される。図 4-11 に 2 階に設置した 5G 基地局を示す。なお、1 階は、それぞれの試験場所は溶接光（アーク光）を遮断するため、遮光フェンスで区切られている。



図 4-11 2 階に設置した 5G 基地局

4.4 実証内容

課題実証に関する実施スケジュールを図 4-12 に示す。令和 4 年 1 月中旬より試験準備や遮蔽版を用いた事前検討、溶接士・指導者に対する説明等を行った。課題実証としては、令和 4 年 2 月 7 日週より、実際に溶接試験を行い、遠隔指導による育成の検証を行った。また、本実証において追加提案として行っている技能継承システムに関する検討を併せて実施した。令和 4 年 2 月 28 日週からは、主に溶接試験で得られたデータ整理や解析、評価、また報告書執筆に向けた取りまとめ作業を中心に実施した。

日曜	月曜	火曜	水曜	木曜	金曜	土曜
1/16	1/17	1/18 試験準備	1/19	1/20 事前検討(遮蔽板)	1/21	1/22
1/23	1/24 準備試験(キャリア5G調整、指導用溶接対象の決定データ転送方式の比較など)	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29
1/30	1/31 準備試験(キャリア5G調整、溶接対象の決定など)	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5
2/6	2/7 遠隔溶接指導試験(基本提案、追加提案)	2/8	2/9	2/10 ウェビナー準備	2/11	2/12
2/13	2/14 遠隔溶接指導試験(基本提案、追加提案)	2/15	2/16	2/17 ウェビナー	2/18	2/19
2/20	2/21 遠隔溶接指導試験(基本提案)、データ整理・解析・評価	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26
2/27	2/28 データ整理・解析・評価	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5
3/6	3/7 データ整理・解析・評価	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12

図 4-12 検証スケジュール

4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

4.4.1.1 実証システムの構成

溶接作業においては、溶接工の状況の映像、溶接時に発生する音、作業に用いている溶接トーチに流れる電流・電圧などが発生する。これらの状況をデータにすることで、作業の状況を確認することができる。一方で、指導者側から適切な指示を送るためには、これらのデータの同期がとられた形で指導者側に送付され、認識されることが望ましい。また、データ解析やAIの活用においても、データの同期がなされていることが必須である。

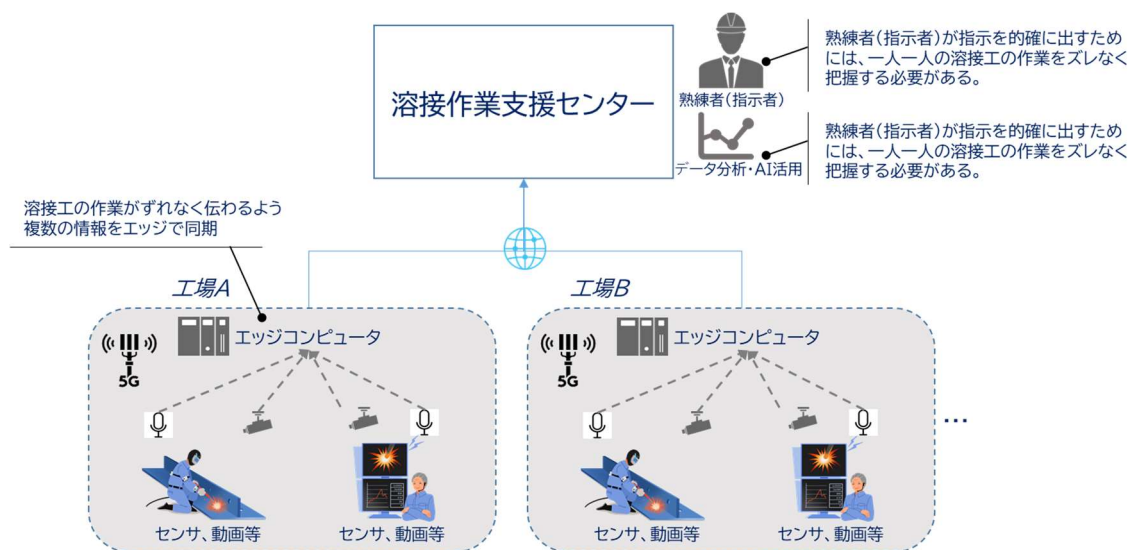


図 4-13 将来的な拡張を踏まえたデータ同期の重要性

そのため、本課題実証システムは、カメラ（動画）、電流・電圧センサ、音声等のデータをローカル（エッジコンピュータ）でフュージョン（統合・同期）させた後、5G システムにおいてデータを送受信する「データフュージョンシステム」を構築して実施するものとする。実証システムの構成を以下に示す。

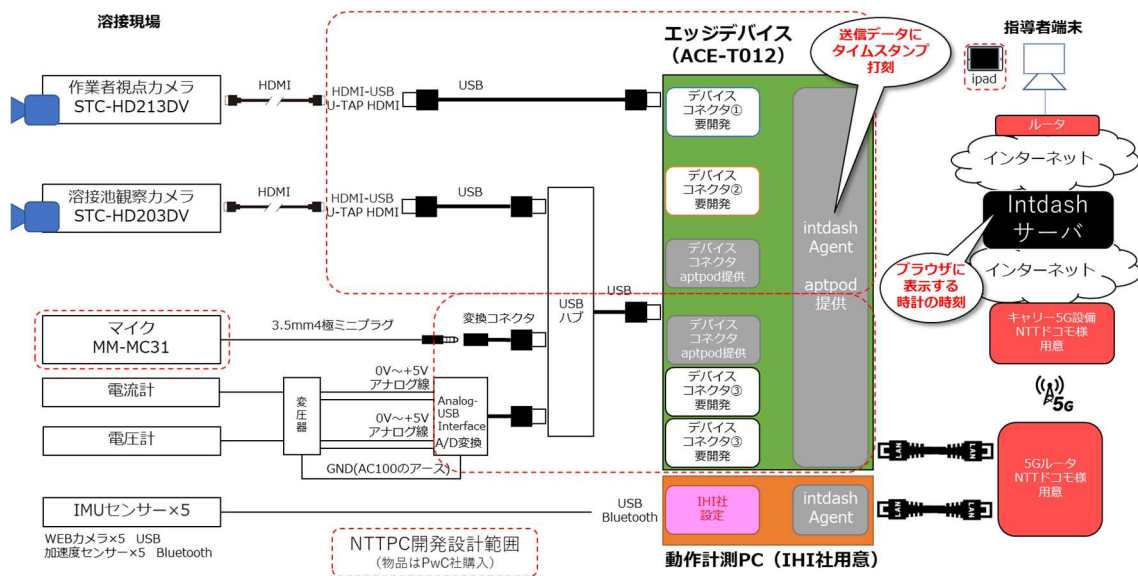


図 4-14 本実証におけるデータフュージョンシステムの構成図

遠隔から指導を行う熟練者は、図 4-15 に示す、データフュージョンにより表示される UI (ダッシュボード) イメージを確認し、複数のカメラによる溶接作業、溶接士の視界、俯瞰映像といったデータや、使用されている電流・電圧のデータ、音声データを同期が図られた状態で一元的に把握することができる。したがって、溶接現場の状況をリアルタイムに正確に把握をした上で、溶接士に対して指示を出すことが可能になる (キャリア 5G 経由でのデータ送信状況を確認し、指導者端末での映像画質を確認した結果、俯瞰カメラを削減し、HDMI カメラ×2 台の HD 画質とした)。

UI (ダッシュボード) は、PC ブラウザにフュージョンデータを一元表示することで指導者が判断や指導を行いやすい仕組みとする。図 4-16 に、本実証で用いたデータフュージョンシステムを示す。なお、ブラウザ内データレイアウトは任意にカスタマイズすることが可能であるため、実証を通じて遠隔指導者の意見を取り入れながら最適化していく。また、映像については PC とは別に映像のエンコード遅延の小さい iPad に切り出して表示させ、PC 映像との差分も検証した。



図 4-15 データフュージョンにより表示される UI (ダッシュボード) イメージ

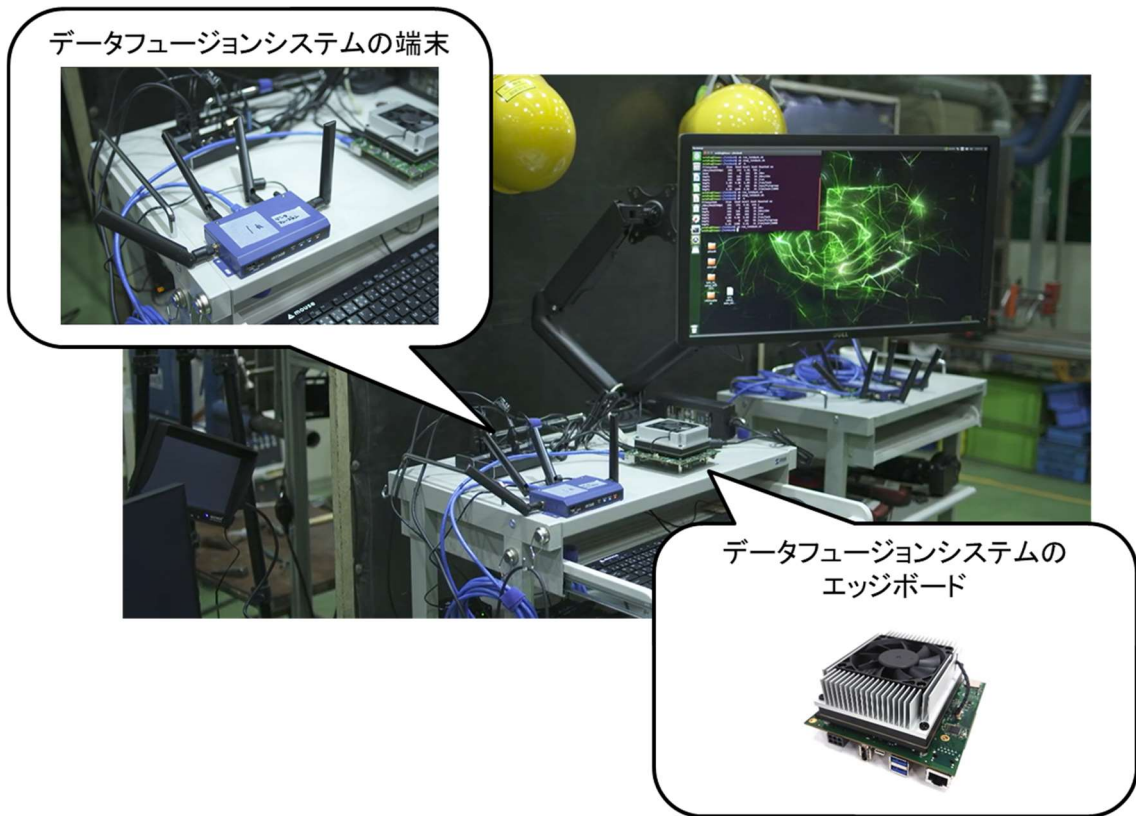


図 4-16 実証環境におけるデータフュージョンシステム

ただし、データフュージョンシステムにおいては、ローカル側にデータ統合のためのエッジコンピュータを設置し、その後クラウドに設置されたソフトウェアにより表示用データに変換されることから、システム遅延が発生することとなる。その場合においても、現場における指導において問題なく利用可能であることを確認することが実用化へのキーファクターとなる。これらのことから、本課題実証においては、情報同期をとらず、溶接工からのデータを教育者に直接届ける「超短遅延映像伝送システム」も同様に構築する。

データフュージョンシステムでは、データの同期をとることで、溶接工と熟練者（教育者）にとって指示が適切にできるか、また遅延等が許容範囲かの確認も行う。

他方で、超短遅延映像伝送システムでは、データフュージョンせずに低遅延 Full HD 映像及び音声のみを独立システムとして検証する。溶接教育を対象とした映像等の UL/DL における、現時点における 5G 性能の最大値を確認することとする。デバイスは、カメラ 3 台及び音声を用い、1 チャンネル映像（1080p/30fps/H.265）で遅延 200 ms とする。データ同期が図られない一方で、超短遅延の映像伝送機能を有する本システムについても併せて実証において検証することで、将来的なデータ活用への拡張性の観点から有益な検証結果を得ることを目指す。

図 4-17 に、本実証における超短遅延映像伝送システムのシステム構成図を示す。

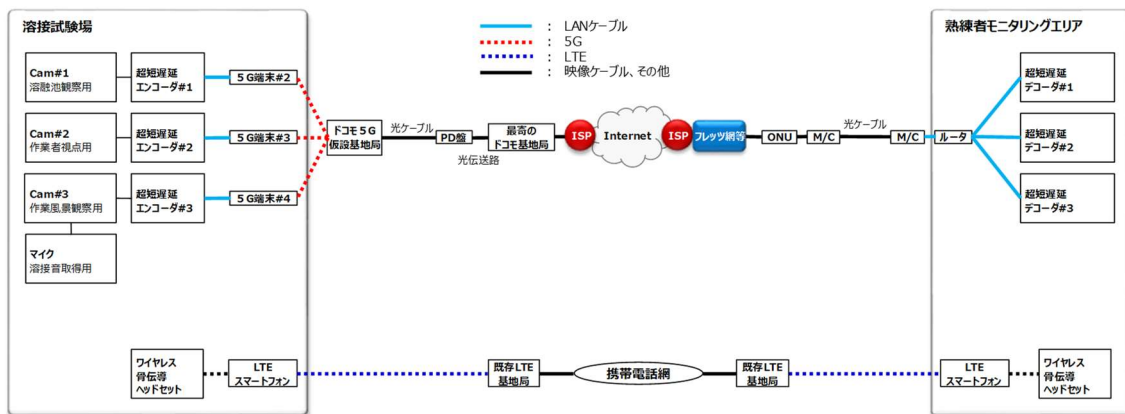


図 4-17 本実証における超短遅延映像伝送システムの構成図

4.4.1.2 実証に向けた考え方

本課題実証の目的である「遠隔地からの溶接指導の実現」に向けては、実運用や他への展開を見据えて、現実的な検証を行う必要がある。

そのため、本格的な導入に向けた導入面、システム機能面、運用面を見据えた検証項目は以下のとおりとする。効果検証については 4.4.1.4 章、機能検証については 4.4.1.5 章、運用検証については 4.4.1.6 章を参照されたい。

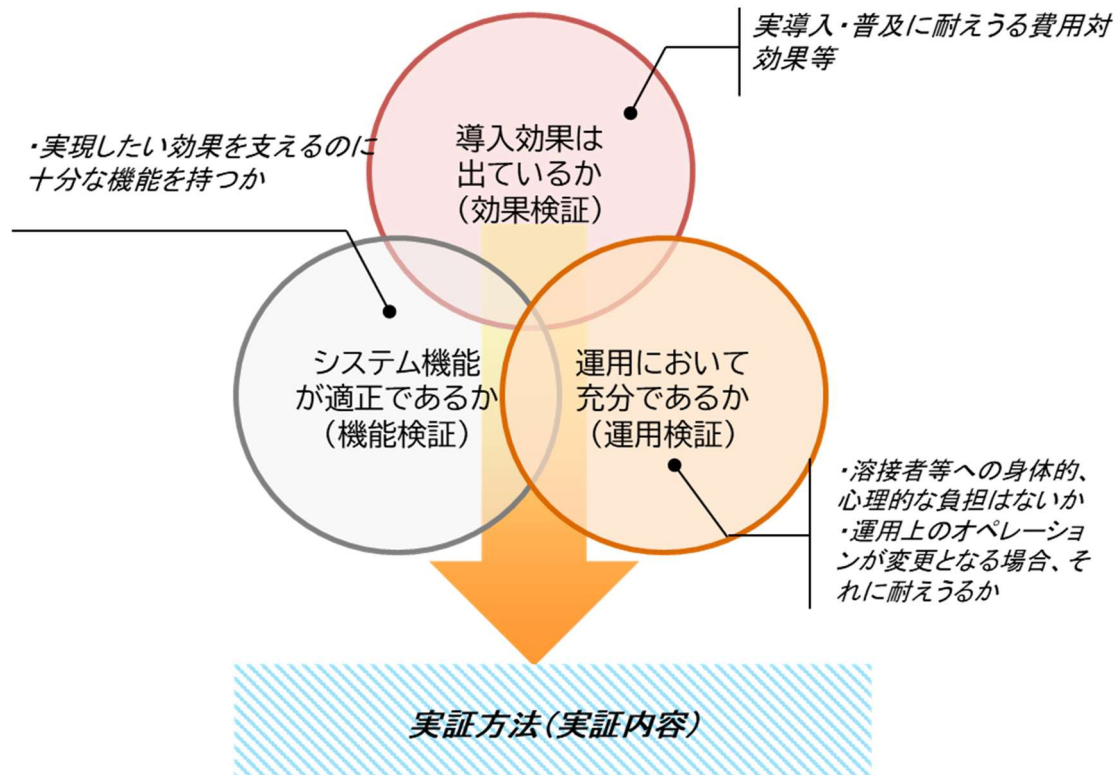


図 4-18 実証に向けた考え方

4.4.1.3 実証内容・実証手法

前述までの実証の考え方を踏まえて実証を行う。実技を行う溶接士を選定の上、熟練者による指導を実施し、結果の測定を行うこととする。

(1) 溶接士の選定・実施内容の説明

実証実験を行うため、実験に参加する溶接士を準備する。溶接士はIHI社に所属する者とし、上級者（経験年数約10年以上）、中級者（経験年数：約5年程度）、初級者（経験年数1年程度）の技量に区分してそれぞれ2名程度選定する。これにより技量に応じた溶接技能の習熟の効果を測定することを目指す。

また、遠隔溶接を行う指導者も選定する。本試験での指導者は、溶接作業の経験年数も長く、またJIS溶接技能者評価試験の検定員の資格を持つ者を選定した。親方及び実験に参加する溶接士のイメージ図を図4-19に示す。

実験参加者の選定後、本実証の内容の他、安全対策等についても説明を行った。

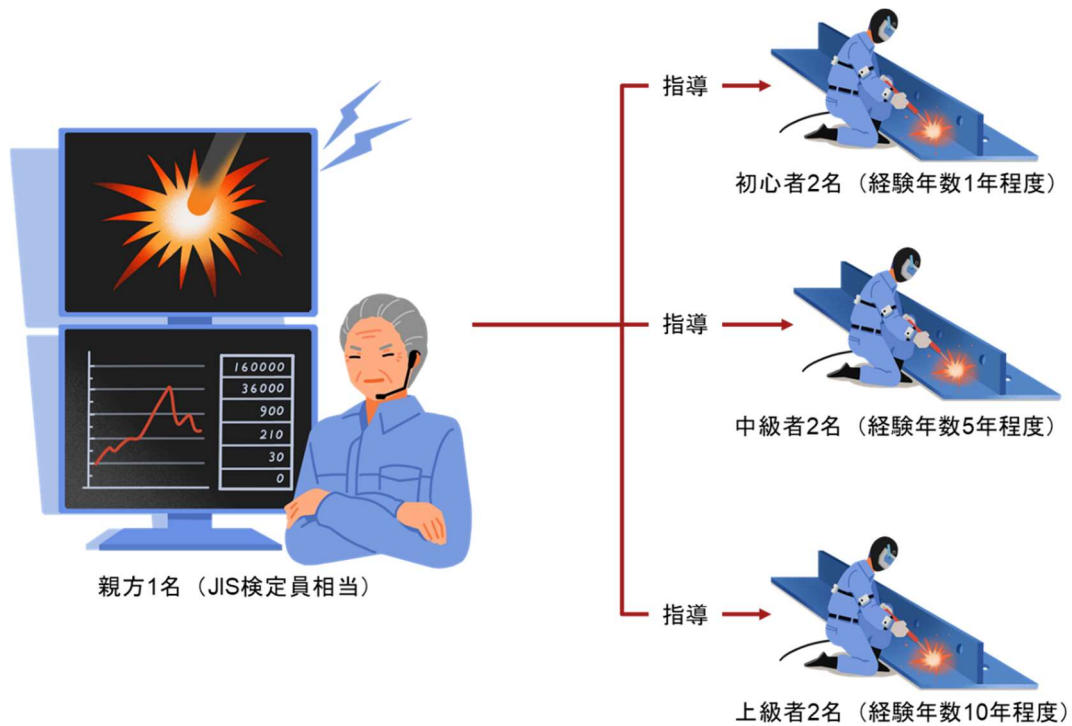


図 4-19 親方及び実験に参加する溶接士のイメージ図

(2) 遠隔溶接指導の実施

本実証において設置したシステムを用いて、遠隔溶接指導を行った。遠隔指導の効果を測定するにあたって、誰もが実施可能な溶接であっては評価が難しい。そのため溶接作業は JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に基づき実施するものとし、溶接対象は溶接工の技量のバラツキが生じやすいように、比較的施工難易度が高い「突合せ横向き溶接（JIS 符号：SA-3H）」を選定した。なお、その他の具体的な条件は、マグ溶接（Ar+20%CO₂）、厚板（幅約 250mm、長さ約 200mm 厚さ約 19mm）、V 開先、ギャップ 5mm である。本実証にて実施する、溶接対象の溶接前と溶接後の画像を、を図 4-20 および図 4-21 示す。本溶接条件では、溶接前の試験体の V 開先に対して 10~13 パスの溶接を行うことで、上下の板を接合する試験となる。溶接士により、接合されたと判定した時点で 1 回の溶接試験が終了する。なお、1 回の溶接試験の所要時間は、試験片の設置などの試験準備に 30 分、溶接時間に 1 時間である。溶接時間には指導時間を含む。

遠隔指導前と遠隔指導後を比較するため、「指導なし」と「指導あり」の 2 つのパターンで溶接を実施した。また、「データフュージョンシステム」の有り無しに係るシステムの機能比較を行うため、2 つのシステムでの遠隔溶接指導についても実施した。

溶接を実施する環境を図 4-22 に示す。



図 4-20 溶接前の試験体



図 4-21 溶接後の試験体

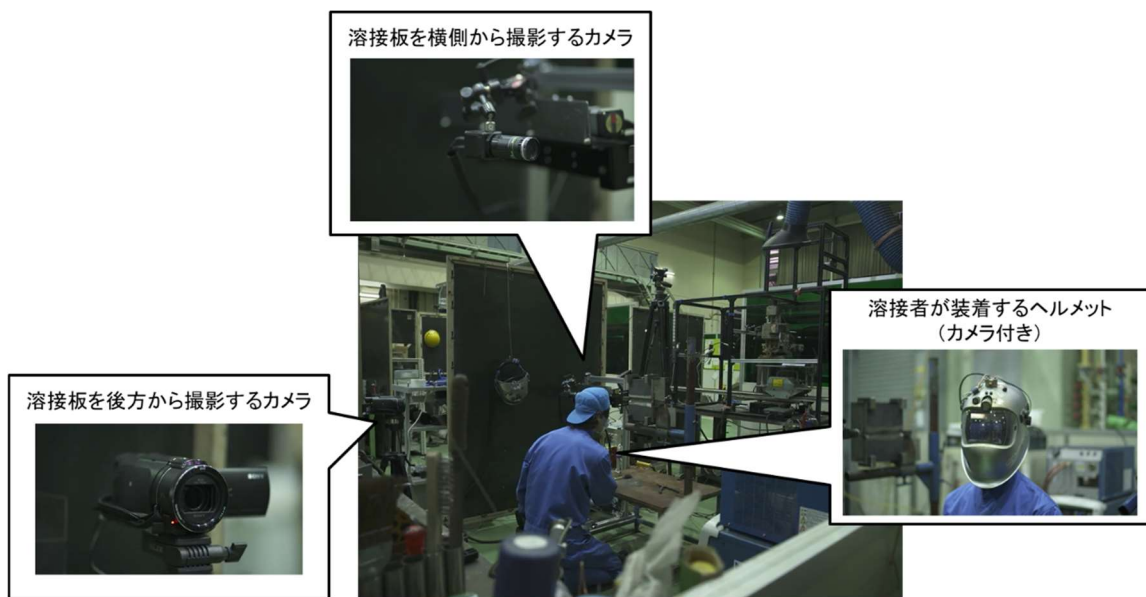


図 4-22 溶接を実施する実験環境

遠隔指導については、別途準備した熟練者モニタリングエリアにおいて、指導者がモニターで映像・音・電流、電圧の状況をリアルタイムで確認し、遠隔からのアドバイスをを行った。熟練者モニタリングエリアにおいて遠隔からアドバイスをを行う様子を図 4-23 に示す。

溶接品質の評価は、JIS Z 3841 の項目に基づき、外観試験 (VT) ・放射線透過試験 (RT) ・曲げ試験 (BT) を IHI 独自の採点方式により実施した。外観試験 (VT) ・放射線透過試験 (RT) ・曲げ試験 (BT) それぞれの持ち点を 100 点とし、合計 300 点からの減点方式とした。

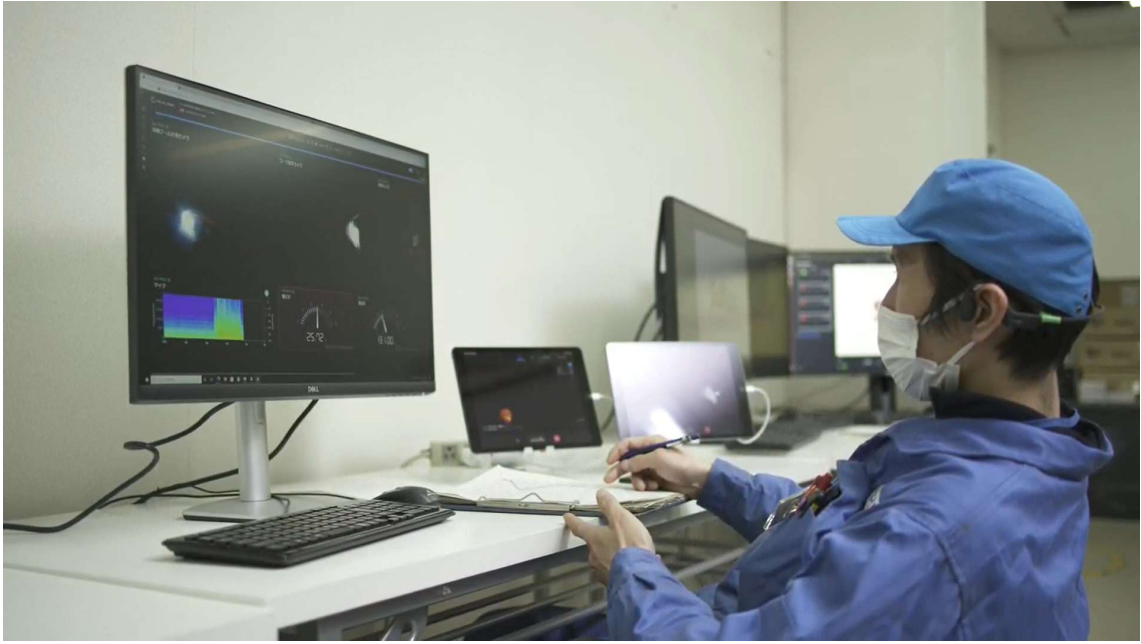


図 4-23 熟練者モニタリングエリアにおいて遠隔からアドバイスを行う様子

(3) 事前検討：工場特有のノイズ検証

工場建屋の随所で溶接が実施されている場合及び、背の高い製品（鋼板）が工場内に設置されている場合の影響について考慮する必要がある。事前に実施した技術実証の結果から、本実証環境に於いては、外乱因子の変化による影響は軽微であるため、課題実証に於いて、データフュージョン、超短遅延映像伝送、いずれも外乱因子を変化させた場合の計測は実施しないこととした。（3.3.1.4 章（5）参照。）

4.4.1.4 効果検証

効果検証においては、溶接指導を遠隔で実施することができるかを明らかにするとともに、品質及び指導効率の向上、遠隔指導に対する費用対効果を明らかにする。これにより、実導入・普及に耐えうる費用対効果等、導入効果が得られるかについて検証した。実証内容については、コンソーシアム体制内において協議の上、定量・定性的な側面から評価検証を行った。

(1) 評価・検証項目

実証を通じて評価・検証する項目を以下に示す。本実証では、溶接指導を遠隔で実施することができるか又遠隔指導により品質・指導効率が向上するか及び、遠隔指導による品質向上によって、継続利用が可能な費用対効果を達成するかどうか検証することを目的とする。

表 4-5 評価・検証項目

目的	評価・検証項目	概要
遠隔指導による品質向上によって、継続利用が可能な費用対効果を達成するかどうか検証する	溶接指導の効果	若手溶接士（初心者・中級者）が遠隔指導により、溶接技能の向上を図れるかを検証する
	指導効率の向上	上記の「溶接指導の効果」を鑑み、直接指導と同程度の指導効率が、遠隔指導の場合に見込めるかを、ユーザーヒアリング等も含めて考察する。
	費用対効果	上記の「溶接指導の効果」を鑑み、費用対効果について検討する。

(2) 評価・検証方法

4.4.1.3 (2) に述べた遠隔溶接指導の方法により、溶接士の初級者・中級者・上級者それぞれ 2 名に対し、指導効果を発揮することのできる試験対象および、指導効果について検証を行った。

指導効果の検証は、指導無し、5G を活用したシステム（データフュージョンシステム・超短遅延映像伝送システム）の 3 種類の指導方法により、前述の溶接作業、ならびに溶接品質評価を行い、習熟度グラフを取得することで、5G を用いた指導による指導効果を示すこととした。習熟度グラフの例を、図 4-24 に示す。本習熟度グラフは、横軸を溶接試験の試行回数、縦軸を各試行回において実施された溶接品質としたものである。溶接品質は、JIS Z 3841 の項目に基づき、外観試験（VT）・放射線透過試験（RT）・曲げ試験（BT）を IHI 独自の採点方式により実施したものである。外観試験（VT）・放射線透過試験（RT）・曲げ試験（BT）それぞれの持ち点を 100 点とし、合計 300 点からの減点方式とした。本習熟度グラフをもとに、遠隔溶接指導の効果を考察する。

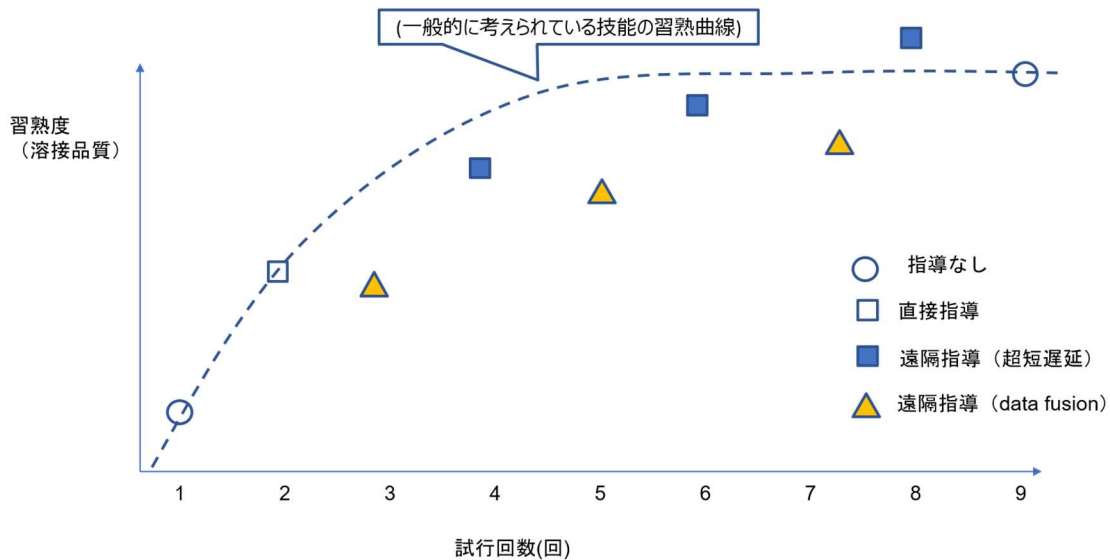


図 4-24 習熟度グラフのイメージ

指導順序は、指導なし（1回）→5G を用いた指導（3回）→指導なし（1回）を基準とした。ただし、試験期間中、指導員を常時在席させることができなかった。溶接作業の試行を重ねるにあたって、数日間溶接作業をしない日があると、習熟度も低下する恐れがある。このため、指導員不在時でも練習することを優先し、適宜「指導なし」での試行も行った。5G を用いた指導は、①データフュージョンシステムと②超短遅延映像伝送システムのどちらも 1 回以上使用する。予備試験により①②の指導効果に大きな違いが無いという感触を得た（後述 4.4.1.6 指導員へのヒアリング「機器の使いやすさ」「データフュージョンシステムと超短遅延映像伝送システムとで違いはあるか」を参照のこと）。このため、また試験期間および被験者数の都合上、5G を用いた指導と直接指導との比較試験はしないこととし、溶接データ保存が可能な①データフュージョンシステムを主に使用することとした。

直接指導と 5G を用いた指導との違いについては、ヒアリングをベースに検討することとした。

実証を通じて評価・検証する項目を以下に示す。

表 4-6 評価・検証方法

評価・検証項目	検証方法
溶接指導の効果	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔溶接指導の試験結果により作成される、習熟度グラフを元に、遠隔溶接指導の効果について考察する。
指導効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 熟練工が指導のために現場を移動する時間と、遠隔指導による効率化の程度を比較し、指導効率がどの程度向上するかについて、ヒアリングを行う。
費用対効果	<ul style="list-style-type: none"> 熟練溶接士の指導時間、移動時間の効率化によるコスト削減と、5G の導入・運用コストを比較した費用対効果について、ヒアリングを行う。

(3) 実証結果及び考察

実施した遠隔溶接指導による、溶接作業の結果を表 4-7 に示す。また、この結果を習熟度グラフ（横軸：試行回数、縦軸：溶接品質）としたものを図 4-25 に示す。

溶接士 A は初級者である。本実証において、計 8 回の溶接作業を試行した。実施した試行の内の 3 回は、データフュージョンシステムを用いた遠隔指導による試行であり、また内 1 回は超短遅延映像伝送システムを用いた遠隔指導による試行である。

溶接士 B は初級者である。本実証において、計 9 回の溶接作業を試行した。実施した試行の内の 2 回は、データフュージョンシステムを用いた遠隔指導による試行であり、また内 3 回は超短遅延映像伝送システムを用いた遠隔指導による試行である。

溶接士 C は初級者よりも溶接の心得のある中級者である。本実証において、計 4 回の溶接作業を試行し、その内の 1 回は、データフュージョンシステムを用いた遠隔指導による試行である。なお、4 回の試行において十分な習熟があったと判断されたため、溶接試験は 4 回までとした。

（溶接士 D は、試験期間の都合により試験なし。）

溶接士 E は、経験年数 10 年以上の上級者である。溶接指導の必要なく 1 回目の試行で、十分な品質の溶接作業が可能であると期待した。またこの品質を初級者、中級者の上達の目安とすることを狙った。

溶接士 F も、溶接士 E と同様の上級者である。試験の狙いもまた溶接士 E と同じである。

表 4-7 遠隔溶接指導による、溶接作業の結果
(VT：外観、RT：放射線透過試験、BT：曲げ試験)

表 4-7- (1) 溶接士 A (初級者)

試行回数	指導方法	VT	RT	BT	Total
1	指導なし	15.99	98.5	85	199.49
2	データフュージョン	11.978	83	44.9	139.878
3	超短遅延	63.428	100	87.5	250.928
4	データフュージョン	59.92	100	93.2	253.12
5	データフュージョン	43	26	53.7	122.7
6	指導なし	61.72	85	0	146.72
7	指導なし	78	100	83.9	261.9
8	指導なし	87.2	100	75.3	262.5

表 4-7- (2) 溶接士 B (初級者)

試行回数	指導方法	VT	RT	BT	Total
1	指導なし	32.422	91.5	91.5	215.422
2	データフュージョン	51.198	63.5	0	114.698
3	指導なし	43.922	78	56.6	178.522
4	指導なし	63	0	78.2	141.2
5	データフュージョン	41.902	0	0	41.902
6	指導なし	49.15	0	29.8	78.95
7	超短遅延	37.6	0	76.4	114
8	超短遅延	28	26	49.5	103.5
9	超短遅延	64	100	100	264

表 4-7- (3) 溶接士 C (中級者)

試行回数	指導方法	VT	RT	BT	Total
1	指導なし	56.4	100	82.1	238.5
2	データフュージョン	83.16	100	100	283.16
3	指導なし	82	100	76.36	258.36
4	指導なし	86.5	10	100	196.5

※溶接士 D (中級者) は試験なし

表 4-7- (4) 溶接士 E (上級者)

試行回数	指導方法	VT	RT	BT	Total
1	指導なし	73	100	—	173

表 4-7- (5) 溶接士 F (上級者)

試行回数	指導方法	VT	RT	BT	Total
1	指導なし	96	100	—	196

以下に、遠隔溶接指導に関する、被指導者毎の考察を述べる。

【溶接士 A (初心者)】

図 4-25- (2) 溶接士 A 習熟度グラフ (VT: 外観試験のみ) を見ると、溶接士 A が、2~5 回目の指導を受けることにより、溶接士 A の外観に関する技能が上達していると考えられる。これに関して溶接士 A にヒアリングしたところ、指導によって、これまで曖昧だったトーチの動かし方や目線の移動の仕方などのコツがわかるようになり、

上達を感じたということであった。またこれによって、図 4-25- (1) 溶接士 A 習熟度グラフの示す通り、放射線透過試験、曲げ試験も考慮した溶接品質も向上するようになったと考えられる。ただし、外観試験の点数が指導を受けるにつれ上昇したのに対し、溶接の内部状態の品質検査である放射線透過試験、曲げ試験の点数は、ばらつきが大きい。溶接の内部状態の品質も考慮した指導が、直接指導であれば可能であったのか？また遠隔溶接指導でそれを可能にするにはどのような機能を付加するべきか？は今後検証してゆく必要がある。

参考として、図 4-26 に、溶接士 A の 1 回目試行の溶接後外観写真を、図 4-27 に 8 回目試行の溶接後外観写真を示す。1 回目に対し、8 回目の試行の方が溶接品質として優れた外観である。

【溶接士 B (初心者)】

溶接士 B への指導の結果 (図 4-25- (3) , (4)) からは、遠隔指導による技能の上達は多少見られるとは考えられるものの、本システムが効果的であると十分に示せるものとはならなかった。計 9 回の試行後、溶接士 B にヒアリングしたところ、次のようなコメントを得た。

- 遠隔指導自体は、非常に有意義であり、技能の上達を感じた。
- 溶接中のリアルタイムな音声指導で、どのようなトーチの動かし方をすべきかの指導者の意図は理解できたが、それに対してどのように自らの体を動かすべきかが分からず、戸惑ってしまったことがある。
- 指導ありの場合、悩みながら溶接をしていたことがあった。またこの場合、トライアンドエラーとなるような溶接の仕方になっていた場合があった。
- 多層盛り溶接の場合、初めの数パスの溶接が上手くいかない (プレが大きいなどがある) と、その後リカバリーに苦労することがある。本試験においてそのような試行が多かった。

溶接士 B は、指導の有効性を感じていた。本試験では試験期間の都合上、9 回の試行にとどまったが、今後試行を重ねることで、技能が安定し、上達が認められるような習熟度グラフとなる可能性がある。また本試験においても、遠隔でも指導を正しく受けられたが故に、自らの溶接のやり方を変えながら溶接をすることができたことが、結果にも反映されたと考えられる。

参考として、図 4-28 に溶接士 B の 1 回目試行の溶接後外観写真を、図 4-29 に 9 回目試行の溶接後外観写真を示す。1 回目に対し、9 回目の試行の方が溶接品質として優れた外観である。

【溶接士 C (中級者)】

図 4-25- (6) 溶接士 C 習熟度グラフ (外観試験のみ) を見ると、溶接士 C が、2 回目の指導を受けることにより、溶接士 C の外観に関する技能が上達していると考えられる。これに関して溶接士 C にヒアリングしたところ、指導によって、トーチの動かし方や目線の移動の仕方などのコツがより明確に理解でき、上達を感じたということであった。またこれによって、上級者並 (外観 70 点以上、放射線透過試験 100 点) の技能を習得できたと考えられる。ただし、図 4-25- (5) 、表 4-7- (3) が示す通り、溶接士 C の 4 回目の曲げ試験の点数が低い (曲げ試験で、破損が生じた)。これに関し

ては、溶接士 A に対する考察同様、溶接の内部状態の品質も考慮した指導について、直接指導であれば可能であったのか？また遠隔溶接指導でそれを可能にするにはどのような機能を付加するべきか？を今後検証してゆく必要があると考える。

参考として、図 4-30 に溶接士 C の 1 回目試行の溶接後外観写真を、図 4-31 に 4 回目試行の溶接後外観写真を示す。1 回目に対し、4 回目の試行の方が溶接品質として優れた外観である。

【溶接士 E、F（上級者）】

図 4-32 に溶接士 E（上級者）の 1 回目試行の溶接後外観写真を 図 4-33 に溶接士 F（上級者）の 1 回目試行の溶接後外観写真を示す。表 4-7-（4）、（5）が示す通り、放射線透過試験においても問題ない品質（100 点）である。なお試験期間の都合上、曲げ試験は実施していない。

【その他】

曲げ試験の例として、図 4-34 および、図 4-35・図 4-36・図 4-37 に、曲げ試験後の写真を示す。本試験は、溶接後の試験片を短冊状に切断し、切断した試験片を、溶接箇所を中心に、溶接方向軸周りに U 字型に曲げることで、欠陥がないかを調べる試験である。良品の場合は、2 枚の板が正しく接合されることで、割れ、ひび等のない、1 枚板を曲げた場合と同様の結果となる。不良品の場合は、溶接箇所に、割れ、ひび等が発生する。

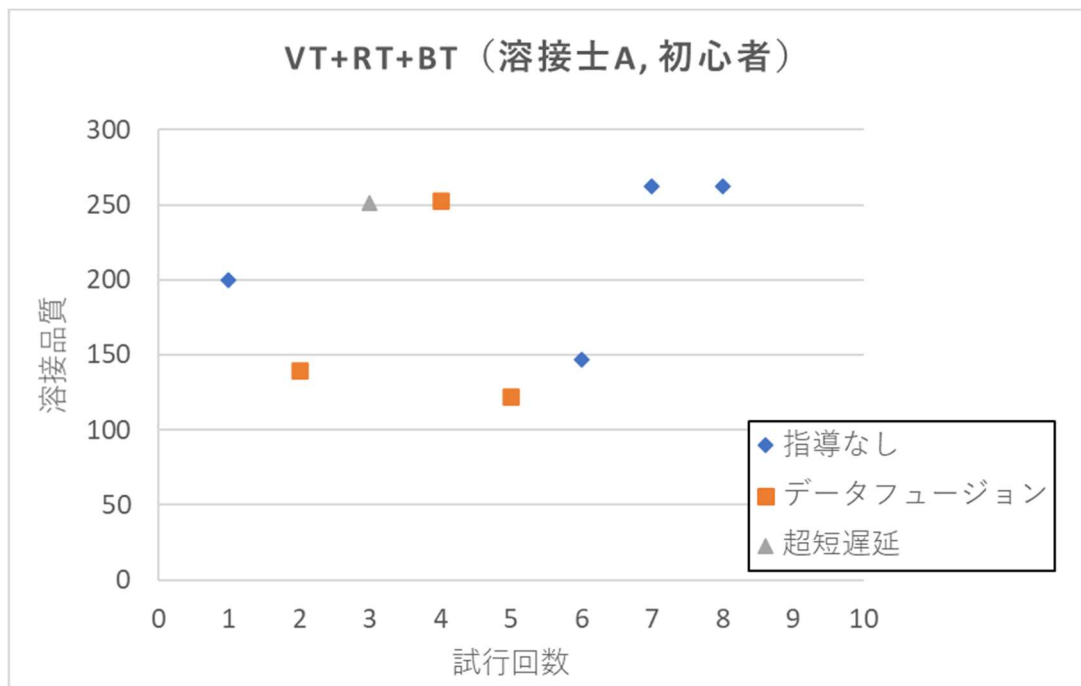


図 4-25 - (1) 溶接士 A 習熟度グラフ

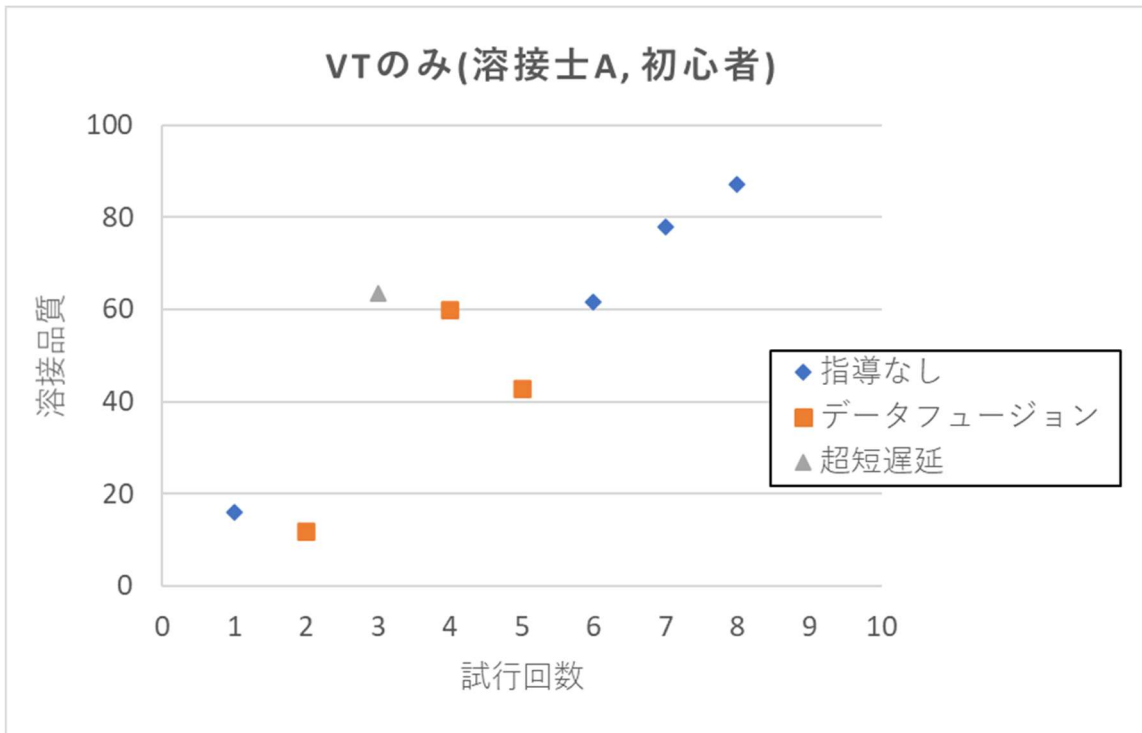


図 4-25- (2) 溶接士 A 習熟度グラフ (外観試験のみ)

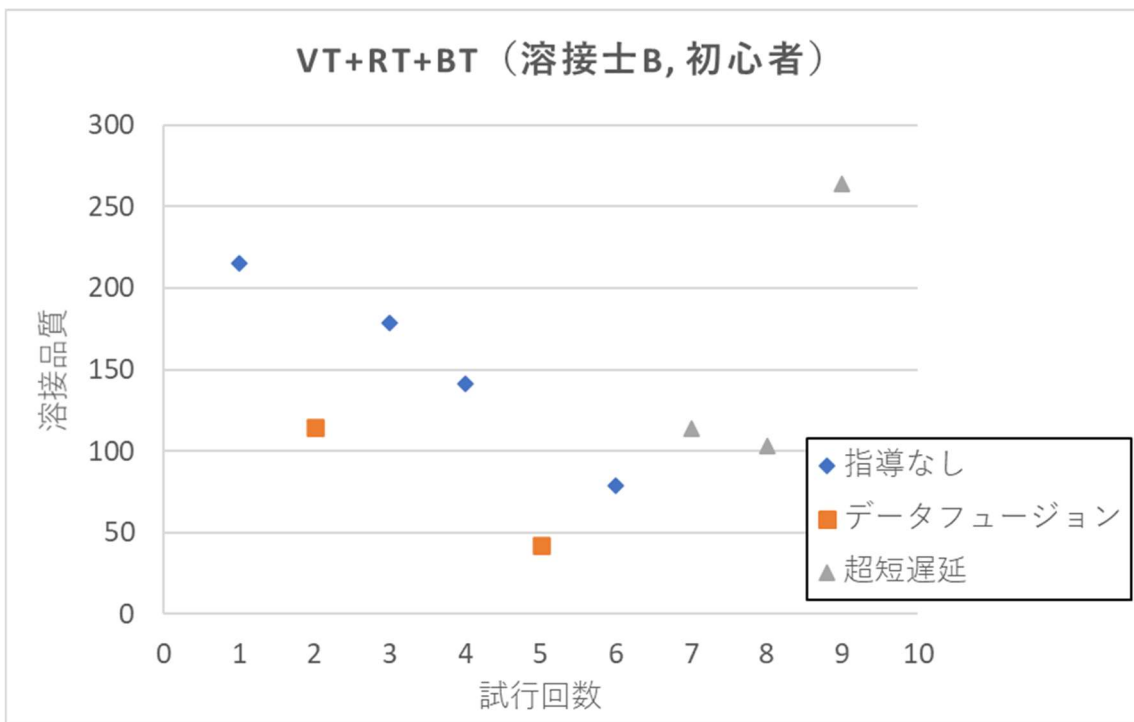


図 4-25- (3) 溶接士 B 習熟度グラフ

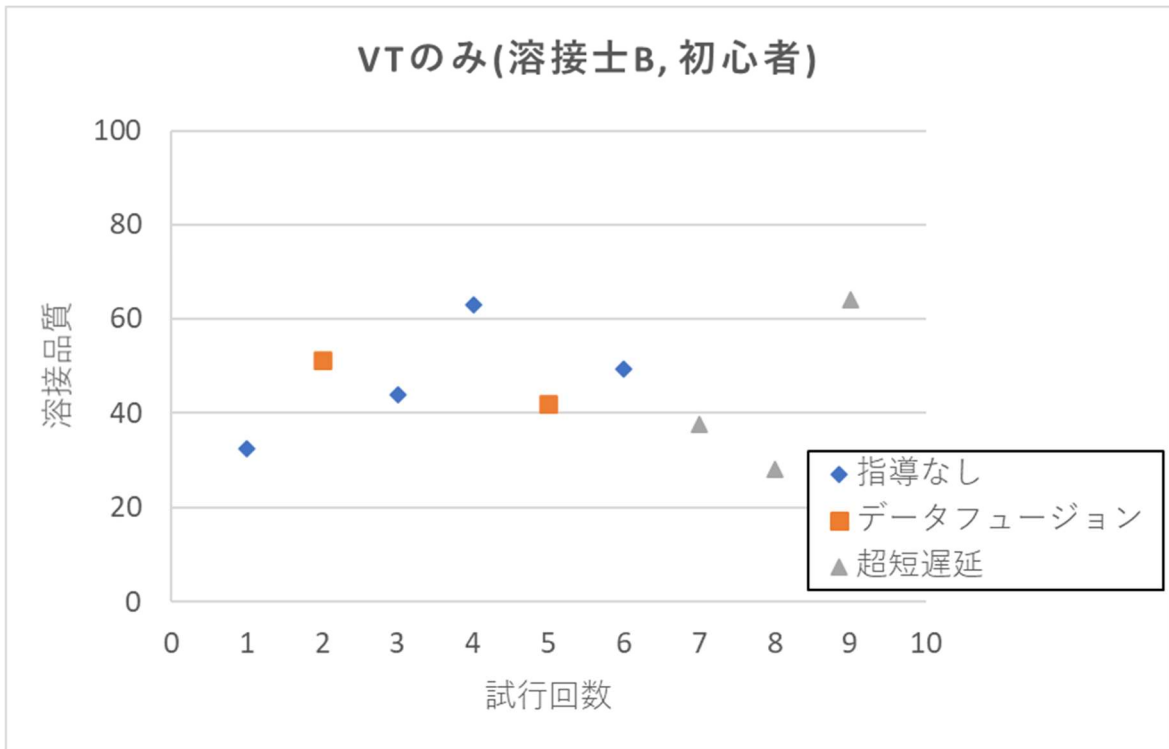


図 4-25- (4) 溶接士 B 習熟度グラフ (外観試験のみ)

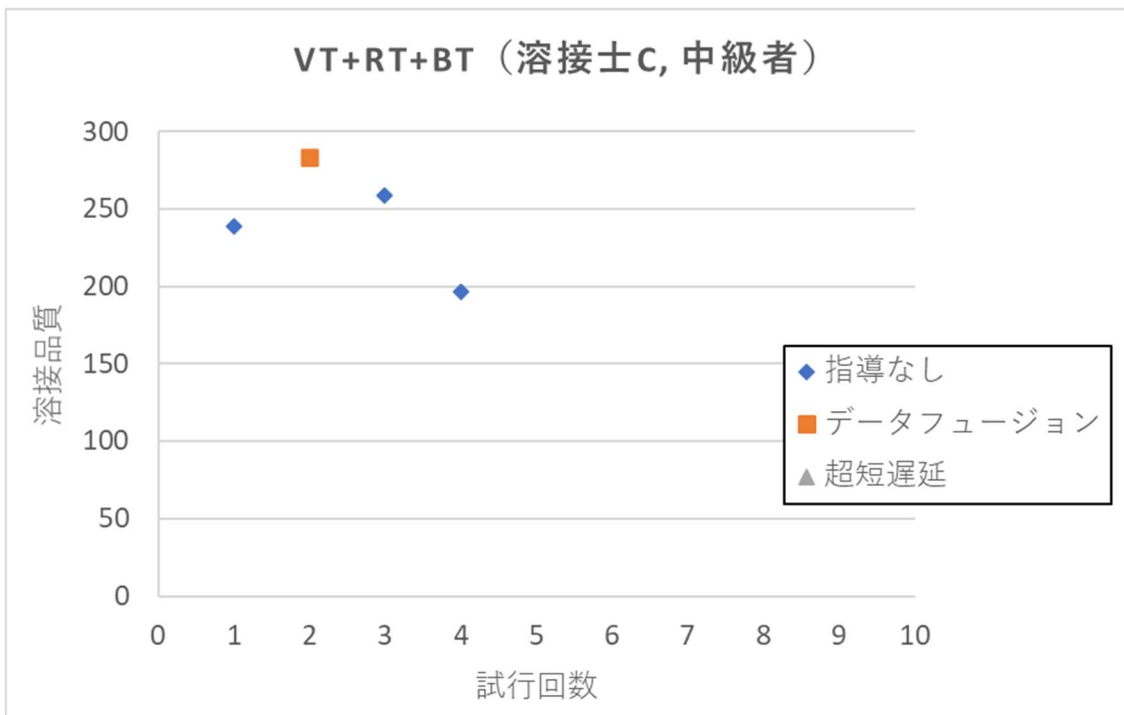


図 4-25- (5) 溶接士 C 習熟度グラフ

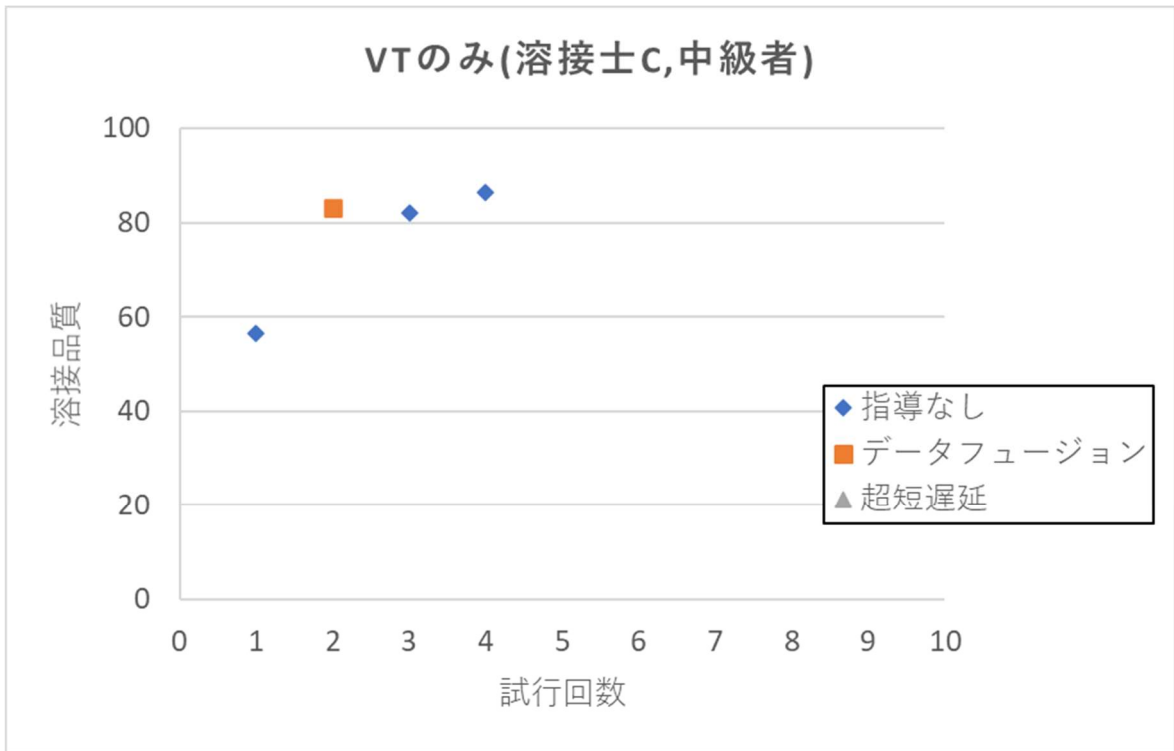


図 4-25- (6) 溶接士 C 習熟度グラフ (外観試験のみ)

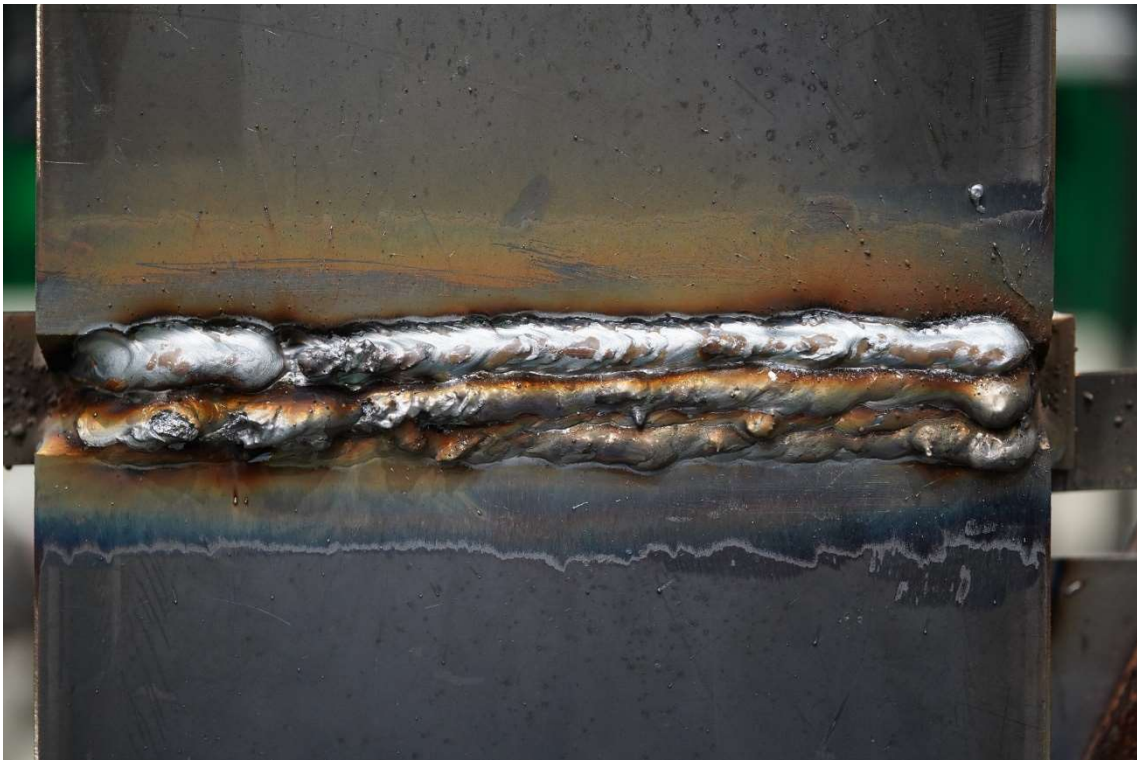


図 4-26 溶接士 A 溶接後外観写真 (1回目、11パス)



図 4-27 溶接士 A 溶接後外観写真 (8 回目、10 パス)



図 4-28 溶接士 B 溶接後外観写真 (1 回目、10 パス)



図 4-29 溶接士 B 溶接後外観写真 (9 回目、10 パス)

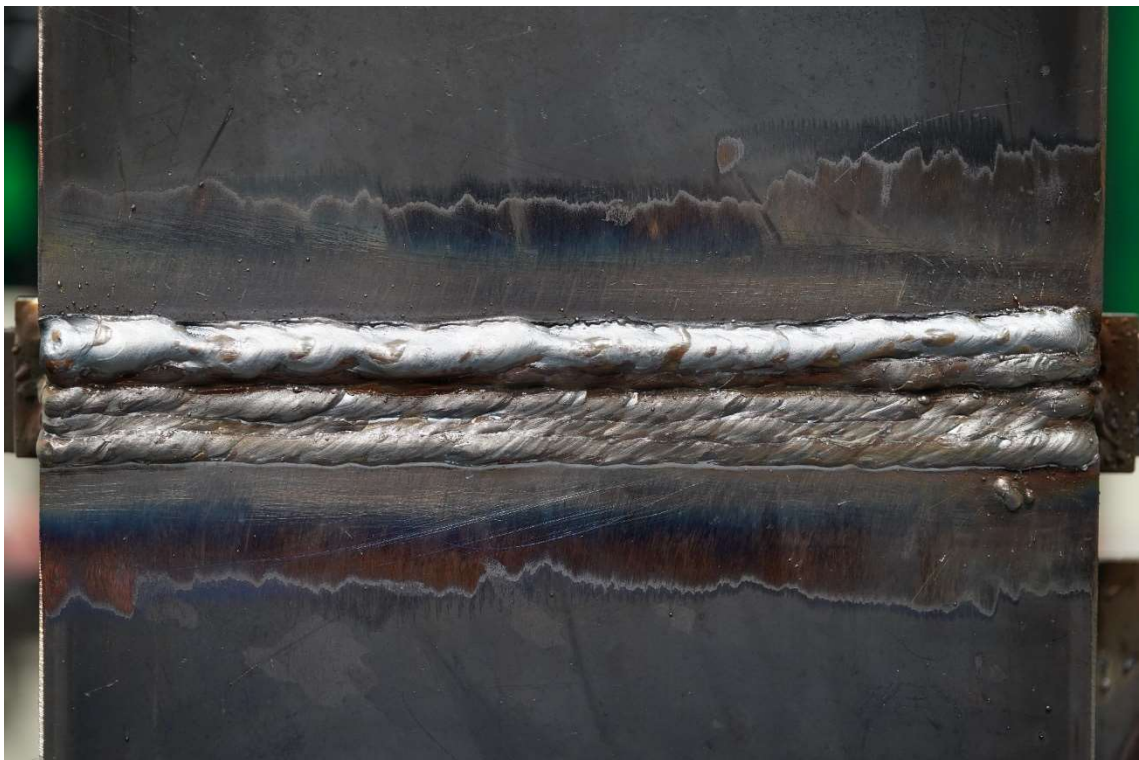


図 4-30 溶接士 C 溶接後外観写真 (1 回目、13 パス)



図 4-31 溶接士 C 溶接後外観写真 (4回目、10パス)



図 4-32 溶接士 E 溶接後外観写真 (1回目、10パス)



図 4-33 溶接士 F 溶接後写真 (1回目、17パス)

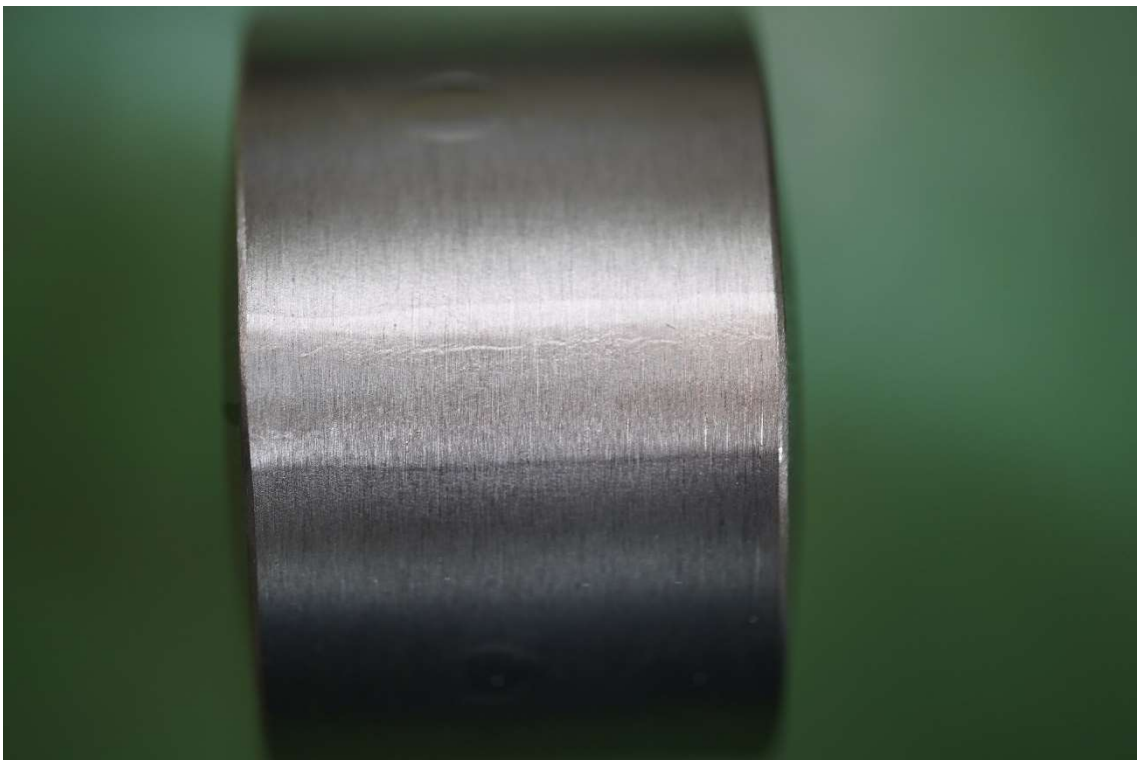


図 4-34 曲げ試験の1例 - 良品 (1) (溶接士 C、4回目、BT:100点)



図 4-35 曲げ試験の例 - 良品 (2) (溶接士 C、4 回目、BT:100 点)

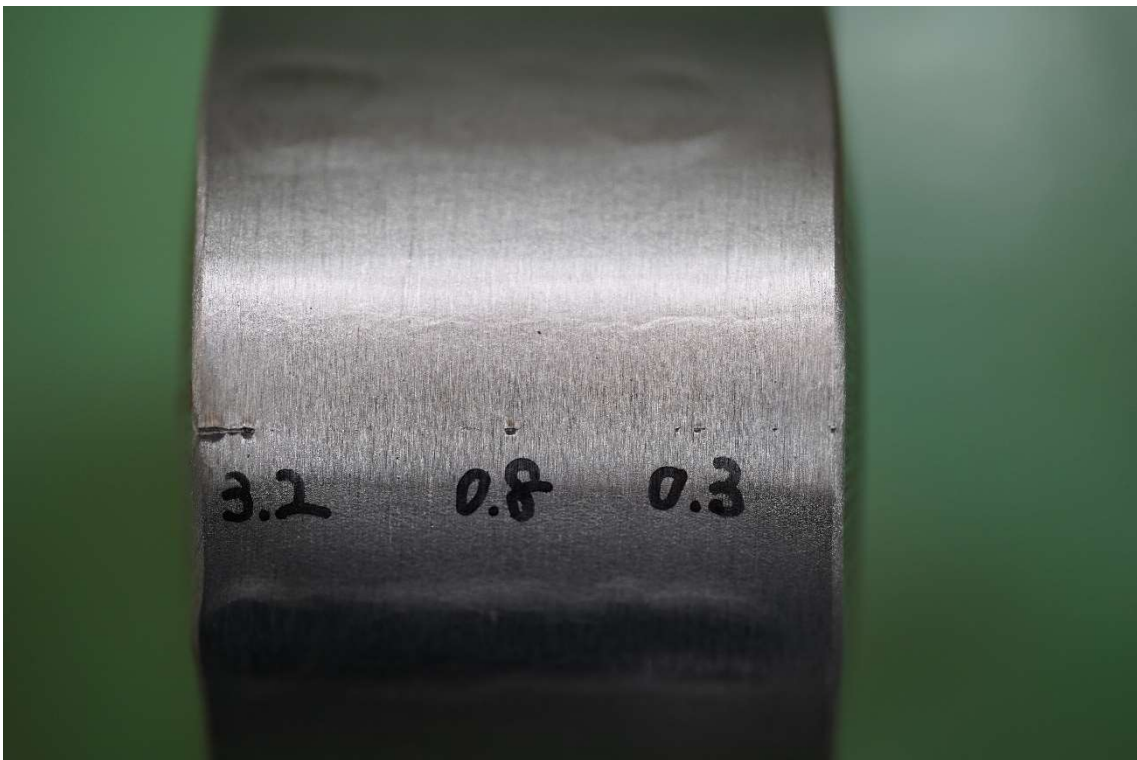


図 4-36 曲げ試験の例 - 不良品 (1) (溶接士 A、5 回目、BT:53.7 点)



図 4-37 曲げ試験の例 – 不良品 (2) (溶接士 A、5 回目、BT:53.7 点)

溶接指導の実施可否総じて、前述の考察から、本実証にて提案する、遠隔溶接指導は実現可能であり、溶接士の技能向上に効果的であると考えられる。また直接指導と遠隔指導の厳密な比較はしていないものの、遠隔指導であっても、直接指導に近い、ないし同等レベルの効果は得られると考えられる。

ただし、外観だけでなく、溶接の内部状態の品質（放射線透過試験、曲げ試験）も考慮した指導が可能かについては、今後検証していく必要がある。これについてはまず、被指導者の数や、試行回数を増やし、遠隔溶接指導の効果をより定量的に示すことが必要である。その上で直接指導であれば可能であったのか？をまず検証し、これに対して遠隔溶接指導でそれを可能にするにはどのような機能を付加するべきか？を検討するのが良いと考える。

■ 指導効率の向上

効果検証の結果、熟練工の指導・移動時間等の減少による指導効率化によって、指導効率がどの程度向上するかについて、ヒアリングによって検証を行った。ヒアリング結果を表 4-8 に示す。

表 4-8 指導効率に関するヒアリング

分類	検証の観点	検証項目	ヒアリング結果
指導効率	移動時間	熟練工（指導員）が指導のために現場を移動する時間	日本国内の工場間移動であれば、片道につき、半日から 1 日、往復で 1 日から 2 日となる。 海外工場への移動であれば、時差も考

			慮して、往復で 3~4 日は見込む必要がある。 本システムにより移動時間が無くなることは、(熟練工が) 現所属の工場を不在にする時間も減ることになるので、メリットは大きい。
	指導時間	遠隔指導においてかかる時間	(本実証における試験と同じ難易度の溶接作業あれば、) 1.5h×4 回分程度の指導で、初級者は中級者、上級者と同程度の溶接が可能になると考えられる。 また本実証における試験と同じ難易度の溶接作業あれば、直接指導と比較しても、指導回数は数回の差と思われる。
	機器の習熟時間	機器の習熟にかかる時間	初期の立上：20h 程度 (カメラの設置位置、フィルタ選定等の検討)。エッジデバイスの使い方：3h 程度。 ただし、機器の改良・改善が継続されれば、本来必要な習熟時間は 0~2h 程度となることを予想している。
	遠隔指導の効率	直接指導と同程度の効率で指導可能か？	現状では、直接指導の方がより効率良いのではないかと感じる (4.4.1.6 運用検証を参照)。溶接作業がより高度になった場合に、直接指導と遠隔指導とで差が出る可能性がある。

移動時間について、遠隔指導システムにより、熟練工の移動時間が無くなるメリットは非常に大きいと考えられる。熟練工が数日不在にする場合、熟練工が担当していた作業がなくなるため、それに対応するため製造工程の組み替えや、ラインの停止を検討するなどがあろう。このため、簡単には指導のために出張をさせられないのが現状である。

指導時間について、本実証における試験と同じ難易度の溶接作業あれば、直接指導と遠隔指導とで、倍以上の差はないという印象であったようだ。直接指導のための移動時間に対して、遠隔指導による指導時間の増加分と機器の習熟時間は長くはないと思われるので、本システムが活用されるケースは十分にあると考えられる。

一方で、遠隔指導自体の効率について、後述のヒアリング (4.4.1.6 運用検証) では、直接指導の方が効率が良さそうであるというヒアリング結果であった。ただし、効率の差が通信遅延ではなく、より様々な方向から溶接状況を観察したい、現場以外の周囲の状況も把握できると、安全面でも安心できる等、直接指導における現場での視覚情報の差と考えられるため、カメラ台数の増加やシステムの見直しで、遠隔指導が直接指導と遜色ない指導効率になることが、可能と考える。

■ 費用対効果

熟練技能者の指導効率向上によるコスト削減と、若手溶接士の技能向上による売上増加の結果を活用して、ソリューションのコストとの費用対効果を検討した。ソリューション

ョンの継続利用や普及展開に向けては、導入による裨益効果とソリューション導入・運用コストを踏まえた費用対効果を分析することが必須である。

ヒアリング結果を表 4-9 に示す。

表 4-9 費用に関するヒアリング結果

分類	検証の観点	検証項目	ヒアリング結果
費用	コスト削減	熟練工（指導員）の指導時間、移動時間の効率化によるコスト削減	熟練工（指導員）の移動時間が無くなるメリットは非常に大きい。熟練工が現職場を数日不在にする場合、その熟練工が本来担当する製造工程を別の不慣れな溶接士の担当にすることや、最悪ラインの停止なども検討する必要がある。このため、簡単には指導のために出張をさせられないのが現状である。
	費用対効果	コスト削減効果とソリューション費用の比較	上記により単純な試算は困難であるが、熟練工の一人の出張コスト以上に、熟練工の現職場の工場全体の操業が下がらないことにメリットがある。また、指導の機会が増えることにより若手が早く育つメリットは大きいと考える。

4.4.1.5 機能検証

ソリューションの実現に向けては、溶接の遠隔指導に用いる映像や音声、電流・電圧等のデータがリアルタイム性を持って伝送可能であることが重要である。そこで機能検証においては、データフュージョンシステム及び超短遅延映像伝送システムについて、時刻同期を図ることによる効果の影響、遅延の程度を明らかにする。実証内容については、コンソーシアム体制内において協議の上、定量・定性的な側面から評価検証を行った。

(1) 評価・検証項目

実証を通じて評価・検証する項目を以下に示す。

本検証では、本実証で想定する機能が遠隔指導に利用可能か検証することを目的とした。

表 4-10 評価・検証項目

システム	評価・検証項目	概要
データフュージョンシステム	通信遅延（現場データ送信の遅延）	1,000 msec （エッジボードのデータ同期によるアプリケーション上の遅延を含む）
	スループット（上り）	12 Mbps
	フレームレート	2ch 映像（720p/30fps）
	データ同期	映像、音声、溶接音、電流・電圧データの時刻同期が図れているかどうか。
超短遅延映像伝送システム	映像伝送遅延	200 msec
	スループット（上り）	3ch 合計 36 Mbps ※12 Mbps（H.265）×3ch ※H.264 に換算すると約 72 Mbps
	フレームレート	3ch 映像（1080 p/30 fp）

(2) 評価・検証方法

機能検証に関する評価・検証項目の検証方法は以下表の通りである。

また、技術実証による電波伝搬特性の測定による結果を踏まえて、測定地点における減衰の状況を考慮するため、異なるスループットでの機能シミュレーションを行い、ソリューションに与える影響を評価することも検討する。

表 4-11 評価・検証方法

評価・検証項目	検証方法
遅延	俯瞰カメラに NTP 時計 ¹⁶ を起動したパソコンまたは携帯端末の画面を投影し、intdash クラウド (Data Visualizer) の時計との差分で計測する
スループット (上り)	全デバイスからのデータ送出時にエッジデバイスのトラフィック送出量 (vnstat コマンドのリアルタイム計測オプション) で測定する
フレームレート	—
データ同期	各種データ同期が図れているかどうかヒアリングにより把握する

(3) 実証結果及び考察

機能検証のアウトプットは、以下表の通り、目標値に対する実測値によって検証を行った。

表 4-12 に、実測を行った際の各システムの設定内容を示す。また、データフュージョンシステム及び超短遅延映像伝送システムの実証結果を表 4-13 に示す。

表 4-12 データフュージョンシステム及び超短遅延映像伝送システムの設定

システム名	設定
データフュージョンシステム	<ul style="list-style-type: none">5G 回線の TCP Upload (並列コネクション数: 1) 実効スループット (およそ 15 Mbps) に合わせてカメラを 2 台構成とし、以下の設定にて実施した。<ul style="list-style-type: none">➤ HDMI カメラ画質: HD 設定 (1280×720)
超短遅延映像伝送システム	<ul style="list-style-type: none">5G 回線の UDP Upload 実効スループットは 55 Mbbs であったが、カメラ性能に合わせて映像ビットレートを 12 Mbbs (3ch 合計 36 Mbbs) とし、以下の設定にて実施した。<ul style="list-style-type: none">➤ 同時映像伝送チャンネル数: 3 ch➤ 伝送映像解像度: Full-HD (1920×1080)

¹⁶ https://narikakun.net/tool/ntp_ms.html

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 伝送映像フレームレート：30 fps ➤ 伝送映像ビットレート：12 Mbbs ➤ 遅延付き再生値：150 msec
--	--

表 4-13 実証結果・考察

システム	検証項目	目標	結果
データフュージョンシステム	通信遅延	1,000 msec	500～800 msec
	スループット (上り)	12 Mbbs	13～15 Mbbs
	フレームレート	30 fps	30 fps
	データ同期	可能	可能
超短遅延映像伝送システム	映像伝送遅延	200 msec	130 msec
	スループット (上り)	3ch 合計 36 Mbbs ※12 Mbbs (H.265) ×3ch ※H.264 に換算すると 約 72Mbbs	iPerf に拠る UDP 上り 最大スループット 55Mbbs
	フレームレート	30fps	30fps

① データフュージョンシステムを用いた機能検証に対する考察

キャリア 5G 回線の TCP Upload (並列コネクション数：1) 実効スループット (およそ 15MBps) に合わせてカメラを 2 台構成、画質を HD 設定としたことにより、安定したデータ転送が可能となり、遅延も目標の範囲内に収め指導に必要なフュージョンデータを提供することができた。今回のデバイス構成であれば、キャリア 5G 回線の TCP Upload (並列コネクション数：1) 実効スループットが上げればより高画質 (Full HD) での転送も可能である。

システム構成図上のキャリア 5G 回線区間を有線 LAN に置き換えて測定も行った。5G 有線 LAN においては HDMI カメラの変換設定を DFull-HD

(1920×1080p、30fps、ビットレート 12 Mbbs×2、俯瞰用 WEB カメラ×1) とした場合、上りトラフィック量 30～40 Mbbs でほぼ安定した (若干再送が発生)。キャリア 5G 回線においては、HDMI カメラの変換設定を HD

(1280×720p、30fps、ビットレート 6 Mbbs) ×2 とした場合、上りトラフィック量 15 Mbbs 前後で安定した (再送ほとんど無し)。上記条件下で有線 LAN、キャリア 5G 回線共に遅延は 1,000msec 以内であった。なお、ゆらぎは時々発生したが、再送は有線 LAN の方で発生頻度が高いことがわかった。今回の実証結果から、キャリア 5G 利用において上り TCP 通信の実効速度は 15 Mbbs 程度とわかり、エッジボード側で上り通信量を 15 Mbbs 以内に収めるチューニング (具体的には HDMI カメラ設定を Full-HD から HD に落とし、俯瞰用の WEB カメラを外しカメラ台数 2 台とした) が必要であることがわかった。また、有線 LAN 利用時のエッジボード設定値がエッジボードの処理限界に近いと、回線スルー

プットは余裕があるにも関わらず再送が発生した要因と想定される。さらに、HDMI カメラを Full-HD 画質で intdash に送信したい場合、1 エッジボードには 1 カメラ収容としたほうが安定した計測ができると想定される（複数カメラの場合は intdash サーバ側で同期）。

次に、映像およびデータ表示遅延に関する WEB ブラウザ（VM2M 利用）と iPad（専用アプリ利用）の比較・差異を明らかにした。キャリア 5G との参考比較として有線 LAN において、iPad に表示を行ったところ、300～600msec 程度の遅延が発生した。また、ブラウザに表示を行ったところ、500～800msec 程度の遅延が発生した。次に、キャリア 5G 回線において、iPad に表示を行ったところ、300～600msec 程度の遅延が発生した。また、ブラウザに表示を行ったところ、500～800msec 程度の遅延が発生した。なお、iPad では映像のみを専用アプリ「Stream Video」を使って表示した。また、利用回線に関係なく表示速度は同程度、ブラウザと比較して iPad は、200～300msec 程度表示が速いことがわかった。

データの同期状況について明らかにした。複数エッジボードを利用した場合でも、エッジボードで NTP を利用していれば NTP 精度で同期が可能であることがわかった。なお、各デバイスのデータはエッジボードでデータを受信し intdash サーバに送信するためのデータ形式に変換するタイミングでタイムスタンプを付けている。また、エッジボードのタイムスタンプに基づき intdash サーバで同期を行い、VM2M 等のツールで同期データをユーザに表示できる。

② 超短遅延映像伝送システムを用いた機能検証に対する考察

iPerf にて、ネットワーク限界性能を測定し、目標値からのパラメータ（映像解像度：Full-HD（1920×1080）、フレームレート：30fps、映像 Bitrate：12Mbps、）変更要否を確認した。

パケット損失率 5%以下となる UDP 上り最大スループットは、目標値 36Mbps を上回る 55Mbps であることが確認できた。については、目標値からのパラメータ変更は不要であった。

性能限界測定のため、遅延付き再生値 0msec（※1）にて、実施し、目標値（200msec）を上回る性能（130msec）であることが確認できた。無線区間を介さない全区間有線によるネットワークでの映像伝送遅延時間が平均 62msec であったことを鑑みると、5G 区間を含む今回の実証環境通信ネットワーク区間での映像伝送遅延は、平均 70msec（※2）程度と推察される。なお、5G 回線の安定性や低遅延性等が更に増せば、更に映像伝送遅延を少なくできることが期待できる。

（※1）性能限界測定のため、敢えて遅延付き再生値を 0msec にして測定を実施した。

（※2）（今回の実証環境での映像伝送遅延時間）－（無線区間を介さない全区間有線によるネットワークでの映像伝送遅延時間）＝130ms－62ms＝約 70ms

4.4.1.6 運用検証

ソリューションの実現に向けては、遠隔溶接指導の導入により、従来のオペレーションとは異なる業務が発生することから、ローカル 5G 活用モデルを実運用した際の保守・運用を想定することが重要である。そこで運用検証においては、若手溶接士（初心者・中級者）、指導を行う指導者（上級者）の双方について、計測デバイスによる作業負荷や安全性、使いやすさ等について、ヒアリングをベースに明らかにする。また、実証内容については、コンソシアム体制内において協議の上、定量・定性的な側面から評価検証を行った。

(1) 評価・検証項目

指導者、被指導者が遠隔指導ソリューションを実用的に利用可能かどうか、作業負担や使いやすさ等を検証すべく、実証を行った。実証を通じて評価・検証する項目を以下に示す。

表 4-14 評価・検証項目

分類	検証の観点	検証項目
安全性	遠隔指導の安全性	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔指導者は、危険な作業に気づくことができるか 現場溶接士は、危機によって安全性が損なわれないか
指導者	指導のしやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 溶接現場を十分に把握可能か（映像、音、体の使い方、温度、電流電圧、その他） リアルタイムに指導可能か（映像、音声の遅延、身振り手振り、接触有無など）
	機器のしやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 機器は使いやすいか データフュージョンシステムと超短遅延映像伝送システムとで、指導のしやすさの違いはあるか？
	指導効率	<ul style="list-style-type: none"> 指導効率は向上するか
現場若手 (初心者・中級者)	指導の受けやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 効果的に指導を受けられるか（映像、音声の遅延、身振り手振り、接触有無など）
	機器のしやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 機器は使いやすいか、溶接作業を損なわないか（作業負荷、視界、安全性）
	作業効率	<ul style="list-style-type: none"> 作業効率は向上するか（上達できるか）
	指導方法	<ul style="list-style-type: none"> 現場指導と遠隔指導のどちらで指導を受けたいと思うか
運用メンテナンス	データ測定、取得	<ul style="list-style-type: none"> 試験体温度、電流電圧、映像、音声等のデータは問題なく取得できるか
	データの保存	<ul style="list-style-type: none"> 溶接に関するデータが適切に保存できるか

	機器のメンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> 機器の設置、運用、メンテナンスの負担はどの程度か
	拡張性	<ul style="list-style-type: none"> 複数の溶接士に指示を出すことが可能と考えられるか
	改善点	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔指導を今後使用するにあたって、改善して欲しい部分はあるか
製造工場従事者へのヒアリング	製造工場従事者視点での、本実証システムに対する改善要望等	<ul style="list-style-type: none"> (自由意見、コメント) 製造工場従事者の視点で、本実証システムに対する改善要望はあるか?

(2) 評価・検証方法

運用検証の項目については、溶接士（初心者・中級者）ならびに指導者にヒアリングを実施して、各項目についての印象や使用感などに対してコメントをいただくとともに、主観的ではあるが各項目の完成度を5段階で評価していただく。ヒアリング内容は以下表のとおりである。なお、5段階評価のうち、5：非常に良い、4：良い、3：普通、2：悪い、1：非常に悪いとする。

図 4-38 に溶接士が遠隔指導によって溶接作業を行っている様子、図 4-39 にデータフェージョンシステムを用いて遠隔指導を行っている様子、図 4-40 に超短遅延映像伝送システムを用いて遠隔指導を行っている様子を示す。

表 4-15 評価・検証方法

分類	検証の観点	検証方法
安全性	遠隔指導の安全性	<ul style="list-style-type: none"> ヒアリングにより把握する
指導者	指導のしやすさ	<ul style="list-style-type: none"> ヒアリング、および5段階評価で把握する
	機器の使いやすさ	
	指導効率	
若手溶接士 (初心者・中級者)	指導の受けやすさ	<ul style="list-style-type: none"> ヒアリング、および5段階評価で把握する
	機器の使いやすさ	
	作業効率	
	指導方法	

運用メンテナンス	データ測定、取得	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒアリング、および 5 段階評価で把握する
	データの保存	
	機器のメンテナンス	
	拡張性	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒアリングにより把握する
	改善点	
製造工場従事者へのヒアリング	製造工場従事者視点での、本実証システムに対する改善要望等	<ul style="list-style-type: none"> ・ IHI 横浜工場の溶接作業従事者へのヒアリングにより把握する



図 4-38 溶接士が遠隔指導によって溶接作業を行っている様子



図 4-39 データフュージョンシステムを用いて遠隔指導を行っている様子



図 4-40 超短遅延映像伝送システムを用いて遠隔指導を行っている様子

(3) 実証結果及び考察

運用検証においては、デバイスの作業負荷や使い勝手、安全性などについて使用者にヒアリングを行った。ヒアリング結果については、各項目について、可能な物は点数付けをした。また、運用上の課題はどこにあるのかを明らかにするためのヒアリングも実施した。

■ 運用検証（ヒアリング）結果

表 4-16 にヒアリング結果を示す。総じて、提案する本システムが運用可能か否かと言う点では、否定的なコメントがないことから、運用は可能と考える。また、改善に関するアドバイスも多く入手でき、これらに対応することで、運用可能性は拡大すると考えられる。主な改善ポイントとして、①カメラ画像の追加、②機器の省配線化、③段取り替えのしやすさ、④情報管理・クラウドシステムの利便性向上、等が挙げられた。

表 4-16 運用検証結果

分類	検証の観点	検証項目	ヒアリング結果	評価	改善点
安全性	遠隔指導の安全性	遠隔指導者は、危険な作業に気づくことができるか	<ul style="list-style-type: none"> アーク光の画像から指導中の溶接作業に対しての、溶接不良による不安全状態は分かる 溶接作業の周囲の情報がわからない 	-	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業のみならず、その周辺の情報の提示
		現場溶接士は、機器によって安全性が損なわれないか	<ul style="list-style-type: none"> JIS の試験体であれば問題ない。ただし実際の大型製品の溶接の場合は不明。 配線の引っかかりなどが問題になる可能性はある 	-	<ul style="list-style-type: none"> 機器の省配線化検討
指導者	指導のしやすさ	溶接現場を十分に把握可能か(映像、音、体の使い方、温度、電流電圧、その他)	<ul style="list-style-type: none"> 溶接プールの画像：データフュージョンの画質で問題ない。 溶接時の音：問題ない 若手溶接士の体の使い方：把握は出来ない。ただし、溶接士の目線はカメラから想像がつく。 温度、電流電圧等、その他の溶接条件：溶接中に数値が揺れるので判断しづらい。適切なフィルタが必要。 	3	<ul style="list-style-type: none"> 電流電圧の数値をフィルタで平準化
		リアルタイムに指導可能か(映像、音声の遅延、身振り手振り、接触有無など)	<ul style="list-style-type: none"> 通信遅延に違和感があるか？：まれに気になる(指示に対して溶接士のリアクションが遅れる)ことがあるが、基本的には問題ない。 音声で指示可能か？：問題ない 	4	<ul style="list-style-type: none"> (特になし)
	機器の使いやすさ	機器は使いやすいか	<ul style="list-style-type: none"> 溶接中のリアルタイム指導に使うモニターは、複数ではなく一つモニターに情報がまとまっていたほうが良い。モニターが複数あると首と目線を動かす必要があり、疲れる。 	4	<ul style="list-style-type: none"> モニタ提示方法の工夫
		データフュージョンシステムと超短遅延映像伝送システムとで、指導のしやすさの違いはある	<ul style="list-style-type: none"> 通信遅延、および画質のいずれも、指導においては大きな差を感じなかった。 データフュージョンシステム使用時に、音声での 	-	<ul style="list-style-type: none"> (特になし)

		か？	指示に対する溶接士のリアクションの遅れを感じたことが一度だけあった（おそらく通信遅延による）。		
	指導効率	指導効率は向上するか	<ul style="list-style-type: none"> 指導者の移動が不要になことによる効果は大きい。 複数人同時指導ができればより有効。 	4	<ul style="list-style-type: none"> 複数人同時指導システムの検討
現場若手 (初心者・中級者)	指導の受けやすさ	効果的に指導を受けられるか(映像、音声の遅延、身振り手振り、接触有無など)	<ul style="list-style-type: none"> 溶接に関する知識がある程度あれば言葉だけでもほぼ理解できる 動画やホワイトボードを共有してトーチの狙い位置等の指導ができるとなお良い。 	4	<ul style="list-style-type: none"> 音声以外の情報を溶接士に提示する仕組みの検討
	機器の使いやすさ	機器は使いやすいか、溶接作業を損なわないか(作業負荷、視界、安全性)	<ul style="list-style-type: none"> ちょっとした移動時に配線への躓きや引っ張りが気になる。 	4	<ul style="list-style-type: none"> 機器の省配線化検討
	作業効率	作業効率は向上するか(上達できるか)	<ul style="list-style-type: none"> 大変上達を感じた。 	5	<ul style="list-style-type: none"> (特になし)
	指導方法	現場指導と遠隔指導のどちらで指導を受けたいと思うか？	<ul style="list-style-type: none"> どちらかと言えば、直接指導である。とはいえ、必要な時に高いレベルの指導を受けられるのであれば、遠隔指導でも是非指導いただきたい。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 指導者へ提示する溶接情報の追加
運用、メンテナンス	データ測定、取得	試験体温度、電流電圧、映像、音声等のデータは問題なく取得できるか	<ul style="list-style-type: none"> 機器が認識しない等の不具合もあったが、概ね問題なし。 動画は問題なし、電流・電圧は仕様不備、電流・電圧および音声は認識不具合がまれにあり。 	3	<ul style="list-style-type: none"> 各種機器の改良
	データの保存	溶接に関するデータが適切に保存できるか	<ul style="list-style-type: none"> データフュージョンシステムについて、自動でデータがクラウドにあがる構成は効率が良いと感じた。 クラウド上でデータを確認する際の読み込みが遅 	4	<ul style="list-style-type: none"> クラウドシステムの利便性向上検討

			く不便を感じた。		
	機器のメンテナンス	機器の設置、運用、メンテナンスの負担はどの程度か	<ul style="list-style-type: none"> 初期の設置や計測機器の条件出しに時間を要する。 カメラの自動追従機能など改善の余地がある。 	3	<ul style="list-style-type: none"> カメラ設置、条件出しの簡略化検討
	拡張性	複数の溶接士に指示を出すことが可能と考えられるか (1:1 から 1:N)	<ul style="list-style-type: none"> 1パスの溶接時間がおおよそ 1min。この間に同時に複数人に指示を与えることは直接指導でも困難である。つまり、パス毎に順番に指導していくことになる。作業者のパス間準備時間、指導者の頭と機材の切り替えなどを考慮すると、2 人指導は可能、3 人指導でギリギリと予想される。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 複数人同時指導システムの検討
	改善点	遠隔指導を今後使用するにあたって、改善して欲しい部分はあるか (自由記述)	<ul style="list-style-type: none"> 熟練者のポンチ絵等を表示できるモニタが溶接士側にも欲しい。 側面・全体視野の映像追加を行って欲しい。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 熟練者の動画再生など、音声以外の溶接指示方法検討
製造工場従事者へのヒアリング	本実証システムに対する改善要望等	(自由意見、コメントなど)	<ul style="list-style-type: none"> 溶接の画像品質は十分であり、指導に活用できる。 カメラは作業員視点、溶接池観察、だけでなく、試験片真横など、別角度の視点カメラも欲しい 他の溶接試験条件にする場合の、カメラ位置の段取り替えが容易であると良い 機器・ソフトウェアへの習熟に時間が必要では無いか？という懸念がある (容易に使えると良い) 取得したデータの管理、活用方法、メンテナンスに不安がある。 指導員一人に対して、複数の溶接士への指導が可能かどうか、試したい。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 上記の改善 使いやすさ、継続的利用を考慮した製品化検討

4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

4.4.2.1 普及展開方策の検討

(1) コンソーシアムにおける普及展開方策の検討

本実証で検討したローカル 5G 活用モデルの普及に向けては、本実証で解決する課題と同様の事象に悩んでいる全国の製造業企業に対して、ソリューションの横展開を行うことによって、コンソーシアム以外での効果的な普及展開を図ることができると考えられる。ソリューションの普及展開においては、溶接の遠隔指導にとどまらない製造現場でのデータ活用といったニーズは他社でも高いと考えられ、工場という環境における電波伝搬特性を踏まえた個別企業に最適な活用モデルの検証を行うことが求められる。したがって、本実証では、普及展開先となる製造業企業の抱えるニーズを具体的に把握したうえで、普及展開策を検討した。

具体的には、ローカル 5G 活用モデルの普及展開にあたって、全国の製造業企業に対するアンケート調査による現場ニーズの把握、個別企業に対するヒアリング、普及展開計画の検討という流れで検討する。

まず、アンケート調査においては、製造現場、溶接工程におけるソリューションのニーズを把握するため、全国の無作為に抽出した企業に対して調査を実施した。

そのうえで、ヒアリングを実施し、企業個別の具体的なニーズ深堀を実施した。

これらのインプット情報と実証結果を踏まえ、最適なネットワーク等のエリア構築やシステム構成等のポイント、想定されるビジネスモデルなど、汎用性を持った横展開施策の整理を行う。

① アンケート調査

➤ アンケート調査の概要

アンケート調査は、全国の製造業企業を対象として、ローカル 5G を活用したソリューションの実装に関するニーズ調査を行う。また、アンケート対象は地方の中小企業も含めて実施し、地方の製造企業や中小企業等におけるニーズや状況を確認する。これにより、大企業のみではなく、幅広い普及展開方策の検討につなげる。

また、アンケート調査では、遮蔽物の有無、ライン変更の頻度、無線設置環境等を調査することで、実証事業の精緻化にも活用することを検討した。

表 4-17 アンケート調査の実施概要

調査対象	全国の製造業企業 3,000 社
調査実施時期	令和 3 年 12 月
実施方法	Web (Google Form) 、紙媒体の調査票の併用
調査目的	製造業、溶接工程における現場ニーズの把握 実証内容のブラッシュアップ
調査項目	狭空間における電波伝搬特性の測定に資する製造現場の情報 • 遮蔽物の有無、ライン変更の頻度、無線設置環境等

	<p>製造現場における課題、無線通信の活用ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶接工程において求められる改善業務、データ活用に求められる機能・品質・運用上の課題等、ソリューションのニーズ <p>ソリューションの導入可能性に関する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> 現拠点のネットワーク整備費用 現場指導にかかる時間、指導者の移動時間 遠隔指導や技能の見える化ソリューションに対するニーズ 自社でローカル 5G 活用モデルを実装する場合のビジネスモデルや実現に向けた訴求点
--	---

➤ アンケート調査の結果

詳細については別紙「アンケート調査報告書」へ記載とするが概要について以下に示す。全国の製造業 3,000 社に対してアンケートを送付したところ、649 社より回答があり回収率は 21.6%だった。

アンケート項目については 24 項目設定しており、「回答企業属性」「製造現場について」「ローカル 5G について」「5G を用いたソリューションについて」設問を設定し、それぞれ回答を回収した。

本アンケートにおいては、企業属性を以下のように分類した。表 4-18 に、企業種の分類方法を示す。

表 4-18 業種の分類方法

素材型	<ul style="list-style-type: none"> 木材・木製品製造業（家具を除く） パルプ・紙・紙加工品製造業 化学工業 石油製品・石炭製品製造業 プラスチック製品製造業 ゴム製品製造業 窯業・土石製品製造業 鉄鋼業 非鉄金属製造業 金属製品製造業
加工組立型	<ul style="list-style-type: none"> はん用機械器具製造業 生産用機械器具製造業 業務用機械器具製造業 電子部品・デバイス・電子回路製造業 電気機械器具製造業 情報通信機械器具製造業 輸送用機械器具製造業
生活関連型	<ul style="list-style-type: none"> 食料品製造業 飲料・たばこ・飼料製造業 繊維工業 家具・装備品製造業

	<ul style="list-style-type: none"> 印刷・同関連業 なめし革・同製品・毛皮製造業
その他製造業	<ul style="list-style-type: none"> 上記以外の製造業

回答企業属性としては、素材型が 43.1%と最も多く、その次に加工組立型が 28.9%、生活関連型が 22.9%であった。図 4-41 に回答企業の属性を以下に示す。製造業企業は、無作為で抽出を行っているため、全国の製造業企業の実態を示している。

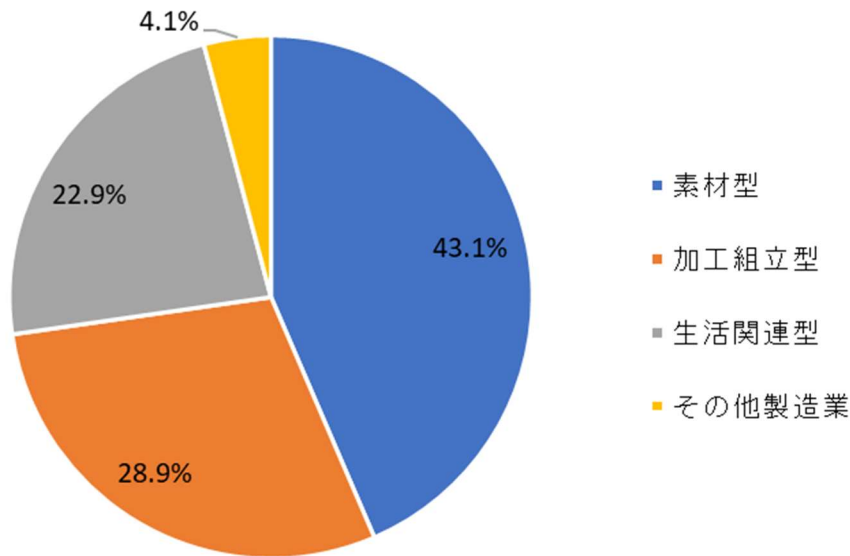


図 4-41 回答企業の属性 (N=649・SA 回答)

所在地については大阪府が最多の 6.9%であり、特に都市部や地方における偏りは見られなかった。表 4-19 に、回答者の企業の所在地を示す。

表 4-19 所在地 (N=649・SA 回答)

	件数	割合		件数	割合		件数	割合
		N=649			N=649			N=649
北海道	18	2.8	石川県	7	1.1	岡山県	12	1.8
青森県	5	0.8	福井県	2	0.3	広島県	29	4.5
岩手県	6	0.9	山梨県	1	0.2	山口県	9	1.4
宮城県	11	1.7	長野県	17	2.6	徳島県	2	0.3
秋田県	4	0.6	岐阜県	20	3.1	香川県	13	2.0
山形県	18	2.8	静岡県	38	5.9	愛媛県	8	1.2
福島県	19	2.9	愛知県	33	5.1	高知県	5	0.8
茨城県	10	1.5	三重県	7	1.1	福岡県	25	3.9
栃木県	20	3.1	滋賀県	9	1.4	佐賀県	16	2.5
群馬県	8	1.2	京都府	17	2.6	長崎県	6	0.9
埼玉県	41	6.3	大阪府	45	6.9	熊本県	13	2.0
千葉県	14	2.2	兵庫県	23	3.5	大分県	4	0.6
東京都	28	4.3	奈良県	3	0.5	宮崎県	1	0.2
神奈川県	37	5.7	和歌山県	2	0.3	鹿児島県	2	0.3
新潟県	23	3.5	鳥取県	5	0.8	沖縄県	2	0.3
富山県	9	1.4	島根県	2	0.3	無回答	0	0.0

しかしながら、従業員数については 300 名未満が 93.4%を占めており、回答群としては中小規模の企業が多い。図 4-42 にアンケート回答者が属する企業の従業員数の結果を示す。本アンケートにおいては、中小企業に属する回答者が多く解答している点について留意し、アンケート結果を見る必要が生じた。なお、本アンケートにおいて大企業とは 300 人以上の企業、中小企業とは、300 人未満の企業をいう。

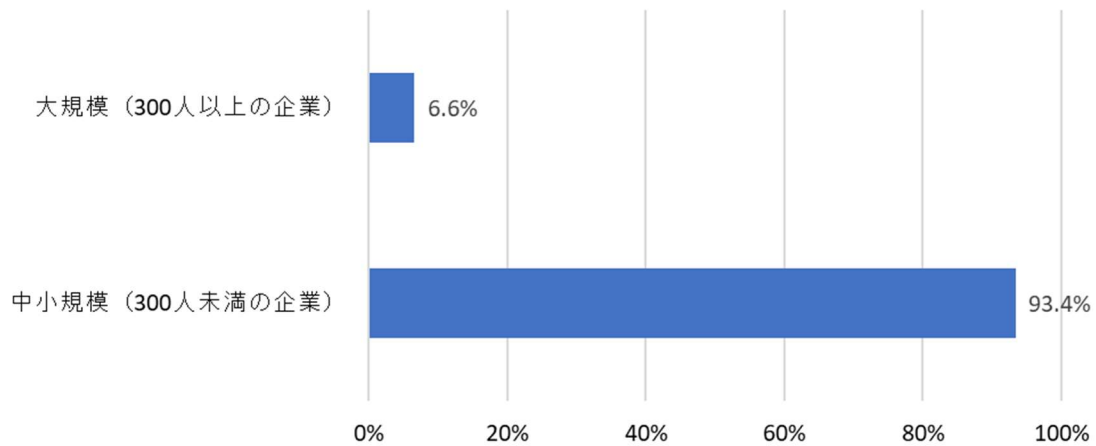


図 4-42 アンケート回答者が属する企業の従業員数 (N=649・SA 回答)

製造現場に関する設問については、有線通信の問題点についてアンケート調査を行った。図 4-43 に、有線通信における業務上の問題点を示す。アンケートの結果、45.3%と最も多くの企業が「レイアウト変更時の機器の移動が困難である」と回答しており、無線通信のニーズは高いと考えられる。

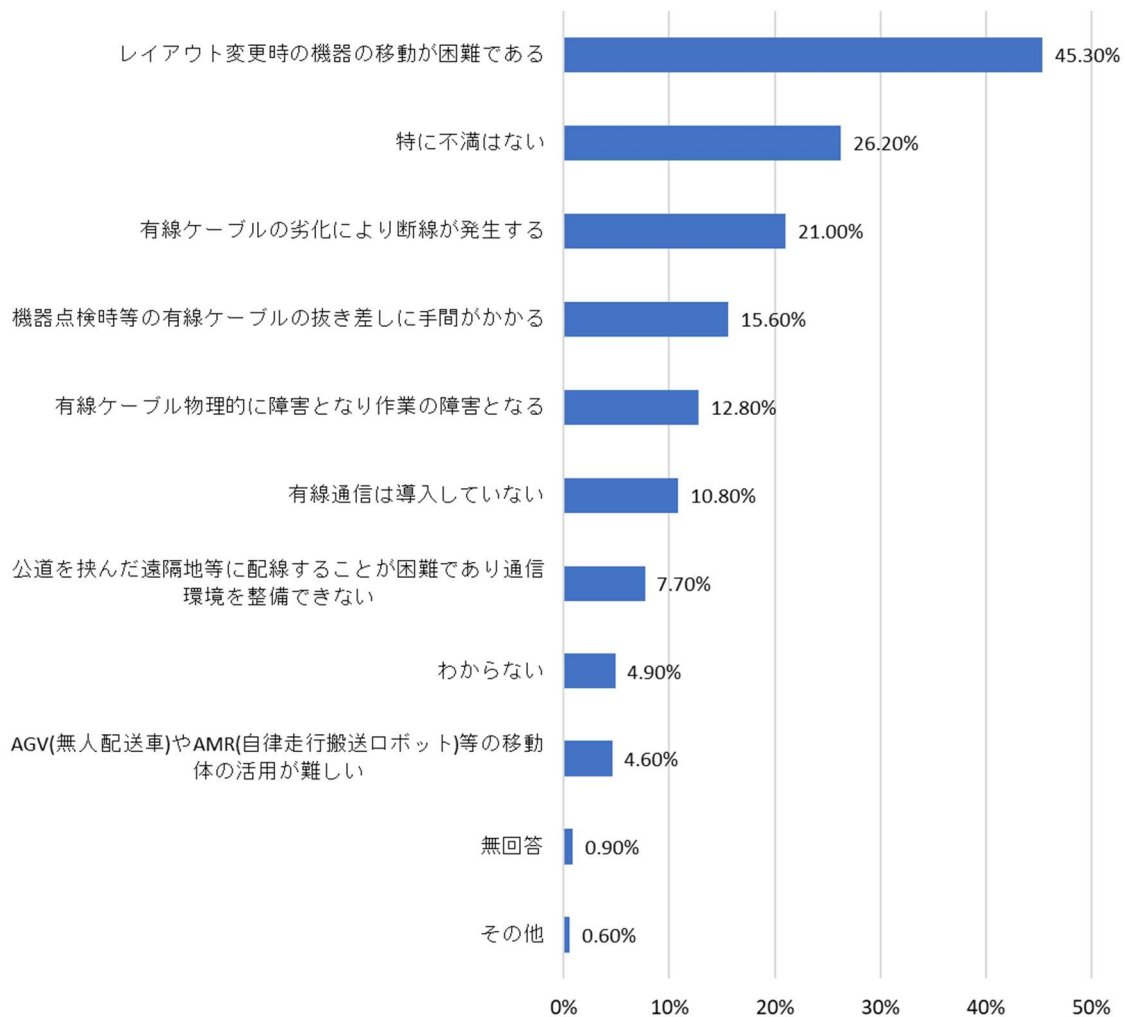


図 4-43 有線通信における業務上の問題点 (N=649・MA 回答)

また、工場における無線通信状況について、アンケート調査を行ったところ、97.5%が Wi-Fi の導入を行っていた。しかし、導入済の無線通信の業務上の問題点として「通信遅延」を挙げた企業が 21.6%、「頻繁に切断する」を挙げた企業が 15.6%、「接続数が制限される」を挙げた企業が 10.8%であった。図 4-44 に導入済みの無線通信における業務上の問題点を示す。以上の問題点より、高速大容量、高信頼・低遅延、多数同時接続が可能となるローカル 5G に対するニーズは強いと考えられる。

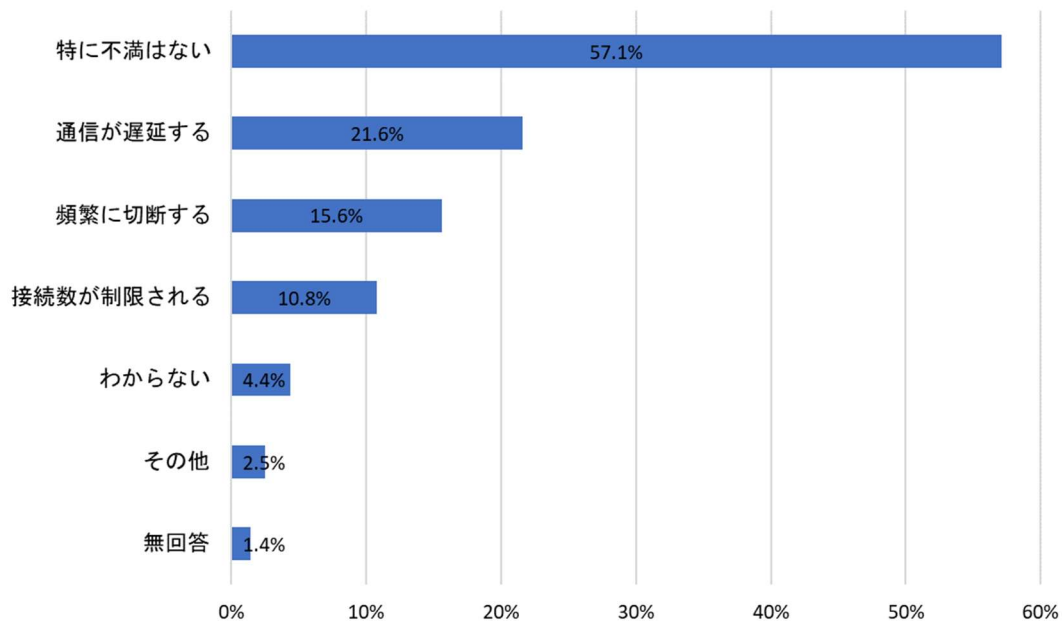


図 4-44 導入済みの無線通信における業務上の問題点 (N=430・MA 回答)

ローカル 5G に関する認知度については知っていた、聞いたことがあったという回答を合わせると 47.3% (知っていた 20.6%、聞いたことがあった 26.7%) であり、令和 2 年度の「5G 時代における工場のワイヤレス化の実現に向けた方策等に関する調査研究」では 43.8% だったことを踏まえると調査母集団について完全一致ではないもののローカル 5G の認知度は高まっていると考えられる。

また、ローカル 5G 導入における不安な点についてについてアンケート調査を行った。図 4-45 に、ローカル 5G を導入する際における不安点に関するアンケート結果を示す。従業員数 300 名未満の中小企業においては「導入費用がわからない」との回答が 39.4% (300 名以上の大企業では 42.9%) 得られた。また、従業員数 300 名未満の中小企業においては「投資に見合ったメリットが得られるかがわからない」との回答が 40.1% (300 名以上の大企業では 54.8%) あった。そのため、具体的な費用面や可能となるソリューションについて広報していくことがローカル 5G の普及啓発において重要な観点となると考えられる。

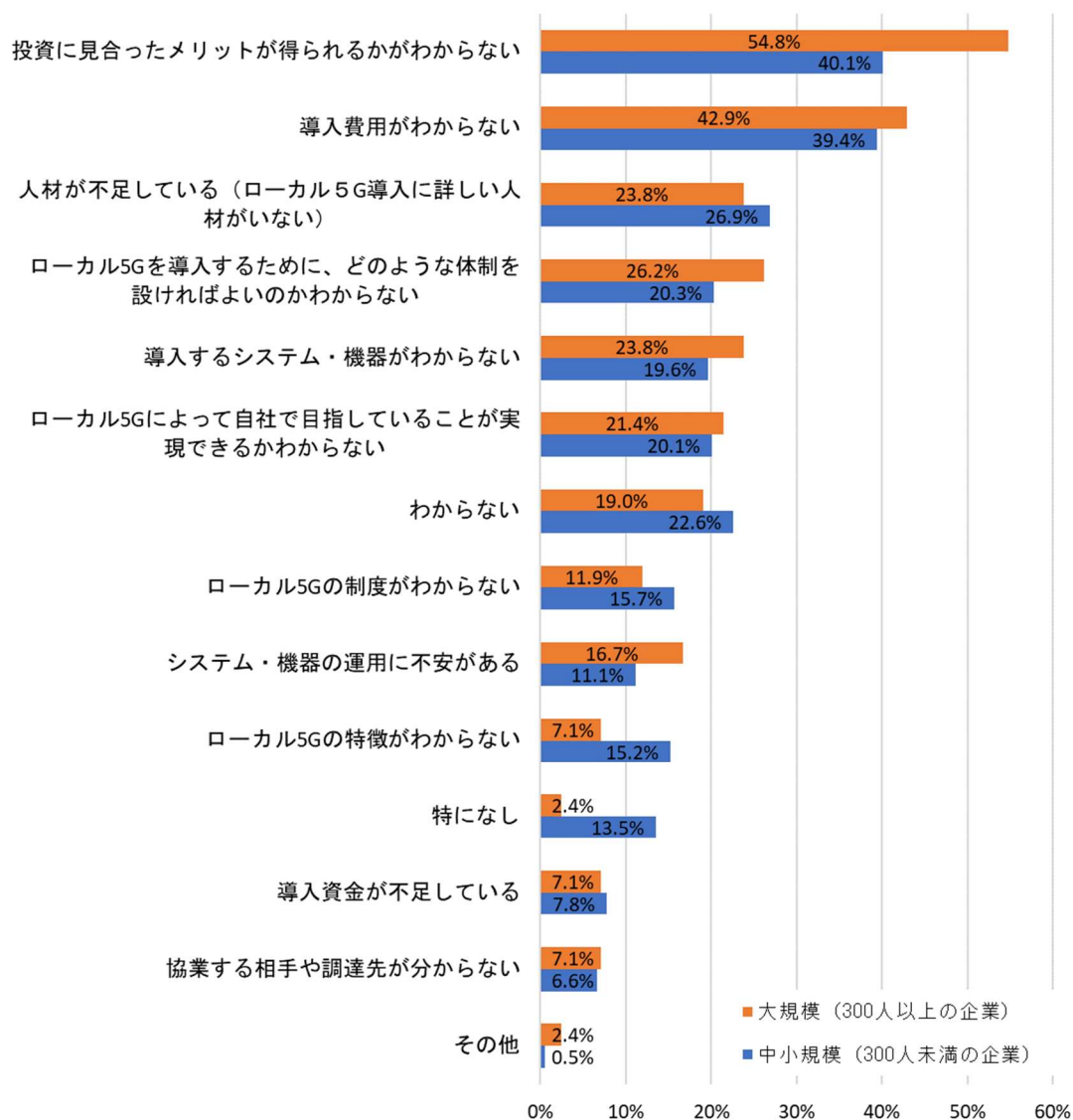


図 4-45 ローカル 5G を導入する際における不安点 (N=649・MA 回答)

次に、ローカル 5G の特徴（低遅延、高速大容量、多数同時接続、セキュリティ強化等）を生かして活用したいソリューションがあるかについてアンケート調査を行った。図 4-46 に、ローカル 5G の特徴を生かして活用したいソリューションを示す。半数以上である 52.2%の回答者が、IoT センサによる製造過程のデータ可視化、現場作業者の技能の見える化に活用したいと回答した。また、検査工程の効率化や省人化、遠隔地からの作業指導、品質確保等、様々な場面においてローカル 5G の特徴を生かしてソリューションを活用したいというニーズがあることがわかった。そのため、投資に見合ったメリットや導入費用、ローカル 5G 導入に対する施策等について明らかにすることにより、ローカル 5G の導入は広がると考えられる。

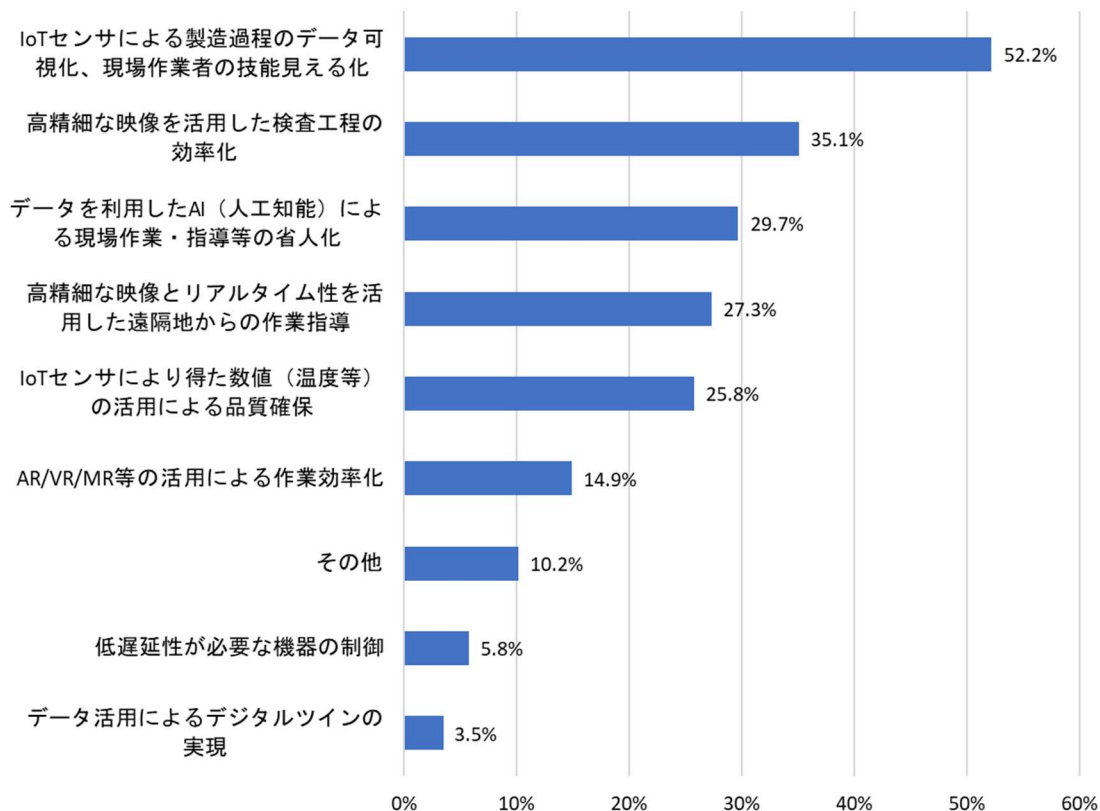


図 4-46 ローカル 5G の特徴を生かして活用したいソリューション (N=649・MA 回答)

本実証で用いた遠隔指導ソリューションのニーズを明らかにすべく、遠隔指導への関心があるかについてアンケート調査を行った。図 4-47 に、業種別の関心度を表した結果を示す。遠隔指導への関心が「ある」との回答が全体では 22.2% だった。業種別の回答では、「加工組立型」において 27.3%、素材型において 23.3%、生活関連型において 14.9%、その他業種では 18.2% であり加工組立型、素材型の業種において比較的遠隔指導ソリューションへの関心が強いことがわかった。図 4-48 に企業規模別の関心度を表した結果を示す。企業規模別では従業員数 300 名以上の大規模では 35.7%、300 名未満の中小規模では 21.1% であり、大規模企業による関心の強さが伺える。また、製造現場における課題としては「育成期会を十分に確保出来ておらず、人材の育成が進んでいない」との回答が 38.8% であり、育成において課題を感じている企業は多い。そのため、遠隔指導ソリューションのニーズは一定数あることがわかった。

次に、技能の見える化への関心があるかについてアンケート調査を行った。技能の見える化への関心が「ある」との回答が全体では 30.7% であった。図 4-47 に、業種別の関心度を表した結果を示す。業種別の回答では、「加工組立型」において 38.5%、素材型において 29.4%、生活関連型において 25.7%、その他業種では 15.2% であり加工組立型、素材型の業種において関心が強い。図 4-48 に企業規模別の関心度を表した結果を示す。企業規模別では従業員数 300 名以上の大規模では 40.5%、300 名未満の中小規模では 30.0% であり、大規模企業による関心が強いことがわかった。

また、AIによる指導への関心があるかについてアンケート調査を行った。AIによる指導への関心が「ある」との回答が全体では31.6%であった。図4-47に、業種別の関心度を表した結果を示す。業種別の回答では、「加工組立型」において39.0%、素材型において30.5%、生活関連型において24.3%、その他業種では27.3%であり加工組立型、素材型の業種において関心が強い。図4-48に企業規模別の関心度を表した結果を示す。企業規模別では従業員数300名以上の大規模では42.9%、300名未満の中小規模では30.9%であり、大規模企業による関心が強いことがわかった。

遠隔指導、技能の見える化、AI指導それぞれのソリューションに関してはいずれのソリューションにおいても、業種別の関心の強さは加工組立型、素材型、生活関連型となる。また、企業規模別では中小規模よりも大規模企業において関心の強さが見て取れることから、大規模な加工組立型企業や素材型企业においてこれらのソリューションに対する関心が強くニーズが高いのではないかと想定される。また、AIによる指導に関心のある業種は多い傾向にあるが、AI指導による前段階として、製造現場における映像等のデータを収集する仕組みとして、遠隔指導ソリューションや技能の見える化ソリューションの導入も有用であると想定される。

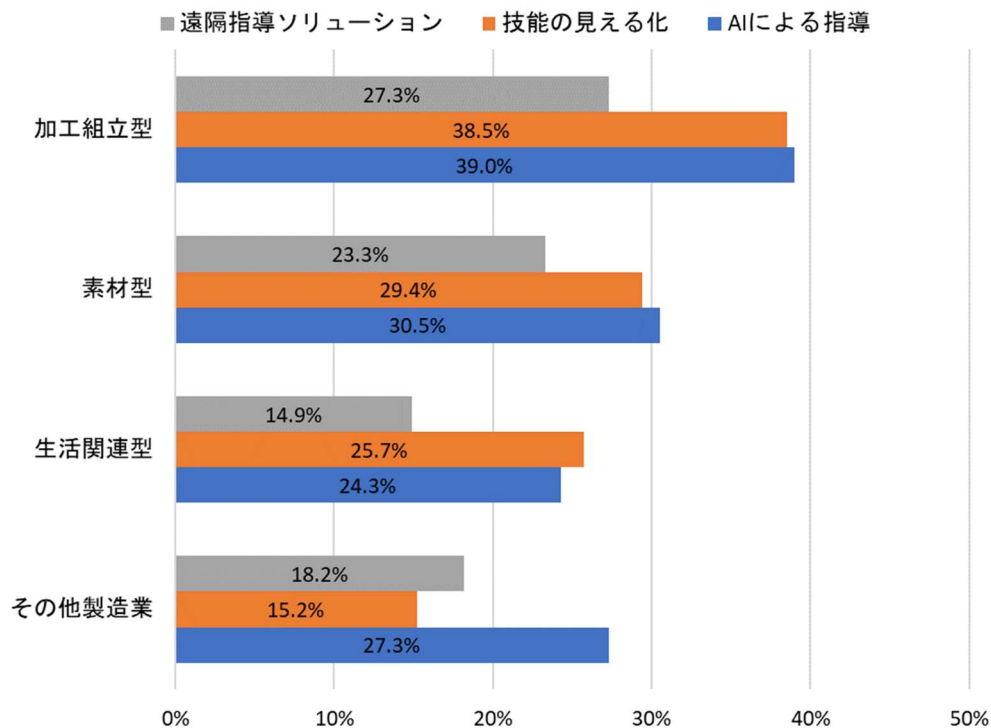


図 4-47 遠隔指導ソリューション・技能の見える化・AIによる指導に興味のある業種 (N=649・SA回答)

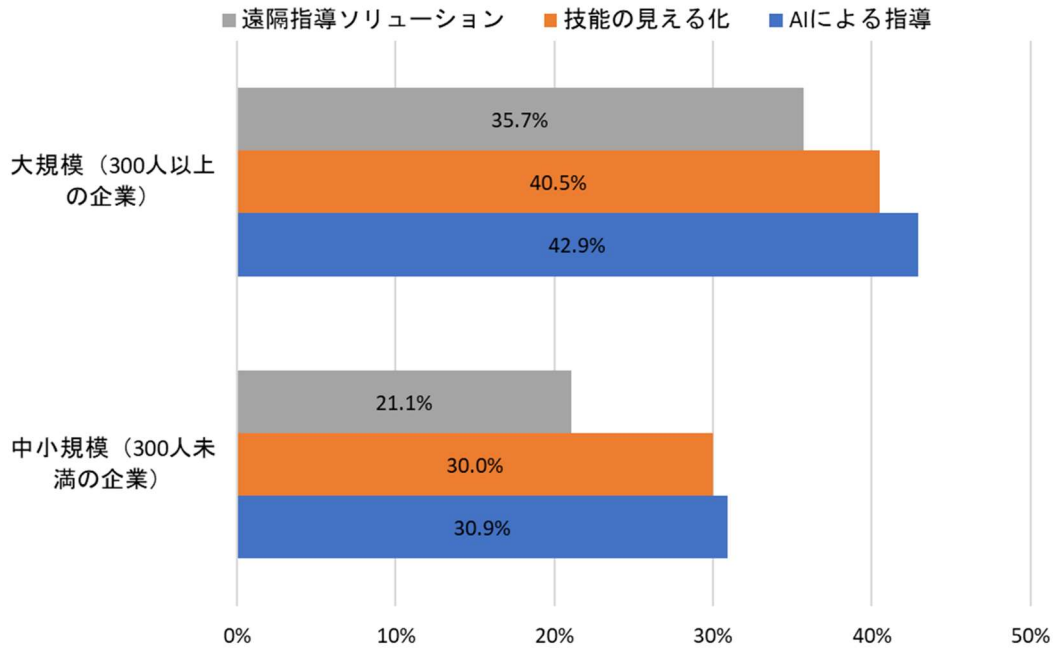


図 4-48 遠隔指導ソリューション・技能の見える化・AIによる指導に興味のある会社規模 (N=649・SA回答)

➤ アンケート調査の考察

アンケート調査を通じて、遠隔指導、技能の見える化、AI指導それぞれのソリューションに関してはいずれのソリューションにおいても、業種別の関心の強さは加工組立型、素材型、生活関連型となる。また、企業規模別では中小規模よりも大規模企業において関心の強さが見て取れることから、大規模な加工組立型企業や素材型企業においてこれらのソリューションに対する関心が強くニーズが高いのではないかと想定される。

一方で、現在の一拠点あたりのネットワーク整備費用に関しては全体では「100万円未満」との回答が49.5%、「100万以上500万円未満」との回答が24.2%であり7割強の企業が500万円未満であった。また、ローカル5G導入における不安な点については、「導入費用がわからない」との回答が39.4%であり、財務面での懸念が強い。また、「投資に見合ったメリットが得られるかがわからない」との回答が40.1%あり、定量的な効果が見込めるソリューションの開発がローカル5Gの普及展開にあたっては必要となると見込まれる。

② ヒアリング調査

➤ ヒアリング調査の概要

ヒアリング調査は、ローカル5Gを活用したソリューションのニーズに関するより詳細な調査を目的として実施する。調査対象については、上記「①アンケート調査の実施」より従業員数300名以上の大企業についてネットワーク整備費用について比較的大規模な投資を行っておりローカル5Gに対する投資意欲が高いと考えられるため、大企業を対象とした。加えて遠隔指導ソリューションに対する関心が比較的高いはん用機械器具製造業、鉄鋼業の有識者に対してそれぞれヒアリング調査を実施した。

表 4-20 ヒアリング調査の実施概要

調査対象	はん用機械器具製造業、鉄鋼業の大企業出身有識者それぞれ1名
調査実施時期	令和4年2月
実施方法	WebExによるオンラインミーティング
調査目的	製造業における現場ニーズの把握 ソリューション展開時における課題
調査項目	<p>狭空間における電波伝搬特性の測定に資する製造現場の情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 遮蔽物の有無、ライン変更の頻度、無線設置環境等 <p>製造現場における課題、無線通信の活用ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 溶接工程において求められる改善業務、データ活用に求められる機能・品質・運用上の課題等、ソリューションのニーズ <p>ソリューションの導入可能性に関する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現拠点のネットワーク整備費用 ・ 現場指導にかかる時間、指導者の移動時間、 ・ 自社でローカル 5G 活用モデルを実装する場合のビジネスモデルや実現に向けた訴求点 ・ ソリューション導入時における費用対効果

➤ ヒアリング調査の結果

ヒアリング調査に関しては「製造現場について」「ローカル 5G について」「5G を用いたソリューションについて」「コスト負担について」の4つの観点にてそれぞれ兩名に対して実施した。表 4-21 にヒアリング調査において得られた回答について以下に示す。

表 4-21 ヒアリング調査結果

インタビュー項目		ヒアリング結果
製造現場について	有線通信	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全体的には過去と比較し、有線通信の割合は下がってきている。ただし、無線通信の場合データの欠落が一部発生する恐れがあるためその点が問題となる場合は有線を用いることもある。半導体のようなデータ集計間隔が細かい製造業においては有線の割合が高い。
	無線通信	<ul style="list-style-type: none"> ・ 有線通信と比較し、製造ラインや機器のレイアウト変更に対して柔軟に対応可能であることから基本的には無線通信のほうが有効であると考えられる。 ・ 使用されている通信規格としては 4GHz や 5GHz の Wifi、Bluetooth、RFIDi 等が利用されている。 ・ 遮蔽物の影響について考慮が必要であり、人の往来により通信状況に影響が出ることがある。遮蔽物を避けるにあたって壁に反射させることもあるがデータの欠落が発生しやすくなる。 ・ 同一拠点内において、チャンネル採番ルールが定められておらず、取り合いのような事態が発生したことがあった。電波干渉を防ぐためには企業内において、ルールの整備が

		必要である。
	製造現場環境	<ul style="list-style-type: none"> 半導体製造や鉄鋼業においては、通信設備の見直しを伴うような大規模なライン変更は基本的には発生しない。 新設の工場を建設する場合には、ネットワーク整備費用として数千万の投資を行うこともある。
ローカル 5G について	検討状況	<ul style="list-style-type: none"> 現在の導入コストでは検討の俎上には上がらない。サーバ管理ではオンプレミスとクラウドの比較がよくされるが、ローカル 5G をオンプレミス、キャリアの 5G をクラウドと考えると同一の問題があるように考える。 屋内のクレーンのリアルタイム操作のために Wi-Fi による速度では不十分ということがあり、通信キャリアによる現地調査を行った。その調査の中では壁による遮蔽物の影響があり、それ以上の検討は進まなかった。 国内において大規模に導入がされている事例もある。セキュリティの観点からローカル 5G の導入を選択した。当該事例においては、グループ企業の IT 会社も含めた体制が構築されていた。¹⁷
	活用業務	<ul style="list-style-type: none"> 屋外であれば電波伝搬の上で活用がしやすいと考えている。ディーゼルによる無人運転や自動運転に活用したい。 工場についてデジタルツインにより仮想空間を作成し、当該空間内にて AI による最適化を行いたい。
	導入時懸念	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G においては基地局の整備を実施するため保全体制の構築が懸念となる。
5G を用いたソリューションについて	人材課題	<ul style="list-style-type: none"> 離職者が多く、人材の定着ができていない。 人材に関する課題に対するアプローチとしては、機械化により自動化を進めていくといった方法もある。 特定の工程に関して知識を有している人が 1 名のみといったこともあり、技能継承が進んでいない。 品質保証に関して傷の有無等については人の目で実施している。AI 化できておらず技能継承が課題である。
	遠隔指導	<ul style="list-style-type: none"> 機械化が進んでいる中でも人の手を有する工程もあり、一定のニーズはある。ただ一方で、同一企業でも拠点ごとに工程の作業内容が異なるようなケースがあり、そのようなケースであれば業務の標準化が必要となる。 海外拠点とのやり取りでは、遠隔での指導を可能とする類似のシステムを社内にて運用している。運用する際の課題としては言語の壁がある。
	指導工数	<ul style="list-style-type: none"> 屋内クレーンの操作に関する OJT としては 1 カ月程度 指導のためには同一拠点内で移動する必要があるが、

¹⁷ 製鉄製造現場の DX 推進に向け、国内最大出力のローカル 5G 無線局免許を取得
https://www.nssol.nipponsteel.com/press/2021/20211101_110000.html

		それほど時間を要する程ではない。
	技能可視化	<ul style="list-style-type: none"> 過去にベンチャー企業と共同で技能の可視化を試みた。その際には IoT センター等により動作計測を行ったが、比較対象を定義する必要があり有効な活用はできなかった。 スマートウォッチにより、加速度センサやジャイロセンサを活用し作業員の動きを可視化することについては実施している。装置、人、物の動きを最適化することができれば業種を問わずニーズはあるのではないか。
コスト負担について	ローカル 5G	<ul style="list-style-type: none"> 現在の費用については非常に高額であるとの印象を受けている。また、保全体制の構築も含めて実施する必要があることから、費用負担が減ったとしても検討は難しい。 工場全体の DX 化といった案件であれば導入の余地はあるが、投資回収期間としては 3.5 年を設定する必要がある、それだけの定量的な成果が必要となる。
	遠隔指導	<ul style="list-style-type: none"> 1 拠点あたり概ね 150 万円程度の初期費用であれば導入検討の俎上に上がり得る。 すでに実装している類似の社内システムでは 50 万円程度で導入が可能であるため、その程度の金額との費用感を持っている。
	技能可視化	<ul style="list-style-type: none"> 数百万の費用を投資するような費用感ではない。 技能向上といった定量的な評価を行うことが難しいケースでは投資判断の際に定量的な説明が困難となる可能性があり、投資を実行する上での障害となる可能性がある

➤ ヒアリング調査結果の考察

ヒアリング調査に関しては「製造現場について」「ローカル 5G について」「5G を用いたソリューションについて」「コスト負担について」の 4 つの観点にてそれぞれ兩名に対して実施した。

製造現場についてのヒアリングではネットワーク環境に関するヒアリングを実施した。有線通信については現在においても利用されているが、ラインやレイアウト変更時に障害となることから近年においては無線通信の割合が高まってきている。しかしながら、無線通信のチャンネルの割り当てに関して同一拠点内において明確なルールが明文化されておらず、混線が発生することが多々あるとの回答を得た。また、無線通信の場合においては遮蔽物の影響について十分に考慮する必要があり、人の動線も考慮したうえで通信環境を構築する必要がある。

ローカル 5G に関しても同様にヒアリングを行った。ローカル 5G には高いセキュリティを担保できるとの特徴があり、セキュリティを重視した業種や企業に関して今後大いに展開していく可能性があるとの示唆を得られた。鉄鋼業においてはすでに大規模な導入事例があり今後他拠点も含めて展開していく可能性はある。一方で基地局の整備に関して製造業企業自らが保全体制を構築する必要があることから、体制構築を含めて導入を進めていくためには高いハードルがある。この点

に関しては、グループ企業において IT の知見を有した企業があれば体制構築に関して比較的スムーズに進む可能性がある。セキュリティに関しても、ローカル 5G においては通信ネットワークを構成する上でのコアネットワークと RAN の構築についてはユーザ企業自らが構築する必要があり、キャリアの 5G と比較したうえで必ずしもセキュリティレベルが高いとは断言できない点については注意が必要である。¹⁸サーバ管理におけるオンプレミスとクラウドの比較と同様の課題である。

5G を用いたソリューションについて、遠隔指導ソリューション、技能の見える化ソリューションのニーズ等に関するヒアリングを行った。多くの製造業企業において、機械化が進む中でも人の手による手作業が必要な作業も多く双方のソリューションについてそれぞれ一定のニーズがあること、すでに遠隔指導ソリューションについては近い性質のソリューションについて運用が開始されていることがヒアリングにより判明した。また、同一企業であっても拠点間において製造方法が異なるといったケースがあり、そのようなケースにおいて当該ソリューションの導入を進めていく場合においては業務の標準化が必要であるとの示唆を得られた。

コスト負担に関しては費用感についてのヒアリングを行った。遠隔指導ソリューションについては 1 拠点あたり概ね 150 万円程度の初期費用であれば導入検討の俎上に上がり得るとの費用感を得た。ただし、製造業企業において設備投資を実施する際には定量的な費用対効果が見込めることが必要となるケースが多く、技能向上といった定量的な評価を行うことが難しいケースではこの点が障害となる可能性はある。

ヒアリング結果の総括として、遠隔指導ソリューション、技能の見える化ソリューションについては業種を問わずニーズがあることがわかった。ローカル 5G に関してもセキュリティを重視する企業において今後大いに広まっていく可能性があるが、体制構築や資金面については大企業であってもハードルとなる部分があり、広範にわたって導入を進めていく上では行政側の支援が不可欠である。

(2) 5G ソリューション提供センター (5GSC) との連携

本実証において検討したローカル 5G 活用モデルの普及展開を図っていくためには、(1) で検討する本実証コンソーシアムを主体とした方策検討に加えて、他実証や事業、政府の取組等を通じた連携を図ることが重要であり、本実証の対象とする製造業に留まらない様々な領域での普及を行うことが求められる。

我が国全体における 5G・ローカル 5G のソリューション展開に向けては、総務省を中心に様々な ICT 事業者等が参画する 5GSC の立ち上げが検討されており、ローカル 5G 開発実証の成果の展開や、ユーザ企業の 5G ソリューションの円滑な導入支援及び共創環境の構築が目指されている。本実証を通じて得られた成果についても、5GSC を通じて更なる普及展開が図られることが望ましく、ソリューションに関する情報提供を行う。具体的には、①ソリューションに係るシステムやドキュメント等の情報提供、②普及展開において実施したアンケートやヒアリングを通じたローカル 5G の活用ニーズに関する考察

¹⁸ 日経クロステック:ローカル 5G のセキュリティーリスクを検証,
<https://xteCh.nikkei.Com/AtCl/nxt/mAg/nnw/18/041800012/111700155/>

結果、③普及展開に向けた課題及び改善方策に関する考察結果の3点を取りまとめる。

① ソリューションに係るシステムやドキュメント等の情報提供

本実証のシステム、ドキュメント等について情報提供を行う。実証実験においては、システム構築に伴うソリューションに加えて、各種ドキュメント類（試験計画書、試験系統図、試験環境の写真等、課題実証・技術実証の結果、システム構成図、ネットワーク図、各種機器仕様、使用機器一覧、ソフトウェア等一覧など）は、5GSCの活用には有効な情報になると考えられる。具体的な本実証のシステム、ドキュメント等については、非公開成果物として別途提出する。表 4-22 に成果物の一覧表を示す。

表 4-22 成果物の一覧

成果物	内容	要素	報告書の対応箇所
ビジネス企画	導入ユースケース概要・結果（期待する効果含む）	当該実証の導入ユースケースの概要資料と実証結果 ユーザ企業や社会課題に対し、期待される効果	<ul style="list-style-type: none"> ・全体版資料：4.4.1.4 章 4.4.1.5 4.4.1.6 章 4.4.5 ・概要版資料：p.2,18-20,22-23
	想定ソリューション提供モデル（スキーム、プロセスフロー等）	ソリューションの提供モデル・スキーム案の整理 各アクターの役割の整理 今後の課題や方向性に対する示唆	<ul style="list-style-type: none"> ・全体版資料：4.4.2.2 章
	想定ビジネススキーム（5GSCを活用したモデル含む5GSCへの期待値等）	ソリューション提供にあたり、5GSCを活用したビジネスモデルの可能性 5GSCの役割に対する期待・要望	<ul style="list-style-type: none"> ・全体版資料：4.4.2.1 (2) ⑤
システム・技術内容	システム全体構成図	ソフトウェアの機能配置、ハードウェアやネットワークの構成	<ul style="list-style-type: none"> ・全体版資料：2.2.1 章 図 2-9 ・概要版資料：p.5 ・別添資料
	基本設計書	全体構成図の各要素の繋がり、処理の構造がわかるもの	<ul style="list-style-type: none"> ・全体版資料：4.4.1 章 図 4-14・図 4-17 ・別添資料

	詳細設計書	全体構成図の各要素の内部処理構造がわかるもの	・別添資料
	テスト関係ドキュメント（計画書・実施内容・結果）	全体構成図の各要素に生ずる負荷、システム全体の負荷、試験観点	・別添資料
	実装ソフトウェア	導入ソフトウェア、上記全体構成図の各要素を接続するためのソフトウェアモジュール等	・別添資料
スキルセット	ソリューション活用における各アクターで必要となるスキルセット	特にユーザ企業においてどういったスキル、人材、デバイス等が必要となるのかといったソリューション活用における条件必要と想定されるユーザ企業への支援内容	・全体版資料： 4.4.2.2 (5)
コスト	ソリューション提供における想定されるコスト・想定提供価格	ユーザ企業へ提供をしていく上で必要となるコストの感が方や具体的なコスト・価格イメージ（各アクター毎の発生コスト等）	・別添資料
その他	実証に関する可能性・課題/解決の方向性	実証内容のビジネス的・技術的な発展の可能性（対象分野の拡大等） 当該実証を通じての顕在的・潜在的な課題とその解決方向性（QCD：ビジネス×技術の観点）	・全体版資料： 4.4.3 章 4.4.4 ・概要版資料：p.21

例えば、本実証で活用する aptpod 社のエッジ処理によって、本実証のテーマである溶接、製造現場に限らず、多様な業界におけるローカル 5G によるデータ活用を促進することができると考えられる。

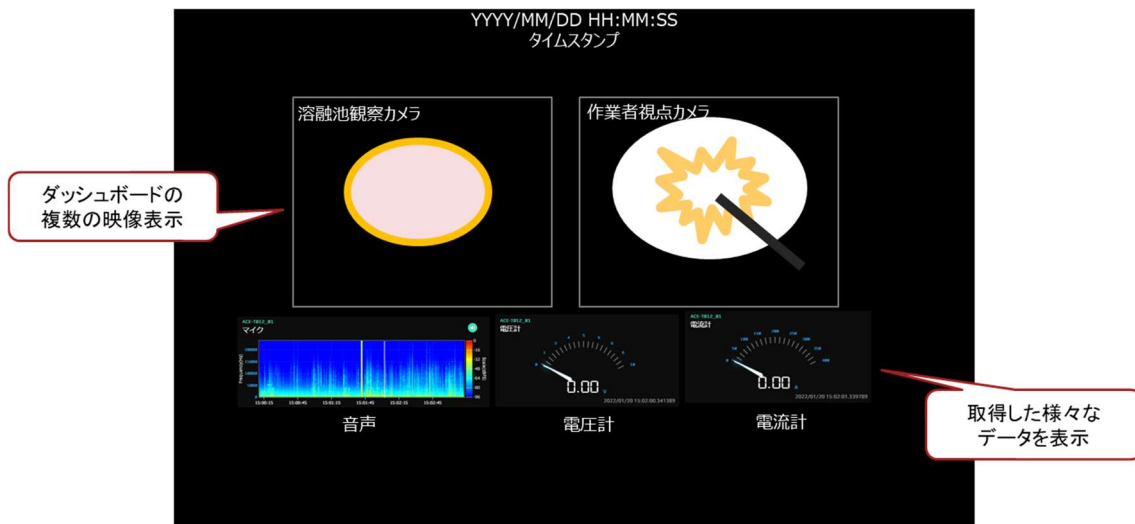


図 4-49 エッジ処理によるデータ同期、ダッシュボードによるデータの可視化

② 普及展開において実施したアンケートやヒアリングを通じたローカル 5G の活用ニーズに関する考察結果

普及展開を検討するにあたり、アンケート調査ならびにヒアリング調査を行い遠隔指導ソリューションならびに技能の見える化ソリューションのニーズ調査を行った。

アンケート調査の結果においては、遠隔指導ソリューションに対して関心が「ある」との割合は全体では 22.2%だった。図 4-47 に遠隔指導ソリューションに対して関心が「ある」業種毎のアンケート結果を示す。業種別では、「加工組立型」において 27.3%が遠隔指導ソリューションに対して関心が「ある」との回答が得られており、「素材型」の 23.3%や「生活関連型」の 14.9%と比較して、加工組立型の企業における遠隔指導ソリューションの関心が高いことがわかった。

同様に、ヒアリング調査においても、「機械化が進む中でも人の手を介する作業については残り続けると考えられる」との回答が得られたことから、遠隔指導ソリューションに対して一定のニーズはあると考えられる。

遠隔での指導を実施したい業務についても、アンケート調査を行った。表 4-23 に、遠隔での指導を実施したい業務のアンケート結果を示す。アンケート結果より、本実証における遠隔指導ソリューションで実施した、検査、加工、監視の項目についても、活用したい旨の回答が得られた。また、本実証における遠隔指導ソリューションにおいて実施していない項目である、メンテナンスや故障・トラブル対応、組立てに活用したいとの回答も得られた。そのため、技能検証といった用途のみならず、様々な用途において活用ニーズがあると推察される。また、他社との同一製造品の技術連携との回答も 1 件得られた。今後ソリューションが広がることで、産業全体の技能継承や生産性の向上へ繋がる可能性があると考えられる。

表 4-23 遠隔での指導を実施したい業務

自由記述		件数 小計	合計
検査	検査	6	98
	原料の入庫状況による製造効率化		
	点検、検査		
	検査、現地調査、設計フォローなど		
	検査、故障復帰作業、メンテ CS やメンテ員の現地指導		
	不適合品質の判断		
メンテナンス	修理・メンテナンス	11	
	操作指導や機器のメンテナンス		
	・他拠点での指導 ・リモートによる設備メンテナンス		
	メンテナンス		
	・印刷機メンテナンス ・オペレーション指導		
	メンテナンス		
	保全業務		
	設備保全		
	・製品納入時の立ち上げ支援 ・納入後の保守		
	設備の調整やメンテナンス指導、品質の確認		
	設備保守・故障対応時に遠隔でのサポートで使いたい。		
加工	製造ラインへの指示	9	
	ブレンド量等の確認		
	製造		
	工場長から部員への指示。工場が 1F と 2F とで離れているため。		
	溶接、板金加工		
	水産加工品の切り方や手順等の作業工程		
	加工・組立作業		
	工作機械操作、特異な手作業		
	機械の操作		
組み立て	11		
製造工程全般			

	ロボットの操作	
	フレーム等の溶接・組立	
	材料の受入れから出荷迄の全工程	
	電子機器組み立て	
	組立て	
	溶接、組立、メンテナンス（国内／海外／船内）	
	設計等の業務、組立等の業務	
	複雑な組立作業	
	鍛造作業全般	
	溶接作業、ロボット操作、ロボットオペレーター	
故障/トラブル対応	設備の故障診断	11
	工場ラインでの故障、修繕の継承	
	射出成形機の異常復帰、トラブル対応	
	設備トラブル対応	
	海外拠点に導入する設備の設置指導	
	他拠点でのトラブル発生時の対応指示	
	設備停止の復旧	
	非日常の作業指示。異常処置やトラブル対応など	
	夜間の設備故障等トラブル発生時の対応等	
	納入先で修理が発生しているとき	
	製造時におけるトラブルへの対処等	
監視	リモートワーク、在宅勤務などによる指導、非定時勤務時のトラブルへの対処指導など（熟練エンジニアの社外業務の推進）	
	機械の設置状況の確認	5
	各作業に対しての安全への監視等	
	稼働監視	
	海外拠点の製造品質管理	
・販売物品のメンテナンス業務。 ・日本全国で需要が発生した場合に指導したい（出張人員を2名→1名にできる。時間は30分～1・2日）		
その他	他社との同一製造品の技術連携	45

※実際の回答から例として抜粋（原文ママ）

技能の見える化ソリューションについてもアンケート調査を行った。技能の見える化ソリューションに関心が「ある」との回答は、全体で30.7%得られた。図4-47に

技能の見える化ソリューションに対して関心が「ある」業種毎のアンケート結果を示す。業種別では、「加工組立型」において38.5%が技能の見える化ソリューションに対して関心が「ある」との回答が得られており、「素材型」の29.4%や「生活関連型」の25.7%と比較して加工組立型の企業における技能の見える化ソリューションの関心が高いことがわかった。

また、規模別においても、技能の見える化ソリューションに対して関心があるかアンケート調査を行った。図4-50に、技能の見える化ソリューションに対して関心がある企業割合（規模別）の結果を示す。技能の見える化ソリューションに対して関心が「ある」と回答した企業規模は、中小規模において30.0%なのに対して大規模では40.5%であった。そのため、企業規模が大きくなるにつれて、技能の見える化ソリューションへの関心が高まることと考えられる。

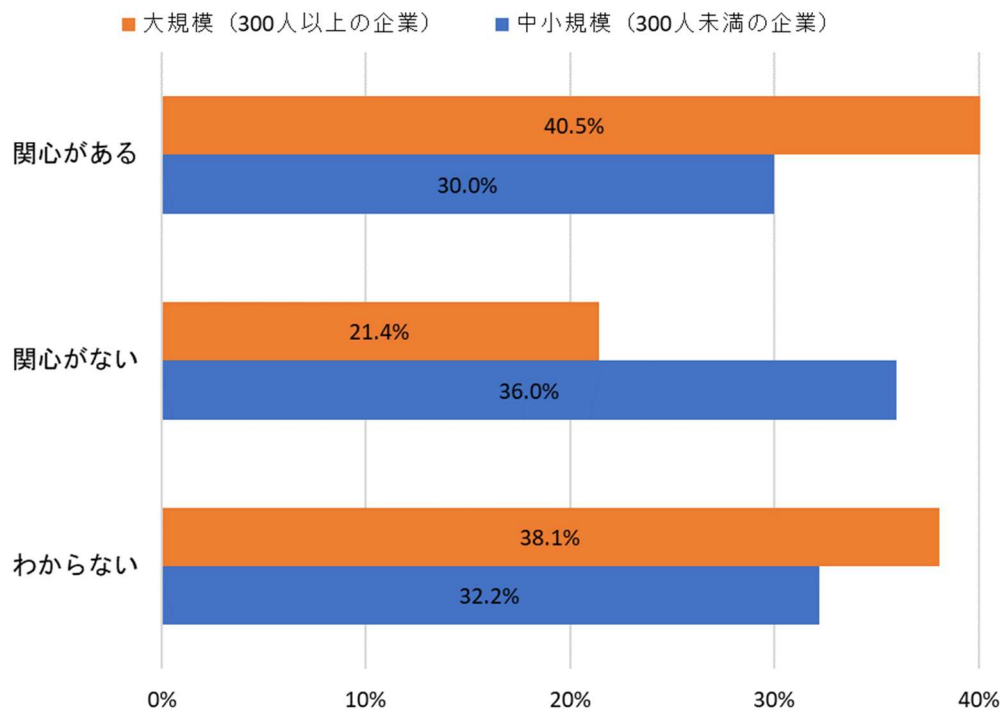


図 4-50 技能の見える化ソリューションに対して関心がある規模別の割合
(大規模 N=43/中小規模 N=606・SA 回答)

図 4-51 に、独立行政法人 労働政策研究・研修機構の調査結果¹⁹を示す。調査結果より、従業員規模別では技能継承が重要であるとの回答をした企業の割合は、従業員

¹⁹ 独立行政法人労働政策研究・研修機構:ものづくり産業における技能継承の現状と課題に関する調査結果 (2020), <https://www.jil.go.jp/institute/research/2020/194.html>

規模が大きくなるほど高くなっていることから、大規模企業においてニーズがあることが推察される。

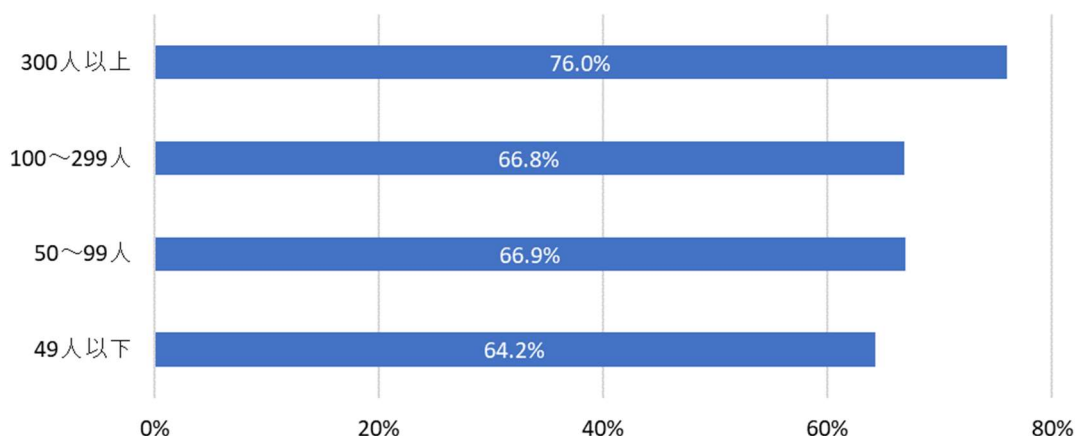


図 4-51 技能継承が重要であるとの回答をした企業の割合（従業員規模別・SA 回答）²⁰

③ 普及展開に向けた課題及び解決方策に関する考察結果

5GSC を通じたローカル 5G ソリューションの普及展開にあたっては、横展開上の課題として、ソリューションの費用対効果や、免許申請等の手続き上の課題、ソリューションの汎用的な利用を可能性にする拡張性の実現といった様々な課題に直面することが想定される。

課題実証を通じて生じた横展開上の具体的な課題は、4.4.3.2 章 課題実証から得られた課題及び、課題の解決策に記載する。

④ 5GSC の活動実現に向けた課題及び解決方策に関する情報提供

5GSC の活動実現に向けたヒアリングにおいては、①実証事業の概要等の確認、②ソリューション等へのニーズの把握、③今後の進め方・展開についての把握、④想定提供サービスへのニーズ把握について、課題及び解決方策の情報提供を行った。

I. 実証事業の概要等の確認

溶接の指導の効率化を早期に実現するという目的を達成するにあたって、5G が具体的に寄与する内容及びその程度について回答を行った。

以下に回答内容を記載する。

IHI 社における現場では、工場で作業者をモニタリングしたいという要望や、効率的に作業を行いたいという要望がある。モニタリングする意図は、準備に対する段取りや無駄な作業、視線計測等を行うことにより、技術者がどこに注力しているかを確認・解析を行うためである。そのためには、作業者に常

²⁰ 独立行政法人労働政策研究・研修機構:ものづくり産業における技能継承の現状と課題に関する調査結果 (2020), <https://www.jil.go.jp/institute/research/2020/194.html>

時センサを装着させる必要があるが、有線では作業の邪魔となるため、IHI 社では無線のシステムが必要であると考えている。」

II. ソリューション等へのニーズの把握

中小企業における 5G ソリューション導入可能性の程度、中小企業の導入が難しい場合に必要とする支援内容について回答を行った。

以下に回答内容を記載する。

「中小企業においても熟練工が減少しているため、中小企業においても遠隔指導ソリューションのニーズがある。しかし、遠隔指導ソリューションは教育を目的とするものであり、費用対効果を出すことができないため、中小企業の投資は困難であると考えられる。技能伝承ソリューションについては、大企業が主体となり、世の中に浸透した後に、中小企業の導入があると考えられる。また、分析結果やメソッドを中小企業が必要とする可能性はあるが、分析し続けるソリューション自体について中小企業が導入を希望するとは考え難い。」

また、ユーザ企業の課題について、5G がどの程度寄与しているのか、5G である必要性の程度について回答を行った。

以下に回答内容を記載する。

「IHI 社において、現状では有線 LAN のシステムでも問題ないが、将来的には必ず無線が必要となる。その際に、標準 LTE では情報量が不足しているため、5G が必要になると考えている。」

III. 今後の進め方・展開についての把握

同業以外への展開について、現行でどのように考えているかについて回答を行った。

以下に回答内容を記載する。

NTT ドコモ社では、溶接以外のソリューションについて、検査や遠隔からの指示等を行っている製造業への展開を考えている。また、救急救命士の人手不足や技能向上を背景とした遠隔作業支援も実施しているという背景から医療業界への展開、人手不足が深刻な状況である建設業界においても展開できると考えている。

また、ソリトンシステムズ社が提供している超短遅延映像伝送システムの提供の場を広げたいと考えており、ソリトンシステムズ社及び NTT ドコモ社には 5GSC への参加可能性がある旨も回答した。

IV. 想定提供サービスへのニーズの把握

提供方法や提供の具体的な施策等について、現状でどのように考えているかについて回答を行った。

以下に回答内容を記載する。

ソリトンシステムズ社では、映像伝送のソリューションについて、現時点でソリューションの提供を行っている放送局や各都道府県市町村消防庁等以外の他業界に横展開したいと考えている。なお、機器については貸出ではなく、販売を検討している。

また、5G 通信機器の選定、許可申請、購入、設置等、5G 通信そのものを整えられるレンタルの仕組み、具体的に求めるサービスについて許容できる費用感について回答を行った。

以下に回答内容を記載する。

IHI 社において、研究開発費用という観点で許容できる費用は年間 500～2000 万円ではないかと考え得る。また、当初は購入ではなく、レンタルであると導入ハードルが低くなると考えている。

⑤ 5GSC を活用した想定ビジネススキーム

5GSC の活用方法イメージや 5GSC に対する期待・要望について、以下に示す。

表 4-24 5GSC の活用方法イメージや 5GSC に対する期待・要望

5GSC の活用方法イメージ	<ul style="list-style-type: none">ソリトンシステムズ社が提供している超短遅延映像伝送システムの提供の場を広げたいと考えており、5GSC への参加意向がある。
5GSC に対する期待・要望	<ul style="list-style-type: none">5G 通信機材や 5G ソリューション機器について、当初は購入ではなく、レンタルで導入できることにより、導入ハードルを下げることであればと期待している。

4.4.2.2 ローカル 5G 活用モデルの構築・検証

ローカル 5G 活用モデルの構築・検証とは、ローカル 5G を用いたソリューションの確実な実装を目指し、実証コンソーシアムを構成する団体や企業の一部または全部が、ローカル 5G を活用したソリューションを持続的に導入・利用するための検証を行うことである。具体的には、想定される具体的なユーザやターゲット、継続利用されるための要件、運用・管理等に係る仕組みや方法、導入効果、実装計画について検討を行う。

(1) 想定される具体的なユーザ及びターゲット

本検証において用いた遠隔指導ソリューションを他社展開するにあたっては、妥当なターゲットを検討する必要がある。特に、遠隔指導ソリューションは、技術者や作業者が在

籍する業界が主なターゲットとなり、具体的には製造業や医療業界、水産業界等が考えられる。本実証は工場において実証実験を実施し、製造現場に特有な課題や求められる解決策等を把握することができたため、横展開対象は製造業企業を主なターゲットとして想定する。

① 技能継承課題から考えられるユーザ及びターゲット

独立行政法人労働政策研究・研究機構にて、ものづくり産業における技能継承の現状と課題に関する調査が行われている。本調査においては、製造業企業における技能継承の課題を調査しているため、本実証における横展開企業のターゲットを検討するにあたって参考とした。

調査結果より、なめし革・同製品・毛皮製造品業を除き、素材型・生活関連型・加工組立て型・その他の全ての業種で約 60%の企業が技能継承を重要視していることがわかった。なめし革・同製品・毛皮製造品業は、すべての業種で最も高い約 60%の企業で技能継承が会社として上手く行っていると考えていることが分かった。また、平均で技能承継が会社として上手く行っていると考えている企業は約 45%であったのに対し、50%以上と回答した業種は印刷・同関連業、化学工業、窯業・土石製品製造業、鉄鋼業であった。

また、将来の技能継承を不安視している企業を調査したところ、なめし革・同製品・毛皮製造品業は、将来の技能継承に不安があると回答した企業はなかった。そのため、なめし革・同製品・毛皮製造品業においては、他業種と比較して、技能承継に対する問題が少ないと考えられる。なお、将来の技能継承に不安がある企業は、全ての業種の平均で約 80%であった。

以上より、技能継承は製造業において、重要な課題であると考えられる。²¹

② 実証で得られたユーザ及びターゲット

本実証で実施したアンケート調査の結果においては、ローカル 5G に関心のある業種を以下に示す。なお、アンケート調査結果の実施詳細は、「別添① 横展開検討に向けたアンケート調査報告書」に示す。

ローカル 5G について「知っている」「聞いたことがある」と回答した企業は 649 企業中 307 企業であった。また、加工組立型で関心が高い傾向が得られた。そのため、これらの業種がローカル 5G を活用したソリューションの具体的なユーザ及びターゲットになると考えられる。

²¹ 独立行政法人労働政策研究・研修機構 ものづくり産業における技能継承の現状と課題に関する調査結果

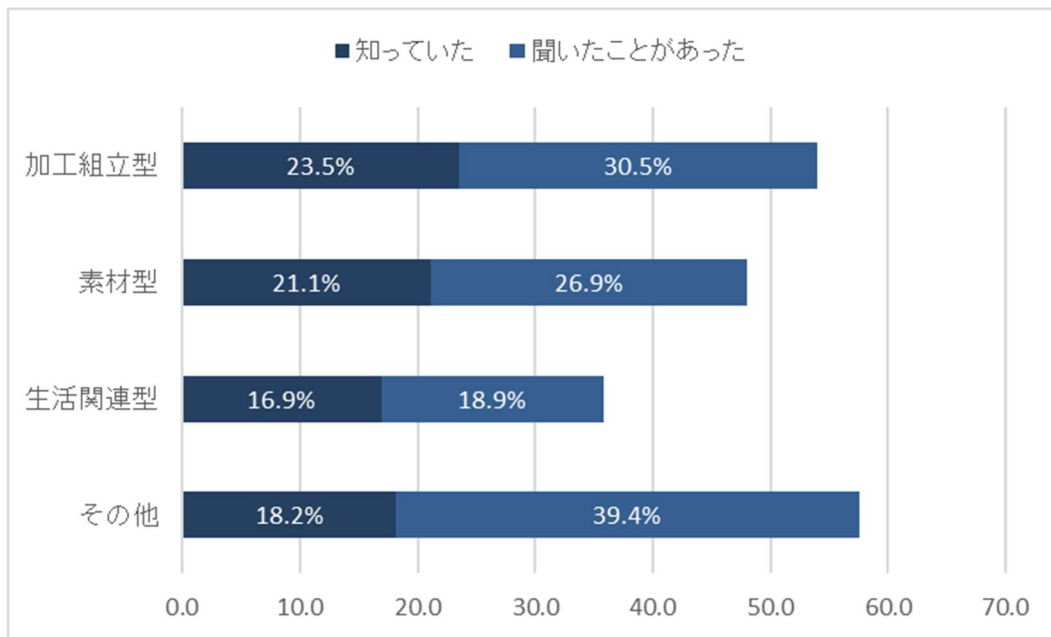


図 4-52 ローカル 5G に関心のある業種

次に、製造業におけるローカル 5G の利活用に関するアンケート調査の結果より、遠隔指導に関心のある業種を以下に示す。遠隔指導に関心があると回答した企業は 649 企業中 144 企業であった。また、素材型及び加工組立型で関心が高い傾向が得られた。そのため、これらの業種がローカル 5G を活用した遠隔指導ソリューションの具体的なユーザ及びターゲットになると考えられる。

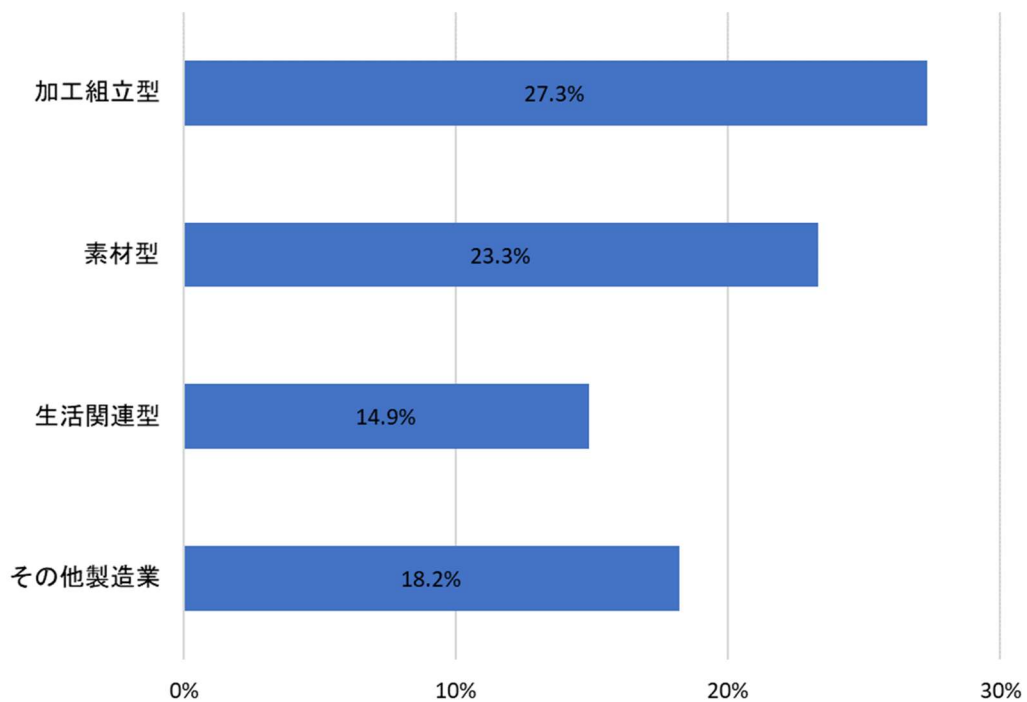


図 4-53 遠隔指導に関心のある業種 (N=649・SA 回答)

次に、製造業におけるローカル 5G の利活用に関するアンケート調査の結果より、技能の見える化に関心のある業種を図 4-47 に示す。技能の見える化に関心があると回答した企業は 649 企業中 199 企業であった。また、素材型及び加工組立型で関心が高い傾向が得られた。そのため、これらの業種がローカル 5G を活用した遠隔指導ソリューションの具体的なユーザ及びターゲットになると考えられる。

製造業におけるローカル 5G の利活用に関するアンケート調査の結果より、ローカル 5G に活用したい業務について示す。管理については、「特になし」「わからない」という回答が約 26%である一方、「工場内の設備やモノに関する資産管理」「製造した製品数カウント」「工場内環境に関する管理」「作業漏れ防止のための動作数カウント」等に活用したいとのコメントが約 20%～25%得られた。

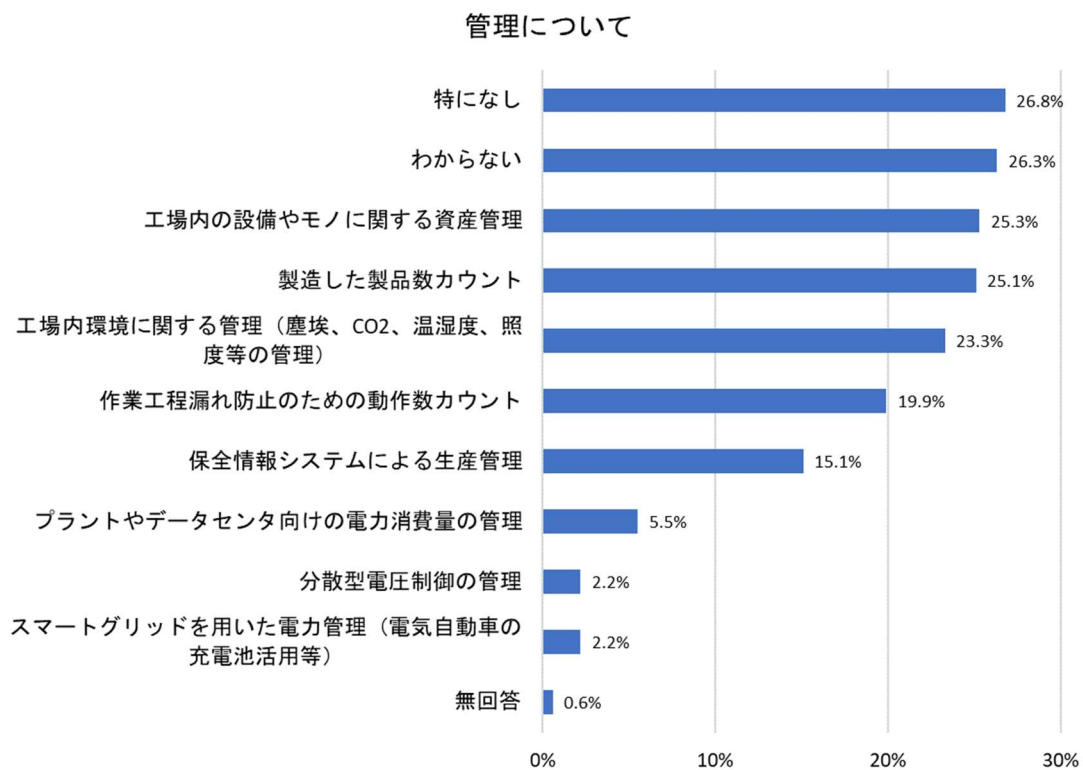


図 4-54 管理についてローカル 5G に活用したい業務（N=649・MA 回答）

また、制御については、「特になし」「わからない」という回答が約 30%である一方、「工作機械に関する動作制御」に活用したいとのコメントが約 24%得られた。

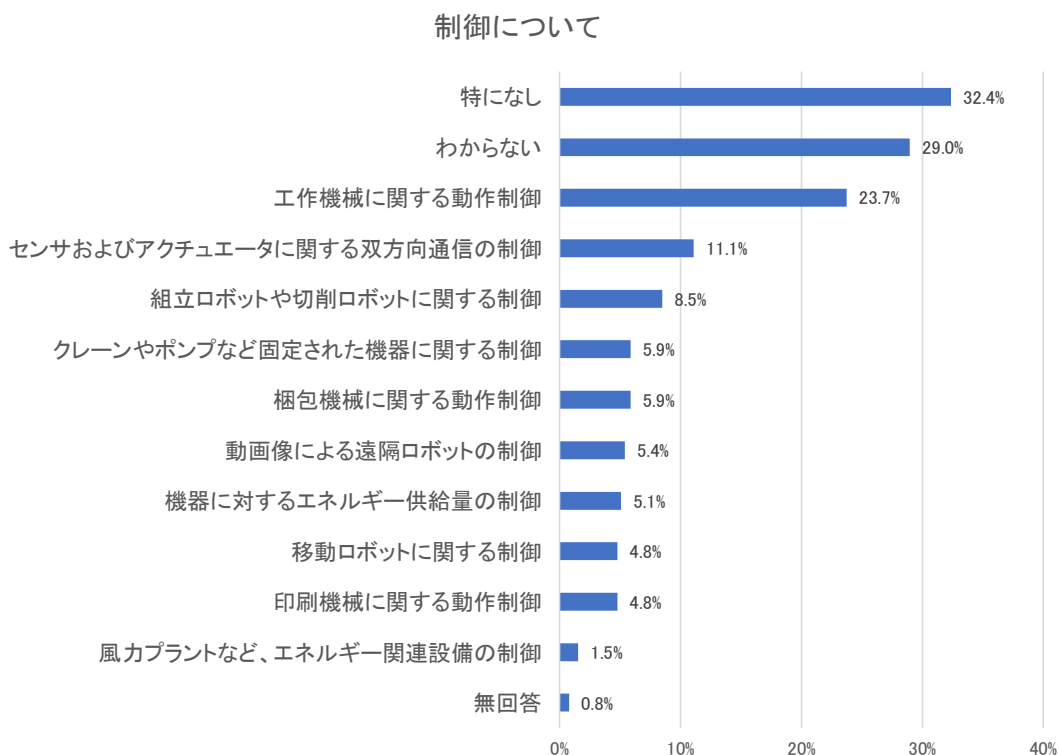


図 4-55 制御についてローカル 5G に活用したい業務 (N=649・MA 回答)

また、安全・品質等については、「在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の見地」を行いたいという回答が最も多く約 27%得られた。また、「動画像による異常検知」「温湿度に関する情報収集による予防保全」に活用したいという約 20%得られた。一方で、「特になし」という回答が約 27%、「わからない」という回答が約 22%得られた。

ローカル 5G に活用したい業務について、管理・制御・安全品質等についてアンケートを行った結果、管理については「工場内の設備やモノに関する資産管理」「製造した製品数カウント」「工場内環境に関する管理」「作業漏れ防止のための動作数カウント」等、制御については「工作機械に関する動作制御」、安全品質等については「在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の見地」「動画像による異常検知」「温湿度に関する情報収集による予防保全」に活用したいとの回答が得られた。一方で、「特になし」「わからない」という回答が一定数得られた。そのため、ローカル 5G をどのように活用するかについてイメージが湧いていない可能性が考えられる。そこで、ローカル 5G の普及に対して、ローカル 5G をどのような業務に活用するかについて明確にしつつ、普及展開活動を行う必要があると考えられる。

安全・品質等について

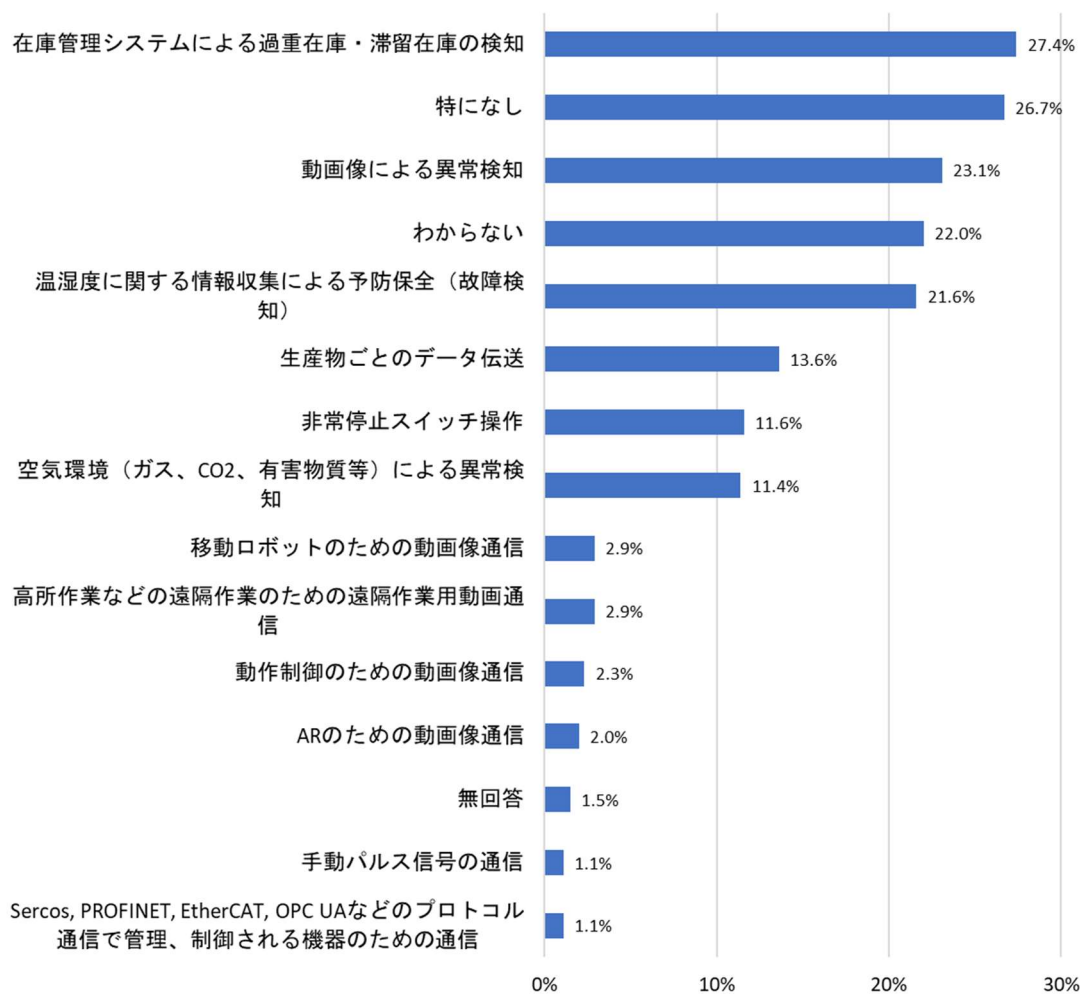


図 4-56 安全・品質等についてローカル 5G に活用したい業務（N=649・MA 回答）

さらに、課題実証の中で得られた知見としては、遠隔での指導を行うことで安全に指導を行うことができるという結果を得られたため、指導員の安全確保が必要な作業においてもニーズがあると考えられる。

(2) 対象となるシステム

ローカル 5G とデータフュージョン技術を用いて、リアルタイムな遠隔指導を行うシステムを対象とする。熟練技能者の指導効率の向上と、若手溶接士の早期育成を実現することを目的としている。

遠隔指導においては、作業映像に加えて指導する上で必要な音、電流・電圧などのデータについて指導者側でリアルタイムでの確認を可能とすることが必要となるため、カメラ、マイク、電流、電圧計等により必要に応じたデータを取得するよう構築する。なお、本実証では「データフュージョンシステム」および「超短遅延映像伝送システム」による実証を行ったが、「データフュージョンシステム」による指導効果の方が高いとの知見が得られたため、「データフュージョンシステム」についてローカル 5G 活用モデルの対象とする。なお、ネ

ネットワーク・システム構成については 2.2 ネットワーク・システム構成、機能要件・非機能要件については 2.3 システム機能・性能・要件にそれぞれ記載する。

(3) 詳細な前提条件

当該ソリューションについては、屋内の工場内での利用を想定しているため、狭空間かつ閉鎖空間での利用を想定している。

(4) 体制面

ローカル 5G を導入する際には、免許申請、隣接する無線局免許事業者との調整や電波干渉のコントロール等を行う必要がある。しかし、製造業がこれらの課題を実施するにはハードルが高い。そのため、ソリューションを提供する企業や、通信インフラを提供している企業と協業する必要がある。下記に一般的に想定される導入に向けた体制図を記載する。

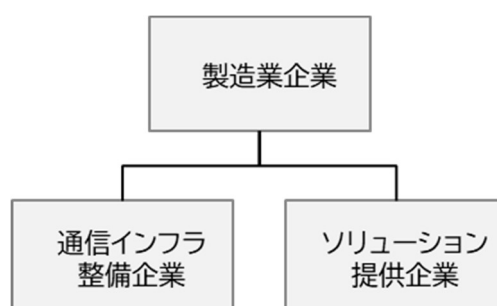


図 4-57 ソリューション展開想定体制図

製造業企業においては、遠隔での指導が必要となる作業の洗い出しや費用対効果の検討を行いソリューションの導入に関する判断を実施する。通信インフラ整備企業については、ローカル 5G 基地局の整備のための免許取得等を含めた通信インフラ全般の整備を行い、ソリューション提供企業において、ローカル 5G にて活用するソリューションの提供を行う。基本的には 3 社にて体制を構築する必要があるが、通信インフラ整備とソリューション提供については、両方の知見を有している企業もありその際は 2 社または 1 社による体制構築となる。

(5) 前提となるスキルセット

ユーザ企業側での必要な人材条件や、設備・デバイス上の導入条件、その他ソリューション活用に求められる諸条件について検討を行った。具体的には、遠隔指導者、現場溶接士、ソリューション導入部門、その他管理部門それぞれの区分におけるスキルセットである。表 4-25 に、前提となるスキルセットについて検討した結果を示す。

指導者は、遠隔指導ソリューションの使用方法の習得が必要であるが、機器の操作に関するレクチャー受講、試行等に数時間程度と想定される。現場溶接士については特段前提となるスキルセットは想定されない。また、ソリューション導入部門においても、導入ソリューションの一般的な管理が求められる程度と想定される。その他、管理部門においては、5G 基地局の購入・レンタル等の形態に応じた管理が必要となる。

表 4-25 前提となるスキルセット

区分	前提となるスキルセット
遠隔指導者	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔指導ソリューションの使用にあたって、指導者としての技能は必要であるが、システム習熟は1時間程度である。エッジデバイスは遠隔指導者側にはないためである。
現場溶接士	<ul style="list-style-type: none"> 現場の溶接士は、初心者・中級者・上級者であっても遠隔指導を受けることができる。 溶接士（工場）側で以下の作業が必要である。4時間から8時間程度の作業と想定される。 <ul style="list-style-type: none"> エッジデバイス（配線、初期設定等） カメラ（溶接する対象に合わせたカメラのセッティング、場合によってはカメラフィルタの選定） 電源電圧等の測定器（計測端子接続、エッジデバイスの接続）
ソリューション導入部門	<ul style="list-style-type: none"> 特段前提となるスキルセットは必要ないが、ソリューション提供企業とコミュニケーションを取りながら導入を進める必要がある。
その他、管理部門	<ul style="list-style-type: none"> 5G 基地局等の管理能力が必要である。

(6) 導入効果

表 4-26 に導入により期待できる効果の詳細を示す。遠隔指導ソリューションの導入により、指導者の安全性の確保、指導者による指導のしやすさの向上、被指導者による指導の受けやすさの向上、溶接データの蓄積を図ることができる。これにより、技能向上による受注機会の増大や、不良品率の低下が期待できる。

表 4-26 導入効果の詳細

分類	内容	詳細
安全性の確保	指導者の安全	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔での指導を行うことで指導者が安全な場所から指導が可能である。
指導効率	指導者による指導のしやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 指導者が移動をすることなく指導が可能であり、高頻度に指導が可能である。 出張を伴う指導をしている場合、出張費の削減が見込まれる。 モニターを通しリアルタイムに指導が可能である。

		<ul style="list-style-type: none"> 複数人同時に指導が可能となる可能性がある。
	被指導者による指導の受けやすさ	<ul style="list-style-type: none"> 現場指導と遜色なく指導を受けることが可能である。
	データ蓄積	<ul style="list-style-type: none"> 動画、音声、電圧等のデータを蓄積し見返すことで適切なフィードバックが可能となる。
費用削減	出張費および移動に伴う人件費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 熟練工が指導のために移動する場合、日本国内の工場間移動であれば、片道につき、半日から1日、往復で1日から2日となる。 海外工場への移動であれば、時差も考慮して、往復で3~4日は見込む必要がある。

(7) 導入費用

導入にあたっては、初期費用として約970万円、月当たりの継続費用として約31万円が必要となる。なお、ローカル5Gの基地局導入においては要件により大幅に金額が異なるが、運用支援も含めた安価なサービスについても登場しており、今後の導入にあたっては、検討の余地がある。²²

表 4-27 導入費用

ソリューション	初期費用	継続費用/月
5G 通信インフラ (4.5GHZ)	約900万円	約1万円
データフュージョンシステム	約70万円	約30万円

(8) 実装計画

現時点では、溶接に関するデータ計測に無線を活用する仕組みの確立や、取得したデータによる技能の見える化には至っていない。そこで本年度は、将来的な遠隔ソリューションの導入を目的として、遠隔指導ソリューションが若手溶接士の育成に資するかどうか検証を行った。また、本実証における溶接の遠隔指導に加えて、将来的には、マザー工場に溶接に関する多様なデータを蓄積することで、技能の見える化による溶接士の早期育成を目指している。

図 4-57 に、遠隔指導及び技能の見える化に対する今後の実装計画を示す。遠隔指導については、令和7年度に様々な業種への企業へと展開することを想定し、令和6年度までに、他社展開のための展開計画を詳細化する。次に技能の見える化についてである。本実証では、溶接作業のデータを取得し、技能の見える化を検証した。しかし、技能とは、業

²² NEC:小規模ネットワークに適したローカル5G基地局 UNIVERGE RV1000 シリーズ 2機種を販売開始 https://jpn.nec.com/press/202201/20220120_01.html

種や作業によって異なる定義がなされるものである。そのため、業種や作業が異なる場合には、一から取得すべきデータの取捨選択、実証によるデータの蓄積を行う必要がある。そこで、今後は各業界の有識者と議論を行い、各業種・各作業に適応した技能の定義及び、技能の見える化ソリューションを検討する必要がある。

いずれのソリューションについても、他社への展開については 5GSC と密に連携を行い実施することを検討する。

マスタスケジュール		令和4年度		令和5年度		令和6年度		令和7年度		令和8年度	
		前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期
マイルストーン			遠隔指導の 他拠点展開								
遠隔指導	IHI内ブラッシュアップ	ブラッシュアップ		継続							
	IHI内拠点展開		展開 拠点判断	順次IHI内拠点展開							
見える化 技能の	IHI内ブラッシュアップ	ブラッシュアップ		継続							
	IHI内拠点展開		展開 拠点判断	順次IHI内拠点展開							

図 4-57 普及展開スケジュール

(9) 課題と対応策

ローカル 5G 活用モデルを普及・展開していくにあたっての課題と対応策については 4.4.3 章 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にて記載する。

4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

4.4.3.1 課題の抽出及び解決策の検討方法

ローカル 5G 活用モデルの実現や実装に係る構造的な課題を抽出し、解決の方向性を検討するため、課題一覧・解決策を取り纏めた。課題の抽出にあたっては、課題実証における課題、実装・横展開における課題について、それぞれ図 4-58 の情報を整理・考察することで、抽出課題一覧として取り纏め、解決策の検討を行った。

実証中に顕在化した課題は、課題管理表を作成し週次会議で管理し、環境構築、技術実証、課題実証、実装検討等において発生した課題を整理した。また、効果・機能・運用検証に関する実証目標と、実証結果を比較考察することで、ソリューションの課題を整理した。

さらに、活用モデルの実装性については、全国製造業企業へのアンケート調査や普及啓発ウェビナーの参加企業へのアンケート調査によって、製造業企業の課題を把握した。加えて、継続利用・実装上の課題については、ローカル 5G 活用モデルに関するコンソーシアムにおける全 6 回の協議により検討した。さらに、普及展開上の課題については、普及展開の候補となる企業とのワークショップ及び導入計画書策定支援により得られた課題を整理した。

これらの課題抽出を踏まえて、課題一覧・解決策の検討を行った。検討にあたっては、技術的な課題のほか、導入効果、機能、運用に関する課題、制度的課題、普及方策に係る課題等を構造化したうえで整理した。また、抽出した課題については、それぞれ解決策、解決に資する条件、今後必要となる検証項目等についても検討し、今後、ローカル 5G の普及にあたって同様の課題に資する考察を行う。

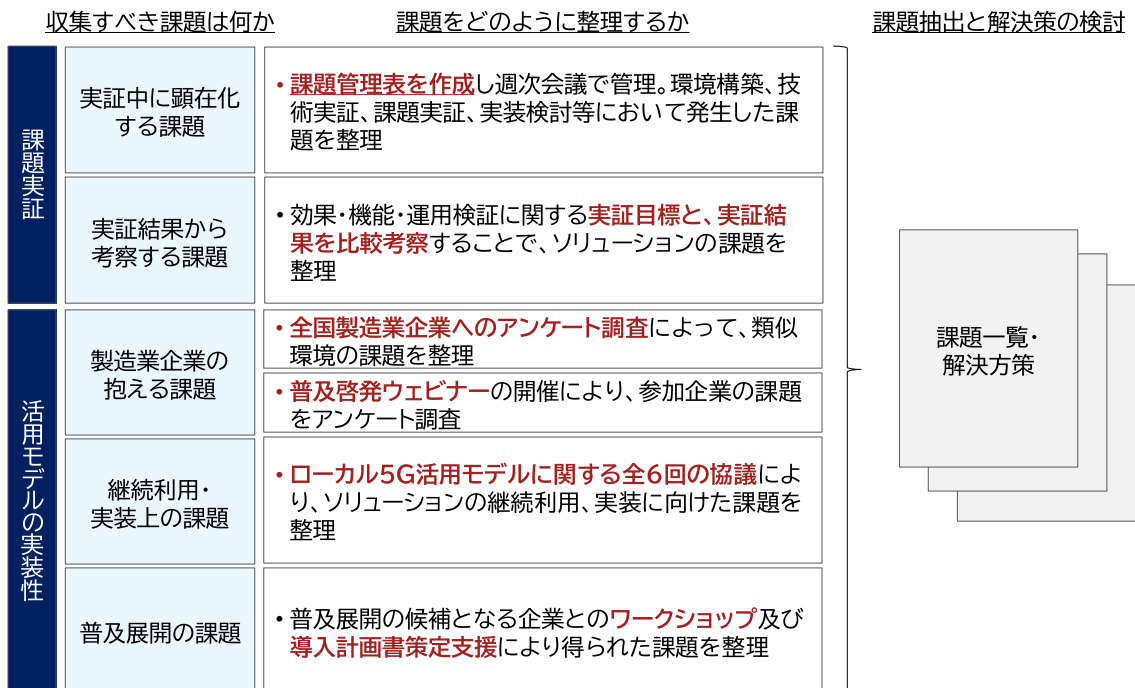


図 4-58 実装に向けた課題抽出と解決策検討の概要

4.4.3.2 課題実証から得られた課題及び、課題の解決策

(1) 準備中に顕在化した課題及び、課題の解決策

表 4-28 に、準備中に顕在化した課題及び、課題の解決策を示す。準備中に顕在化した課題は、課題管理表を作成し週次会議で管理した。

表 4-28 準備中に顕在化した課題及び、課題の解決策

課題の概要	課題の解決策
<ul style="list-style-type: none"> 実証環境構内の光回線は NTT ドコモ所轄、実証環境入口の光回線は NTT 東日本所轄であったため、光回線を工場の入り口からアンテナまで延長する際において、各社との調整が必要となった。 	<ul style="list-style-type: none"> メディアコンバータを用いることにより、課題は解決した。具体的な構成は以下の通りである。 実証環境入口光回線 (NTT 東日本) — ONU — メディアコンバータ — 実証環境構内光回線 (NTT ドコモ) — メディアコンバータ — ルーター — 溶接実験場 PC
<ul style="list-style-type: none"> 511 棟光ケーブル敷設工事にリードタイムが必要であり、スケジュールを前倒しする必要が生じた。 	<ul style="list-style-type: none"> 光ケーブル敷設工事のリードタイムを考慮し、スケジュールを前倒しすることにより、問題が解消した。
<ul style="list-style-type: none"> 実証においては、遠隔指導に関する指導効果の比較、溶接難易度に応じた比較考察を行うことから、実証現場担当者の作業負担が大きくなってしまった。 	<ul style="list-style-type: none"> 実証開始後に担当者が上手くシステム操作できず時間がかかることを避けるため、実証開始前に習熟期間を設け、予備日も設けることで確実に実施事項消化できるよう準備する必要がある。
<ul style="list-style-type: none"> 現場作業が手一杯となり、指導前の熟練者 2 名、非熟練者 2 名のデータ取得が遅延する事象が生じた。 	<ul style="list-style-type: none"> コンソ内でデータ取得の有無及びスケジュールについて確認を取ることにより、事象が解消した。また、新たなデータ送付日程の確認を行った。
<ul style="list-style-type: none"> キャリア 5G を使用しているが、総通局に確認したところ、電波発射後（附帯試験終了後）ではあるものの、包括免許申請が必要となった。 	<ul style="list-style-type: none"> 通常通り電波発射後 15 日以内に総通局に対し免許申請（届け出）を行った。
<ul style="list-style-type: none"> 世界的な半導体不足により、実証に使用する物品の購入やレンタルが困難となる事象が生じた。 	<ul style="list-style-type: none"> 手元にある物品や性能を下げた物品を活用することで、物品不足を解消した。

(2) 実証中に顕在化した課題及び、課題の解決策

表 4-29 実証中・実証後に顕在化した課題及び課題の解決策に、実証中・実証後に顕在化した課題及び、課題の解決策を示す。また、4.2.3 章に示す実装シナリオ、実証目標から顕在化した課題及び課題の解決策についても、以下に示す。

実装時においても想定される課題として、No.2「実験機材の配線への引っかかりが問題になり、安全性が損なわれる可能性」や、No.6「指導者は、溶接士に対し音声でのみ指導を行う必要があるため、指導が難しくなる事象」、No.7「クラウド上でデータを確認する際に、読み込みが遅く不便を感じた」、No.8「一人の溶接士の溶接士に対して、一人の指導者が指導を行うため、指導効率の向上率が低い」が想定される。

No.2「実験機材の配線への引っかかりが問題になり、安全性が損なわれる可能性」については、機材の省配線化により課題を解消することができる。また、No.6「指導者は、溶接士に対し音声でのみ指導を行う必要があるため、指導が難しくなる事象」については、熟練者のポンチ絵等を溶接士側に表示できるモニターを指導者側にも用意することや、動画やホワイトボードを共有することにより、トーチの狙い位置等の指導がしやすくなり、指導効率を向上させることができる。No.7「クラウド上でデータを確認する際に、読み込みが遅く不便を感じた」という点については、クラウドシステムの利便性を向上させることにより課題を解消することができる。No.8「一人の溶接士の溶接士に対して、一人の指導者が指導を行うため、指導効率の向上率が低い」という点については、複数人同時指導システムを作成し、一人の指導者が複数人の溶接士を指導することにより、指導効率をさらに向上させることができる。

表 4-29 実証中・実証後に顕在化した課題及び課題の解決策

No.	課題の概要	課題の解決策
1	<ul style="list-style-type: none"> 安全性に関する観点についてであるが、アーク光の画像から指導中の溶接作業に対しての溶接不良による不安全状態は分かるが、溶接作業の周囲の情報がわからないため、安全性確認が不十分である。 	<ul style="list-style-type: none"> 安全性確認を十分にすべく、溶接作業のみならず、その周辺の情報を提示できるように、カメラの追加等システム構成を再検討する。
2	<ul style="list-style-type: none"> 安全性に関する観点についてであるが、実験機材の配線への引っかかりが問題になり、安全性が損なわれる可能性が考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験機材の配線への躓き改善や、安全性の向上を行うべく、機材の省配線化を行う。
3	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業は、より多くの視点からの画像でモニターできると、より細かい指導ができて良い。 	<ul style="list-style-type: none"> より詳細な指導を行うべく、カメラを追加し、より多くの視点からの画像を遠隔地に送信する。またこれが可能な通信システムを構築する。
4	<ul style="list-style-type: none"> 指導のしやすさに関する観点についてであるが、温度や電流・電圧データ等の数値が溶接中に揺れるため、指導者である熟練士が判断しづらいという問題が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> 熟練者の判断を容易にすべく、電流・電圧等の数値をフィルタで平準化する構成を追加する必要がある。

5	<ul style="list-style-type: none"> 指導のしやすさに関する観点についてであるが、溶接中のリアルタイム指導に使用するモニターが複数あると、くびと目線を動かす必要があり、疲労感が発生した。 	<ul style="list-style-type: none"> くびと目線を動かすことによる疲労感を軽減すべく、1つのモニターにカメラや電流・電圧等の情報をまとめて表示する。
6	<ul style="list-style-type: none"> 指導のしやすさに関する観点についてであるが、指導者は、溶接士に対し音声でのみ指導を行う必要があるため、指導が難しくなる場合が今後想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 熟練者のポンチ絵等を溶接士側に表示できるモニターを指導者側にも用意する。また、動画やホワイトボードを共有して、トーチの狙い位置等の指導ができると、指導のしやすさが向上する。
7	<ul style="list-style-type: none"> クラウド上でデータを確認する際に、読み込みが遅く不便を感じた。 	<ul style="list-style-type: none"> クラウドシステムの利便性を向上させることにより、データ保存に対する問題が改善されると考えられる。
8	<ul style="list-style-type: none"> 一人の溶接士の溶接士に対して、一人の指導者が指導を行うため、指導効率の向上率が低い。 	<ul style="list-style-type: none"> 複数人同時指導システムを作成し、一人の指導者が複数人の溶接士を指導することにより、指導効率をさらに向上することができる。 複数人同時指導を行う仕組みとしては、パスごとに順番に指導する方法が考えられる。つまり、溶接士 A がパス間の準備を行っている際に、溶接士 B のパスに対する指導を行うという形式であり、2人または3人への同時指導が可能ではないかと想定される。 但し、複数人への指導にあたっては、溶接現場の映像等に関するデータ量が増加するため、基地局の増設や周波数帯域の変更などを検討する必要があると考えられる。
9	<ul style="list-style-type: none"> カメラのセッティング等に20時間程度を要した。またこの作業は溶接の研究員による。実際に現場に導入するにあたっては、このセッティングが誰でも簡単にできるようにした方がよい。 	<ul style="list-style-type: none"> カメラセッティング用の治具の製作や、セッティングマニュアルの整備などにより、誰でも簡単にできる作業とすることが望ましい。
10	<ul style="list-style-type: none"> 4.4.5 章で詳述する追加提案部分の「技能の見える化ソリューション」について、製造現場での収益化を実現するためには、本事業で明らかにした課題を解決する必要がある。 実証で明らかになった課題の詳細は、溶接作業の記録、溶接作業の分析、技術課題提示という観点で考察を行っているので、4.4.5 章を参照いただ 	<ul style="list-style-type: none"> 溶接士の作業姿勢に関する分析では、映像による特徴点の抽出率が低い問題が生じたが、その課題の要因として、①防御用シールドを顔にあてての作業となる為、鼻、両耳、両目の抽出が困難、②溶接時のアークの発光及び火花の発生により、人物の推定及び特徴点の抽出ができていないフレームがある、③抽出できる特徴点数が少ない場

	<p>きたい。</p> <ul style="list-style-type: none">• なお、溶接士の作業者姿勢に関する分析では、映像による特徴点の抽出率が低い問題が生じた。	<p>合、人物姿勢推定の精度が落ち特徴点の座標がぶれる場合があるといったことが考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none">• したがって、姿勢変化が少ないながら精度が求められる環境、映像の光量変化が激しい等の条件下にある姿勢推計解析には、指の動き、目の動き等の細かな姿勢データが取得できるセンシングが必要であり、複数センサや映像と組み合わせた精度の高い姿勢検知の仕組みを今後、検討する必要がある。
--	---	---

4.4.3.3 活用モデルの実装性から得られた課題及び課題の解決策

(1) 製造企業が抱える課題及び課題の解決策

全国の製造業企業を対象として、ローカル 5G を活用したソリューションの実装に関するニーズ調査を行った。なお、アンケート対象は地方の中小企業も含めて実施し、地方の製造企業や中小企業等におけるニーズや状況を確認した。

アンケートの結果、中小企業では独自でローカル 5G を設置するほどの設備投資が困難であるため、導入費用など、自治体・行政の導入支援が必要であることがわかった。また、ローカル 5G のサービス提供を速やかに進めて欲しいとの意見も得られた。

さらに、ローカル 5G の活用策のイメージが湧かない旨の意見も得られた。そのため、普及啓蒙活動にさらに力を入れ、様々な使用用途があることを普及すべきであると考えられる。具体的には、工場内の設備やモノに関する資産管理、製造した製品数カウント、工場内環境に関する管理（塵埃、CO₂、温度差、照度等の管理）、各種機械に関する動作制御、在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の検知等について可能となることが見込まれることから具体的な導入事例と合わせて広報活動を行っていくことが必要である。

なお、上記のようなローカル 5G の活用用途に関する周知を行うにあたっては、自治体・行政による環境整備、広報活動に加えて、本実証事業に参画した企業等による取組の周知も重要であると考えられる。本実証コンソーシアムでは、5.2 章に記載のように、普及啓発ウェビナーを実施し、遠隔指導の取組等、本事業における 5G を活用したユースケースの紹介を行った。今後も、効果的なユースケースの普及等に向けて周知広報活動を行っていくことで、全国の製造業企業が活用イメージを具体的に持つことが期待される。

(2) ワークショップから得られた課題及び課題の解決策

コスト構造について検討を行ったところ、5G 通信インフラやデータフュージョンシステム、現場計測機器の導入・継続費用が課題となることが明らかになった。5G 通信インフラやデータフュージョンシステム、現場計測機器の導入・継続費用のハードルを解消すべく、自治体・行政の購入補助やレンタル補助などの施策づくり、環境整備が必要であると考えられる。なお、全国の製造業企業では、遠隔指導や技能の見える化に関するソリューションは、高いニーズがあることが本事業を通じて明らかになったため、実証実験において検討したソリューションを今後も活用、改善を行うことで、低費用での横展開や、コンソ以外の企業が遠隔指導ソリューションをレンタルして使用する仕組みを構築することなどに繋がると期待される。したがって、本コンソーシアムでは、遠隔指導及び技能の見える化の横浜事業所における利用、他拠点への将来的な展開を検討しつつ、活用ニーズがあると想定される全国の製造業企業に対して、ソリューションの提供や環境のレンタル等を行う仕組みの検討を継続的に実施していく想定である。

また、現時点での検討においてはローカル 5G の基地局を活用したソリューションについては、本コンソーシアムで開発を検討しているソリューションに限定される。しかし、今後の開発実証事業等においても、5G 通信インフラを活用したソリューションが多数開発され

ることが見込まれる。²³

これらの実証を通して開発されたソリューションを複数導入することで、基地局整備に係るコストが按分されることとなり、経済性の向上に寄与する。今後においては、総務省・経済産業省において 5G 基地局整備に対する税制措置や、政府系金融機関における特定高度情報通信技術活用システムの普及のための支援措置によって活発な設備投資が行われることなど、公的機関による支援等も期待される。²⁴²⁵²⁶

²³ 当面取り組むデジタル田園都市国家構想関係施策一覧

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_denen/dai2/kanren1.pdf

²⁴ 特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律

https://www.meti.go.jp/poliCy/mono_info_serviCe/joho/lAws/5G_Drone.html

²⁵ 「特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律案」が閣議決定されました

<https://www.gov-base.info/2020/02/18/82100>

²⁶ 5G 投資促進税制を延長 地方活性化、控除は縮小―税制改正

<https://www.jiji.com/jc/article?k=2021120900992&g=economy>

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

4.4.4.1 継続利用の見通しに関する検討

実証においては、IHI 内においてソリューションを持続的に導入・利用するためのローカル 5G 活用モデルの構築と検証を行う。本実証における溶接の遠隔指導に加えて、将来的には、マザー工場に溶接に関する多様なデータを蓄積することで、技能の見える化による溶接士の早期育成、AI 分析による育成の自動化といった発展を目指している。こうしたソリューションの拡張及び実装という目的を達成するために、コンソーシアムにおいてローカル 5G 活用モデルの構築・検証に関する協議を行う。

具体的な検討方法としては、ユーザーズやコスト等を踏まえた経済性、運用・管理等に係る仕組みや方法、機器の所有権や、費用分担も含めた関係者間の役割分担等の体制、ビジネスモデル等、多面的な検討を行うことを想定している。実装に向けては、最適なネットワーク構成、システム要件の課題を整理し上で、継続利用する場合の運営体制や費用面についても、実証コンソーシアム内で実証期間中にも十分に協議・合意したうえで、ビジネスモデルの精緻化を図ることが重要であると考えられる。

本実証においては、これらの検討事項を確実に検証するため、以下の 6 回のコンソーシアム内での協議を実施することによって、ソリューション実装に向けた検討を行った。第 1 回～第 6 回までの協議においては、1 回あたり 2 時間程度の時間を確保し、それぞれ以下の協議内容とアウトプットとなる資料を用意し、計画的に議論を行った。

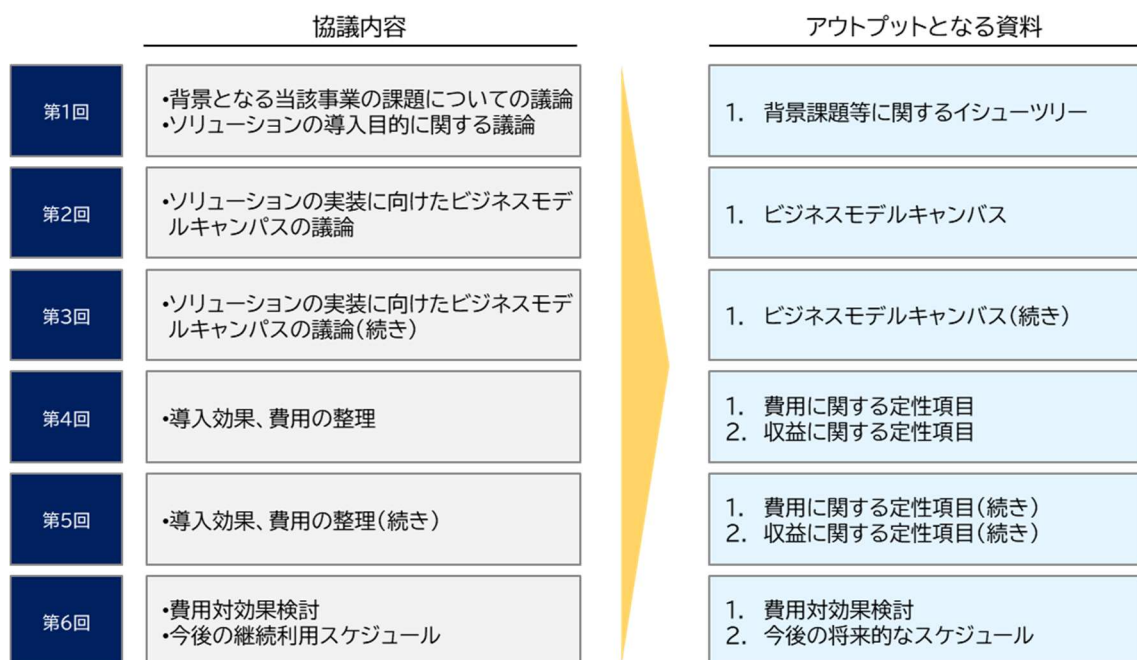


図 4-59 ローカル 5G 活用モデルの検討ステップ

(1) 第1回：ユーザ企業における課題、将来像及びソリューションに関する協議

第1回協議においては、ターゲット企業（ユーザ）の背景にある事業課題や、ソリューションの導入目的に関する議論、また現場でのオペレーション内容や潜在的な課題に関する確認を行い、イシューツリーをアウトプットとして作成した。

課題としては熟練技能者や溶接士数の不足が挙げられる。当該要員の不足に起因し、外注依存度の高まりを招いているが、外注溶接士の技能について十分に評価できず品質低下やトラブルが発生しており利益率の低減につながっている。

熟練技能者が不足している課題に対しては、非熟練技能者の技能向上を早めることが有効である。海外拠点などに対しては遠隔での指導が可能となるソリューション（以下、「遠隔指導ソリューション」とする。）の開発により、指導が可能となることで技能向上に資すると考えられる。また、国内拠点においても熟練技能者が指導のために拠点内を移動することによる時間を削減することで指導時間をより確保できると見込まれることから、技能向上を見込むことができる。

技能向上に向けたソリューションとしては、動作計測により技能者の「技能の見える化」を可能とすることも同様に有効であるとの結論に至った。各技能者の所持している技能を定量的に可視化することで、教育が必要な者の選定や訓練内容の精度向上により効果的な教育が可能になると効果が期待できる。また、熟練技能者の動きと乖離する動きがあれば品質に問題が発生する恐れがあることからリアルタイムでアラートを通知し、工程の手戻り防止が可能となると考えられる。

上記のような「技能の見える化ソリューション」を実装するにあたっては「技能」の定義について明確化する必要がある。具体的には溶接作業における「技能」とは溶接トーチの動きのみを指すのか、あるいは溶接士の膝の曲げ方などの体の使い方を含めて「技能」として定義する必要があるのか、それらの定義により取得すべきデータ並びにそれらの取得すべきデータをどのように取得するのかについて議論が必要であることを課題として抽出した。

「技能」を定義することで、熟練工による指導のみではなく AI による指導を可能とすることで技能向上に資すると考えられる。

また、技能継承とは異なる観点であるが、品質保証において AI による画像処理によって判定することで製造工程における早期の品質問題の検知等が可能となり、手戻りを防ぐことが出来るのではないかと意見が上がった。

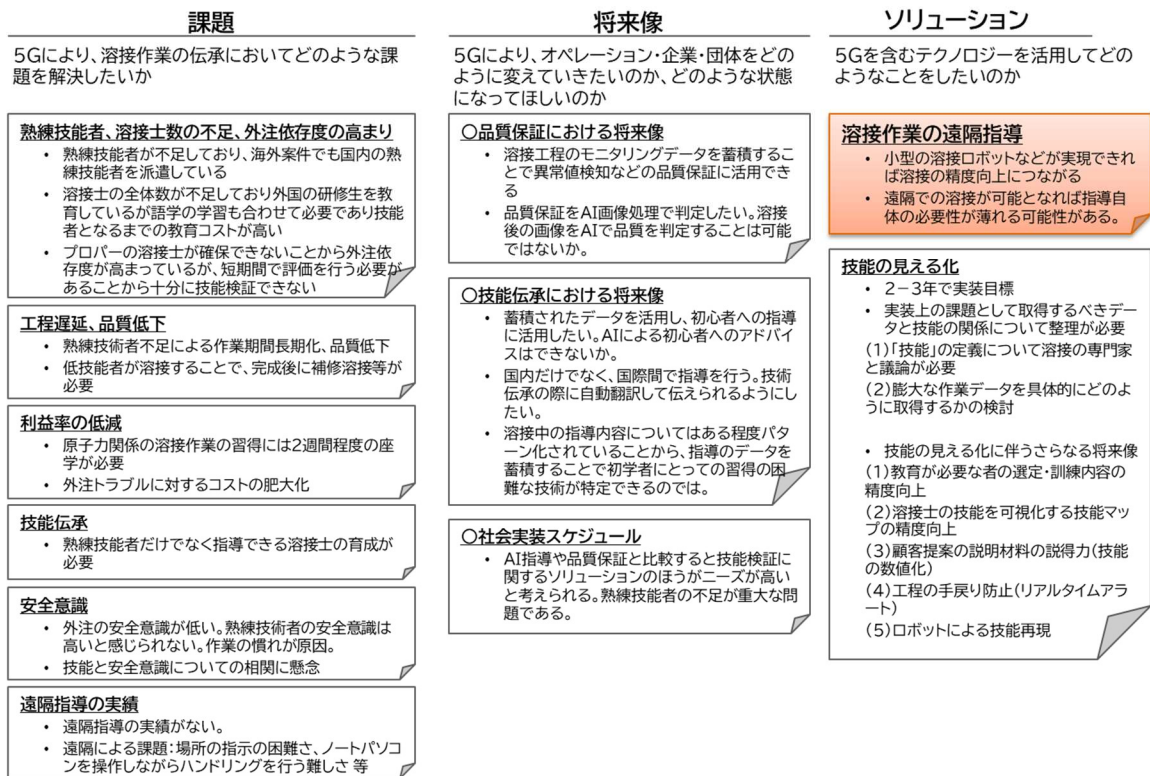


図 4-60 ユーザ企業における課題、将来像およびソリューション

(2) 第2・3回：遠隔指導・技能の見える化ソリューションにおける継続利用に関する協議

第2回協議では遠隔指導ソリューション、第3回協議では技能の見える化ソリューションにおける継続利用を検討スコープとし、ソリューションの実装に向けたビジネスモデルに関する議論を行った。なお、ビジネスモデルの検討にあたっては、ビジネスモデルキャンパスを使った検討方法を用いた。図4-61に示すように、ビジネスモデルキャンパスでは、VP（価値提案）を中心にCS（コスト構造）やRS（収益の流れ）、KP（キーパートナー）等のビジネスモデルを可視化し、実装に向けた訴求点を整理することに有効であると考えられる。

本実証においては、自社での継続利用に関するニーズや関係者との協力方法、コスト負担、収益化に向けた取組等について、ビジネスモデルキャンパスを用いたワークショップを関係者間で実施し、具体的な実装ステップに向けた議論を行った。

KP (キーパートナー)	KA (キーアクティビティ)	VP (価値提案)	CR (顧客関係)	CS (顧客セグメント)
	KR (キーリソース)		CH (チャネル)	
CS (コスト構造)		RS (収益の流れ)		

図 4-61 ビジネスモデルキャンパス

第2回の協議による遠隔指導ソリューションに関するビジネスモデルキャンパスの議論内容は下記のとおり。

溶接技術を用いる製造現場において、遠隔指導ソリューションを普及させていくためには、遠隔溶接指導に必要な品質や機能が十分に提供されることが重要であるが、VP(価値提案)の観点より製造現場においてメリットが実感できることが重要であると考えられる。

本ソリューションによって得られるVP(価値提案)とは、作業指導のための移動に関わるコスト削減、熟練技能者による指導時間の短縮、現場作業員の早期育成が考えられる。これらの価値を提供していくためには、5G通信インフラや熟練技能者による知見がKR(キーリソース)となる。一方で、継続利用の観点からはデータフュージョンシステムの高度化やソリューション導入費用の低価格化などがKA(キーアクティビティ)として重要となる。

ソリューションの導入にあたり、CS(コスト構造)としては5G通信インフラ導入・継続費用、現場計測機器の導入・継続費用、情報システム部・熟練技能者によるシステム成熟

のための人件費が挙げられる。それに対して RS（収益の流れ）としては熟練技能者による移動時間短縮による人件費・出張費の削減、熟練技能者の増加による受注機会の増大、技能向上による不良品率の低減を見込んでいる。

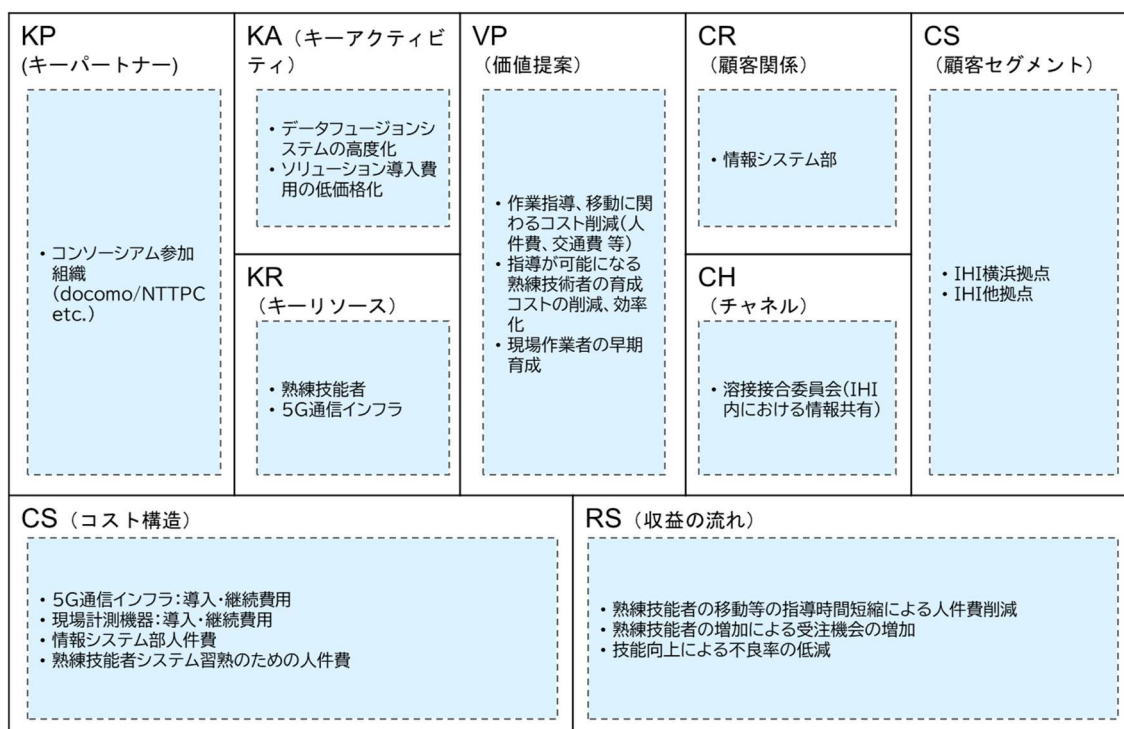


図 4-62 第 2 回協議 (遠隔指導ソリューション) の検討資料

第 3 回の協議による技能の見える化ソリューションに関するビジネスモデルキャンバスの議論内容は下記のとおり。

溶接技術を用いる製造現場において、技能の見える化ソリューションを普及させていくためには、技能の見える化に必要な品質や機能が十分に提供されることが重要であるが、VP（価値提案）の観点より製造現場においてメリットが実感できることが重要であると考えられる。

本ソリューションによって得られる VP（価値提案）とは、指導時間の削減や若手の早期育成等が考えられる。これらの価値を提供していくためには、5G 通信インフラや熟練技能者による知見、動作計測に関する知見が KR（キーリソース）となる。一方で、継続利用の観点からはデータフュージョンシステムの高度化やソリューション導入費用の低価格化、動作計測のためのデータ蓄積などが KA（キーアクティビティ）として重要となる。

ソリューションの導入にあたり、CS（コスト構造）としては 5G 通信インフラ導入・継続費用、現場計測機器の導入・継続費用、情報システム部・熟練技能者によるシステム成熟のための人件費が挙げられる。それに対して RS（収益の流れ）としては熟練技能者による移動時間短縮による人件費・出張費の削減、熟練技能者の増加による受注機会の増大、技能向上による不良品率の低減を見込んでいる。

<p>KP (キーパートナー)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンソーシアム参加組織 (docomo/NTTPC/東京大学etc.) 	<p>KA (キーアクティビティ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データフュージョンシステムの高度化 ・ソリューション導入費用の低価格化 ・動作計測のためのデータ蓄積 	<p>VP (価値提案)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・指導時間の削減 ・技能の見える化 ・若手の早期育成 ・採用時技能の判定 ・品質保証の機械化 ・熟練技能者による教育プログラムの提供 	<p>CR (顧客関係)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・情報システム部 	<p>CS (顧客セグメント)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・IHI横浜拠点 ・IHI他拠点
<p>KR (キーリソース)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・熟練技能者 ・5G通信インフラ ・データフュージョンシステム ・動作計測知見 		<p>CH (チャネル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・溶接接合委員会 (IHI内における情報共有) 		
<p>CS (コスト構造)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5G通信インフラ: 導入・継続費用 ・データフュージョンシステム: 導入・継続費用 ・現場計測機器: 導入・継続費用 ・情報システム部人件費 ・熟練技能者システム習熟のための人件費 			<p>RS (収益の流れ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・熟練技能者の移動等の指導時間短縮による人件費削減 ・熟練技能者の増加/技能の見える化による受注機会の増加 ・採用時技能判定による育成コスト低下 ・技能向上による不良率の低減 ・品質保証の機械化による手戻り防止 ・教育プログラムの提供による利用料(都度/継続) 	

図 4-63 第3回協議 (技能の見える化ソリューション) の検討資料

(3) 第4・5回：CS、RSの洗い出しおよび定性評価

第2回および3回の協議によって継続利用を行っていく上でのCS（コスト構造）およびRS（収益の流れ）について洗い出しを行った。算出にあたってのそれぞれの前提条件は下記のとおりであるが、「技能の見える化ソリューション」については今後5年間で収益性へ貢献することが難しいと考えられることから「遠隔指導ソリューション」について算出の対象とした。

表 4-30 CS、RS 算出における前提条件

対象拠点数	1 拠点（IHI 横浜事業所）
対象費用	導入費用、継続費用
期間	実証完了後、5 年間（令和4年4月～令和9年3月）
対象ソリューション	遠隔指導ソリューション

CS（コスト構造）としては、5G 通信インフラ、超短遅延ソリューション、データフュージョンシステムそれぞれの導入費用および継続費用が必要となることについて確認した。

なお、費用対効果算定にあたり CS（コスト構造）については定量的な評価を行うこととするが、RS（収益の流れ）については、技能向上による定量的な評価を行うことが困難であると考えられることから定量的な評価は行わず、定性的な評価のみ実施することを合意した。

CS (コスト構造)	RS (収益の流れ)
<ul style="list-style-type: none"> •5G通信インフラ(docomo) •超短遅延ソリューション(docomo) •データフュージョンシステム(NTTPC) 	<ul style="list-style-type: none"> •遠隔指導ソリューション活用による収益増(例: 指導に伴う時間の効率化、受注機会の増大、不良率の低減等)

図 4-64 第4・5回協議（CS、RSの定性評価）の検討資料

(4) 第6回：費用対効果および今後の継続利用に関する協議

第4・5回協議による前提条件のもと、費用に関する具体的な定量評価を行った。

初期費用については、5G通信インフラについて約900万円、超短遅延映像伝送システムについて約400万円、データフュージョンシステムについて約70万円となる。

5年間の継続費用については、5G通信インフラについて約50万円、超短遅延映像伝送システムについて約100万円、データフュージョンシステムについて約1,800万円となる。

表 4-31 5G通信インフラおよび各ソリューション費用

ソリューション	初期費用	継続費用/5年
5G通信インフラ (4.5GHz)	約900万円	約50万円
データフュージョンシステム	約70万円	約1,800万円
超短遅延映像伝送システム	約400万円	約100万円

ソリューションを導入することによる収益面の検討としては、前回までの協議内容を踏まえ定性的な評価を行った。

遠隔指導ソリューションを導入することにより、「技能向上による受注機会の増大」「技能向上による不良品率の低下」「出張費の削減」を見込むことができる。それぞれの効果による算出式は下記のとおり。

表 4-32 遠隔指導ソリューションの導入によるRS

期待効果	効果算出式
技能向上による受注機会の増大	5年間の新規獲得案件平均売上×技能向上による増加率
技能向上による不良品率の低下	5年間の不良品による損失額×技能向上による減少率
出張費の削減	出張費+ (指導人員人件費/時×移動時間) ×5年間の出張回数

4.4.4.2 継続利用に対する計画

継続利用としては IHI 横浜事業所における利用を予定している。

遠隔指導ソリューションに関しては、IHI 社内における継続利用として、令和 4 年度は横浜事業所における継続利用を予定している。なお、費用に関しては 4.4.4.1 継続利用の見直しに関する検討(4) 第 6 回：費用対効果および今後の継続利用に関する協議にて記載している金額となるが、IHI 社の研究開発の一環として負担する予定である。

令和 5 年以降においては IHI 社内の他拠点への展開を順次進めていく予定である。一方で拠点展開にあたっては 4.4.3.2 課題実証から得られた課題及び、課題の解決策にて記載しているとおり、カメラの追加等システム構成の再検討や、機材の省配線化などの課題を解消する必要があるため、これらの課題について令和 4 年度中に解消を図る。

技能の見える化ソリューションに関しては、ソリューションの検討に期間を要すると見込まれており、令和 5 年度末までブラッシュアップが必要と考えられる。なお、技能伝承システムの継続利用にあたって、今後の検討課題として明らかになった点は、4.4.5 章において考察を行っているので参照いただきたい。例えば、溶接士の作業姿勢に関する分析では、映像による特徴点の抽出率が低い問題が生じたが、その要因として、①防御用シールドを顔にあてての作業となる為、鼻、両耳、両目の抽出が困難、②溶接時のアークの発光及び火花の発生により、人物の推定及び特徴点の抽出ができていないフレームがある、③抽出できる特徴点数が少ない場合、人物姿勢推定の精度が落ち特徴点の座標がぶれる場合があるといったことが考えられる。そして、これらの課題に関する要因を解決するためには、姿勢変化が少ないながら精度が求められる環境、映像の光量変化が激しい等の条件下にある姿勢推計解析には、指の動き、目の動き等の細かな姿勢データが取得できるセンシングが必要であり、複数センサや映像と組み合わせた精度の高い姿勢検知の仕組みを今後、検討する必要がある。そのため、令和 4 年度、5 年度においては、これらの分析によって見えてきたセンシング方法の検討を実施する必要がある。また、令和 6 年度、7 年度においては、検討結果をもとにソリューション構築を行うことが考えられ、令和 8 年度を目標に、可視化されたデータを活用した AI 指導や、品質保証、遠隔指導といった応用を行うことが想定される。また、実装に向けたブラッシュアップにおいては、IHI 社独自の研究開発に加えて、大学等による研究開発支援も重要であると考えられることから、今後も研究開発に関する連携を図ることを想定する。

AI 指導、品質保証に関しては現時点では構想段階であり、具体的なソリューションの開発については令和 5 年度後期以降となる見込みである。これらのソリューションの開発にあたっては、AI の精度向上のために教師データが必要となると考えられることから、遠隔指導や技能の見える化の活用を進めることで十分な量のデータを蓄積することが重要である。こうした AI 指導、品質保証の取組は、技能の見える化ソリューションによって得られたデータを活用することで、製造現場の省人化、収益化に繋がる取組となることが期待される。

マスタスケジュール		令和4年度		令和5年度		令和6年度		令和7年度		令和8年度	
		前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期
マイルストーン			遠隔指導の 他拠点展開								
遠隔指導	IHI内ブラッシュアップ	ブラッシュアップ		継続							
	IHI内拠点展開		展開 拠点判断	順次IHI内拠点展開							
見える化 技能の 向上	IHI内ブラッシュアップ	ブラッシュアップ		継続							
	IHI内拠点展開		展開 拠点判断	順次IHI内拠点展開							
AI活用	ソリューション開発			ソリューション開発		ブラッシュアップ					
	IHI内拠点展開						展開 拠点判断	順次IHI内拠点展開			
品質保証	ソリューション開発			ソリューション開発		ブラッシュアップ					
	IHI内拠点展開						展開 拠点判断	順次IHI内拠点展開			

図 4-65 IHI における継続利用スケジュール

4.4.5 課題実証における追加提案

4.4.5.1 背景・概要

本追加提案では、溶接作業の技能伝承を例として、IoT・5G 技術を利用した技能伝承支援システムの実現可能性を検討する。技能伝承支援システムでは、工場等実際に技能者が働く現場においてカメラ、センサ等で取得したさまざまな熟練溶接技術者のデータを、クラウドサーバへ送信し、それらを教師データとしてAIが学習することにより、非熟練溶接技能者が作業する際に、熟練溶接技能者の手を介することなく、技能のコツや修正すべき身体や道具の使い方などに関して、クラウドサーバから現場へリアルタイムにフィードバック・作業指示を行うシステムの実現を目指している。

本追加提案ではその第一歩として、溶接士が実際に溶接しているワークの状態や、溶接士の動作、その際の溶接状態等を、カメラ、モーションセンサ、マイク等で計測し、クラウドサーバ上にそれらのデータを送信したうえでデータから溶接作業の質を解析するデータ処理方法等を検討する。これにより、溶接作業を例とした技能伝承システムを実現するにあたっての課題抽出を目指す。

4.4.5.2 評価・検証項目

技能伝承支援システムの実現可能性を検討するために本追加課題で実施する評価・検証項目を次表に示す。

表 4-33 評価・検証項目

評価・検証項目	概要
A: 溶接作業の記録	<ul style="list-style-type: none">計測した溶接作業のデータが、適切なデータ処理の元、下記B.の溶接作業の分析に資する形でクラウドサーバ上に記録されていることを確認する。
B: 溶接作業の分析	<ul style="list-style-type: none">熟練者と非熟練者とで、記録した溶接作業データにどのような違いがあるかを分析する。上記分析の結果、非熟練者の改善点、上達のコツなどを抽出できるか検討する。
C: 技能伝承システムとしての技術課題の提示	<ul style="list-style-type: none">上記の検討をもとに、非熟練者への訓練方法の提示方法（フィードバック）を検討する非熟練者の技能取得、早期習熟をサポートする技能伝承システムを目指すにあたって、上記「A: 溶接作業の記録」の評価検証を元に、現状どのような課題が存在するか、またその解決案があるかを検討する。非熟練者の技能習得、早期習熟をサポートする技能伝承システムを目指すにあたって、上記「B: 溶接作業の分析」の評価検証を元に、現状どのような課題が存在するか、またその解決案があるかを検討する。

4.4.5.3 事前調査

(1) 企業による事例

日立建機は溶接作業の定量データ化を実施している²⁷。約 20 人の若手技能者を対象に、溶接作業中の動作に関するデータを収集し、複数のカメラによる撮影やモーション・キャプチャー技術を利用して、作業中の視線の他、溶接トーチを動かす速度、電流・電圧などの加工諸条件、溶接部の状態といった情報の定量化を行っている。

またアキュイティ株式会社では、熟練技術者の勘・コツ・暗黙知を数値化・可視化するソリューションを提供している²⁸。一例として、溶接者が使用する作業器具の最大角度は 90 度で有意な差はみられないものの、同一タイミングでは非熟練者は 67 度、熟練者は 82 度と大きく差があることが判明している。熟練者は道具を一定に保っているのに対し、非熟練者は作業ごとに道具を大きく動かしており、非熟練者の動作が大きいことは計測した数値にも現れている。それに加え、作業時間についても、非熟練者と熟練者には大きい差異があることが確認されている。

作業中の視点にも差異が見られることが知られている。非熟練者は作業のタイミングでその箇所のみを注視し、他に目を向けていないのに対して、熟練者は作業中に次の作業箇所を先に注視し、さまざまどころへ目を向けている。

(2) 大学における研究開発

溶接の技能教育と溶接技能解析システムの開発²⁹では、若者の技能離れや熟練技能の伝承に関する問題が取りざたされている現状を踏まえて、溶接技能に関する考察や、溶接技能の解析や熟練技能の伝承が可能となる装置として開発を進めてきた「溶接技能解析システム」の概要について解説されている。

アーク溶接の作業環境は非常に特殊であり、これらの溶接について初めて学ぶような場合には、幾つかの面で克服しなければならない状況と向き合うことになる。

メンタル的な面で克服すべき状況として、溶接中はアークや溶融池から高温の金属火花が周辺に飛び散るなど、通常の生活では体験したことがなく、危険とも感じられるような作業環境に対する恐怖心を克服する必要があるとされている。また感覚的、身体的な面で克服すべき状況として、溶接作業特有の姿勢で、刻々と変化する溶接状況に応じたトーチ操作を的確に行うことが難しいなど、溶接作業に特有な作業スタイルに関する違和感を克服する必要があるとされている。

紹介されている溶接技能データの解析例によると、熟練技能者の溶接はトーチの上下動

²⁷ 次世代への技能伝承のため、溶接作業を定量的なデータで見える化

https://www.hitachicm.com/global/jp/news-list_jp/20-04-20j/

²⁸ 熟練技術者の勘・コツ・暗黙知を可視化する技術伝承ソリューション

<https://www.acuity-inc.co.jp/pickups/knowhow/docs/20201012/>

²⁹ 日向輝彦：溶接の技能教育と溶接技能解析システムの開発，ものづくり大学紀要，第 3 号，2012，p.88-94

がほとんどなく、非常に安定したトーチ操作により溶接が行われていた。非熟練者の場合は、溶接はほぼ良好な結果が得られているものの、その時のトーチ軌跡は、熟練者の場合に比べて、ウィービング操作の幅やピッチが不安定である。

MAG 溶接中の溶落ち現象に伴うアーク音の計測³⁰では、MAG 溶接中の溶落ち現象に伴うアーク音の計測結果に関して報告されている。溶落ち後、熔融池の欠如に伴いアーク形態が大きく変動する。それに伴って、アーク音は変動する。他の現象に伴う雑音が十分小さい場合、溶落ちに伴うアーク音は計測可能である。この場合、溶落ちはアーク音と溶接電流によって検知が可能と考えられるとのことである。

(3) 理想の溶接

IHI 内の溶接技能者に理想の溶接に関してヒアリングを行った。ヒアリングの結果、以下の 2 つの条件を満たしたときに理想の溶接が実現できることが判明した。

- ① 開先に対して、理想の積層をイメージできる
- ② イメージした積層を再現できる

非熟練者は上記①と②の両方もしくは片方が実現できず、その結果として欠陥等が生じる可能性が高まる。ただし、熟練者でもときには上記①のイメージを誤る場合があり、非常に難易度が高い技能であることも判明した。

上記①に関連して、熟練度別の溶接パスの積層イメージを図 4-66 に記載する。この図は今回の試験内で実施した溶接作業上でのイメージであり、すべての溶接作業に共通してこの積層が最適であるわけではない点に注意されたい。溶接技能が熟達するにつれて、溶接対象に対して積層を適切に積み上げることができるようになる。各層でイメージ通りに積層を積み上げるためには、階層に応じてトーチを適切に動かす必要がある。

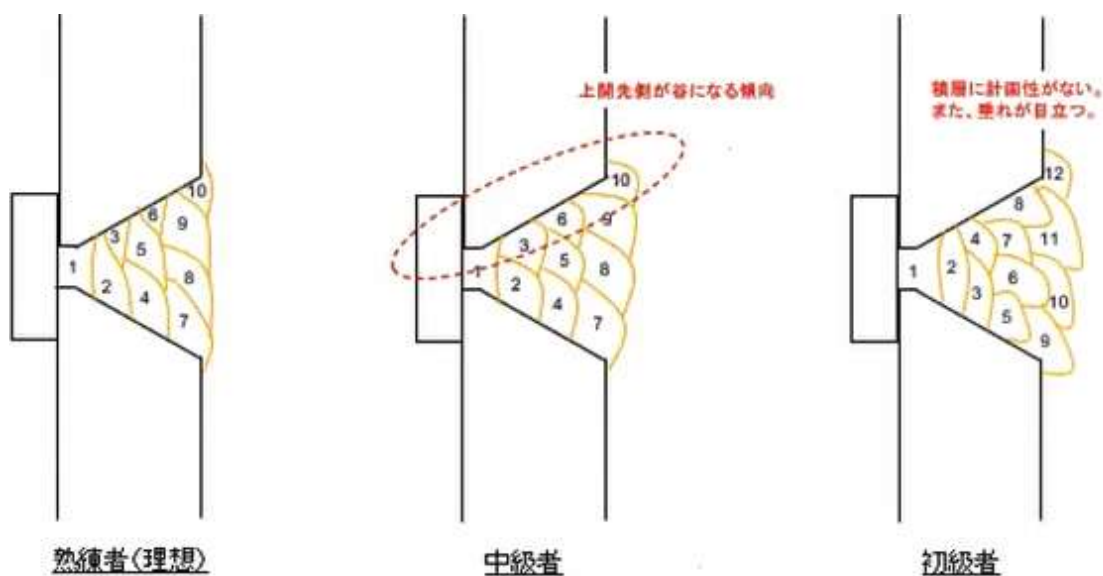


図 4-66 積層のイメージ

³⁰ 井上勝敬他: MAG 溶接中の溶落ち現象に伴うアーク音の計測, 溶接学会論文集, 第 11 巻, 1993.

事前調査およびヒアリングを踏まえて、カメラ・センサ等から取得可能と思われるデータを想定のもと、熟練者と非熟練者にどのような違いが出てくるかを仮定した。その図を図 4-67 に示す仮定を基に取得できたデータを分析し、評価を実施する。

熟練者と非熟練者における違いの仮定

デバイス	取得可能と思われるデータの仮定	熟練者と非熟練者の違いの仮定	特徴量になり得る変数の仮定
カメラ（全体俯瞰）	作業時間	熟練者より非熟練者の方が時間がかかる	同じ作業における作業時間
カメラ（作業者視点）	頭部、視線の動き	熟練者は作業中に次の作業箇所を先に注視し、さまざまなところへ目を向けているのに対して、非熟練者は作業のタイミングでその箇所のみを注視し、他に目を向けていない 熟練者は頭の動きが少ないが、非熟練者は慣れない金属火花により身体や頭の動きが大きい	視線の移動距離 頭部の移動距離
カメラ（溶接対象）	割れ、融合不良、溶込不良の欠陥 道具の位置、溶融池の形状	熟練者による仕上がりは、欠陥がなく品質が高いのに対し、非熟練者は熟練者に比べると低い、あるいは欠陥がある	欠陥の個数など ワイヤの位置、角度、溶融池のなど位置情報
マイク（溶接音）	音声波形	熟練者は溶接アーク音が一定であるのに対し、非熟練者はアーク音の変化が多い	振幅、周波数、周波数スペクトル
クランプメータ（電流計・電圧計）	電流・電圧値	熟練者は適切な電流・電圧を一定に維持するのに対し、非熟練者は適切な値を維持できない	電流・電圧値
モーションセンサ（IMUセンサ）	身体・頭の動き	熟練者は身体や頭の動きが少ないが、非熟練者は慣れない金属火花により身体や頭の動きが大きい	身体や頭の移動距離 身体や頭の動き
	トーチの動き	熟練者は道具を一定に保っているのに対し、非熟練者は作業ごとに道具を大きく動かしている	トーチの角度、角速度
	ウィーピング操作		ウィーピングの幅の大きさ、速度

図 4-67 溶接作業における熟練者と非熟練者における違いの仮定

4.4.5.4 評価・検証方法

評価・検証方法について次表に示す。なお、熟練者、非熟練者のデータ解析は、データ解析の技術者によって実施し、工学的なデータの有意差などを調査する。ただし、そのデータ解析では、データ解析技術のみならず、溶接作業に関する有識者の知見をも必要とするものと想定している。熟練者および非熟練者へのアンケートやヒアリング、熟練者および非熟練者とのディスカッションを通じて、溶接技能と相関のある特徴量を検討し、データ解析を実施する。

また、本追加提案における計測では、基本提案部分のシステムに加えて IMU センサを用いた動作計測を追加する。また、溶接トーチに装着した IMU センサも併用し、溶接時の溶接トーチの動きを記録する。

表 4-34 評価・検証方法

評価・検証項目	検証方法
A: 溶接作業の記録	<ul style="list-style-type: none"> 基本提案において取得予定のカメラ映像、電流・電圧値、マイク音声に加え、慣性計測装置（IMU センサ）を用いて溶接作業者の姿勢情報を取得する。IMU センサは、その他のセンサと比較してデータ粒度が高いため、データフュージョンの技術的難易度が高い。なお、取得したデータはエッジボードにおいてタイムスタンプを付与し、データが同期したフュージョンデータとして IoT フレームワークおよび 5G 通信網を介してクラウドへ伝送・蓄積される。
B: 溶接作業の分析	<ul style="list-style-type: none"> 溶接の質と画像特徴量などの時系列データの相互相関を分析し、熟練者と非熟練者とを比較することにより溶接の質を左右する物理的要因を抽出する。さらにその要因と音声・センサデータ等の相互相関を分析することで、溶接の質と相関のある動作を見いだす。
C: 技能伝承システムとしての技術課題の提示	<ul style="list-style-type: none"> データ分析結果および IHI 社内の高技能溶接士へのヒアリング結果を踏まえ、技能伝承システムを実現するうえでの技術課題を抽出する。

4.4.5.5 実証結果及び考察

(1) 溶接作業の記録

将来的には、取得した画像・音声に基づき機械学習を行うことで非熟練者に対してリアルタイムにフィードバックする仕組みの開発を目指している。そのため、今回はその要素技術となるフュージョンデータについて、クラウドに伝送・蓄積されたデータをプレイバックして検証することで全てのカメラ・マイク・センサデータについてデータの同期ズレやデータ欠損が生じていないことを確認する。令和4年2月以降に本番データとして取得したデータについては、IMU センサのみ一部欠損があったものの、そのほかについては適切に同期のうえクラウドに伝送・蓄積されていることを確認した。

また、取得したデータの一覧を図 4-68 に示す。本追加提案では、令和4年2月以降に取得できた本番データを主に利用して解析を行う。

No.	形式	取得日	データ（全体を映す動画はモニタリング用なので、外している）					熟練度
			作業者動画	溶融池動画	音声	電流・電圧	IMU動作	
-	サンプル	2021/12/27	○	○				不明
-	サンプル	2022/1/12		○	○		○	初心者1名 熟練者1名
-	サンプル	2022/1/17		○	○	○	○	初心者1名 熟練者1名
-	サンプル	2022/1/18		○				不明
-	サンプル	2022/1/27	○	○	○	○	○	不明
A-H-1	本番	2022/2/7	○	○	○	○	×	初心者
A-H-2	本番	2022/2/8	○	○	○	○	×	初心者
A-H-4	本番	2022/2/14	○	○	○	○	×	初心者
A-H-5	本番	2022/2/14	○	○	○	○	一部あり	初心者
B-H-1	本番	2022/2/15	○	○	○	○	○	初心者
C-H-1	本番	2022/2/10	○	○	○	○	○	中級者
C-H-2	本番	2022/2/10	○	○	○	○	×	中級者
E-H-1	本番	2022/2/9	○	○	○	○	○	熟練者
F-H-1	本番	2022/2/9	○	○	○	○	○	熟練者

図 4-68 取得データの一覧

(2) 溶接作業の分析

溶接の質と画像特徴量などの時系列データは、溶接作業ごとに図表化することにより、特徴量の大きさやタイミングの差異を可視化する。そのうえで相互相関関係を分析することにより、視覚的かつ解析的に熟練者と非熟練者とを比較し、溶接の質を左右する物理的要因を考察する。さらにその要因と音声・センサデータ等に関しても、溶接作業ごとに図表として可視化を行い、そのうえで相互相関関係を分析することにより溶接の質と相関のある溶接動作を視覚的かつ解析的に明らかにすることを目指す。

(i) 作業者視点映像

作業者視点の動画より、熟練者と非熟練者との間で頭部の動きおける差異に関して検証した。

① 使用データ

今回取得した動画データは、1 ファイルにつき 1 人の溶接者が複数回溶接を実施するものである。今回は熟練者 2 名と非熟練者 2 名の溶接動画について分析を行った。

溶接中の動画のみを抽出することで 1 回あたりの溶接時間も把握できるため、熟練者 2 名と非熟練者 2 名の溶接時間における基礎統計量を算出し、分布を可視化した。熟練者は 27 パス、非熟練者は 49 パス分データを取得できた。beginner は非熟練者、expert は熟練者を表す。

表 4-35 熟練者と非熟練者の 1 回あたりの溶接時間 [秒]

	データ数	平均	標準偏差	最小値	25%	50%	75%	最大値
熟練者	27	46.1	14.3	21.0	32.0	45.0	56.0	69.0
非熟練者	49	51.0	16.7	3.0	43.0	51.0	60.0	86.0

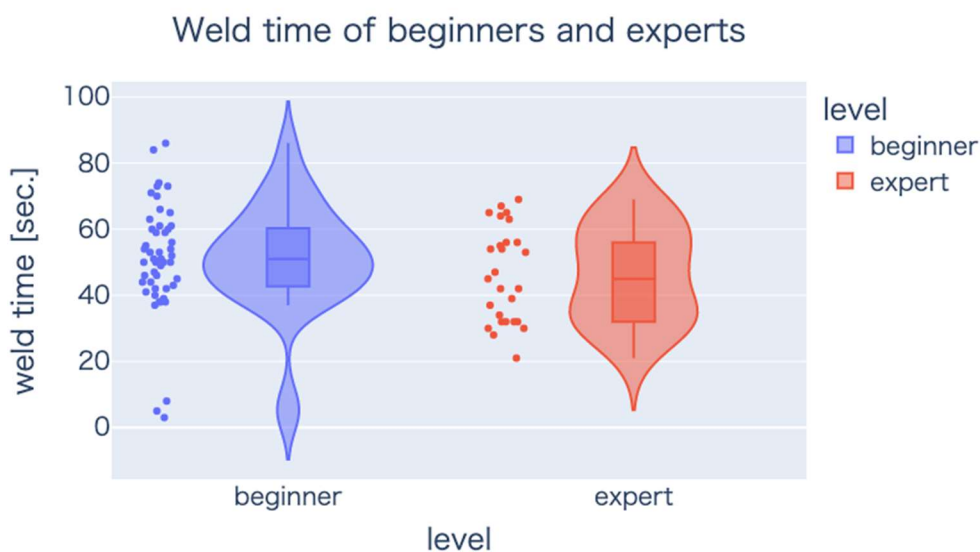


図 4-69 熟練者と非熟練者の 1 回あたりの溶接時間の分布

② 評価・検証

全溶接において、頭部と溶接対象の距離は一定と仮定した上で実施した。また画面上のアーク光の動きと頭部の動作が同期しているとした上で、画像の物体追跡技術によりアーク光の動きの解析を行った。アーク光を追跡した理由として、全体的に暗い画質の中でアーク光の輝度が高く、検知しやすいためである。追跡対象に探索窓を設けて、各動画にて追跡可能であるか確認した。動画開始時点にて探索窓の初期位置からアーク光を検知するまで数秒時間がかかるケースと、飛び散る火花と一緒に探索窓も一緒に動作してしまう事象も確認されたが、それらのケースを除けば常にアーク光を追跡可能であった。図 4-70 に画像解析の様子を示す。

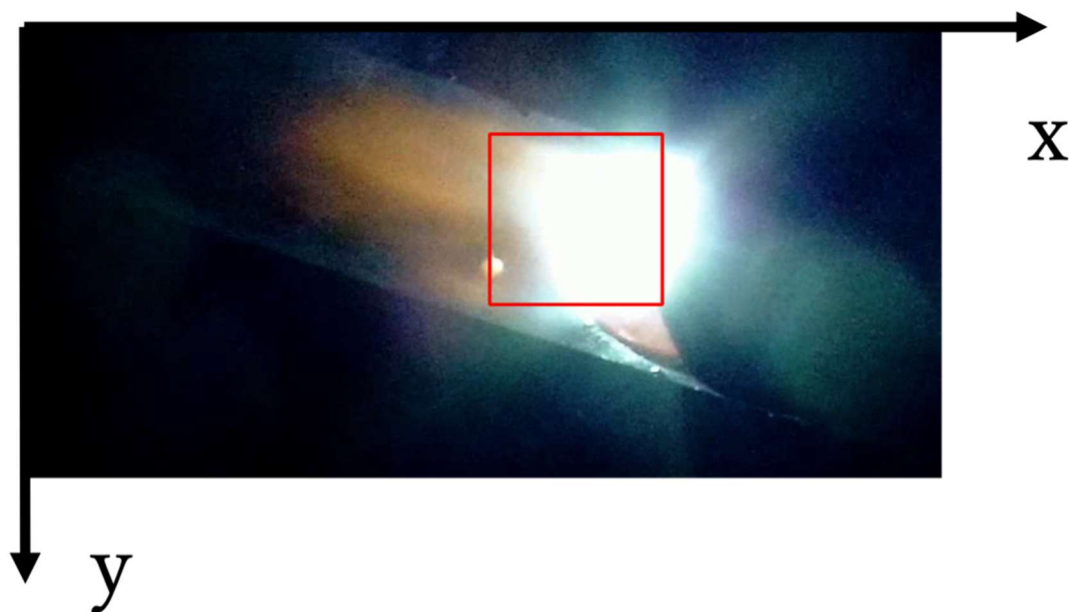


図 4-70 アーク光の追跡

探索窓の重心座標 x,y をその画像における位置情報とした。それらの階差を計算し、熟練者と非熟練者の x,y 方向の動きの分布について観察した結果を図 4-71 に示す。また x,y 方向は単に画像における軸を表したものであるため、 x,y の階差から画像上での距離を算出し、時系列プロットしたものを図 4-72 示す。

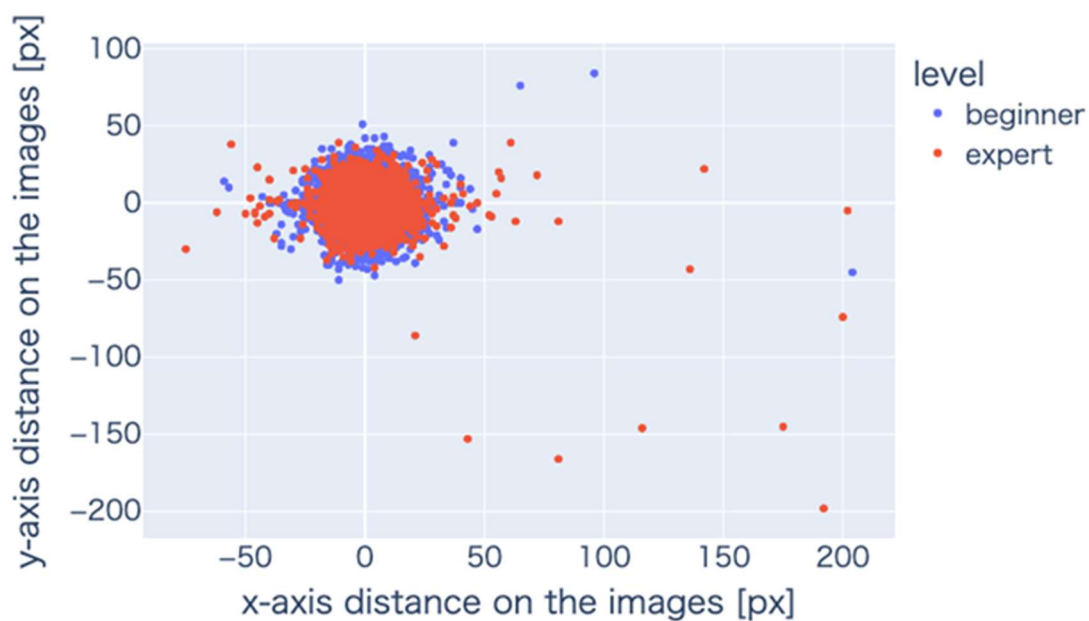


図 4-71 熟練者と非熟練者における画像 x,y 軸の頭部動作

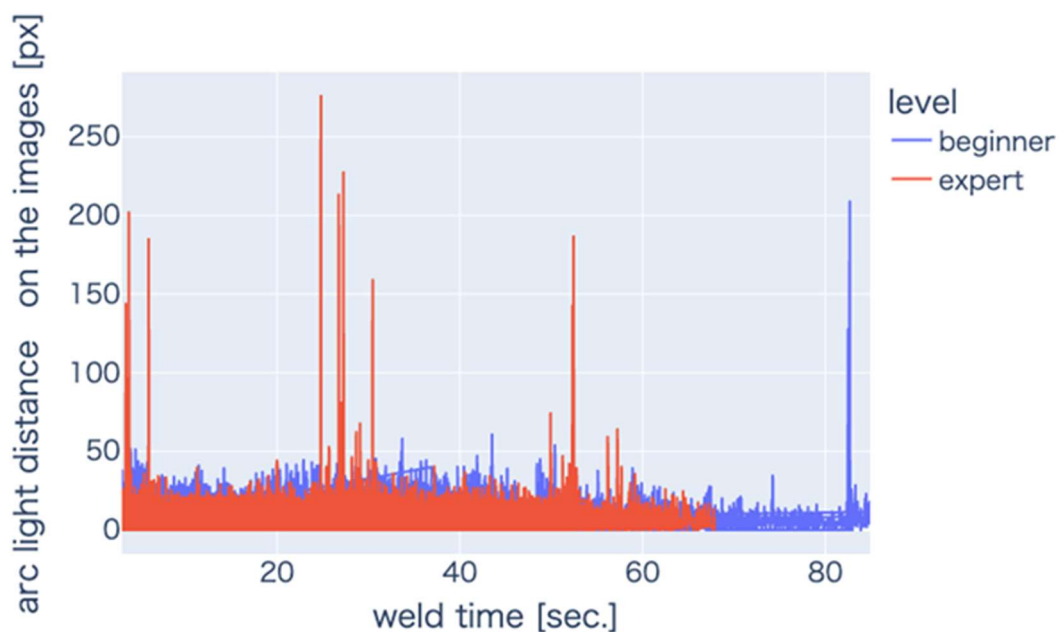


図 4-72 熟練者と非熟練者における頭部の移動距離の時間変化

画像上でのアーク光の移動距離を頭部の動作として、その平均値、標準偏差から熟練者と非熟練者における有意差と相関について調査した。有意差について調査するために、統計的検定を実施した。今回熟練者の非熟練者の独立した 2 群と考えると、ノンパラメトリック検定³¹であるマン・ホイットニーの U 検定により検証を行い、有意水準を 5%と設定し

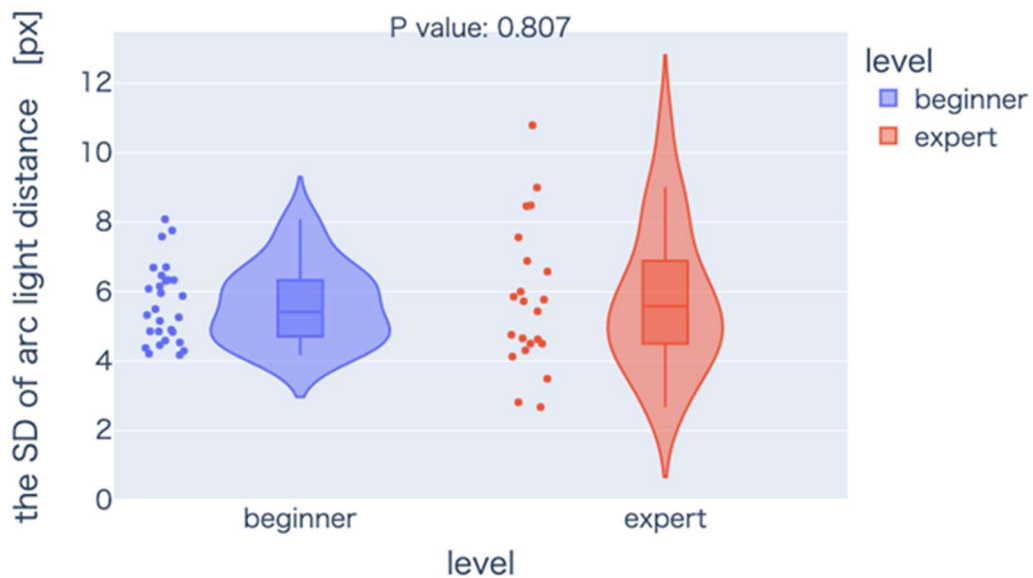
³¹ データ科学便覧, https://data-science.gr.jp/theory/tbs_parametric.html

た。

熟練者と非熟練者における頭部の移動距離に有意差があるか検証した結果、P 値が移動距離の平均値で 0.022, 移動距離の標準偏差で 0.807 であった。以上より移動距離の平均値では有意差があり、移動距離の標準偏差では有意差がないという結果になった。移動距離の平均値と標準偏差の分布は図 4-73 に可視化した。



(a) 平均値



(b) 標準偏差

図 4-73 熟練者と非熟練者における頭部の移動距離における平均値と標準偏差の分布

続いて、熟練者と非熟練者の頭部の移動距離との相関について調査した。熟練度を表すカテゴリデータと移動距離を表す数値データの相関性が調べる必要がある。カテゴリデータと数値データの相関については、相関比を指標とした³²。相関比の計算を行った結果、移動距離の平均値では 0.173, 移動距離の標準偏差で 0.130 であり、相関性は低いと判断される。図 4-74 にそれぞれの分布を示す。

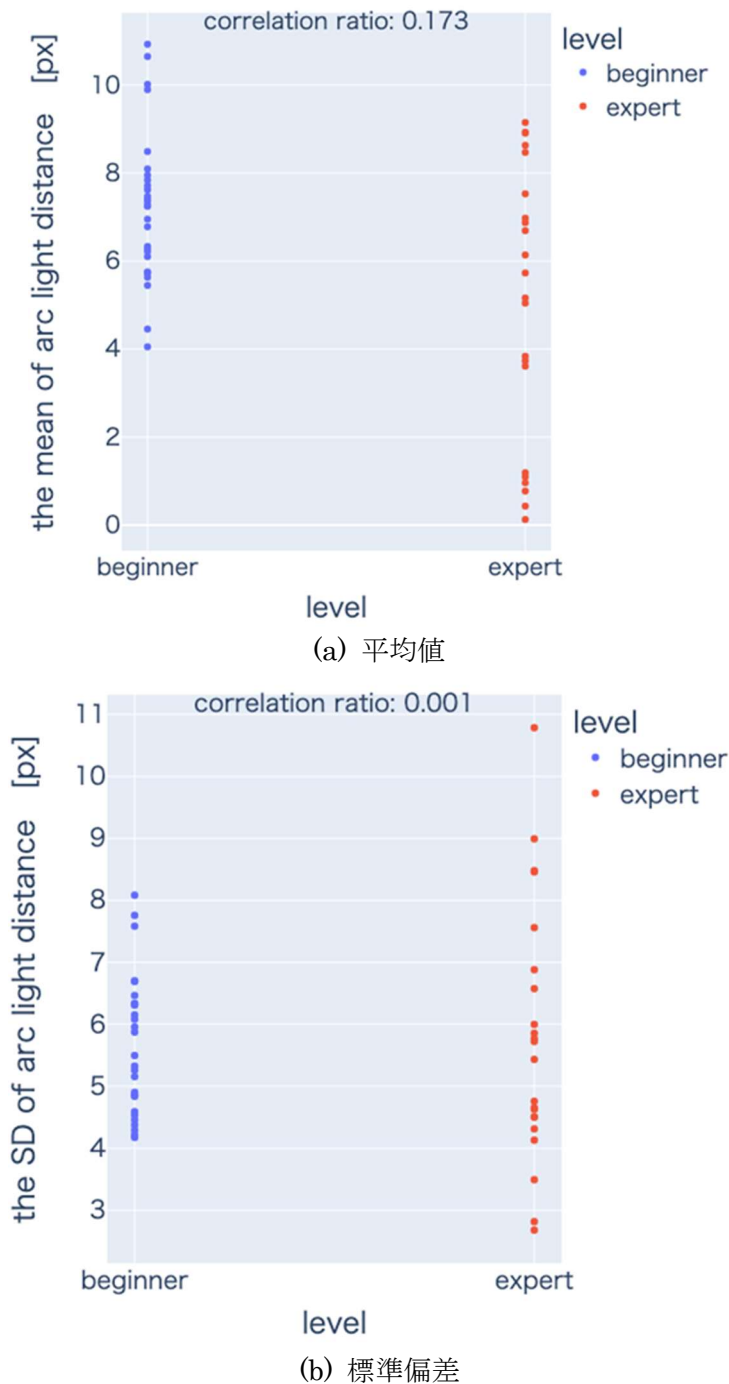
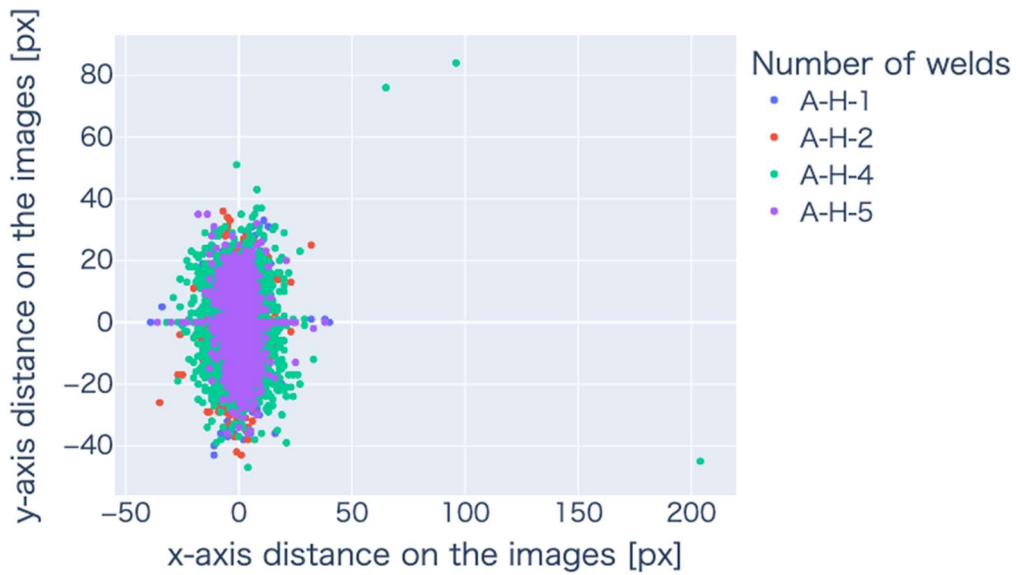


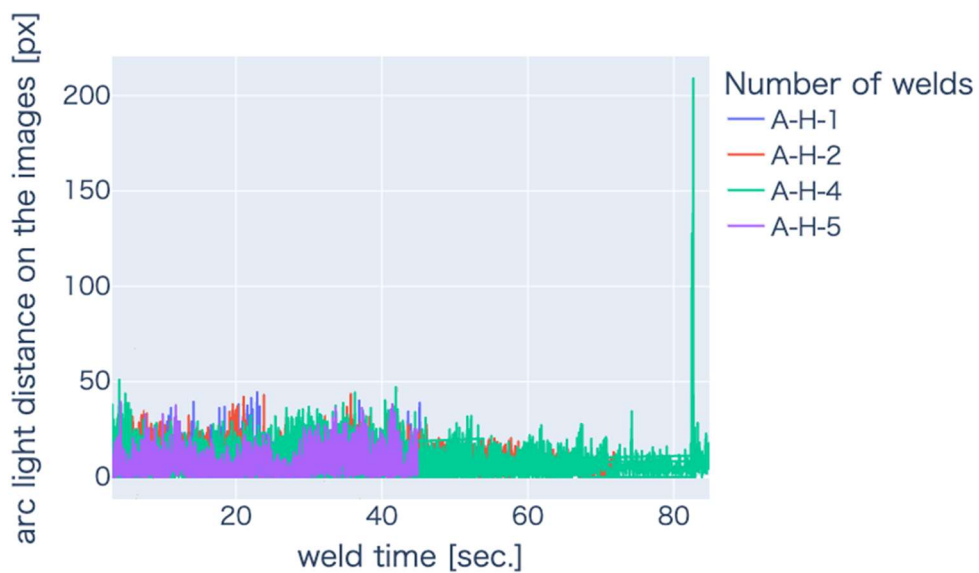
図 4-74 熟練者と非熟練者における頭部の移動距離における平均値と標準偏差の分布

³² Bell Curve 統計 WEB: <https://bellcurve.jp/statistics/glossary/2123.html>

ここで非熟練者の 1 名に着目し、熟練者からの指導の前後における頭部動作について図 4-75 に可視化する。A・H・n における n の数値は、何度目の溶接作業に関するデータであるかを示している。初回の溶接作業である A・H・1 は指導なしであり、A・H・2 以降は 1 回毎に熟練者の指導が入ったものである。



(a) 非熟練者における溶接回数と画像 x, y 軸の頭部動作



(b) 非熟練者における溶接回数と頭部の移動距離の時間変化

図 4-75 非熟練者 1 名の頭部の移動距離の変化

③ 考察

熟練者と非熟練者の頭部動作について分析し、有意差と相関について調査した。頭部の移動距離の平均値については有意差ある結果となり、移動距離の平均値、標準偏差ともに相関性は低い結果であった。

今回溶接者へは事前に、動画撮影の関係上、頭部を出来る限り動かさないよう指示がされていた。熟練者と非熟練者との間に移動距離の差があったのは、溶接以外の指示を受け止める心の余裕の違いなのかどうかは不明であるが、実際に溶接者の話を聞くと、熟練者は頭部を動かさずに視線を動かし、非熟練者はその逆の傾向があるように見受けられる、とのことであった。さらに熟練者と比較して非熟練者の方が途中からアーク光が見切れてしまう動画の割合が多かった。今回、そのような動画は利用せずに分析したため、実際の頭部動作には、より顕著な差が見られた可能性も考えられる。ただし、今回は溶接者の頭部とアーク光の距離が一定の仮定のもと分析を行っており、通常の溶接では頭部の動作において制約はないと思われる。さらに、溶接者のデータサンプル数も少ないため、今回の結果から頭部動作に有意差があると判断するのは難しいと考える。

当初は頭部の動作と視線の動作は同期して動く想定したものの、溶接者にヒアリングしたところ、熟練者は一歩先の作業を見据えるため、頭部の動作よりも視線の動きが大きくなる傾向があるとの知見を得た。したがって、視線計測用のセンサ等を利用することでその差についても観測・解析できるものと考えられる。

(v) 音声

アーク溶接中に発生する音響信号（アーク音）の音響特徴量を分析し、非熟練者（指導なし）、非熟練者（指導あり）と熟練者の間で差異を検証した。

① 使用データ

今回は、初心者1名（A）指導なし1回（11パス）、指導あり1回（8パス）、熟練者1名（F）1回（17パス） 総計3回（36パス）の音声データを取得した。1パスあたりの音声データの時間は最小28秒から最大74秒とばらついていた。全ての音声データにおいて、サンプリング周波数は48000Hzである。周波数スペクトルのカラーマップ例を図4-76に示す。

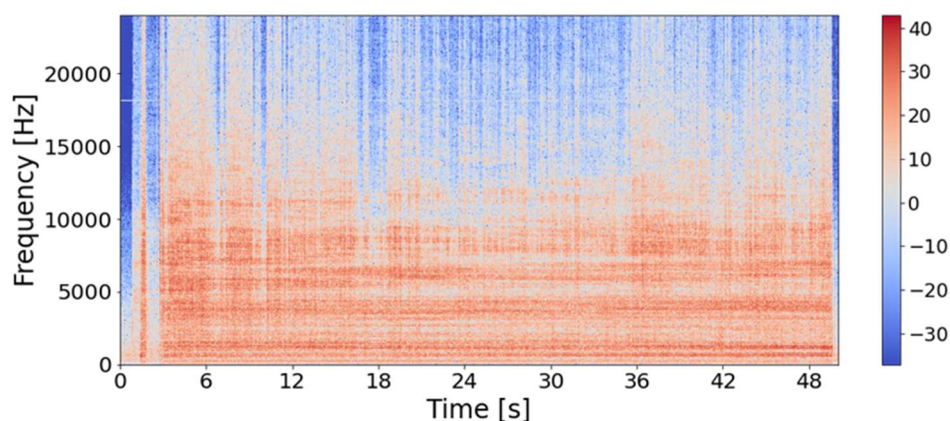


図 4-76 周波数スペクトルのカラーマップ

② 評価・検証

今回は音響特徴量のメルスペクトルを用いて分析を行った。各音声データにフィルタリングを行い、開始後及び終了前5秒間のノイズデータを除去した。音響特徴量を抽出するため、フィルタリング後のデータに対し、メルスペクトルを計算した。ここで、分割数を128とする。図4-77にメルスペクトルのカラーマップの例を示す。

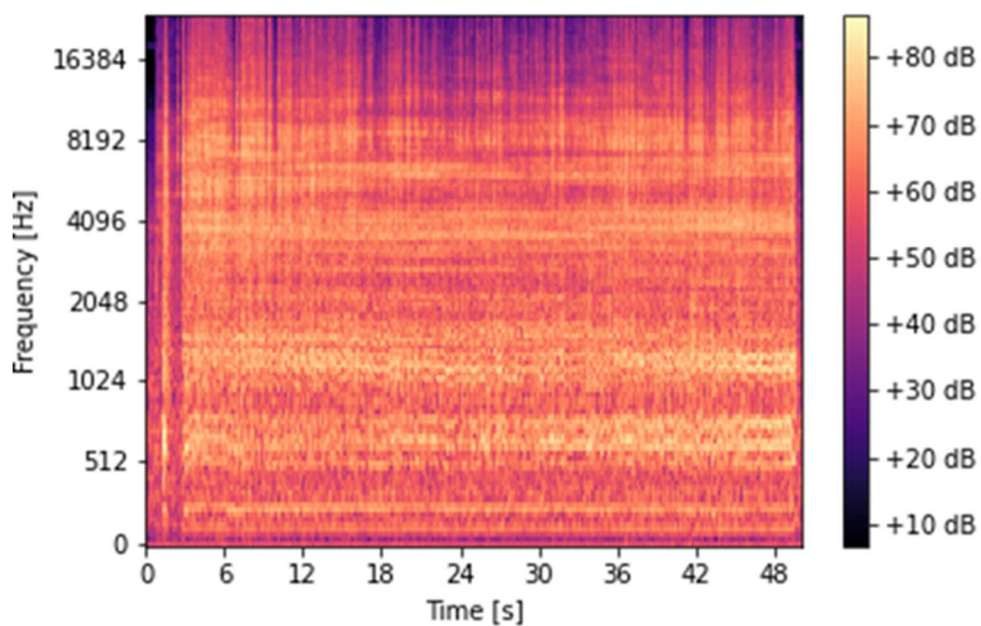


図 4-77 メルスペクトルのカラーマップ

各パスの音声データのメルスペクトルの平均値の標準得点を計算し、**k-means** クラスタリングを実施した。パス間の距離はユークリッド距離を用いた。最適なクラスタ数 k は、シルエット分析により算出した。**k-means** の初期クラスタは乱数で決められるため、クラスタリングを複数回繰り返し、各 k 値において最大であるシルエット係数 (Silhouette score) を用いた。図 4-78 に示すように、シルエット係数が最大である $k = 2$ を適用した。

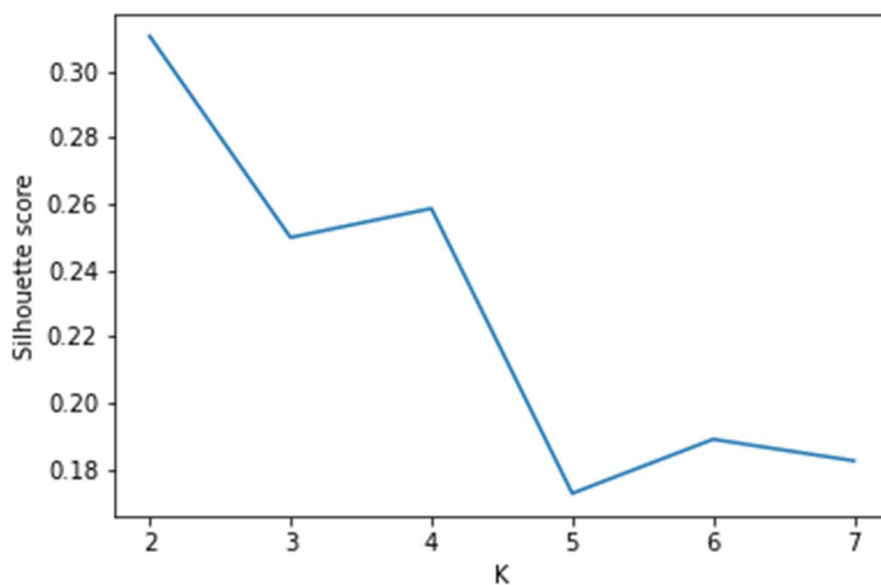


図 4-78 音声 **k-means** シルエット分析

音声データのクラスタリング結果を図 4-79 に示す。全体的に非熟練者と熟練者は別々のクラスタに分けられることが確認される。

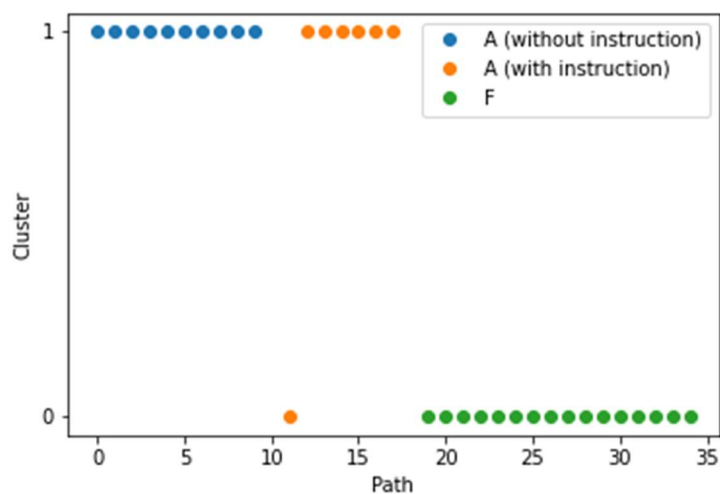


図 4-79 音声クラスタリング結果 (A : 非熟練者、F : 熟練者)

③ 考察

音声データの平均メルスペクトルのクラスタリングにより、非熟練者と熟練者の溶接データは2つのクラスタに分けられている。例外として、1つの非熟練者データは熟練者のクラスタに分類されたが、それは指導ありのデータであり、指導により溶接の質が向上されたためであると考えられる。これにより、音声データには溶接の質を示す特徴が含まれるものと考えられる。今回は各データパスの特徴量の平均値のみを用いて分析を行ったが、音声スペクトルや溶接時間の粒度を上げることにより、溶接の質を左右する物理的要因の抽出が可能だと考える。

(iii) 溶接電源（電圧・電流）

溶接中の電流・電圧の変化傾向やばらつきを分析し、非熟練者（指導なし）、非熟練者（指導あり）と熟練者の差異を検証した。

① 使用データ

今回取得した電流・電圧のデータは音声と同じ 3 回の溶接から取得したものである、データの詳細を表 4-36 に示す。ただし、電流・電圧データにそれぞれ一部欠損があるため、実際には、非熟練者 1 名（A）指導なし 10 パス、指導あり 8 パス、熟練者 1 名（F）15 パス 総計 33 パスの溶接データについて分析を行った。また、電流・電圧データは設定上 10 回/秒でサンプリングされているが、実地では処理状況により 1~10 回/秒のバラつきが存在する。

表 4-36 溶接条件

溶接者	パス番号	設定電流 [A]	設定電圧 [V]	溶接者	パス番号	設定電流 [A]	設定電圧 [V]
非熟練者 A(指導なし)	1	180	24	熟練者 F	1	162	23.9
	2	179	23.8		2	162	23.9
	3	179	23.8		3	162	23.9
	4	179	23.8		4	162	23.9
	5	179	23.8		5	162	23.9
	6	165	23.4		6	162	23.9
	7	165	23.4		7	162	23.9
	8	165	23.4		8	162	23.9
	9	150	23.5		9	162	23.9
	10	150	23.5		10	162	23.9
	11	150	23.5		11	150	23.6
非熟練者 A(指導あり)	1	151	23.5		12	150	23.6
	2	185	24.5		13	150	23.6
	3	151	23.5		14	150	23.6
	4	185	24.5		15	150	23.6
	5	185	24.5		16	150	23.6
	6	185	24.5		17	140	23.1
	7	185	24.5				
	8	150	23.5				

② 評価・検証

今回は電流・電圧の変化傾向やばらつきを抽出するために STL (Seasonal and Trend decomposition using Loess) 分解を用いて、電流・電圧のトレンド成分 (Trend) と残差成分 (Residual) を抽出して分析を行った。

各データの開始と終了付近にノイズがあるため、電流・電圧に閾値を設定し、フィルタリングを行った。また、各パスにおいて設定電流及び設定電圧の値が異なるため、実際の値と設定値の差を用いて分析を行った。

STL 分解の周期成分 (Seasonal) は、データの最小サンプリングレートに従って 1 秒に設定した。図 4-80 図 4-81 に電流・電圧 STL 分解結果の例を示す。

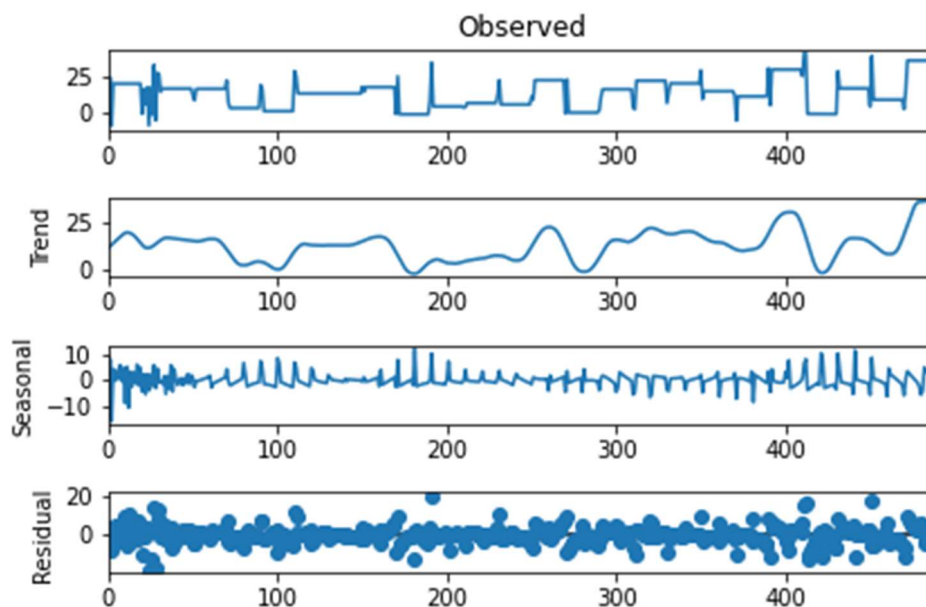


図 4-80 電流 STL 分解結果例

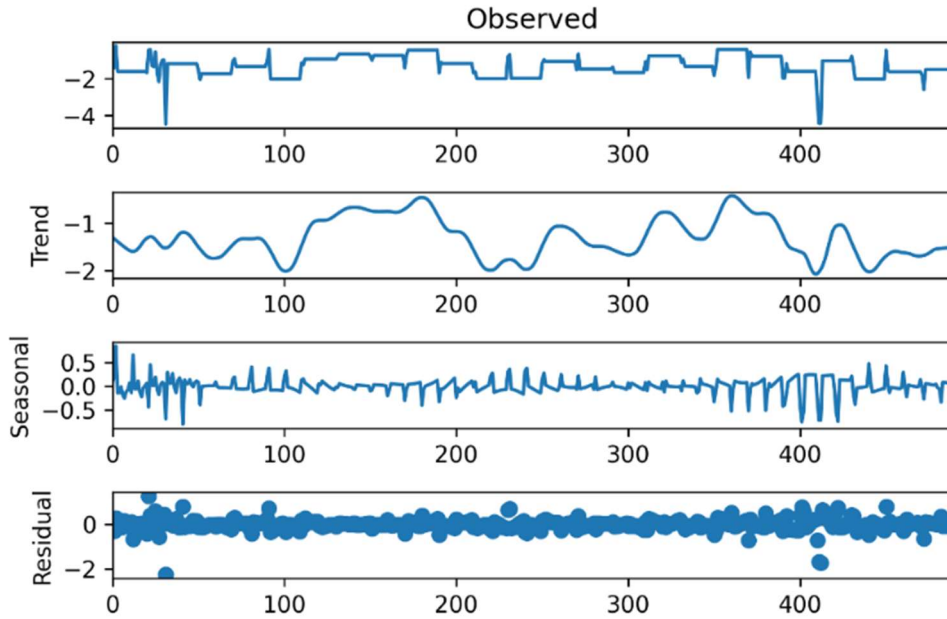


図 4-81 電圧 STL 分解結果例

電流・電圧の変化傾向に対して、各パスのトレンド成分の標準得点を計算し、k-means クラスタリングを実施した。各パスの溶接時間が異なるため、パス間の距離の算出には (Dynamic Time Warping) を用いた。最適なクラス数 k は、シルエット分析により算出した。k-means の初期クラスは乱数で決められるため、クラスタリングを複数回繰り返し、各 k 値において最大であるシルエット係数を用いた。図 4-82 および図 4-83 に示すように、電流にはシルエット係数が最大である $k = 2$ 、電圧にはシルエット係数が最大である $k = 3$ を適用した。

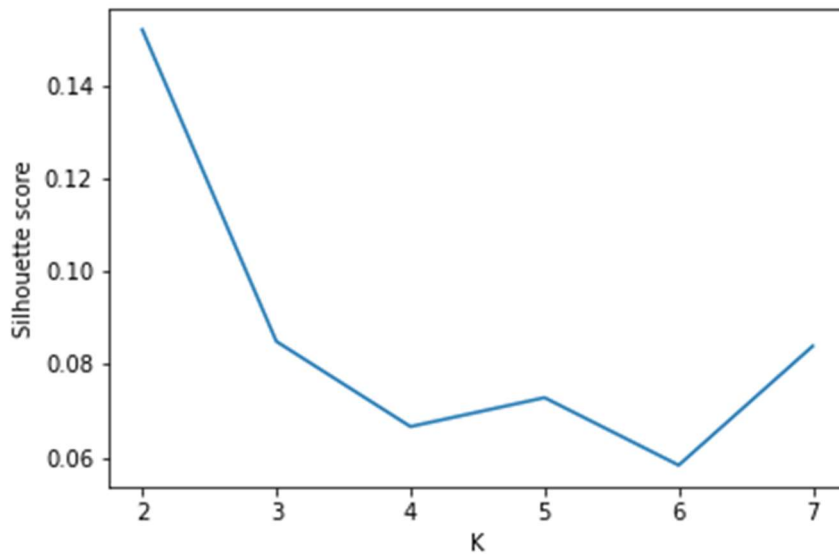


図 4-82 電流 k-means シルエット分析

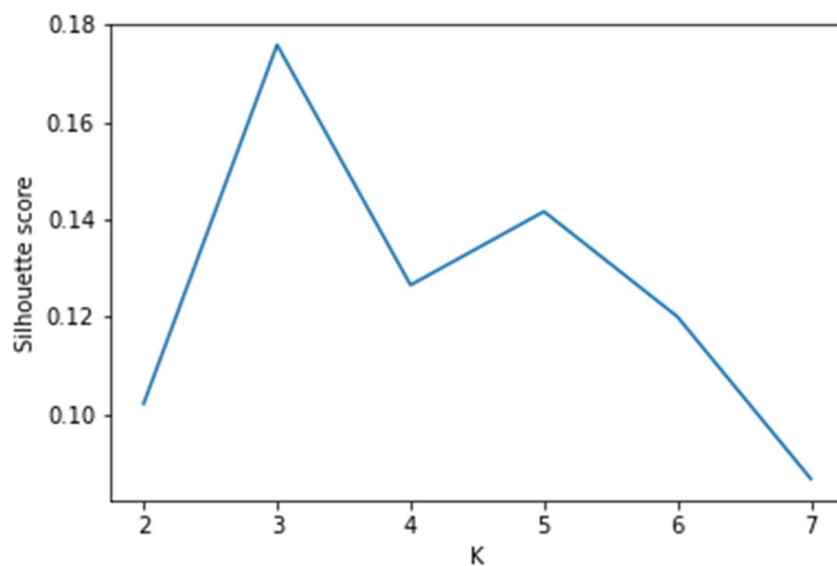


図 4-83 電圧 k-means シルエット分析

電流・電圧別のトレンド成分クラスタリング結果の例を図 4-84 および図 4-85 に示す。電流トレンドからは非熟練者（指導なし）、非熟練者（指導あり）と熟練者の差が観察されないが、電圧トレンドのクラスタリング結果では、93.3%の熟練者データが一つのクラスターに集中していることが観察される。

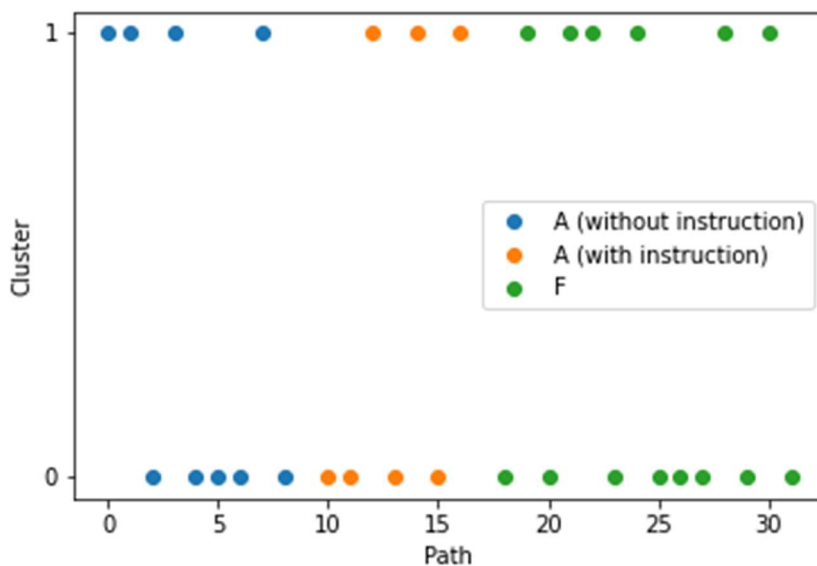


図 4-84 電流トレンド成分クラスタリング結果（A：非熟練者、F：熟練者）

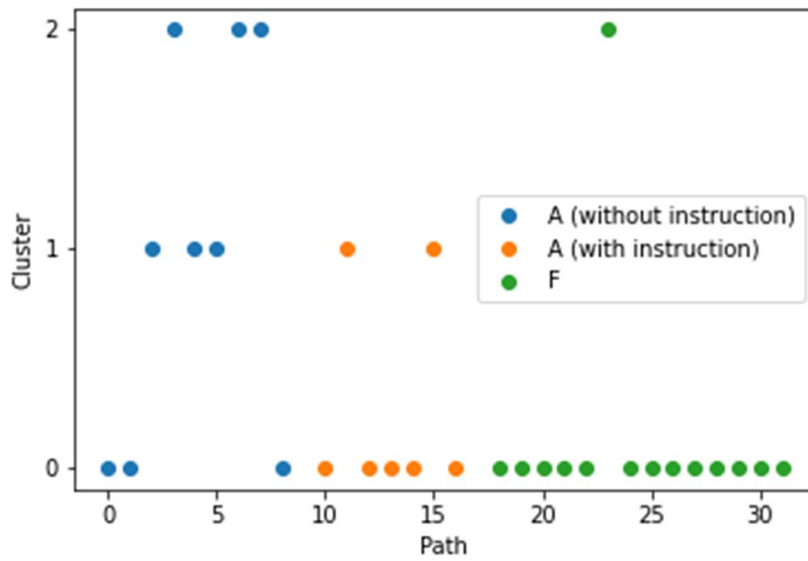


図 4-85 電圧トレンド成分クラスタリング結果 (A : 非熟練者、F : 熟練者)

電流・電圧のばらつきに対して、各パスの残差成分の平均値及び標準偏差を計算した。結果を図 4-86 および図 4-87 に示す。

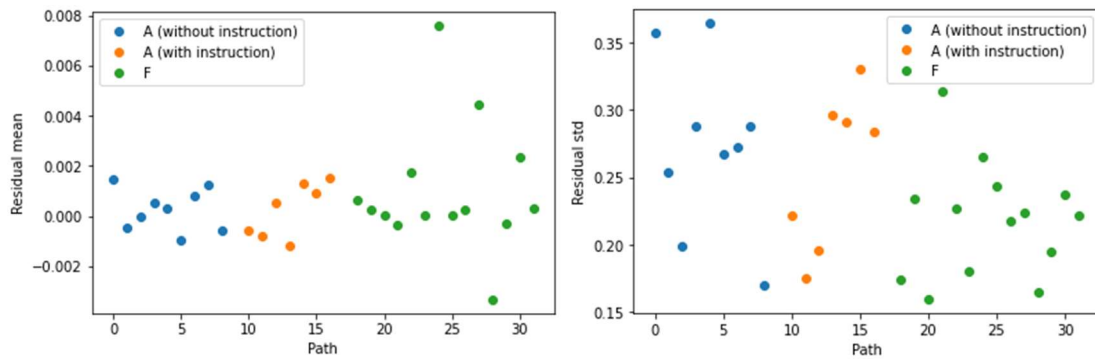


図 4-86 電流残差成分平均値 (左) 及び標準偏差 (右) (A : 非熟練者、F : 熟練者)

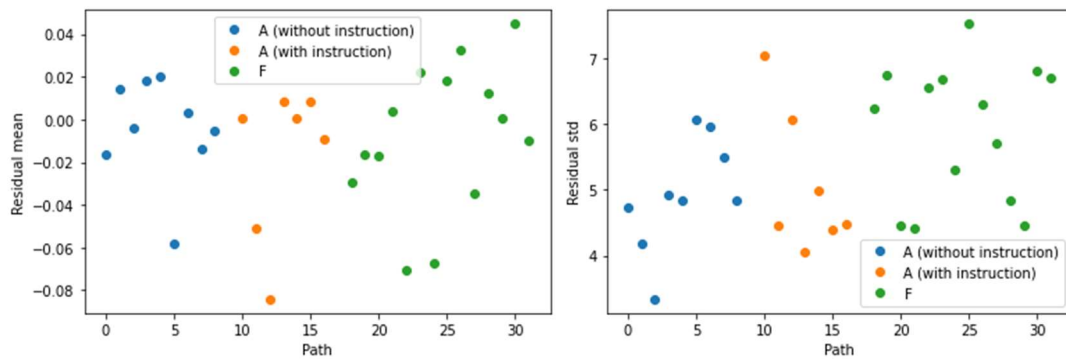


図 4-87 電圧残差成分平均値 (左) 及び標準偏差 (右) (A : 非熟練者、F : 熟練者)

残差成分の平均値、標準差から非熟練者（指導なし）、非熟練者（指導あり）と熟練者の有意差を調査するため、マンホイットニーU検定によりP値を算出した。ここで、有意水準を5%と設定した。P値を表4-37に記載する。非熟練者A（指導なし）と熟練者Fの電流・電圧の残差成分の標準偏差のみP値が0.05を下回った。従って、両者のみに有意差があると考えられる。電流残差の標準偏差は熟練者の方が低い傾向があり、電圧残差の標準偏差は熟練者の方が高い傾向がある。

表 4-37 U 検定 (P 値)

検定対象			P 値
非熟練者 A (指導なし)	電流	平均	0.59663
		標準偏差	0.9157
非熟練者 A (指導あり)	電圧	平均	1
		標準偏差	0.9157
非熟練者 A (指導なし)	電流	平均	0.87486
		標準偏差	0.04063
熟練者 F	電圧	平均	0.54954
		標準偏差	0.02533
非熟練者 A (指導あり)	電流	平均	0.5758
		標準偏差	0.12617
熟練者 F	電圧	平均	0.62773
		標準偏差	0.19169

③ 考察

電流・電圧の変化傾向に対して、電流トレンドのクラスタリング結果からでは非熟練者（指導なし）、非熟練者（指導あり）と熟練者の差が観察されないが、電圧トレンドのクラスタリング結果から一部の非熟練者の溶接データを特定することが可能である。したがって、電圧の変化傾向には溶接の質に影響する特徴が含まれていると考えられる。

電流・電圧のばらつきに対して、非熟練者（指導なし）と熟練者の電流・電圧の残差成分の標準偏差のみ有意差があると考えられる。しかし、電流残差の標準偏差は熟練者の方が低い傾向があるに対し、電圧残差の標準偏差は熟練者の方が高い傾向があるため、現状ではそこから溶接の質に影響する物理的要因の抽出は困難だと考える。

また、今回使用した電流・電圧データのサンプリング周波数が低いため、高周波の電流・電圧の変動についての考察は不可能であった。

(iv) IMU センサ

IMU センサから取得できる重力加速度の値を分析し、熟練者と非熟練者の姿勢制御の差異を検証した。

① 使用データ

今回の検証には IMU センサから取得できる重力加速度の値を使用した。今回使用した IMU センサの情報を表 4-38、装着イメージを図 4-88 に記載する。

姿勢制御の状況を調べるために、1 秒間の平均値から 3 秒間の移動平均値の差を動作誤差として取得した。

表 4-38 センサ情報

センサ	概要
上腕センサ	溶接技術者の上腕に取り付けられた IMU センサ
トーチセンサ	溶接トーチに取り付けられた IMU センサ
腰センサ	溶接技術者の腰に取り付けられた IMU センサ



図 4-88 センサ取り付け位置

② 評価・検証

今回は各センサの動作誤差を非熟練者と熟練者の比較を実施した。動作誤差はセンサ値と移動平均との差分から計算される。

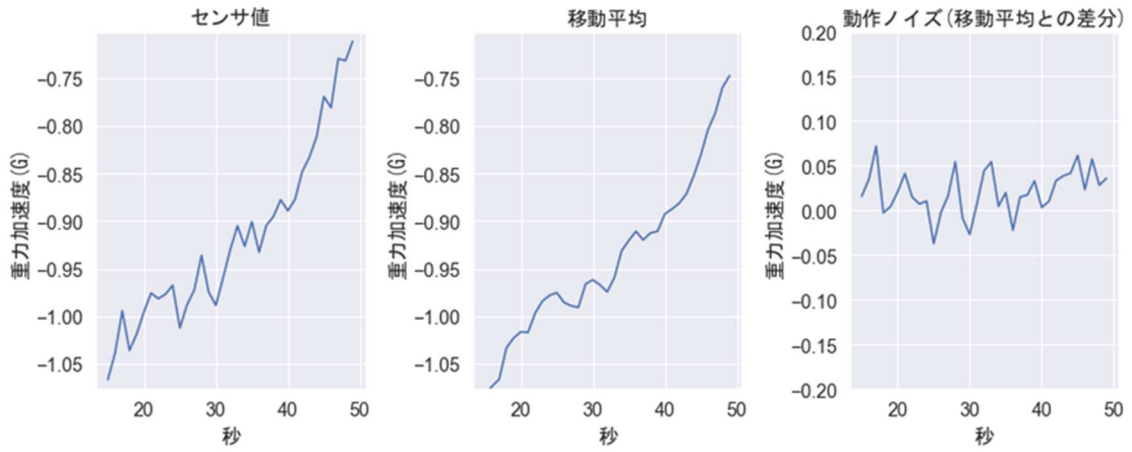


図 4-89 動作誤差

各センサから取得した動作誤差の情報を以下に記載する。

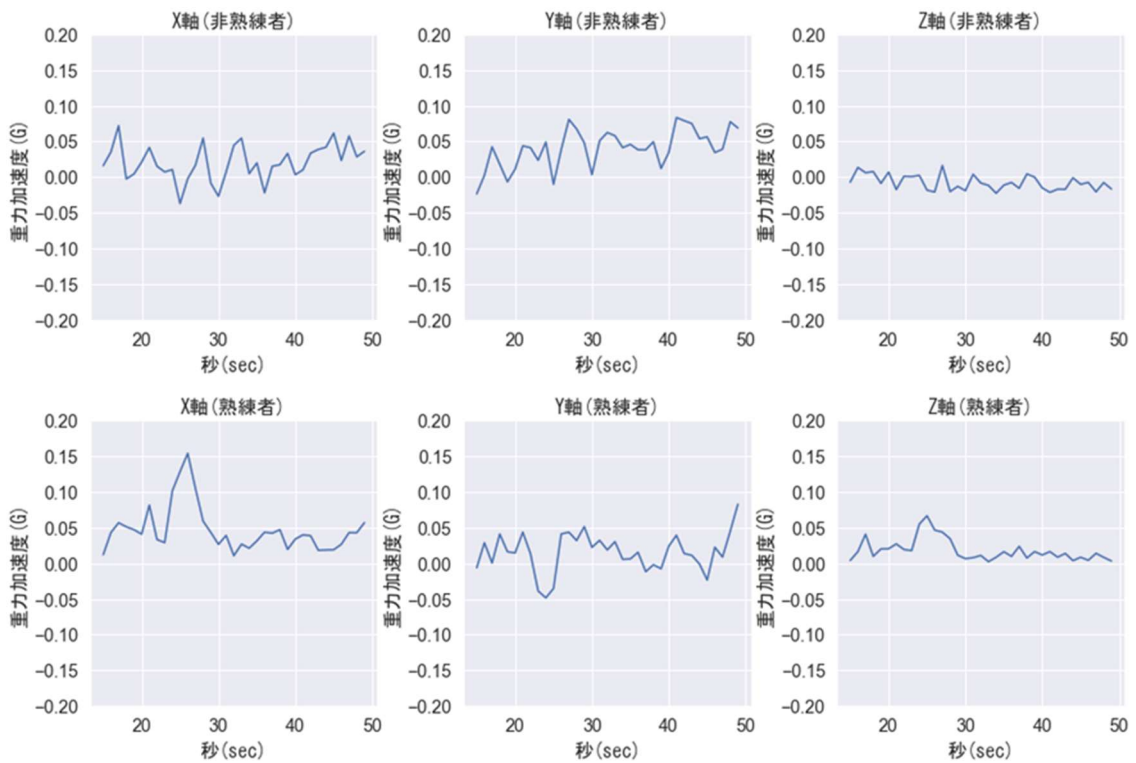


図 4-90 動作誤差 (トーチ)

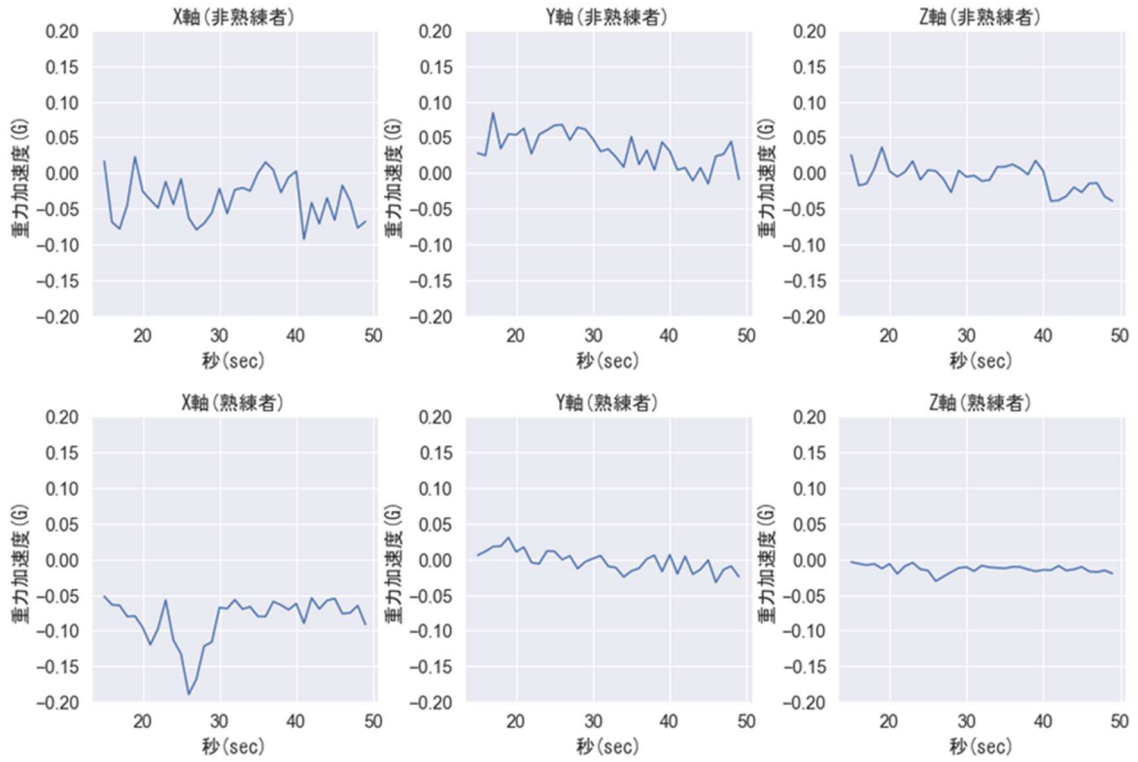


図 4-91 動作誤差 (上腕)

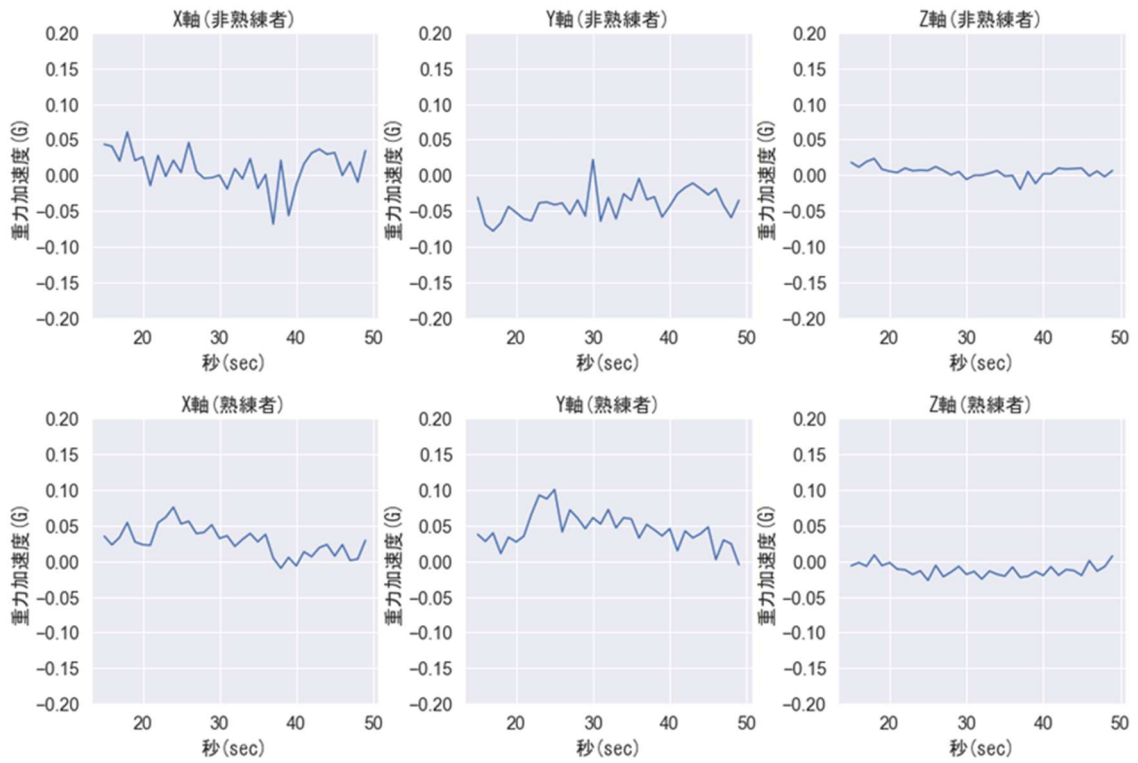


図 4-92 動作誤差 (腰)

表 4-39 動作誤差特徴量

センサ	溶接者	平均	標準偏差	最大値	最小値
タッチ センサ	非熟練者	0.01788	0.02957	0.08328	-0.03706
	熟練者	0.02644	0.02912	0.15359	-0.04850
上腕 センサ	非熟練者	-0.00280	0.03788	0.08435	-0.09252
	熟練者	-0.03342	-0.03342	0.03032	-0.18906
腰 センサ	非熟練者	-0.00826	0.02991	0.06062	-0.07800
	熟練者	0.02000	0.03005	0.10012	-0.02706

以上の結果から、熟練者と非熟練者の有意差を調査した。今回、熟練者と非熟練者の2群として、マンホイットニーU検定によりP値を算出した。有意水準を5%と設定し動作誤差の有意差を判定した。P値を表4-40に記載する。

表 4-40 U検定 (P値)

センサ	P値
上腕センサ	0.0120249603
タッチセンサ	0.0000008
腰センサ	0.0000026892

全てのセンサにおいて、P値が0.05を下回る非常に小さい値になっており、2グループ間に動作誤差に差がある可能性はある事がわかった。各部位の動作誤差に注目すると、熟練者の動作誤差が非熟練者に比べて大きいことが見て取れる。

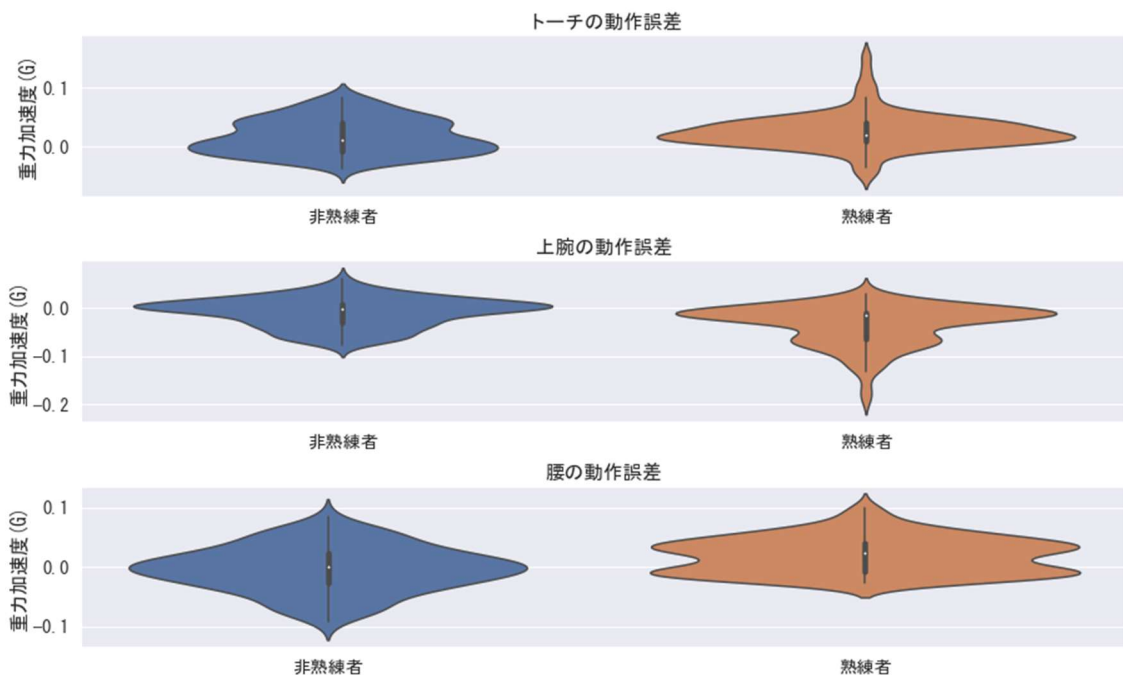


図 4-93 動作誤差

③ 考察

3つすべてのセンサの動作誤差に対し、非熟練者と熟練者に有意差があることが確認された。すべての部位において熟練者の動作誤差が非熟練者に比べて大きく、溶接技能を左右する物理的要因の影響が動作誤差に現れている可能性がある。なお、今回の分析は対象となったデータが少数であったため、検証結果の妥当性には十分注意が必要だと考える。

(v) 作業者姿勢

エヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズ社サービス Anymotion を利用して、姿勢解析を試みた。Anymotion では、映像データから対象者の骨格を解析し、特徴点 17 ケ所の位置を推定する。

隣接する特徴点との直線フレームを映像にオーバーレイして可視化すると共に、特徴点の映像内での座標 (2D) データとして抽出することが可能である。そのため、

- 対象者に別途マーカ等装着させる必要がない
- 映像データ撮影に特殊なカメラ等必要なく、一般的なデジタルカメラ、ビデオカメラ、スマホカメラでも対応可能
- Anymotion は Anymotion を利用してサービス提供を行うサービス事業者向けのサービスであり、個人ユーザによる直接の Anymotion との契約は想定されていないなどの特徴を有する。ここで特徴点 17 ケ所とは、人間の姿勢を推計するための関節等の位置であり、具体的には

鼻、右目、右耳、左目、左耳、右肩、左肩、右肘、左肘、
右手首、左手首、尻、左尻、右膝、左膝、右足首、左足首

の位置である。

本検証においては、IMU センサを用いた姿勢検知の補助として、Anymotion の利点を活かし対象者の負担が少なく、実施環境の設備負担もない形で同等の実施ができるかを検討する。特に、溶接時の

- 視点の動き (目の位置もしくは顔の向き)
- 溶接装置を持つ右手手首の動き

を解析に値する精度で取得できるかに注視する。上記が解析に値する精度で取得できる場合、姿勢データを解析することで熟練者と非熟練者の差異の抽出を試みる。

① 環境構築および使用データ

姿勢解析の検証に向けて Anymotion を効果的に利用できるよう、追加開発を実施し、その開発物を利用して以降の実証を実施した。具体的には、Anymotion クラウドサービスの API と PC やスマホ等のデバイスを橋渡しする中間サーバ開発を行い、利用したいユーザが簡易に Anymotion 解析を利用できるようにするものである。中間サーバは下記の機能を具備する。

- ユーザ認証と Anymotion クラウド API との中間処理
- 動画成型

Anymotion クラウド API が 1 リクエストで対応できるようにするための機能。動画ファイルサイズが 1 動画ファイルあたり 1800 フレームまでとなる為、ソースとなる映像ファイルを処理できるよう分割・結合整形の自動実施機能

- 解析結果データ蓄積

特徴点及びフレームをオーバーレイした動画及び、その動画の特徴点データ (CSV ファイル形式に成形) を蓄積し、ユーザが任意に利活用できるようにする機能

従来 Anymotion は、別途 Anymotion を利用したサービス事業者より提供される当該サービス専用アプリケーションを介してのみ、Anymotion 解析機能を利用できるものであり、Anymotion 利用者は直接 Anymotion サービスへの加入と利用はできず、当該サービス用途

以外の動画や画像を任意に解析する事は不可能であった。今回、中間サーバ開発することにより、中間サーバの Web-GUI を利用する事で、利用者は任意に動画や画像の Anymotion 解析を行えるようになり、追加専用アプリケーションを利用者が用いることなく、Web アプリにて随時解析を実施可能なシステムを構築した。構築した中間サーバを用いてテスト映像を Anymotion にて解析させたところ、特徴点及び特徴点間直線をオーバーレイした動画の生成及び、特徴点データの抽出が行える事を確認した。

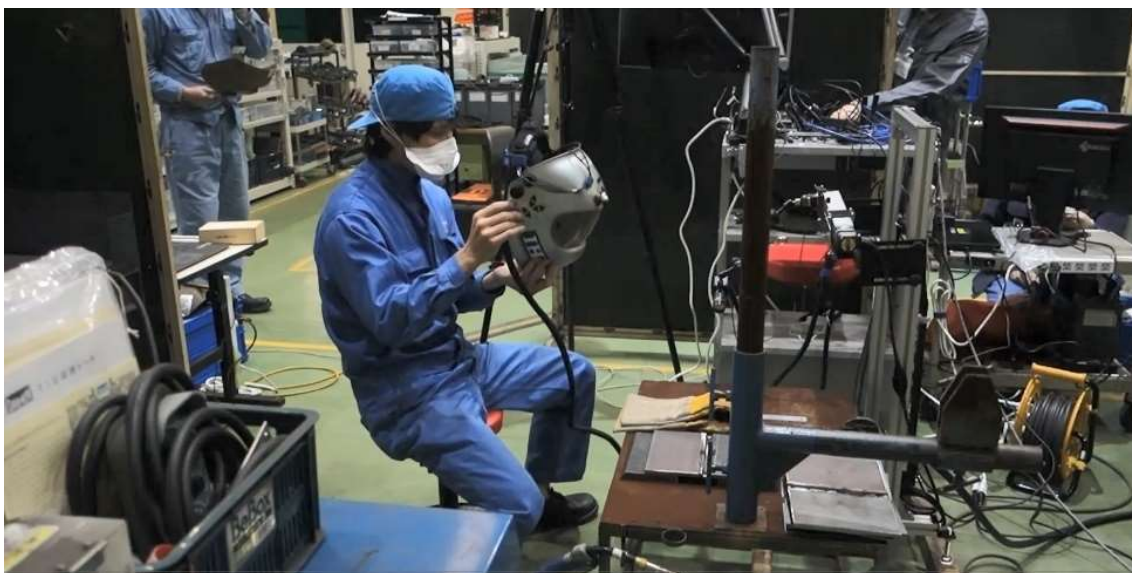


図 4-94 サンプル画像（映像より抽出）（Anymotion 実施前）



図 4-95 サンプル画像（映像より抽出）（Anymotion 実施後）

特徴点は銀色点で表示され、隣接する特徴点とは銀色直線で表示される。図 4-95 の解析結果を元に、左目および左耳は画角上確認できない為対象より外し、

頭部姿勢用：鼻、右耳、右目

上半身姿勢用：右肩、左肩、右尻、左尻

右腕（利き腕）：右肘、右手首

の 9 点について特に注視し確認を実施した。図 4-95 の特徴点抽出結果を表 4-41 に示す。表 4-41 中では、注視する特徴点を青色にハイライトしている。注視する特徴点については画像から抽出できていることを確認できた。

表 4-41 図 4-97 の特徴点抽出結果

	特徴点	元映像に写っているか	特徴点抽出できているか	抽出成功率
1	鼻	○	○	○
2	右耳	○	○	○
3	左耳	×	×	○
4	右目	○	○	○
5	左目	○	○	○
6	右肩	○	○	○
7	左肩	○	○	○
8	右肘	○	○	○
9	左肘	×	×	○
10	右手首	○	○	○
11	左手首	×	×	○
12	右尻	○	○	○
13	左尻	○	○	○
14	右膝	○	○	○
15	左膝	○	○	○
16	右足首	×	×	○
17	左足首	○	○	○

Anymotion の解析に用いる映像は IHI 横浜事業所にて、実際の溶接作業動画を撮影した。今回、撮影した溶接技能者は 1 名であり、上記 1 名が同一工程を 3 回実施した。各回で撮影位置をずらして定点設置したカメラにて映像撮影し、Anymotion にて解析を実施した。撮影位置については、図 4-96 撮影位置概略図を参照されたい。また、映像データのパラメータは

- フォーマット：MP4 (H.264)
- 解像度：1920x1080 (Full-HD)
- フレームレート：30fps

である。

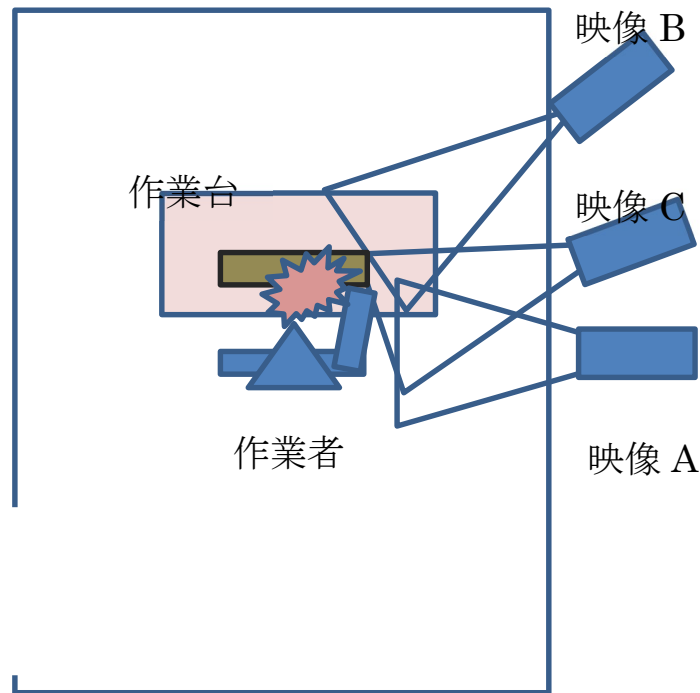


図 4-96 撮影位置概略図

② 評価・検証

本評価・検証では、Anymotion が IMU センサを補完する精度で姿勢データを取得でき、本実証における溶接作業の解析に値するデータを提供することができるかを確認したうえで、その精度が良好であった場合、姿勢データを解析することで熟練者と非熟練者の差異の抽出を試みる。

Anymotion による解析精度に関する評価・検証結果について述べる。Anymotion にて特徴点の抽出を行い、抽出できた特徴点データ数量が、解析に値する精度とデータ量となっているか確認を行った。画角による精度差も検証するため、3回の撮影映像（映像 A、映像 B、映像 C）を解析した。フレーム毎に特徴点抽出を行うため、最大解析対象の映像フレーム数分の特徴点データが抽出される。例えば、1分の映像（ $30[\text{fps}] \times 60[\text{s}] = 1800[\text{frame}]$ ）であれば、同一特徴点が最大 1800 個抽出される。評価映像全体のフレーム数に対し、評価映像より抽出した特徴点のデータ数量を比較することで抽出精度を判断する。なお、映像の画角及び対象人物の動作により、映像に写っていない特徴点もあるため、以降の解析では全特徴点の値を提示するが、抽出率の判断には撮影画角及び解析データの元として重要な特徴点である

- 頭部姿勢用：鼻、右耳、右目（左目、左耳は画角上確認できないため対象より外す）
- 上半身姿勢用：右肩、左肩、右尻、左尻
- 右腕（利き腕）右肘、右手首（右肩は上半身と重畳）

の計 9 特徴点を評価対象とし、その抽出率から精度を判断する。

3回の撮影映像（映像A、映像B、映像C）に関して、それぞれ評価・検証結果を以下に示す。

- 映像A（撮影時間：47.8秒、総フレーム数：1435枚）

表4-42に映像Aの特徴点9点抽出結果を示す。9特徴点全体の抽出率は6501/12915（50.34%）であった。目視確認しやすい右肩、右肘、右手首において85%以上の比較的高い抽出率を出しているが、シールドで覆われ、かつアーク光の影響を受ける頭部（鼻、右目）の抽出率が低く、頭部の向きを推定するには精度が足りない傾向が見てとれる。

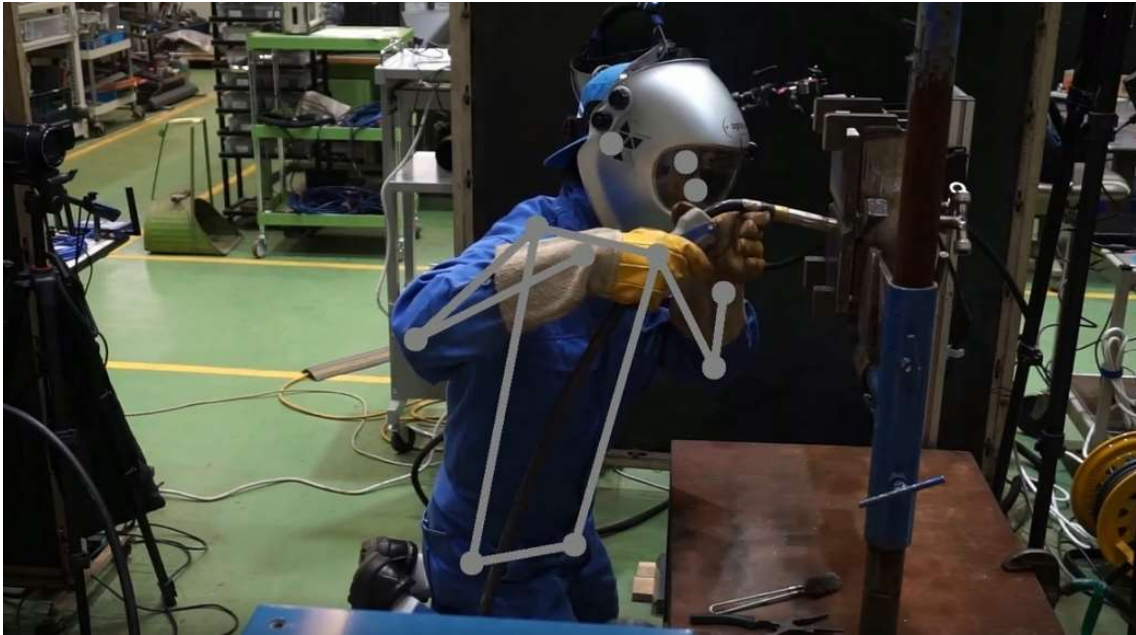


図 4-97 映像A サンプル画像.1：溶接作業前



図 4-98 映像A サンプル画像.2：溶接作業中

表 4-42 映像 A 特徴点 9 点抽出結果

	特徴点	抽出データ	総フレーム数	抽出率
1	鼻	165	1435	11.50%
2	右耳	921	1435	64.18%
4	右目	341	1435	23.76%
5	左目	68	1435	4.74%
6	右肩	1417	1435	98.75%
7	左肩	347	1435	24.18%
8	右肘	1413	1435	98.47%
10	右手首	1396	1435	97.28%
12	右尻	433	1435	30.17%
13	左尻	230	1435	16.03%

- 映像 B (撮影時間 59.8 秒、総フレーム数 1794 枚)

表 4-43 に映像 B の特徴点 9 点抽出結果を示す。9 特徴点全体の抽出率は 6272/16146 (38.35%) であった。目視確認しやすい右肩、右肘、右手首においては 66%以上と映像 A に比べて低い値となっている。映像 B は映像 A に比べて画角が対象者のより前方に近い位置となっており、その為アーク光の影響を被写体がより強く受けている事によるものであった。



図 4-99 映像 B サンプル画像.1：溶接作業前



図 4-100 映像 B サンプル画像.2 : 溶接作業中

表 4-43 映像 B 特徴点 9 点抽出結果

	特徴点	抽出データ	総フレーム数	抽出率
1	鼻	115	1794	6.41%
2	右耳	485	1794	27.03%
4	右目	151	1794	8.42%
6	右肩	1185	1794	66.05%
7	左肩	507	1794	28.26%
8	右肘	1320	1794	73.58%
10	右手首	1321	1794	73.63%
12	右尻	1109	1794	61.82%
13	左尻	1118	1794	62.32%

- 映像 C (撮影時間 59.3 秒、総フレーム数 1779 枚)

表 4-44 に映像 C の特徴点 9 点抽出結果を示す。9 特徴点全体の抽出率は 8452/16011 (52.79%) であった。目視確認しやすい右肩、右肘、右手首においては 85%以上、右肩及び右手首については 100%と全フレームにおいて抽出できている。映像 C は画角として映像 A と B の間かつ映像 A に画角に近い事から、映像 A と同等の抽出率がとれている。



図 4-101 映像 C サンプル画像.1：溶接作業前



図 4-102 映像 C サンプル画像.2：溶接作業中

表 4-44 映像 C 特徴点 9 点抽出結果

	特徴点	抽出データ	総フレーム数	抽出率
1	鼻	74	1779	4.16%
2	右耳	729	1779	40.98%
4	右目	60	1779	3.37%
6	右肩	1779	1779	100.00%
7	左肩	1531	1779	86.06%
8	右肘	1739	1779	97.75%
10	右手首	1779	1779	100.00%
12	右尻	755	1779	42.44%
13	左尻	654	1779	36.76%

上述の解析結果より、溶接作業の映像からの Anymotion による特徴点抽出においては、対象者右方向より撮影していることから、右肩、右手首、右肘の抽出率は 3 回とも高い水準で抽出できているものの、頭の方角性をはかる為の頭の特徴点 5 点（鼻、両耳、両目）の抽出率が低く、その結果として、体全体の姿勢推定において全 17 特徴点ではなく、対象 9 特徴点においても

- 特徴点抽出数 : 21,225
- 特徴点抽出最大理論値 : 45,072
- 抽出率 : 47.09%

という結果であった。上記結果について IHI、東京大学、エヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズで検討した結果、本事業においては IMU センサによる解析の補完に Anymotion にて抽出したデータを利用することは困難であるという結論に達した。

③ 考察

特徴点抽出率が低いのは何故かについて、評価結果をふまえて IHI 社およびエヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズ社にて検討・分析を行ったところ、性能劣化要因として 3 つの要因を明らかにした。

- 要因 1：防御用シールドを顔にあてての作業となる為、鼻、両耳、両目の抽出が困難である



図 4-103 要因 1：サンプル画像.1

図 4-103 の画像において、Anymotion 特徴点抽出結果として、右肩、右尻、右肘等は抽出できているが、鼻、両目、両耳の抽出ができていない。

- 要因 2：溶接時のアークの発光及び火花の発生により、人物の推定及び特徴点の抽出ができていないフレームがある



図 4-104 要因 2：サンプル画像 2.1



図 4-105 要因 2：サンプル画像 2.2

図 4-104 では、目視確認できる特徴点について適切に抽出されているのに対し、図 4-103 とほぼ同じ姿勢でアーク発光後の画像である図 4-105 では図 4-104 と同一の姿勢ながら、アーク光の激しい明るさにより、特徴点の抽出が全点できていない。

- 要因 3：抽出できる特徴点数が少ない場合、人物姿勢推定の精度が落ち特徴点の座標がぶれる場合がある



図 4-106 要因 3：サンプル画像 3.1 (右肩特徴点座標データ：x823、y478)

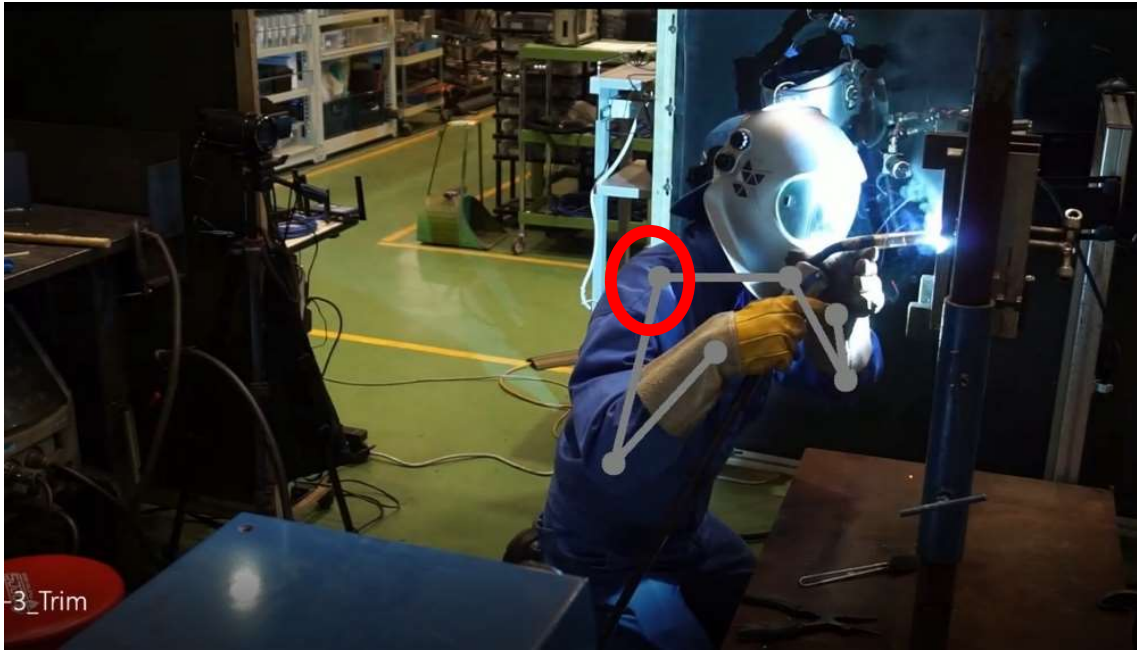


図 4-107 要因 3：サンプル画像 3.2（右肩特徴点座標データ：x815、y490）

図 4-106 と図 4-107 の比較において、姿勢の変化はないものの、抽出している特徴点の位置が遷移してしまっている。

本実証において要因 1、要因 2 によるもの、及び要因 3 によるデータの不確かさが確認された。それゆえ、

- 姿勢変化が少ないながら精度が求められるもの
- 映像の光量変化が激しいもの

等の条件下にある姿勢推計解析には指の動き、目の動き更には細かな姿勢データが取得できるセンシングが必要であることが確認された。技能伝承システムの高度化に対しては、複数センサや映像と組み合わせた精度の高い姿勢検知が有用であるものと考えられる。

(3) 技能伝承システムとしての技術課題の提示

データ分析結果および IHI 内の高技能溶接士へのヒアリング結果を踏まえ、技能伝承システムを実現するうえでの技術課題として、(i) 溶融池映像の分析、(ii) IMU センサ取得方式の改善について検討を行った。

(i) 溶融池映像の分析

本追加提案における映像解析においては作業員視点の映像を対象とした。その他にも溶融池の映像も取得しているものの、この解析には非常に多くのデータサンプル数およびアノテーション作業（画像における各位置情報を 1 件ずつ手動で記録）が必要となり、今回取得した溶融池の映像を解析することは困難である。一方で、溶接技術者へのヒアリングによると、溶融池の映像には、熟練者と非熟練者との間でアーク、ワイヤ、溶融池などの位置情報における差異がより明確に現れていると考えられるため、より高度なデータ分析のためには溶融池映像の解析を検討する必要があるものと考えられる。

類似した取り組みとして、参考文献^{33,34,35}においては機械学習技術により、溶融池画像におけるアーク、ワイヤ、溶融池の位置情報を抽出している。特に溶融池画像認識による横向片面初層溶接の自動化技術³³、溶接自動化のための画像センサ技術の開発（ディープラーニングによる画像認識）³⁵では、畳み込みニューラルネットワーク（CNN: Convolutional Neural Network）（以下、「CNN」とする。）を利用している。溶融池画像認識による横向片面初層溶接の自動化技術³³では最小で 2000 枚の画像の学習をもとに推定モデルを構築しているが、特徴点によって精度にばらつきがある。また、CNN によりモデルを構築し、推定特徴点を特徴量として利用するためには、ある程度の精度が担保されていなければ、適切な差や相関を調査することが困難である。学習データセットの量に伴って特徴点の正解率が高くなっていることから、十分な学習データを準備する必要があると考える。溶融池画像認識による横向片面初層溶接の自動化技術³³ではデータ数を増やしていくと正解率は向上する傾向にあるが、膨大な画像データへのアノテーション作業が困難であり、半教師あり学習による擬似ラベルの作成と適切な擬似ラベルの選別のための自己訓練学習により学習データ数を増やし、特徴点認識の正解率が向上している。

技能伝承システムにおいても半教師あり学習や擬似ラベル選別のための自己訓練学習を利用すれば、データ量を増やし精度向上が見込める可能性は十分考えられるが、最低限の学習データセットの準備と溶接作業者に負担をかけず継続してデータの収集を行うシステムの構築が必須である。

³³ 尾崎圭太他：溶融池画像認識による横向片面初層溶接の自動化技術，溶接学会論文集 第 39 巻 第 4 号 p.309-321 （2021）

³⁴ 周田直樹他：画像処理技術と機械学習技術の活用による熟練の技能を実装した自動溶接技術，三菱重工技法，Vol.55 No.2 （2018） 新技術特集

³⁵ 芦田強他：溶接自動化のための画像センサ技術の開発（ディープラーニングによる画像認識），R&D 神戸製鋼技報，Vol. 68 No. 2 DeC. 2018

(ii) IMU センサ取得方式の改善

溶接面に対するトーチの動きをより明確に取得することでIMUセンサの分析をより高度化できる。IMU センサはセンサ自身の回転状況を値として保持するため、溶接面に対して同じ軌跡でトーチを動かしたとしても、溶接者の姿勢や溶接対象の位置によってセンサ値が全く異なってみえる。溶接対象の位置によるセンサ値の変化をシミュレーションするために図 4-108 のようなアプリケーションを作成して、トーチの回転情報のシミュレーションデータを取得した。

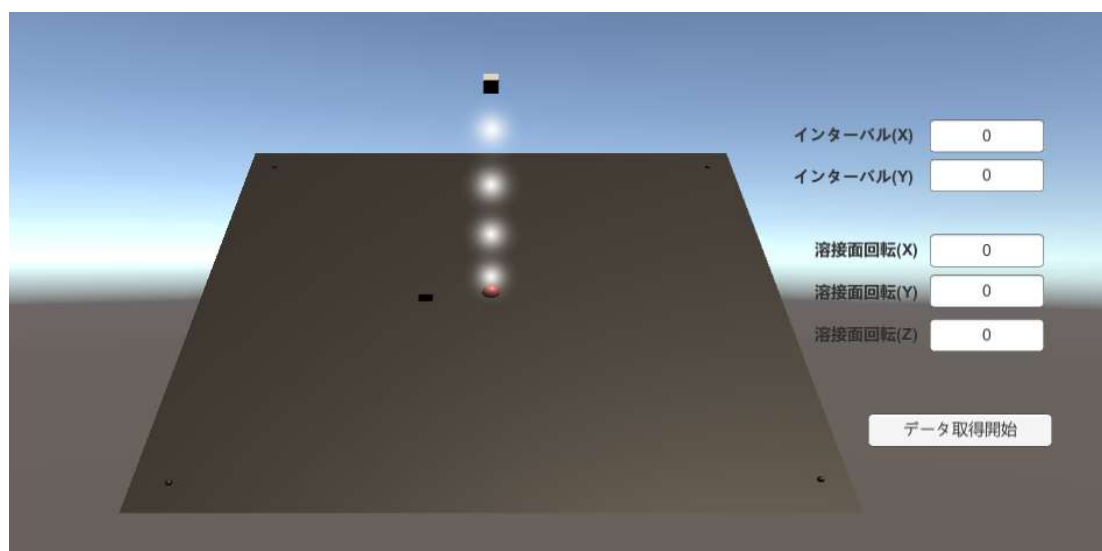


図 4-108 トーチ動作シミュレーションアプリ

プログラム上で図 4-109 のように溶接面に対して同一の動きを再現しつつ、溶接面の位置を変えて仮想トーチの回転情報を取得した。

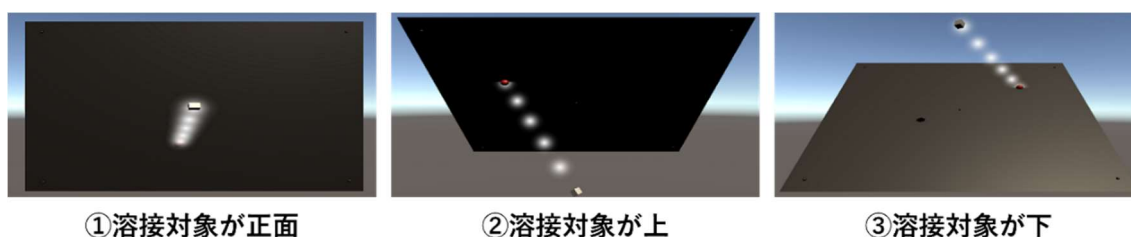


図 4-109 仮想トーチ動作シミュレーション

取得した仮想トーチの回転情報を図 4-110、図 4-111、図 4-112 に記載する。溶接面に対して同一の動きは実施しているが取得した回転情報は全く違う値になっているのが見て取れる。

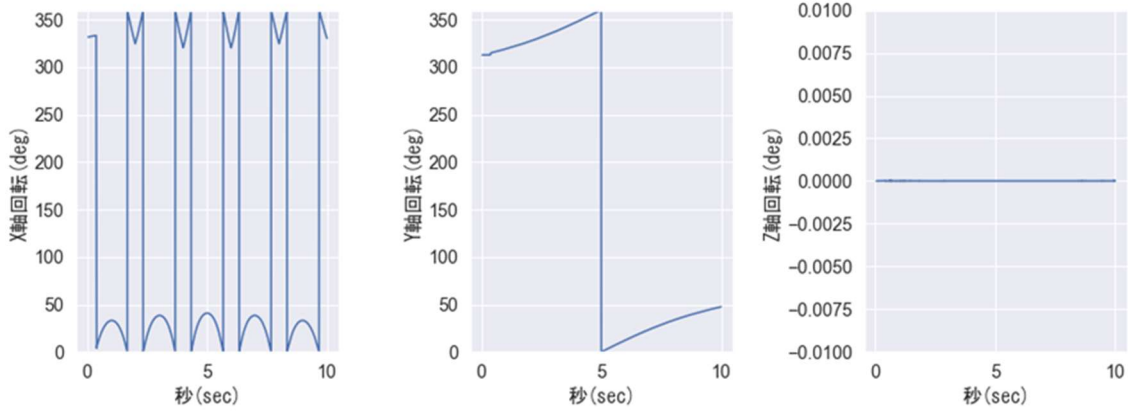


図 4-110 仮想トーチ動シミュレーション値①

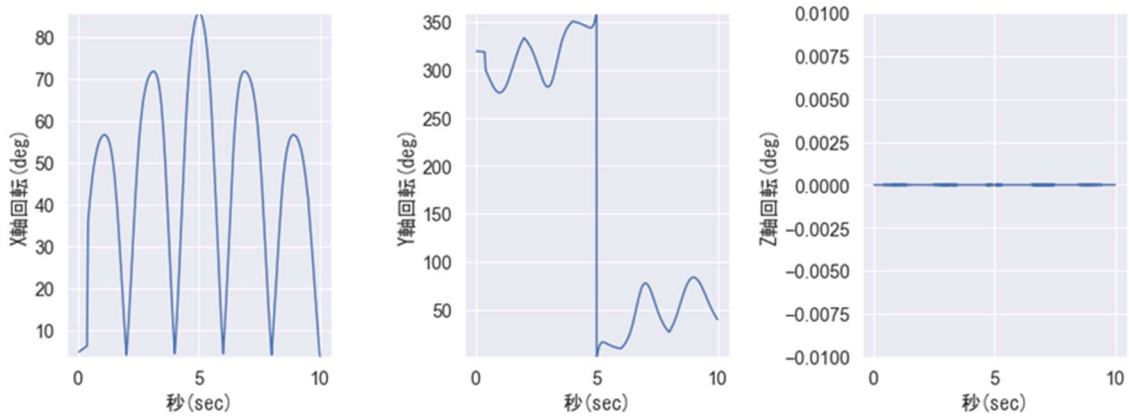


図 4-111 仮想トーチ動作シミュレーション値②

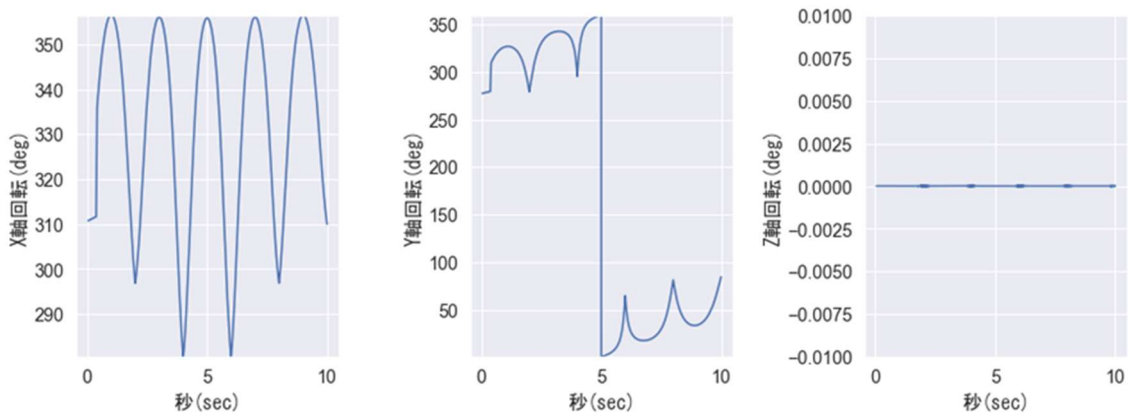


図 4-112 仮想トーチ動作シミュレーション値③

溶接面での軌跡をより明確に取得するために、仮想的な平面を仮定する。仮想平面とトーチの方向ベクトルが交差する点を計算して取得することにより、溶接対象の位置や技術者の姿勢に影響を受けずに溶接面上の軌跡を算出できるものと考えられる。

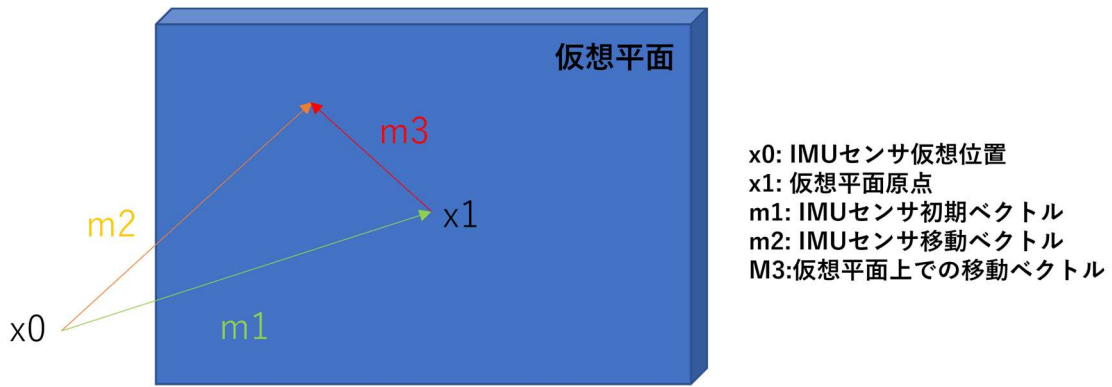


図 4-113 仮想平面上での位置計算

シミュレーションアプリ上で図 4-108 の条件下での移動量を取得した。取得したシミュレーション値を図 4-114、図 4-115、図 4-116 に記載する。溶接面の位置に関係なく同じ値が計算できている事がわかる。実際の IMU センサ値はシミュレーション値のようなきれいな値を取得できるとは限らないが、トーチの初期ポジションを方向ベクトルとして記録しておくことにより溶接面上の軌跡が取得できる可能性があると考えられる。

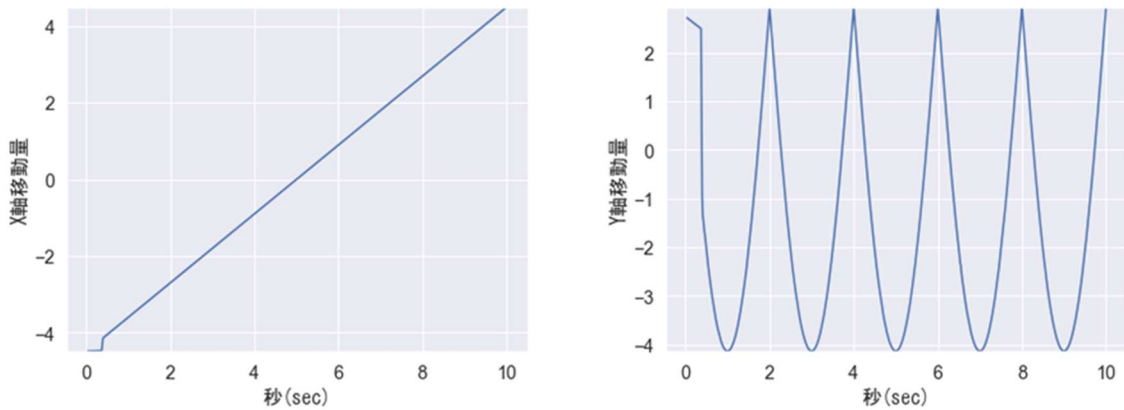


図 4-114 仮想平面上の移動量①

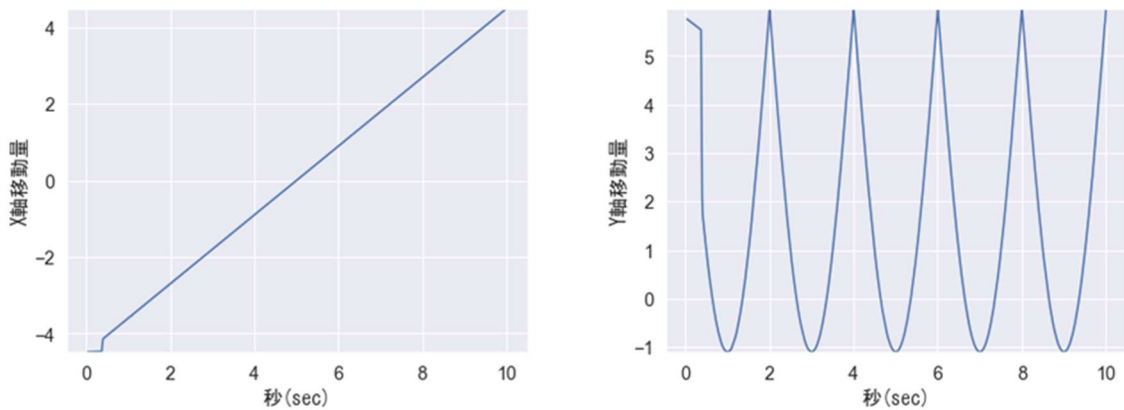


図 4-115 仮想平面上の移動量②

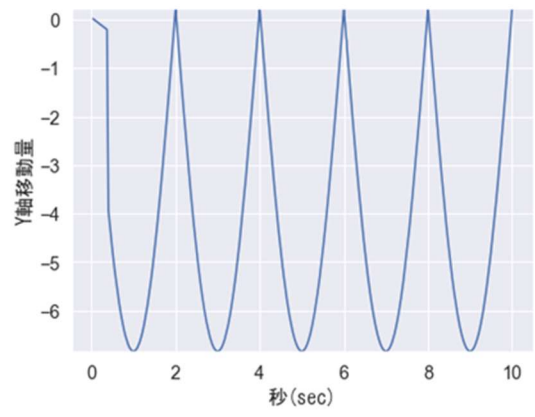
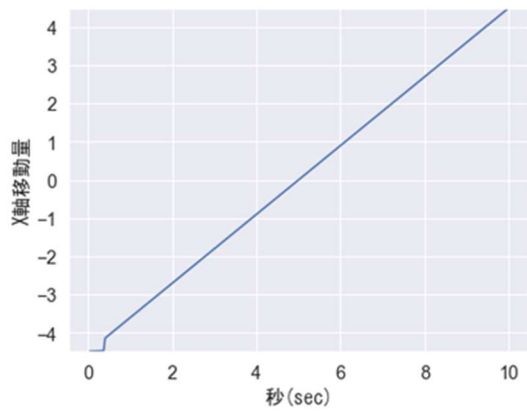


図 4-116 仮想平面上の移動量③

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作への協力

令和4年2月14日（月）及び2月18日（金）に、実証コンソーシアムの本事業に関する映像撮影を行った。撮影した映像は、総務省が公開する令和3年度 課題解決型ローカル5Gの実現に向けた開発実証のプロモーション映像の一部に用いられる。撮影内容の詳細を以下に示す。

表 5-1 撮影内容

撮影目的	・ 映像伝送及び技能の伝承
撮影日時	令和4年2月14日（月）及び2月18日（金）
撮影内容	① 実験を行う横浜事業所の外観を撮影 ② 普段の若手・熟練工の溶接作業の様子を撮影 ③ 遠隔ソリューションを使用している際の若手の様子を撮影 ④ ③を熟練工が確認する様子を撮影 ⑤ 技能伝承支援システムのソリューションを撮影 ⑥ ⑤のデータを解析する様子を撮影



図 5-1 実験を行う横浜事業所の外観



図 5-2 普段の若手の溶接作業の様子

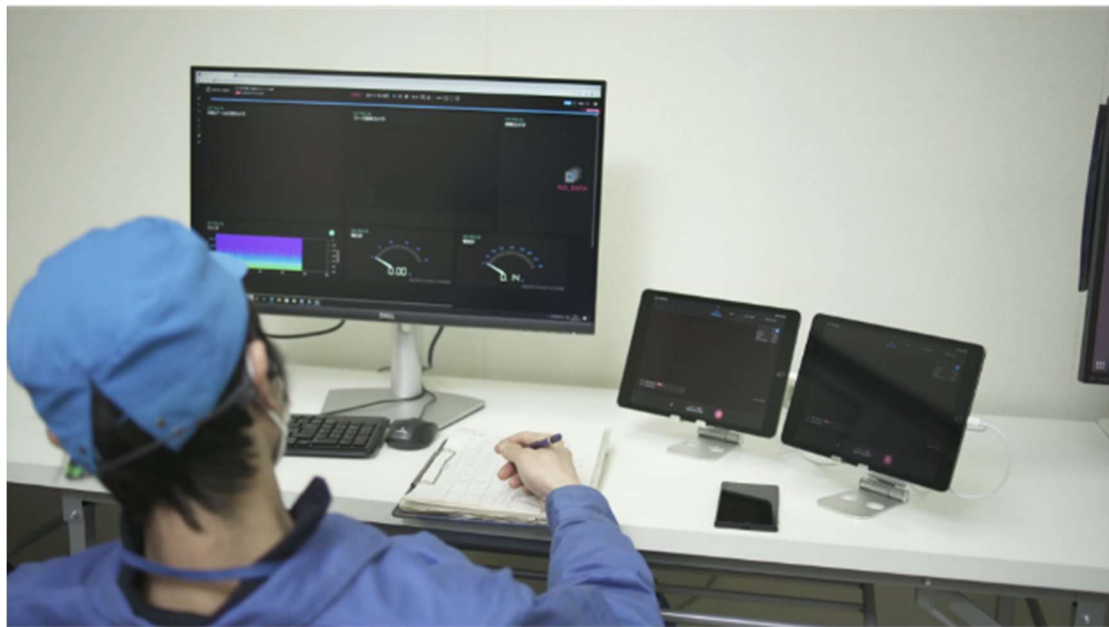


図 5-3 遠隔指導ソリューションを使用して熟練工が確認する様子



図 5-4 技能伝承支援システムのソリューション

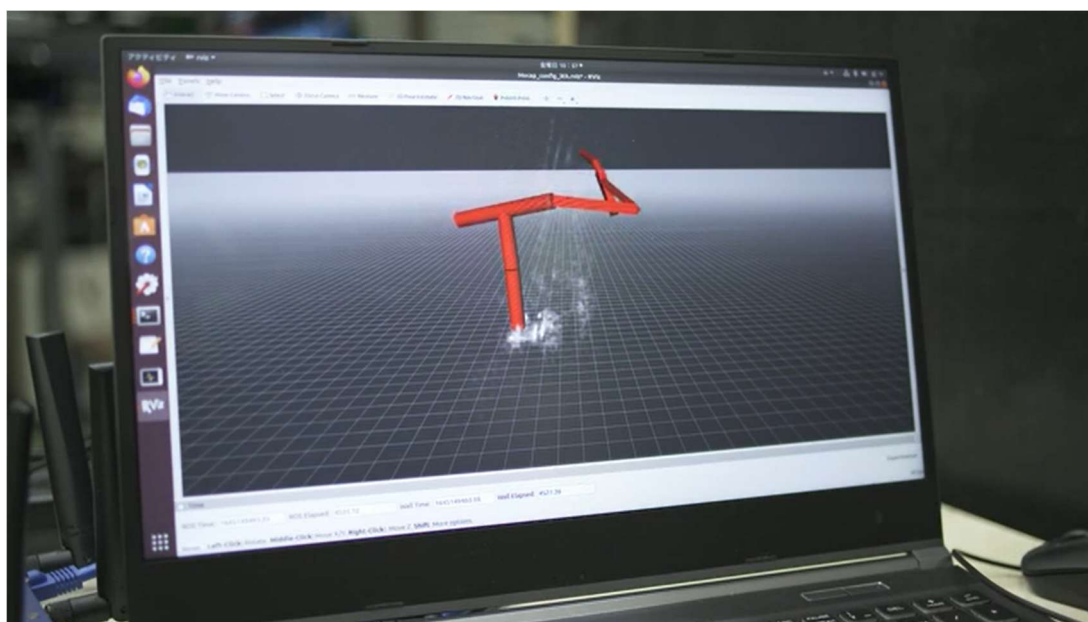


図 5-5 技能伝承支援システムで得られたデータを解析する様子

5.2 実証視察会の実施

令和4年2月17日（木）に、総務省及び関係各社向け実証視察会を行った。詳細を以下に示す。なお、新型コロナウイルスの感染拡大状況を踏まえ、視察はオンラインで行った。

表 5-2 開催概要

開催目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全国の製造業企業等、実証ソリューションの横展開可能性がある企業に対する広報 ・ 実証視察会の一環として、総務省・総通局・実証関係者に対する広報
開催日時	令和4年2月17日（木）14:00～15:00
開催手段	WebExにて開催
次第	<ol style="list-style-type: none"> ① オープニング（ウェビナーの概要、背景課題・実証目的の説明） ② 課題実証に関する映像上映 ③ データフュージョンシステムの紹介 ④ 製造現場での活用事例 ⑤ 実証結果に関する現時点の考察 ⑥ 質疑応答 ⑦ クロージング、アンケート回答依頼
発表者・質疑 応答対応者	PwC コンサルティング合同会社 株式会社 IHI 株式会社 NTT ドコモ 株式会社 エヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズ
参加者	コンソーシアム各社 コンソーシアムの関係各社 視察者（総務省、総通局、他実証関係者）
参加者数	74名

実証視察会においては、実証において遠隔指導を受けた溶接士、遠隔指導を行った溶接士から、遠隔指導ソリューションを使用した感想が得られた。熟練工及び非熟練工から得られた、遠隔指導ソリューションを使用した感想を以下に示す。

表 5-3 遠隔指導ソリューションを使用した感想

発話者	感想内容
非熟練工	<ul style="list-style-type: none"> • 遠隔指導ソリューションの使い勝手はどうだったか <ul style="list-style-type: none"> ➤ リアルタイムの音声通話による指導は初めてだったが、非常にわかりやすかった。 ➤ ケーブル配線がない方が作業しやすかった。 • 遠隔指導は溶接作業の技術向上に役立つと感じたか <ul style="list-style-type: none"> ➤ 数回指導を受けたが、技能が向上していると感じた。 ➤ これまで気が付かなかったコツ、未熟な点等を理解することができた。
熟練工	<ul style="list-style-type: none"> • 溶接の様子が表示されるダッシュボードは使いやすかったか <ul style="list-style-type: none"> ➤ 映像の品質については問題がないと感じた。 ➤ 映像を大画面で複数提示するよりも、モニター画面でコンパクトに情報が収まっていた方が指導しやすい。 ➤ 音声や電流・電圧データは、生データよりもフィルタ処理等されている方が良いと感じた。 • 今回の遠隔指導ソリューションが良かった点はどこか <ul style="list-style-type: none"> ➤ 溶接を直視しない、モニターを利用した指導が定着する可能性は大いにあると感じた。 ➤ 画像等、取得したデータを利用して、指導に活用することも考えられる。 ➤ 本実証においては、溶接者 1 名に対して指導を行ったが、複数の溶接士を同時に指導することもできると考えられる。

視察当日の様子を以下に示す。

1. ウェビナーの概要

(1) プログラムの内容

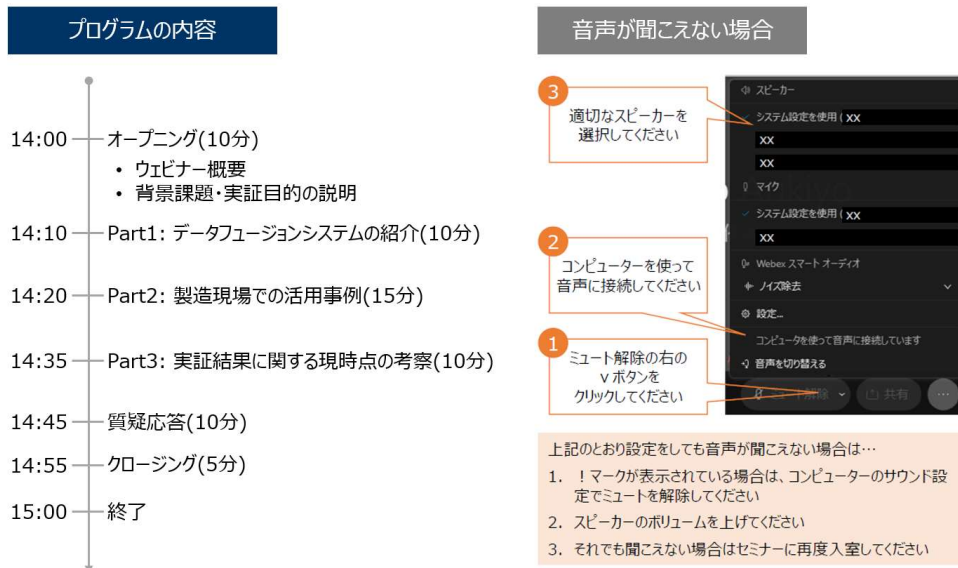


図 5-6 視察会当日に用いたウェビナーの概要に関する資料

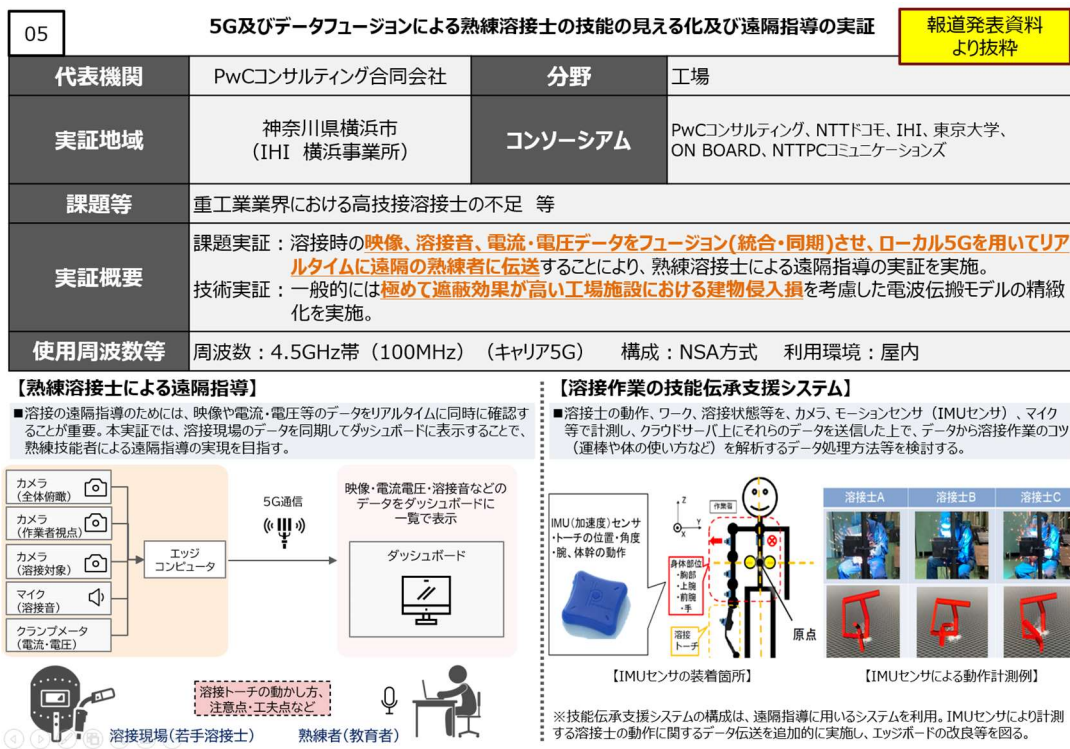


図 5-7 視察会当日に用いた実証概要に関する資料

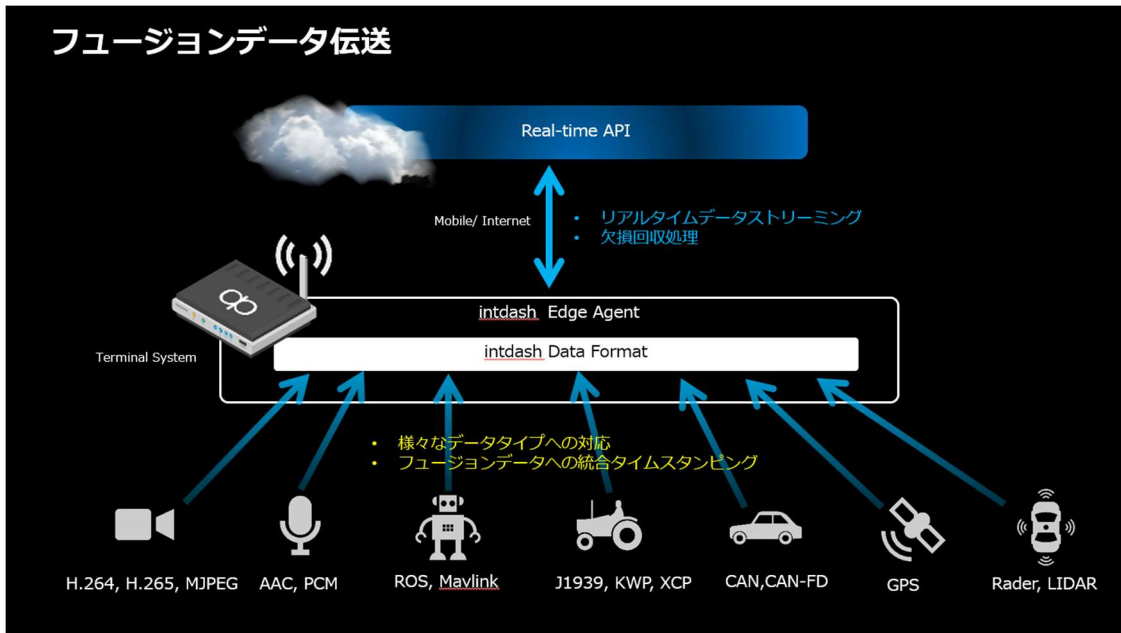


図 5-8 視察会当日に用いたデータフュージョンシステムの紹介に関する資料

3. 製造現場での活用事例 (1) 目的

遠隔ソリューションを活用して、熟練工による5Gを活用したリアルタイムでの遠隔指導を行う事で、指導効率の向上を図り、非熟練工の技能の早期育成を目指します。

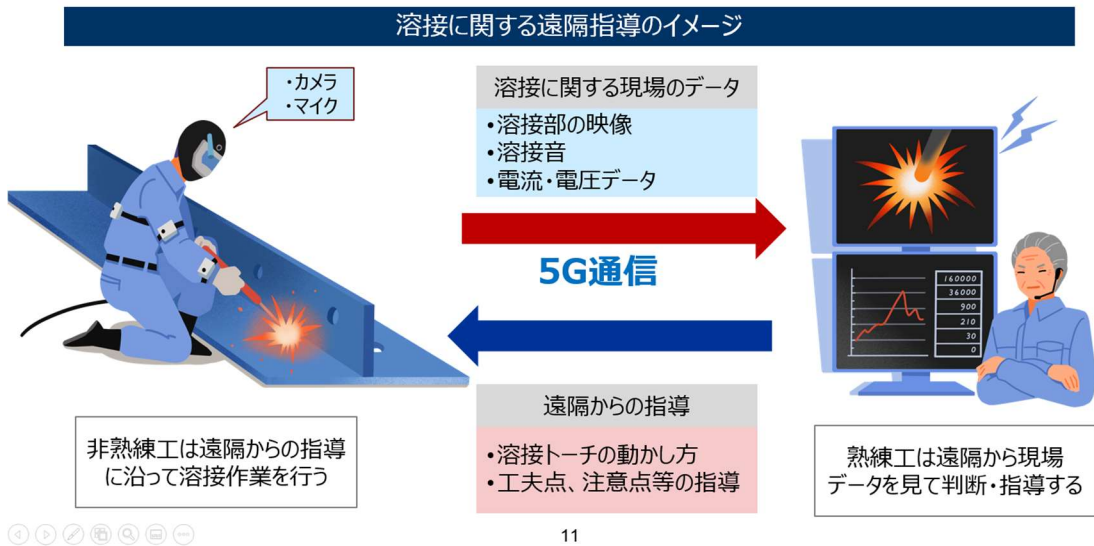


図 5-9 視察会当日に用いた製造現場での活用事例の資料

実証視察会において行われた質疑応答の内容を以下に示す。

表 5-4 実証視察会質疑応答

質問	回答
<ul style="list-style-type: none"> ソリューションについて、IHI 内の他の工場に実装することは見込めそうか。また、他社工場への横展開について、現時点で課題はあるか。 	<ul style="list-style-type: none"> IHI 社内においては、実装を行っていきたいと考えている。また、他社への横展開という観点では、製造業の会社にアンケート調査を行ったが、遠隔指導ソリューションは製造業の危険な場所、安全性の高い場所などにおいて、ニーズがあった。現時点の課題としては、現場導入の際のケーブル配線が課題であると考えている。
<ul style="list-style-type: none"> 横展開におけるアンケート等において、遠隔指導ソリューションのニーズがあるというコメントをいただいております。嬉しいと思っています。一方で、現時点で、問題点や制約条件等、ここが今一つという意見はあるか。 	<ul style="list-style-type: none"> 5G が普及することで変わる可能性もあるが、現時点では、5G を設置するのに3か月ほどかかる点がボトルネックである。他の細かな課題としては、ケーブルの配線、データフュージョンの使い勝手やデータ蓄積・後解析・フィードバック等への活用方法である。
<ul style="list-style-type: none"> 遠隔で指導をしたとのことだが、指導者の方がどこにおられたのか。また、イントラッシュはクラウドでデータを収集するとのことだが、リアルタイム性の観点から遅延はどれほどあったのか。 	<ul style="list-style-type: none"> 建物の1階に溶接者、建物の2階に指導者がいる。通信遅延については、現地のエッジボードで押されたタイムスタンプから、指導者の端末に表示されるまでは、500～800ms以内であり、溶接指導観点だと気にならないほどの遅延である。
<ul style="list-style-type: none"> 本実証においてローカル 5G 基地局は、1つで構築されたと思うが、工場内による電波の反射や機器の配置状況、人の動作、溶接の磁場による電波への影響はなかったか。また、カメラは3つ活用したのか。カメラの解像度がハイビジョンクラスで指導者は把握することができるのか。 	<ul style="list-style-type: none"> 溶接の磁場による通信に対する影響はほとんどなかった。熟練者に送っているのは、メインでは2つのカメラで撮影した解像度HDの動画である。現時点においては、HDの解像度で指導ができている。

また、実証視察会参加者からのアンケート結果について、図 5-10 にて、特に面白かったパートに関するアンケート結果を示す。

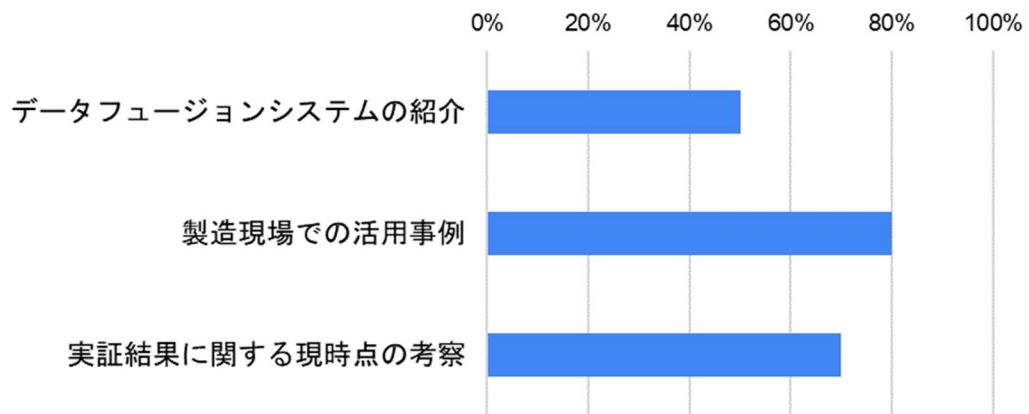


図 5-10 特に面白かったパートに関するアンケート結果

6. 会合等の開催

6.1 キックオフミーティング

本実証のキックオフミーティングを行い、事務局の役割の確認、実施計画書のレビュー等を実施した。表 6-1 に概要を示す。

表 6-1 キックオフミーティングの概要

開催日程	令和3年10月12日(火)
開催手段	WebExにて開催
次第	① 三菱総合研究所(以下、「実証事業事務局」とする。)の役割について ② 実施計画について ③ 実施計画書のレビュー
参加企業	総務省 関東総合通信局 実証事業事務局 PwCコンサルティング合同会社 株式会社NTTドコモ ドコモ・テクノロジー株式会社 株式会社IHI 東京大学 株式会社エヌ・ティ・ティ・ピー・シーコミュニケーションズ 株式会社ON BOARD

当該打ち合わせの中では、事業全体における事務局の役割について説明が行われた。実施事項と関係者が多岐にわたることから、事務局における基本的な連絡・問い合わせの対応は全体連絡窓口(委託先:フロンティアインターナショナル)より実施されることについて説明が行われた。

6.2 コンソーシアム内定例会議

コンソーシアム内において、週次で定例会議を実施することによって、契約及び経理処理やWBS、課題管理表の確認、週次報告を行った。表 6-2 にコンソーシアム内定例会議の概要、図 6-1 にコンソーシアム内定例会議で確認する WBS の概要を示す。

表 6-2 コンソーシアム内定例会議の概要

開催日程	令和 3 年 9 月 10 日（水）より週次開催
開催手段	WebEx にて開催
次第	① 契約及び経理処理 ② 進捗状況の確認(各社 WBS、週次報告書、課題管理表、報告書素案等) ③ 技術実証に関する確認事項 ④ 課題実証に関する確認事項 ⑤ 周知広報活動（ウェビナー、映像制作等） ⑥ 横展開に向けた検討（アンケート調査、ヒアリング調査）
参加企業	PwC コンサルティング合同会社 株式会社 NTT ドコモ 株式会社 IHI 東京大学 株式会社エヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズ 株式会社 ON BOARD

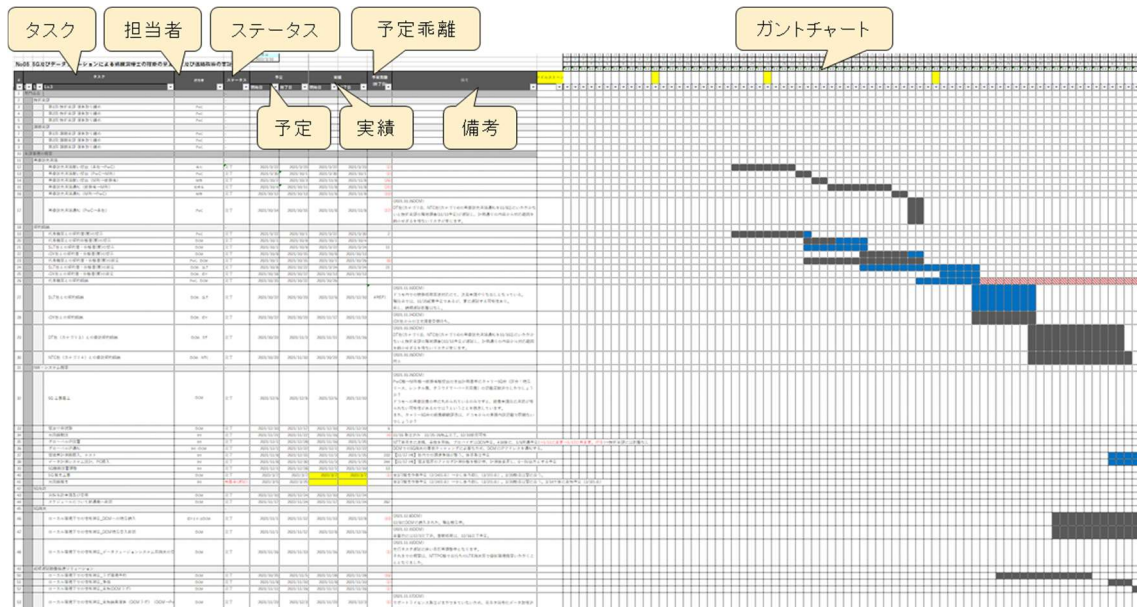


図 6-1 コンソーシアム内定例会議で確認する WBS の概要

6.3 継続利用検討ワークショップ

以下の6回のコンソーシアム内での協議を実施することによって、ソリューション実装に向けた検討を行った。第1回～第6回までの協議においては、1回あたり2時間程度の時間を確保し、それぞれ以下の協議内容とアウトプットとなる資料を用意し、計画的に議論を行った。下表には開催日程一覧を示す。

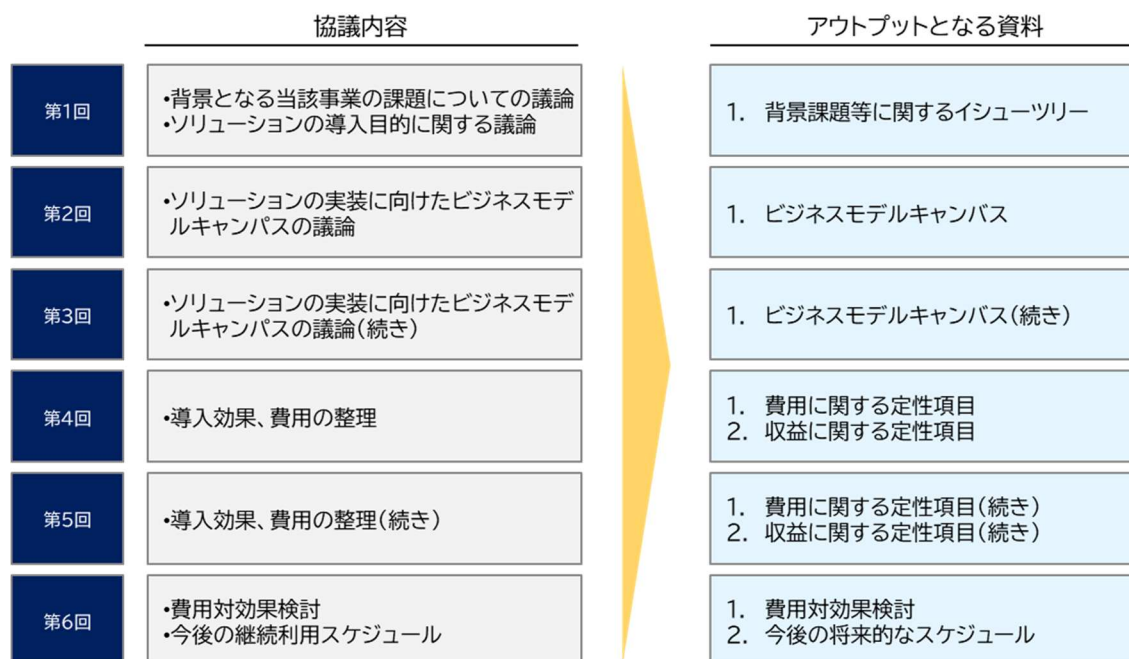


図 6-2 ローカル 5G 活用モデルの検討ステップ

表 6-3 継続利用検討ワークショップの開催日程一覧

第1回継続利用検討ワークショップ	令和3年11月24日(水) 14:00-16:30
第2回継続利用検討ワークショップ	令和3年12月8日(水) 14:00-16:30
第3回継続利用検討ワークショップ	令和3年12月22日(水) 14:00-16:30
第4回継続利用検討ワークショップ	令和4年1月12日(水) 14:00-16:30
第5回継続利用検討ワークショップ	令和4年2月2日(水) 14:00-16:30
第6回継続利用検討ワークショップ	令和4年2月24日(木) 14:00-16:30

6.4 総務省への文書の提出

6.4.1 月次報告書・週次報告書

実証の進捗状況を共有する目的のもと、月次報告書・週次報告書を作成し提出した。報告項目を以下に示す。月次報告書・週次報告書は、各コンソーシアムから総務省及び三菱総合研究所に提出する運用とした

- 月次報告書の報告内容
 - ① 今月の進捗状況（実証環境の構築、技術実証、課題実証、その他）
 - ② 遅延の遅延原因・対応方針・対応状況（実証環境の構築、課題実証、技術実証、実装・横展開、その他）
 - ③ 次月の作業予定（実証環境の構築、技術実証、課題実証、その他）
 - ④ 広報活動実績及び予定
 - ⑤ 相談事項、懸念事項等

- 週次報告書の報告内容
 - ① 今週の進捗状況（実証環境の構築、技術実証、課題実証、その他）
 - ② 相談事項、懸念事項等

6.4.2 課題管理表

月次報告書と併せて、各コンソーシアムからは、実証を実施する中で生じた課題を適宜関係者と共有するため、課題管理表を月次で作成し、総務省及び実証事業事務局（三菱総合研究所）に提出する運用とした。

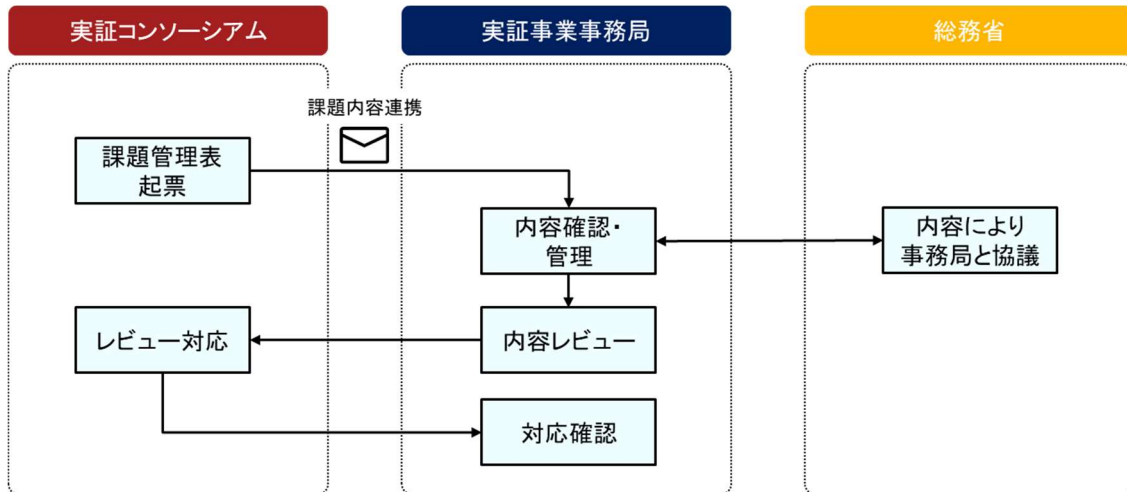


図 6-3 課題管理表の確認プロセス

図 6-4 に本実証において起票した課題管理表を示す。課題管理表には、課題番号・枝番・ステータス（未対応・対応中・総務省確認待・対応完了・取下げ）、重要度（高：1週間以内で対応、中：1か月以内で対応、低：2か月以内で対応）、起票日、起票者、対応者、課題内容、対応方針、対応状況、関連課題番号、対応期限、対応完了日、備考を記載する。特に重要な課題を課題管理表に追加した場合には、定期報告を待たずに速やかに提出を行った。

課題番号	枝番	ステータス	重要度	起票日	起票者	対応者	課題内容	対応方針	対応状況	関連課題番号	対応期限	対応完了日	備考
例	XXX	XXX		yyyy/mm/dd	〇〇社 〇〇	〇〇社 〇〇	〇〇のデータが取得できない	〇月〇日に想定基準値を見直し再設定のうえ、測定を行う。	〇月〇日 想定基準値見直し検討 〇月〇日 測定	-	yyyy/mm/dd	yyyy/mm/dd	
	1	対応完了	高	2021/10/21	Pwコンサルティンク						11月5日	11月8日	
	2	対応完了	高	2021/10/27	Pwコンサルティンク						11月8日	11月8日	
	3	対応完了	高	2021/11/2	Pwコンサルティンク						11月17日	11月17日	発注済になればリリースする
	4	対応完了	高	2021/11/2	Pwコンサルティンク						11月8日	11月8日	

図 6-4 本実証において起票した課題管理表

6.5 中間成果報告会

令和3年12月27日(月)に、「令和3年度 課題解決型ローカル5Gの実現に向けた開発実証」に採択された25事業者が一堂に会し、実証成果の報告会を実施した。詳細を以下に示す。

表 6-4 課題解決型ローカル5Gの実現に向けた開発実証 中間報告会概要

目的	総務省「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」の一環で、ローカル5G等を活用したソリューションの創出・実装に関する実証コンソーシアムからの課題認識及び事業進捗のご報告
開催日程	【課題実証】令和3年12月27日(月)9:00~11:30 【技術実証】令和3年12月27日(月)14:00~16:30
開催手段	Microsoft Teamsにて開催
次第	① 開会、全体概要のご説明 ② 25事業者のご報告、質疑 ③ 今後のスケジュール等、閉会
参加企業・組織	評価委員 実証コンソーシアム(全25コンソーシアム) 実証事業事務局 総務省 課題実証専門会合委員・オブザーバ 一般社団法人電波産業会(ARIB) 株式会社フロンティアインターナショナル

中間成果報告会においては、5G及びデータフュージョンシステムによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証に関する、技術実証及び課題実証について報告を行った。以下に課題実証及び技術実証の報告書内容を示す。

No05 PwCコンサルティング合同会社 工場分野（課題実証）

5G及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証											
将来像											
<p>ローカル5Gの活用により目指す将来像</p> <ul style="list-style-type: none"> 熟練者の退職と若手溶接士の減少による技能継承問題を解決するため、溶接現場のデータを可視化し、現場・技能データを活用したソリューション実現を目指す。 <p>司令塔となるマザー工場にデータを集約</p> <p>溶接現場データの可視化 高精細な溶接映像、溶接トーチの動かし方、身体の使い方 など</p> <p>国内外の拠点から製造現場のデータを収集</p> <p>5G通信</p> <p>技能データを活用した取組 遠隔指導、AI指導、検査自動化 訓練カリキュラムの策定 など</p>	<p>将来像の実現に向けた課題及び対応策</p> <p>①【遠隔指導に関する課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 熟練者によるリアルタイムな遠隔指導を行うためには、溶接現場における様々なデータを適切に収集し、溶接音や溶接映像、電流・電圧等の情報間にタイムラグがなく、一元的にデータフュージョン（同期）が図られる仕組みが必要になる。 <p>②【技能の見える化に関する課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 技能の見える化にあたっては、技能の肝となる情報は何かを特定した上でデータ収集を行う必要がある。例えば、技能のコツを洗い出すには、溶接トーチの動き、溶接士の身体や関節の位置など、評価項目に含めるべき観点を検証することが求められる。 										
実証目標・課題等											
<p>本実証における目標及びその位置づけ</p> <p>①【遠隔指導ソリューションに関する実証】複数の若手溶接士による溶接時の映像、音、電流電圧データ等を取得し、熟練溶接士によるデータフュージョンおよび5G通信を用いた、遠隔指導試験を実施する。また指導による習熟効果を考察し、若手溶接士の早期育成システムとしての成立性を検証する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>見込まれる効果</th> <th>効果検証の観点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>若手の技能向上</td> <td>・技能レベルに応じた、溶接難易度の達成度合い</td> </tr> <tr> <td>移動/指導時間の削減</td> <td>・熟練工が指導のために現場を移動する時間、指導にかかる時間の削減</td> </tr> <tr> <td>コスト削減</td> <td>・機会損失回避、製品付加価値の向上、不良品率の低下</td> </tr> <tr> <td>安全性の確保</td> <td>・溶接士の安全性が損なわれないこと</td> </tr> </tbody> </table> <p>②【技能の見える化に関する実証】技能の見える化を実現するため、溶接士のワークや動作、溶接状態等を、カメラ、モーションセンサー、マイク等で計測し、データから溶接作業のコツを解析するデータ処理方法等を検討する。</p>	見込まれる効果	効果検証の観点	若手の技能向上	・技能レベルに応じた、溶接難易度の達成度合い	移動/指導時間の削減	・熟練工が指導のために現場を移動する時間、指導にかかる時間の削減	コスト削減	・機会損失回避、製品付加価値の向上、不良品率の低下	安全性の確保	・溶接士の安全性が損なわれないこと	<p>実証に係る課題及び対応策</p> <p>【実証期間における溶接時間確保】</p> <ul style="list-style-type: none"> 遠隔/直接指導の効果比較、溶接難易度に応じた考察等が必要ことから、限られた実証期間における十分な溶接時間の確保が求められる。 実験開始前にシステム操作の習熟期間を設けることや、技能レベルの異なる溶接士・溶接難易度の異なる製品の組み合わせを工夫すること等により、考察に必要な実施事項を消化できるようスケジュールを検討する。
見込まれる効果	効果検証の観点										
若手の技能向上	・技能レベルに応じた、溶接難易度の達成度合い										
移動/指導時間の削減	・熟練工が指導のために現場を移動する時間、指導にかかる時間の削減										
コスト削減	・機会損失回避、製品付加価値の向上、不良品率の低下										
安全性の確保	・溶接士の安全性が損なわれないこと										

図 6-5 中間報告会（課題実証）における報告内容

No05 PwCコンサルティング合同会社 工場分野（技術実証）

5G及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証		
テーマⅠ 電波伝搬モデルの精緻化	テーマⅡ 電波反射板によるエリア構築の柔軟化	テーマⅢ 準同期TDDの追加パターンの開発
<p>課題解決システム利活用環境における技術的課題</p>	<p>技術実証テーマⅠ： 工場内においては、金属製の遮蔽版及び什器が複数設置されていることが想定され、遮蔽又は反射による電波伝搬特性の影響が発生する環境と考えられる。そのため、基地局を2Fからの吹き降ろしとなるように設置し実証エリアと基地局間の遮蔽影響を極力排除する形で環境を構築する。 一方で、基地局高を高くすることによる対象エリア外への電波漏洩が課題として考えられる。</p>	
<p>上記課題の解決のための目標</p>	<p>技術実証テーマⅠ： 本実証環境においては施設が立ち並ぶ工場施設の屋内となり、騒音対策、防災対策として壁面が堅牢であること想定され、建物侵入損失の影響が支配的になると考えられる。そのため、壁面が堅牢に近い環境のモデルケースを示すにあたりR値の精緻化を対象とする。</p>	
<p>実証前の仮説</p>	<p>技術実証テーマⅠ： R値は情報通信審議会報告書にて示されている建物外壁の期待値50% (=31.4dB)とする。</p>	
<p>現時点での進捗と今後の見通し</p>	<p>技術実証テーマⅠ： 現地調査の結果、基地局放射方向においては同様の建屋が併設されており、その方向においてはより多くの建物侵入損失R値を見込むことが必要と考えられる。そのため、点線で示す補助線ごとに見込む壁面数が異なることからエリア算出においては方位角ごとの重みづけを行う事を予定している。</p>	

図 6-6 中間報告会（技術実証）における報告内容

表 6-5 に、中間報告会において行われた質疑応答の内容を示す。

表 6-5 中間報告会における質疑応答

質問	回答
<ul style="list-style-type: none"> 機能の見える化に関する課題について、溶接の対象によって難易度や教師データも変わると考えられるが、溶接の出来栄を判断するような基準はどのようにして作成するのか。溶接の出来栄に対しての評価基準や、教師データの作り方についてコメント頂きたい。 	<ul style="list-style-type: none"> 熟練者と若手では難易度によってどこまで技能が発揮できるかに差がある。そこで熟練者の人と若手に関する、機械の動かし方・動き方のデータの差異を見ることによって、どこがその違いになっているのかを把握できるのではないかという仮説に沿って現状検討を進めている。
<ul style="list-style-type: none"> 製品としての出来栄や溶接がきちんと出来ているかどうかを判断することが重要と考えるが、その基準はどのように設けるのか。 	<ul style="list-style-type: none"> 技能が求められる溶接に関しては可・不可で判断されるところになる。製品の難易度を複数設けることによって、特定の人がどこまでできて、どこまでできなかったかを判断することを検討している。
<ul style="list-style-type: none"> 溶接の可否について部位や接合されるものの相互関係等でいくつかパターンがあり、それに対して必要な技術項目や技術レベルがあると想定される。やはり溶接においては熟年のプロに十分にヒアリングをして仮説を構築するというステップを踏まないと、検証の前提の枠組み自体が見当はずれになる可能性があるが、熟練者へのヒアリングは充分に行われているか。 	<ul style="list-style-type: none"> 現状、熟練の方々へのヒアリングなどを通して、この難易度の溶接であれば、どの程度の技能が必要になるか等を検証している。ご指摘を踏まえ、今後もヒアリングを行っていきたい。 IHI 社内の製品基準や JIS 規定を採用することも合わせて検討している。今回の遠隔操作指導によって、作業者 A と作業者 B でどれぐらいの指導効果があったかという点を評価する。

6.6 最終成果報告会

令和4年3月25日（金）に、令和3年度「課題解決型ローカル5Gの実現に向けた開発実証」に採択された事業者の、実証成果の報告会を実施した。詳細を以下に示す。

表 6-6 課題解決型ローカル5Gの実現に向けた開発実証 最終成果報告会概要

目的	総務省「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」の一環で、ローカル5G等を活用したソリューションの創出・実装に関する実証コンソーシアムからの課題認識及び事業進捗のご報告
開催日程	【技術実証】令和4年3月25日（金）9:30～12:00 【課題実証】令和4年3月25日（金）17:00～19:30
開催手段	Microsoft Teamsにて開催
次第	① 開会 ② 25事業者のご報告、質疑 ③ 全体取り纏め
参加企業・組織	評価委員 実証コンソーシアム（全25コンソーシアム） 実証事業事務局 総務省（本省及び総合通信局・総合通信事務所） 専門会合委員・オブザーバ

最終成果報告会においては、5G及びデータフュージョンシステムによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証に関する、技術実証及び課題実証について報告を行った。以下に課題実証及び技術実証の報告書内容を示す。

No.5 PwCコンサルティング合同会社 工場分野（課題実証）

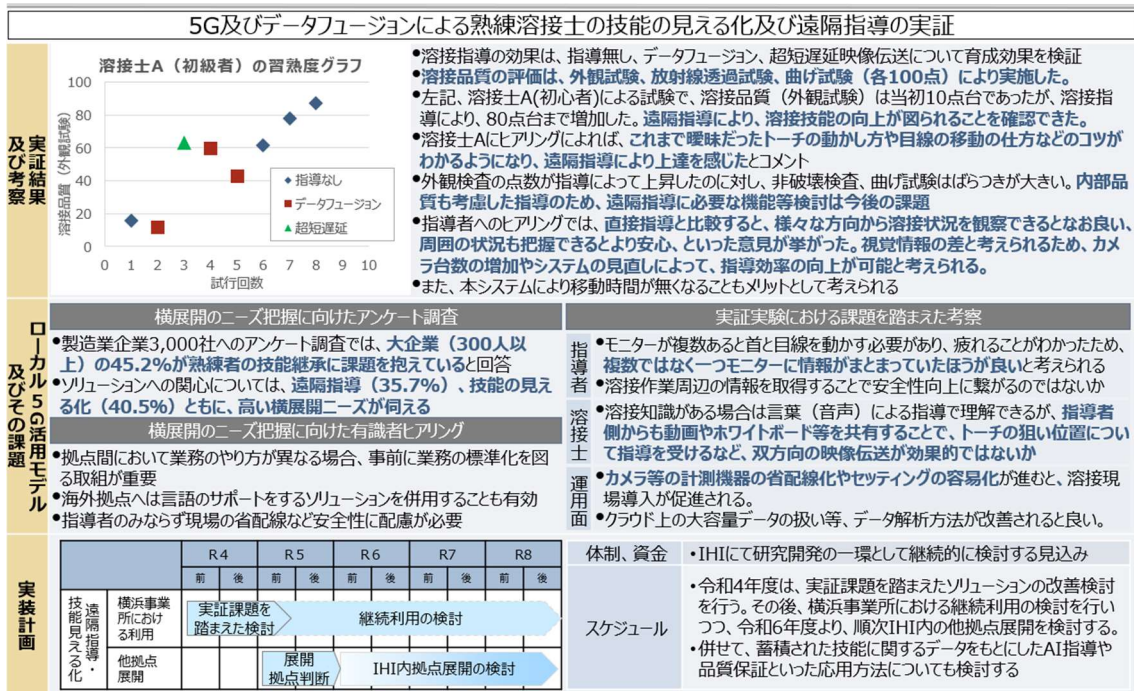


図 6-7 最終成果報告会（課題実証）における報告内容

No.5 PwCコンサルティング合同会社 工場分野（技術実証）



図 6-8 最終成果報告会（技術実証）における報告内容

7. 実施体制

本開発実証は、以下の実施体制（以下、「コンソーシアム」とする。）で実施した。以下に最終的な実施体制図を示す。

<体制全体>

- PwC コンサルティングを代表機関とし、全体を統括することとする。
- 協同実証として、NTT ドコモ、IHI、東京大学、ON BOARD、エヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズ、早稲田大学が参画するものとする。

<各担当者>

- 本コンソーシアムにおける各担当は以下の通りとする。
 - プロジェクトマネージャー：PwC コンサルティング ディレクター
 - 技術実証担当者：NTT ドコモ シニアマネージャー
 - 会計処理担当者：PwC コンサルティング マネージャー

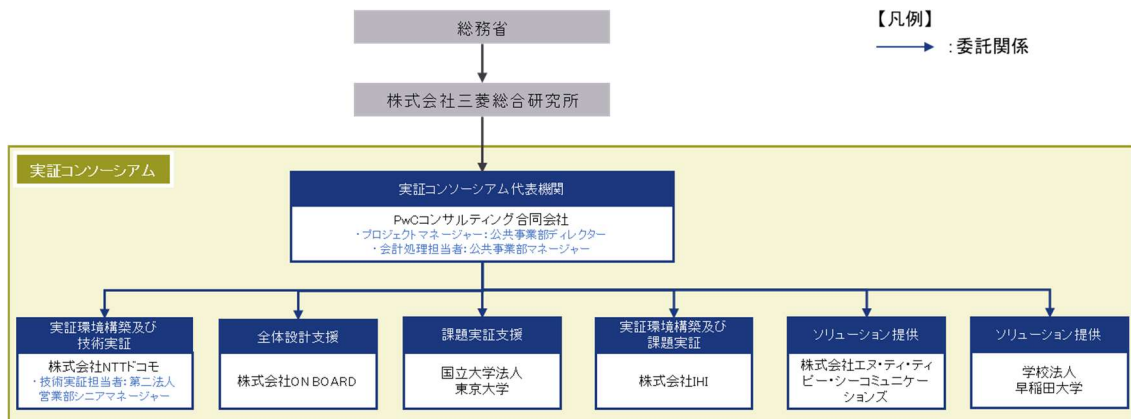


図 7-1 実施体制図

上記体制図にて示すとおり、本実証を行うにあたって以下の機関への再委託を行う。

【コンソーシアムを構成する企業の概要】

名称	株式会社 NTT ドコモ
所在地	〒100-6150 東京都千代田区永田町 2 丁目 11 番 1 号 山王パークタワー
役割	<ul style="list-style-type: none"> • 5G 設備設計、構築、サービス提供 • 電波伝搬の実証（技術実証） • 超短遅延映像伝送システム提供

名称	株式会社 IHI
所在地	〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1 番地
役割	<ul style="list-style-type: none"> • 実証課題の提供（課題実証） • 実証環境の提供

名称	東京大学
所在地	〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1
役割	• 技能の見える化に関する解析

名称	株式会社 ON BOARD
所在地	〒273-0005 千葉県船橋市本町3-6-2-503
役割	• 実証企画構成支援

名称	株式会社エヌ・ティ・ティピー・シーコミュニケーションズ
所在地	〒105-0003 東京都港区西新橋2丁目14番1号
役割	• データフュージョンソリューション構築、提供

名称	早稲田大学
所在地	〒169-8050 東京都新宿区戸塚町1丁目104
役割	• 溶接士の作業モーションの取得、解析に関する研究開発

8. スケジュール

本開発実証は、以下のスケジュールで実施した。以下にスケジュール実績を示す。

大区分	小区分	9月		10月					11月					12月			1月					2月				3月				
		27日	4日	11日	18日	25日	1日	8日	15日	22日	29日	6日	13日	20日	27日	3日	10日	17日	24日	31日	7日	14日	21日	28日	7日	14日	21日	28日		
実証環境の構築	実施環境の準備																													
	NW・システム構築																													
	免許及び各種許認可						▲免許申請準備							▲電波 発射	▲本免許取得															
	映像伝送ソリューション																													
	データフュージョンシステム																													
技術実証	実証計画策定																													
	事前確認・準備																													
	電波伝搬特性等の測定																													
	電波伝搬モデルの精緻化																													
	評価・検証																													
課題実証	実証計画策定																													
	環境構築																													
	実証作業																													
	有効性検証																													
	実装性検証																													
	普及展開策の検討																													
	実装に向けた課題抽出及び解決策の検討																													
	実装シナリオの見直し																													
	追加提案 (技能伝承支援システムの実現性検討)																													
普及啓蒙活動	映像制作																													
	実証視察会の実施・準備																													
成果物取りまとめ	成果報告書																													
	成果報告書概要版																													
	実証成果概要																													
	ローカル5Gシステムを構成する発明品等																													

図 8-1 スケジュール実績

9. まとめ

重工業業界をはじめとする製造業企業では、熟練者の退職と少子化による若手溶接士の減少、技能継承が課題となっていると考えられる。これにより、受注機会の減少や製品品質の低下、売り上げ減少に繋がる恐れがある。そこで本実証では、ものづくりの基盤技術となる溶接において、溶接時の映像、音声データ、電流電圧データをダッシュボードに表示し、熟練者がリアルタイムに遠隔指導を行うことで、熟練者の不足、技術継承機会の低下といった製造現場における課題を解決することを目的とした。

実証試験は、本実証は、IHI 横浜事業所内 技術開発本部 511 棟に置局される 4.5GHz 帯 (4.5~4.6GHz) のキャリア 5G 基地局 1 局を用いた。なお、遠隔指導を行うべくデータフェュージョンシステムおよび、超短遅延映像伝送システムの 2 つのシステムを構築した。

技術実証においては、ローカル 5G の電波伝搬特性等の精緻化を行った。測定の結果、実測値から算出される精緻化値 R は 15.1dB、別建屋が併設されている方向においては 35.2dB となった。対象壁面と同様の二層の壁面構造となっており、概ね倍に近い値となった。また、工場環境においては、精緻化値を用いたとしても実測値から推定されるエリア図と大きく乖離していることが分かった。これは、屋内における乱反射による電波漏洩が支配的であるためと考えられるため、小中規模の向上においては、大規模工場と比較して影響が大きいと想定される。そのため、工場内環境においてはサービスエリア内のカバレッジを十分とりつつ、乱反射影響による電波漏洩対策として、基地局の送信出力を必要最低限に抑えることが望ましいと考えられる。また、課題解決システム利活用環境における技術的課題として、工場内においては、金属製の遮蔽版および仕器が複数設置されていることが想定され、遮蔽又は反射による電波伝搬特性の影響が発生する環境と考えられるため、基地局を 2 階からの吹きおろしとなるように設置し実証エリアと基地局間の遮蔽影響を極力排除する形で環境を構築する必要がある。一方で、基地局高を高くすることによる対象エリア外への電波漏洩が課題として考えられることがわかった。

また、課題実証においては、遠隔指導ソリューションによる若手溶接士の育成に関する検証を行った効果検証においては、複数回の指導により初級者・中級者と問わず、溶接品質が向上することが分かった。具体的には、溶接士 A(初心者)による試験で、溶接品質(外観試験)は当初 10 点台であったが、溶接指導により、80 点台まで増加した。また、機能検証においては、データフェュージョンシステム及び、超短遅延映像伝送システムともに、本実証で想定する機能が遠隔指導に利用可能であることがわかった。実装時においては、各メリットに応じて使い分けことが想定される。さらに運用検証においては、安全性・指導者・現場若手・運用メンテナンスの観点からヒアリング、評価を行ったが、「アーク光の画像から指導中の溶接作業に対しての、溶接不良による不安全状態は把握できる」や、「指導者の移動が不要になることによる効果は大きい」、「作業効率については向上した(上達できた)」等のプラスの意見も得られた。一方で、安全性や機器の使いやすさの観点から省配線化、指導者の観点からモニター提示方法の工夫や複数人同時指導システムの検討、運用メンテナンスの観点から各種機器の一部改良等、改良点についても意見が得られた。

さらに、課題実証における追加提案においては、①溶接作業の記録、②溶接作業の分析、③技能伝承システムとしての技術課題の提示を行った。①溶接作業の記録においては、全てのカメラ・マイク・センサデータについてデータの同期ズレやデータ欠損が生じていないことを確認した結果、本番データにおいては IMU センサに一部欠損があったものの、その他

については適切に同期の上、クラウドに伝送・蓄積されていた。また、②溶接作業の分析においては、東部の移動距離の平均値及び音声データ、電圧の変化傾向、体の使い方には溶接の品質を示す特徴が含まれる可能性があることがわかった。さらに、③技能伝承システムとしての技術課題の提示においては、溶融池映像分析には、熟練者と非熟練者との間でアーク、ワイヤ、溶融池などの位置情報における差異がより明確に現れていると考えられるため、より高度なデータ分析のためには溶融池映像の解析を検討する必要があることがわかった。また、最低限の学習データセットの準備と溶接作業者に負担をかけず継続してデータの収集を行うシステムの構築が必須であることが分かった。

また、実装・横展開に向けた検討においては、製造業企業 3,000 社へのアンケート調査を行ったところ、大企業（300 人以上）の 45.2%が熟練者の技能継承に課題を抱えていると回答を得られた。そして、ソリューションへの関心についてもアンケート調査を行ったところ、遠隔指導（35.7%）、技能の見える化（40.5%）と回答となり、高い横展開ニーズがあることがわかった。

今後は、遠隔指導ソリューションや技能継承システムについて、ソリューションに関するブラッシュアップを行った上で、IHI 社内での拠点展開や他社・他業界への横展開を検討していく見込みである。

別紙

別添① 横展開検討に向けたアンケート調査報告書

【別紙①】

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

5G及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の
見える化及び遠隔指導の実証

横展開検討に向けたアンケート調査報告書

令和4年3月25日

PwC コンサルティング合同会社

目次

1. 調査の概要	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査の概要	1
2. 調査回答結果	3
2.1 回答企業属性.....	3
2.2 製造現場について	6
2.3 ローカル 5G について.....	15
2.4 5G を用いたソリューションについて.....	25
3. 無線通信及びローカル 5G の利活用における課題（考察）	37
4. アンケート調査票（参照）	39

1. 調査の概要

1.1 調査の目的

近年、製造現場においては、生産性向上のため、IoT や無線通信といった ICT 技術の導入が急速に進んでいる。また、令和 3 年には、地域におけるローカル 5G 普及促進プロジェクトについても実施されておりローカル 5G の導入に向けた動きが加速している。

本事業「製造業におけるローカル 5G の利活用に関する調査」においては、製造業の生産性向上等に資する無線通信の更なる普及や安全な利用の促進のため、製造業各社に無線通信に関する利用状況やニーズ、ローカル 5G の導入意向や、ローカル 5G を活用したソリューションへの興味関心を伺うアンケート調査を実施した。

1.2 調査の概要

(1) 調査対象

株式会社帝国データバンクが所有するデータベースに登録されている企業から、件数制御（※）により 3,000 社を抽出し、調査票を送付した。なお、回答に際しては令和 2 年 10 月 1 日時点の情報を基にご回答いただいた。

- ・ 設備概要連番「1（本店）」
- ・ 事業所名または事業所名付記に「工場」を含む
※ただし事業所名に「旧」、「元」、「休止」、「閉鎖」が含まれるものは除く
- ・ 本社所在地：全国
- ・ 業種：製造業（日本標準産業分類 09-32）
- ・ 従業員数：10 名以上

(2) 調査実施方法

郵送により配布し、回答は紙面または Web（Google Form）のいずれかを回答者に選択していただいた。

(3) 調査実施期間

調査実施期間は、以下の通りである。

- ・ 令和 3 年 12 月 13 日（月）～令和 4 年 1 月 14 日（金）

(4) 回収数と回収率

調査票の配布数に対する回収数（率）および有効回答数（率）は以下の通りである。

- ・ 調査票配布数：3,000
- ・ 回収数：649件（紙媒体 455件、Web 媒体 194件）
- ・ 回収率：21.6%
- ・ 有効回答数：649（紙媒体 455件、Web 媒体 194件）
- ・ 有効回答率：100%

2. 調査回答結果

2.1 回答企業属性

(1) 主たる業種（問1）

本設問では、回答企業の主たる業種をたずねている。

製造業の23中分類を「素材型」、「加工組立型」、「生活関連型」の3つのグループに分けると、回答者の内訳は「素材型」(43.0%)、「加工組立型」(28.8%)、「生活関連型」(22.8%)となった。

表 2-1 主たる業種

	件数	割合	
		N=649	業種別小計
素材型	279		
木材・木製品製造業（家具を除く）	15	2.3	43.0%
パルプ・紙・紙加工品製造業	19	2.9	
化学工業	11	1.7	
石油製品・石炭製品製造業	0	0.0	
プラスチック製品製造業	45	6.9	
ゴム製品製造業	8	1.2	
窯業・土石製品製造業	17	2.6	
鉄鋼業	14	2.2	
非鉄金属製造業	21	3.2	
金属製品製造業	129	19.9	
加工組立型	187		
はん用機械器具製造業	16	2.5	28.8%
生産用機械器具製造業	39	6.0	
業務用機械器具製造業	15	2.3	
電子部品・デバイス・電子回路製造業	23	3.5	
電気機械器具製造業	38	5.9	
情報通信機械器具製造業	3	0.5	
輸送用機械器具製造業	53	8.2	
生活関連型	148		
食料品製造業	98	15.1	22.80%
飲料・たばこ・飼料製造業	7	1.1	
繊維工業	11	1.7	
家具・装備品製造業	6	0.9	
印刷・同関連業	26	4.0	
なめし革・同製品・毛皮製造業	0	0.0	
その他の製造業	33	5.1	5.1
無回答	2	0.3	0.3
全 体	649	100.0	100.0

(2) 企業所在地 (問 2)

本設問では、回答企業の所在地をたずねている。

回答企業の所在地としては、「大阪府」が 6.9%と最も多く、次いで「埼玉県」が 6.3%、「静岡県」が 5.9%、「神奈川県」が 5.7%、「愛知県」が 5.1%となった。

※本調査票は、地域に所在する企業の割合に応じて送付した

表 2-2 企業所在地

	件数	割合		件数	割合		件数	割合
		N=649			N=649			N=649
北海道	18	2.8	石川県	7	1.1	岡山県	12	1.8
青森県	5	0.8	福井県	2	0.3	広島県	29	4.5
岩手県	6	0.9	山梨県	1	0.2	山口県	9	1.4
宮城県	11	1.7	長野県	17	2.6	徳島県	2	0.3
秋田県	4	0.6	岐阜県	20	3.1	香川県	13	2.0
山形県	18	2.8	静岡県	38	5.9	愛媛県	8	1.2
福島県	19	2.9	愛知県	33	5.1	高知県	5	0.8
茨城県	10	1.5	三重県	7	1.1	福岡県	25	3.9
栃木県	20	3.1	滋賀県	9	1.4	佐賀県	16	2.5
群馬県	8	1.2	京都府	17	2.6	長崎県	6	0.9
埼玉県	41	6.3	大阪府	45	6.9	熊本県	13	2.0
千葉県	14	2.2	兵庫県	23	3.5	大分県	4	0.6
東京都	28	4.3	奈良県	3	0.5	宮崎県	1	0.2
神奈川県	37	5.7	和歌山県	2	0.3	鹿児島県	2	0.3
新潟県	23	3.5	鳥取県	5	0.8	沖縄県	2	0.3
富山県	9	1.4	島根県	2	0.3	無回答	0	0.0

(3) 従業員規模 (問 3)

本設問では、回答企業の従業員数をたずねている。

従業員数は、「50-99人」が27.6%と最も多く、「100-199人」(24.5%)、「20-29人」(9.1%)、「40-49人」(8.6%)と続く。従業員数300人以上を有する企業を大規模、それ未満の企業を中小規模と定義した場合、大規模からの回収は6.6%、中小規模からの回収が93.4%となり、企業規模別に件数を制御して送付した結果に応じた件数割合を回収した。

表 2-3 従業員規模

	件数	割合
		N=649
中小規模	606	93.4
10人未満	5	0.8
10-19人	45	6.9
20-29人	59	9.1
30-39人	52	8.0
40-49人	56	8.6
50-99人	179	27.6
100-199人	159	24.5
200-299人	51	7.9
大規模	43	6.6
300-499人	34	5.2
500-999人	6	0.9
1000-1999人	2	0.3
2000-2999人	1	0.2
3000-4999人	0	0.0
5000-9999人	0	0.0
1万人以上	0	0.0
無回答	0	0.0
全 体	649	100.0

2.2 製造現場について

(1) 工場における有線通信問題点（問 4）

本設問では、有線通信を導入している企業における業務上の問題点をたずねている。

問題点としては、「レイアウト変更時の機器の移動が困難である」が 45.3%と最も多く、「有線ケーブルの劣化により断線が発生する」(21.0%)、「機器点検時等の有線ケーブルの抜き差しに手間がかかる」(15.6%)と続く。なお、「特に不満はない」との回答が 26.2%、「有線通信は導入していない」との回答が 10.8%だった。

表 2-4 工場における有線通信問題点

	件数	割合 N=649
レイアウト変更時の機器の移動が困難である	294	45.3
機器点検時等の有線ケーブルの抜き差しに手間がかかる	101	15.6
AGV(無人配送車)やAMR(自律走行搬送ロボット)等の移動体の活用が難しい	30	4.6
有線ケーブル物理的に障害となり作業の障害となる	83	12.8
有線ケーブルの劣化により断線が発生する	136	21.0
公道を挟んだ遠隔地等に配線することが困難であり通信環境を整備できない	50	7.7
特に不満はない	170	26.2
わからない	32	4.9
その他	4	0.6
有線通信は導入していない	70	10.8
無回答	6	0.9
全 体	976	—

(2) 無線通信導入状況（問 5）

本設問では、無線通信の導入状況についてたずねている。

「導入している」を回答した企業が 67.2%となり、最も多くなった。「導入を検討している」と「導入に関心がある」の回答結果は合計で 11.7%となり、製造業において、無線通信が広く活用、検討されていることがわかった。

表 2-5 無線通信導入状況

	件数	割合
		N=649
導入している	436	67.2
導入を検討している	23	3.5
導入に関心がある	53	8.2
関心が無い	71	10.9
わからない	63	9.7
無回答	3	0.5
全 体	649	100.0

(3) 導入している無線通信システム（問6）

本設問では、既に導入している無線通信システムについてたずねている。

「Wi-Fi」が97.5%と最も高く、「Bluetooth」（15.6%）、「4G/LTE」（10.6%）と続く。

「5G/ローカル5G」は商用化されてから間もなく、導入済との回答は全体では2.3%にとどまるが今後の普及展開の余地が大きいと考えられる。業種別では加工組立型において、4.1%となっており他の業種と比較し導入が進んでいる。

表 2-6 導入している無線通信システム

	件数	割合
		N=436
Wi-Fi	425	97.5
Bluetooth	68	15.6
3G	8	1.8
4G/LTE	46	10.6
5G/ローカル5G	10	2.3
ZigBee	1	0.2
Wi-SUN	0	0.0
LPWA (SIFGFOX、LoRA、NB-IoT等)	0	0.0
ISA100	0	0.0
WirelessHART	0	0.0
特定小電力無線 (300MHz帯)	5	1.1
特定小電力無線 (400MHz帯)	7	1.6
特定小電力無線 (900MHz帯)	2	0.5
特定小電力無線 (2.4GHz帯)	3	0.7
特定小電力無線 (その他帯域)	7	1.6
わからない	2	0.5
その他	3	0.7
無回答	0	0.0
全 体	587	—

表 2-7 導入している無線通信システム（業種別）

	全体	Wi-Fi	Bluetooth	3G	4G/LTE	5G/ローカル5G	ZigBee	Wi-SUN	LPWA (SIFGFOX、LoRA、NB-IoT等)	ISA100
全体	436	425	68	8	46	10	1	0	0	0
	—	97.5	15.6	1.8	10.6	2.3	0.2	0.0	0.0	0.0
素材型	182	97.3	15.9	1.6	10.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
加工組立型	145	97.9	17.9	2.8	8.3	4.1	0.7	0.0	0.0	0.0
生活関連型	86	98.8	9.3	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	22	90.9	22.7	4.5	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
無回答	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	全体	WirelessH ART	特定小電力無線 (300MHz 帯)	特定小電力無線 (400MHz 帯)	特定小電力無線 (900MHz 帯)	特定小電力無線 (2.4GHz 帯)	特定小電力無線 (その他 帯域)	わからない	その他	無回答
全体	436	0	5	7	2	3	7	2	3	0
	—	0.0	1.1	1.6	0.5	0.7	1.6	0.5	0.7	0.0
素材型	182	0.0	1.6	2.2	0.5	1.1	2.7	0.0	1.1	0.0
加工組立型	145	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0
生活関連型	86	0.0	2.3	1.2	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0
その他	22	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
無回答	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(4) 導入済無線通信の問題点（問7）

本設問では、無線通信を導入済であるとの回答をした企業に対して、既に導入している無線通信における問題点についてたずねている。

問題点としては「通信が遅延する」が21.9%と最も高く、「頻繁に切断する」(15.8%)、「接続数が制限される」(10.9%)と続く。なお、「特に不満はない」との回答は57.9%である。

業種別では加工組立型において「通信が遅延する」との回答が31.7%、「頻繁に切断する」との回答が22.1%であり、現在導入している無線通信に対して他の業種と比較し問題を抱えている。

問題の発生する通信種類としては「Wi-Fi」の導入が進んでいることもあり、「Wi-Fi」との回答が多くみられたが、「5G/ローカル5G」に対しては問題点を回答した企業は無かったため、5G/ローカル5Gの特徴である「高速大容量」「高信頼・低遅延通信」「多数同時接続」といった特徴によるものと考えられる。

表 2-8 導入済無線通信の問題点

	件数	割合 N=436	割合 (除無回答) N=430
通信が遅延する	94	21.6	21.9
頻繁に切断する	68	15.6	15.8
接続数が制限される	47	10.8	10.9
特に不満はない	249	57.1	57.9
わからない	19	4.4	4.4
その他	11	2.5	2.6
無回答	6	1.4	—
全 体	494	—	—

表 2-9 導入済無線通信の問題点（自由記述）

範囲	通信距離の制限	7	11
	場所によってWi-Fiの接続が悪い		
	カバー範囲が限定的となり、広い倉庫全体カバーするためにコストがかかる		
	広範囲をカバーするためにアクセスポイントの設置が難しい		
	通信距離が不足		
	工場内全てに無線通信が行き届いていない		
安定性	Wi-Fiの範囲が狭い	3	
	稀に切断する		
	たまに切断する。		
速度	時折、機器の再起動が必要となっている	1	
	通信速度の増減		

※実際の回答(原文ママ)

表 2-10 導入済無線通信の問題点（業種別）

	全体	通信が遅延する	頻繁に切断する	接続数が制限される	特に不満はない	わからない	その他	無回答
全体	436	94	68	47	249	19	11	6
	—	21.6	15.6	10.8	57.1	4.4	2.5	1.4
素材型	182	14.3	12.6	11.5	61.5	4.9	2.2	3.3
加工組立型	145	31.7	22.1	11.0	48.3	4.1	1.4	0.0
生活関連型	86	17.4	11.6	9.3	65.1	3.5	4.7	0.0
その他	22	31.8	13.6	9.1	45.5	4.5	4.5	0.0
無回答	1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0

表 2-11 問題の発生する無線通信種類

特に問題の頻発する通信種類	件数			割合		
	通信が遅延する	頻繁に切断する	接続数が制限される	通信が遅延する N=94	頻繁に切断する N=68	接続数が制限される N=47
Wi-Fi	89	62	44	94.7	91.2	93.6
Bluetooth	0	1	0	0.0	1.5	0.0
3G	0	0	0	0.0	0.0	0.0
4G/LTE	1	1	1	1.1	1.5	2.1
5G/ローカル5G	0	0	0	0.0	0.0	0.0
ZigBee	0	0	0	0.0	0.0	0.0
Wi-SUN	0	0	0	0.0	0.0	0.0
LPWA（SIFGFOX、LoRA、NB-IoT等）	0	0	0	0.0	0.0	0.0
ISA100	0	0	0	0.0	0.0	0.0
WirelessHART	0	0	0	0.0	0.0	0.0
特定小電力無線（300MHz帯）	0	0	0	0.0	0.0	0.0
特定小電力無線（400MHz帯）	0	0	0	0.0	0.0	0.0
特定小電力無線（900MHz帯）	0	0	0	0.0	0.0	0.0
特定小電力無線（2.4GHz帯）	0	1	1	0.0	1.5	2.1
特定小電力無線（その他帯域）	0	2	0	0.0	2.9	0.0
無回答	4	1	1	4.3	1.5	2.1
全 体	94	68	47	100.0	100.0	100.0

(5) 無線通信の遮蔽物影響（問 8）

本設問では、無線通信を導入済であるとの回答をした企業に対して、既に導入している無線通信における遮蔽物の影響についてたずねている。

遮蔽物の影響に対して「はい」との回答をしたのは 32.3%である。

業種別では生活関連型において、「はい」との回答が 39.5%であり、他の業種よりも比較的高い。

問題の発生する通信種類としては「Wi-Fi」の導入が進んでいることもあり、「Wi-Fi」との回答が多くみられた。

表 2-12 無線通信の遮蔽物影響

	件数	割合 N=436
はい	141	32.3
いいえ	194	44.5
わからない	89	20.4
無回答	12	2.8
全 体	436	100.0

表 2-13 無線通信の遮蔽物影響（業種別）

	全体	はい	いいえ	わからない	無回答
全体	436 100.0	141 32.3	194 44.5	89 20.4	12 2.8
素材型	182	30.2	47.3	18.1	4.4
加工組立型	145	30.3	48.3	20.0	1.4
生活関連型	86	39.5	36.0	22.1	2.3
その他	22	36.4	31.8	31.8	0.0
無回答	1	0.0	0.0	100.0	0.0

表 2-14 無線通信の遮蔽物影響のある通信種類

影響がある通信種類	件数	割合
		N=141
Wi-Fi	137	97.2
Bluetooth	0	0.0
3G	0	0.0
4G/LTE	1	0.7
5G/ローカル5G	0	0.0
ZigBee	0	0.0
Wi-SUN	0	0.0
LPWA (SIFGFOX、LoRA、NB-IoT等)	0	0.0
ISA100	0	0.0
WirelessHART	0	0.0
特定小電力無線 (300MHz帯)	0	0.0
特定小電力無線 (400MHz帯)	0	0.0
特定小電力無線 (900MHz帯)	0	0.0
特定小電力無線 (2.4GHz帯)	0	0.0
特定小電力無線 (その他帯域)	1	0.7
無回答	2	1.4
全 体	141	100.0

(6) 無線機器同士の電波干渉 (問 9)

本設問では、無線機器同士の電波干渉は無線通信導入・運用上の懸念となっているかをたずねている。

「いいえ」(62.4%)が「はい」(6.9%)を約9倍の差で上回ったことから、複数機器による電波干渉はあまり懸念事項とされていないことが推測される。

表 2-15 無線通信機器同士の電波干渉

	件数	割合
		N=436
はい	30	6.9
いいえ	272	62.4
わからない	129	29.6
無回答	5	1.1
全 体	436	100.0

(7) ライン変更頻度（問 10）

本設問では、製造現場におけるライン変更頻度をたずねている。ローカル 5G の基地局を設置した際にライン変更が行われる場合、その都度製造現場における電波伝搬に影響が発生する可能性があるためである。

ライン変更の頻度としては、「数年に 1 度など滅多に発生しない」との回答が 80.6%、「1 回以上 3 回未満」との回答が 12.5%となっており、9 割以上の企業においてライン変更はそれほど頻繁には発生しないと考えられる。なお、「5 回以上」との回答は 4.2%だった。

業種別では「加工組立型」において、「3 回以上 5 回未満」との回答が 2.1%、5 回以上との回答が 5.3%であり、他の業種と比較してライン変更の頻度が高いと考えられる。

また、企業規模別では、中小規模においては「数年に一度など滅多に発生しない」との回答が 84.0%であり、大規模と比較しライン変更の発生頻度は少ないことが推察される。

表 2-16 ライン変更頻度

	件数	割合 N=649
数年に 1 度など滅多に発生しない	523	80.6
1回以上3回未満	81	12.5
3回以上5回未満	9	1.4
5回以上	27	4.2
無回答	9	1.4
全 体	649	100.0

表 2-17 ライン変更頻度（業種別）

	全体	数年に 1 度 など滅多に 発生しない	1回以上3回 未満	3回以上5回 未満	5回以上	無回答
全体	649 100.0	523 80.6	81 12.5	9 1.4	27 4.2	9 1.4
素材型	279	79.9	12.9	1.4	3.9	1.8
加工組立型	187	75.4	16.6	2.1	5.3	0.5
生活関連型	148	86.5	8.8	0.0	3.4	1.4
その他	33	93.9	0.0	3.0	3.0	0.0
無回答	2	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0

表 2-18 ライン変更頻度（規模別）

	全体	数年に 1 度 など滅 多に発生 しない	1回以上3 回未満	3回以上5 回未満	5回以上	無回答
全体	649	523	81	9	27	9
中小規模	606	84.0	9.8	1.3	3.4	1.5
大規模	43	39.5	14.4	0.0	3.2	0.0
無回答	0	0	0	0	0	0

(8) ネットワーク整備費用（問 11）

本設問では、製造現場の1拠点あたりのネットワーク整備費用をたずねている。

全体では「100万円未満」との回答が49.5%、「100万円以上500万円未満」との回答が24.2%であり7割強の企業が500万円未満であった。

業種別においても、「100万円未満」との回答が素材型では49.8%、加工組立型では49.2%、生活関連型では49.3%だった。「100万円以上500万円未満」との回答で素材型では21.5%、加工組立型では29.9%、生活関連型では20.9%となっており、特に業種による大幅な差異は見られない。

一方で企業規模別では、「500万円以上1000万円未満」との回答が中小規模においては5.3%であることに対して大規模では9.5%、また「1,000万円以上5,000万円未満」との回答では中小規模においては2.9%に対して大規模では4.8%となっており、企業規模が大きくなるにつれネットワーク整備に投資可能な金額についても増加していくと推察される。

表 2-19 ネットワーク整備費用

	件数	割合 N=649
100万円未満	321	49.5
100万円以上500万円未満	157	24.2
500万円以上1000万円未満	36	5.5
1,000万円以上5,000万円未満	19	2.9
5,000万円以上1億円未満	0	0.0
1億円以上	1	0.2
わからない	104	16.0
無回答	11	1.7
全 体	649	100.0

表 2-20 ネットワーク整備費用（業種別）

	全体	100万円未満	100万円以上 500万円未満	500万円以上 1000万円未 満	1,000万円以 上5,000万円 未満	5,000万円以 上1億円未 満	1億円以上	わからない	無回答
全体	649	321	157	36	19	0	1	104	11
	100.0	49.5	24.2	5.5	2.9	0.0	0.2	16.0	1.7
素材型	279	49.8	21.5	5.7	3.2	0.0	0.0	17.2	2.5
加工組立型	187	49.2	29.9	6.4	1.6	0.0	0.5	11.8	0.5
生活関連型	148	49.3	20.9	4.7	4.1	0.0	0.0	20.3	0.7
その他	33	51.5	27.3	3.0	3.0	0.0	0.0	12.1	3.0
無回答	2	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

表 2-21 ネットワーク整備費用（規模別）

	全体	100万円未 満	100万円以 上500万円 未満	500万円以 上1000万 円未満	1,000万円 以上5,000 万円未満	5,000万円 以上1億円 未満	1億円以上	わからな い	無回答
全体	649	321	157	36	19	0	1	104	11
中小規模	606	51.2	23.4	5.3	2.8	0.0	0.2	15.3	1.8
大規模	42	26.2	35.7	9.5	4.8	0.0	0.0	23.8	0.0
無回答	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

2.3 ローカル 5G について

(1) ローカル 5G の認知度 (問 12)

本設問では、ローカル 5G について知っていたかをたずねている。

全体の回答結果は、「知らなかった」(52.2%)、「聞いたことがあった」(26.7%)、「知っていた」(20.6%)の順になった。母集団について完全一致ではないものの、令和 2 年度に実施された調査³⁶では「知らなかった」(55.6%)、「聞いたことがあった」(23.8%)、「知っていた」(19.9%)であったことからローカル 5G の認知度については広報活動等を通して広まっていると考えられる。

表 2-22 ローカル 5G の認知度

	件数		割合	
	2021年度	2020年度	2021年度 N=649	2020年度 N=793
知っていた	134	158	20.6	19.9
聞いたことがあった	173	189	26.7	23.8
知らなかった	339	441	52.2	55.6
無回答	3	5	0.5	0.6
全 体	649	793	100.0	100.0

³⁶ 5G 時代における工場のワイヤレス化の実現に向けた方策等に関する調査研究 「工場現場における無線通信の利用状況や導入意向に関する調査」 アンケート調査結果報告書

(2) ローカル 5G 導入検討状況 (問 13)

本設問では、ローカル 5G の導入検討状況についてたずねている。
全体の回答結果は、「導入を検討している」との回答が 0.8%、「導入に関心がある」との回答が 21.1%である一方で、「関心が無い」との回答は 37.3%、「わからない」との回答は 40.4%であった。なお、令和 2 年度に実施された調査結果では「導入を検討している」との回答が 1.3%、「導入に関心がある」との回答が 29.1%である。

ローカル 5G の認知度については高まっている一方で、導入を検討しているまたは関心がある割合については若干の減少が見られる。

表 2-23 ローカル 5G 導入検討状況

	件数		割合	
	2021年度	2020年度	2021年度 N=649	2020年度 N=793
導入を検討している	5	10	0.8	1.3
導入に関心がある	137	231	21.1	29.1
関心が無い	242	201	37.3	25.3
わからない	262	343	40.4	43.3
無回答	3	8	0.5	1.0
全 体	649	793	100.0	100.0

(3) ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務 (問 14)

本設問では、今後ローカル 5G を導入する場合、具体的にどのような業務に活用したいか、「管理」と「制御」と「安全・品質等」にカテゴリーを分けてたずねている。

付問① 管理について

管理については、「特になし」(26.8%)と「わからない」(26.3%)を除いて、「工場内の設備やモノに関する資産管理」(25.3%)に最も高い関心が寄せられた。

業種別の回答では、生活関連型の業種について「工場内環境に関する管理(塵埃、CO2、温湿度、照度等の管理)」との回答が 28.4%との回答を得ており比較的関心が高い。

表 2-24 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務 (管理)

管理について	件数	割合
		N=649
工場内環境に関する管理(塵埃、CO2、温湿度、照度等の管理)	151	23.3
工場内の設備やモノに関する資産管理	164	25.3
作業工程漏れ防止のための動作数カウント	129	19.9
製造した製品数カウント	163	25.1
プラントやデータセンタ向けの電力消費量の管理	36	5.5
分散型電圧制御の管理	14	2.2
保全情報システムによる生産管理	98	15.1
スマートグリッドを用いた電力管理(電気自動車の充電機活用等)	14	2.2
特になし	174	26.8
わからない	171	26.3
無回答	4	0.6
全 体	1,118	—

表 2-25 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務 (管理)
(業種別)

	全体	工場内環境に関する管理(塵埃、CO2、温湿度、照度等の管理)	工場内の設備やモノに関する資産管理	作業工程漏れ防止のための動作数カウント	製造した製品数カウント	プラントやデータセンタ向けの電力消費量の管理	分散型電圧制御の管理
全体	649	151	164	129	163	36	14
	—	23.3	25.3	19.9	25.1	5.5	2.2
素材型	279	23.7	24.4	22.2	28.3	3.9	1.8
加工組立型	187	21.4	27.8	20.3	19.8	5.9	0.5
生活関連型	148	28.4	25.0	15.5	26.4	8.1	5.4
その他	33	6.1	21.2	15.2	21.2	3.0	0.0
無回答	2	50.0	0.0	50.0	50.0	50.0	0.0

	保全情報システムによる生産管理	スマートグリッドを用いた電力管理（電気自動車の充電池活用等）	特になし	わからない	無回答
全体	98 15.1	14 2.2	174 26.8	171 26.3	4 0.6
素材型	16.8	1.8	26.2	25.8	0.4
加工組立型	15.0	2.7	26.7	28.3	0.0
生活関連型	11.5	2.7	25.7	27.0	0.7
その他	18.2	0.0	39.4	18.2	3.0
無回答	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

付問② 制御について

制御については、「特になし」（32.4%）と「わからない」（29.0%）を除いて、「工作機械に関する制御」（23.7%）に対して最も高い興味を示された。

業種別の回答では、「工作機械に関する動作制御」について素材型では26.9%、加工組立型では27.3%と比較的に高い回答が見られたが生活関連型では12.8%であり業種による違いが見られる。

表 2-26 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務（制御）

制御について	件数	割合
		N=649
工作機械に関する動作制御	154	23.7
梱包機械に関する動作制御	38	5.9
印刷機械に関する動作制御	31	4.8
移動ロボットに関する制御	31	4.8
組立ロボットや切削ロボットに関する制御	55	8.5
クレーンやポンプなど固定された機器に関する制御	38	5.9
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	72	11.1
機器に対するエネルギー供給量の制御	33	5.1
動画像による遠隔ロボットの制御	35	5.4
風力プラントなど、エネルギー関連設備の制御	10	1.5
特になし	210	32.4
わからない	188	29.0
無回答	5	0.8
全 体	900	—

表 2-27 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務（管理）
（業種別）

	全体	工作機械に関する動作制御	梱包機械に関する動作制御	印刷機械に関する動作制御	移動ロボットに関する制御	組立ロボットや切削ロボットに関する制御	クレーンやポンプなど固定された機器に関する制御
全体	649 —	154 23.7	38 5.9	31 4.8	31 4.8	55 8.5	38 5.9
素材型	279	26.9	5.0	3.6	5.4	9.7	5.7
加工組立型	187	27.3	1.1	1.1	5.9	11.8	6.4
生活関連型	148	12.8	13.5	12.2	2.7	2.7	5.4
その他	33	27.3	6.1	3.0	3.0	6.1	6.1
無回答	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	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	機器に対するエネルギー供給量の制御	動画像による遠隔ロボットの制御	風力プランなど、エネルギー関連設備の制御	特になし	わからない	無回答
全体	72 11.1	33 5.1	35 5.4	10 1.5	210 32.4	188 29.0	5 0.8
素材型	9.7	4.7	5.0	1.8	31.9	28.3	0.7
加工組立型	11.8	4.8	5.3	0.5	32.6	27.8	0.0
生活関連型	13.5	6.1	5.4	2.7	32.4	33.8	0.7
その他	9.1	6.1	9.1	0.0	36.4	18.2	3.0
無回答	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0

付問③ 安全・品質等について

安定・品質等については、「特になし」（26.7%）と「わからない」（22.0%）を除いて、「在庫管理システムにより過重在庫・滞留在庫の検知」（27.4%）に対して最も高い興味を示された。

業種別の回答では、「温湿度に関する情報収集による予防保全（故障検知）」について素材型では 21.9%、加工組立型では 15.0%と比較的に高い回答が見られたが生活関連型では 30.4%であり業種による違いが見られる。

表 2-28 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務（安全・品質等）

安全・品質等について	件数	割合
	2021年度	2021年度 N=649
温湿度に関する情報収集による予防保全（故障検知）	140	21.6
在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の検知	178	27.4
動画像による異常検知	150	23.1
空気環境（ガス、CO2、有害物質等）による異常検知	74	11.4
非常停止スイッチ操作	75	11.6
移動ロボットのための動画像通信	19	2.9
ARのための動画像通信	13	2.0
動作制御のための動画像通信	15	2.3
高所作業などの遠隔作業のための遠隔作業用動画通信	19	2.9
手動パルス信号の通信	7	1.1
生産物ごとのデータ伝送	88	13.6
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	7	1.1
特になし	173	26.7
わからない	143	22.0
無回答	10	1.5
全 体	1,111	—

表 2-29 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務（安全・品質等）
（業種別）

	全体	温湿度に関する情報収集による予防保全（故障検知）	在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の検知	動画像による異常検知	空気環境（ガス、CO2、有害物質等）による異常検知	非常停止スイッチ操作	移動ロボットのための動画像通信	ARのための動画像通信
全体	649 —	140 21.6	178 27.4	150 23.1	74 11.4	75 11.6	19 2.9	13 2.0
素材型	279	21.9	27.2	23.7	12.9	14.0	2.5	1.4
加工組立型	187	15.0	29.9	20.3	8.0	7.5	3.7	1.1
生活関連型	148	30.4	25.7	26.4	13.5	10.8	3.4	2.7
その他	33	15.2	21.2	18.2	9.1	18.2	0.0	9.1
無回答	2	50.0	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	動作制御のための動画像通信	高所作業などの遠隔作業のための遠隔作業用動画通信	手動パルス信号の通信	生産物ごとのデータ伝送	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	特になし	わからない	無回答
全体	15 2.3	19 2.9	7 1.1	88 13.6	7 1.1	173 26.7	143 22.0	10 1.5
素材型	3.2	3.6	1.1	15.4	1.1	26.5	23.3	1.1
加工組立型	2.1	1.6	0.0	12.8	1.1	28.3	23.0	0.0
生活関連型	0.7	3.4	2.7	9.5	1.4	23.6	21.6	2.7
その他	3.0	3.0	0.0	21.2	0.0	33.3	9.1	6.1
無回答	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

表 2-30 ローカル 5G を導入する場合、活用の対象としたい業務（自由記述）

	記述内容	件数小計	合計
コミュニケーション	設備でのトラブル発生時に、自社エンジニアリング社員からのアドバイス。また、社外の設備会社との連携確保。	5	25
	通話コミュニケーションツール		
	通話、コミュニケーション		
	5Gスマートフォンを社内端末として業務に活用 ・生産設備からのアラート通知、対応（動画確認、操作画面確認） ・作業者からのアラート通知、対応（動画確認、ビデオ通話） 端末間的高速通信		
モニタリング	各作動機械にセンサーが付いている。	3	
	警備や防災（監視）等		
	モーター等の故障予防保全。		
その他	ドキュメント電子化	17	
	製品のトレーサビリティ 加工工程管理 加工時間管理 原価管理		
	無線、有線の混合制御装置にて試作中です。		
	AI画像検査装置		
	・品質管理 ・生産管理（在庫も） ・人の管理		
	工作機械制御に利用したい。		
	製品出荷前検査のデータ転送 高性能林業機械の自動走行など製品に採用をしたい		

※実際の回答から例として抜粋(原文ママ)

(4) ローカル 5G を導入するにあたり不安な点 (問 15)

本設問では、ローカル 5G を導入するにあたり不安な点を技術面と体制・知識面にわけてたずねている。

付問① 技術について

「コスト・費用対効果」(57.0%) が最多の回答となっており、資金に関する懸念が多く挙げられている。なお、当該懸念については、業種別では素材型においては 57.3%、加工組立型においては 59.4%、生活関連型においては 53.4%、企業規模別では中小規模では 56.1%、大規模では 69.0%であり業種・企業規模を問わず懸念事項として挙げられている。

表 2-31 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点 (技術)

	件数	割合
		N=649
通信の信頼性 (通信遅延)	140	21.6
通信のセキュリティ	192	29.6
コスト・費用対効果	370	57.0
電源供給	33	5.1
通信方式を複数利用する場合の機器の設置方法	71	10.9
電波干渉	100	15.4
通信距離	91	14.0
特になし	63	9.7
わからない	160	24.7
その他	15	2.3
無回答	5	0.8
全 体	1,240	—

表 2-32 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点 (技術) (業種別)

	全体	通信の信頼性 (通信遅延)	通信のセキュリティ	コスト・費用対効果	電源供給	通信方式を複数利用する場合の機器の設置方法
全体	649	140	192	370	33	71
	—	21.6	29.6	57.0	5.1	10.9
素材型	279	21.9	34.1	57.3	6.1	10.0
加工組立型	187	23.0	24.1	59.4	5.3	13.9
生活関連型	148	18.9	27.0	53.4	4.1	10.1
その他	33	21.2	33.3	57.6	0.0	6.1
無回答	2	50.0	50.0	50.0	0.0	0.0

	電波干渉	通信距離	特になし	わからない	その他	無回答
全体	100 15.4	91 14.0	63 9.7	160 24.7	15 2.3	5 0.8
素材型	17.9	17.6	11.5	22.2	2.5	0.7
加工組立型	16.6	12.3	7.5	26.7	1.1	0.0
生活関連型	10.1	9.5	8.8	27.7	3.4	0.7
その他	12.1	15.2	12.1	21.2	3.0	3.0
無回答	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

表 2-33 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点（技術）（規模別）

	全体	通信の信頼性（通信遅延）	通信のセキュリティ	コスト・費用対効果	電源供給	通信方式を複数利用する場合の機器の設置方法
全体	649 —	140 21.6	192 29.6	370 57.0	33 5.1	71 10.9
中小規模	606	21.3	29.2	56.1	4.8	10.6
大規模	42	26.2	33.3	69.0	7.1	16.7
無回答	1	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0

	電波干渉	通信距離	特になし	わからない	その他	無回答
全体	100 15.4	91 14.0	63 9.7	160 24.7	15 2.3	5 0.8
中小規模	15.0	14.0	10.1	25.1	2.3	0.8
大規模	21.4	11.9	4.8	19.0	2.4	0.0
無回答	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2-34 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点（技術）（自由記述）

記述内容		件数小計	合計
運用	設定	4	12
	社員のITリテラシー		
	メンテナンス技術とコスト、機器の寿命など		
	ローカル5Gを使用できる能力があるのかがわからない		
環境	工場内の環境下で使用できるかどうか	2	
	建物の電波遮蔽性		
	通信関係は親会社の指示で導入等を行います	6	
	防爆仕様とそのコスト		

※実際の回答から例として抜粋(原文ママ)

付問② 体制・知識について

「投資に見合ったメリットが得られるかがわからない」が 41.1%最多となり、続いて「導入費用がわからない」が 39.8%となっており、資金面での懸念が多いことがわかった。なお、前者の懸念については、業種別では素材型においては 40.9%、加工組立型においては 47.6%、生活関連型においては 36.5%、企業規模別では中小規模では 40.1%、大規模では 54.8%であり業種・企業規模を問わず懸念事項として挙げられている。

表 2-35 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点（体制・知識）

	件数	割合
		N=649
ローカル5Gによって自社で目指していることが実現できるかわからない	132	20.3
導入費用がわからない	258	39.8
導入資金が不足している	50	7.7
投資に見合ったメリットが得られるかわからない	267	41.1
導入するシステム・機器がわからない	129	19.9
システム・機器の運用に不安がある	74	11.4
ローカル5Gの制度がわからない	101	15.6
ローカル5Gの特徴がわからない	95	14.6
人材が不足している（ローカル5G導入に詳しい人材がいない）	174	26.8
ローカル5Gを導入するために、どのような体制を設ければよいかわからない	135	20.8
協業する相手や調達先がわからない	44	6.8
特になし	83	12.8
わからない	145	22.3
その他	4	0.6
無回答	5	0.8
全 体	1,696	—

表 2-36 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点（体制・知識）（業種別）

	全体	ローカル5Gによって自社で目指していることが実現できるかわからない	導入費用がわからない	導入資金が不足している	投資に見合ったメリットが得られるかわからない	導入するシステム・機器がわからない	システム・機器の運用に不安がある	ローカル5Gの制度がわからない
全体	649	132 20.3	258 39.8	50 7.7	267 41.1	129 19.9	74 11.4	101 15.6
素材型	279	19.7	36.9	9.0	40.9	20.8	11.5	16.1
加工組立型	187	19.8	44.4	7.0	47.6	18.7	12.3	16.6
生活関連型	148	21.6	40.5	6.8	36.5	19.6	10.1	13.5
その他	33	21.2	36.4	6.1	30.3	21.2	12.1	15.2
無回答	2	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	ローカル5Gの特徴がわからない	人材が不足している（ローカル5G導入に詳しい人材がいない）	ローカル5Gを導入するために、どのような体制を設ければよいかわからない	協業する相手や調達先がわからない	特になし	わからない	その他	無回答
全体	95	174	135	44	83	145	4	5
	14.6	26.8	20.8	6.8	12.8	22.3	0.6	0.8
素材型	16.8	30.1	23.7	7.9	15.1	22.9	0.4	0.4
加工組立型	14.4	26.7	22.5	5.9	8.6	20.9	1.1	0.5
生活関連型	12.8	23.0	15.5	6.8	13.5	22.3	0.7	0.7
その他	6.1	18.2	12.1	3.0	15.2	27.3	0.0	3.0
無回答	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

表 2-37 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点（体制・知識）（規模別）

	全体	ローカル5G によって自 社で目指し ていること が実現でき るかわから ない	導入費用が わからない	導入資金が 不足してい る	投資に見 合ったメ リットが得 られるか わからない	導入するシ ステム・機 器がわか らない	システム・ 機器の運 用に不安 がある	ローカル5G の制度が わからない	
全体	649 —	132 20.3	258 39.8	50 7.7	267 41.1	129 19.9	74 11.4	101 15.6	
中小規模	606	20.1	39.4	7.8	40.1	19.6	11.1	15.7	
大規模	42	21.4	42.9	7.1	54.8	23.8	16.7	11.9	
無回答	1	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	
		ローカル5G の特徴が わからない	人材が不足 している (ローカル 5G導入に 詳しい人材 がない)	ローカル5G を導入す るため に、ど のような 体制を 設け ればよ いかわ からない	協業する 相手や 調達先 が分か らない	特になし	わからない	その他	無回答
全体	95 14.6	174 26.8	135 20.8	44 6.8	83 12.8	145 22.3	4 0.6	5 0.8	
中小規模	15.2	26.9	20.3	6.6	13.5	22.6	0.5	0.8	
大規模	7.1	23.8	26.2	7.1	2.4	19.0	2.4	0.0	
無回答	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

表 2-38 ローカル 5G を導入するにあたり不安な点（体制・知識）（自由記述）

記述内容	合計
通信技術者・管理者が必要 セキュリティは？	3

※実際の回答から例として抜粋(原文ママ)

2.4 5G を用いたソリューションについて

(1) 人材確保や技能継承課題（問 16）

本設問では、人材確保や技能継承における課題についてたずねている。

「育成期会を十分に確保出来ず、人材の育成が進んでいない」との回答が 38.8%、続いて「採用予定数を満たすことができず、人員が不足している」との回答が 35.1%、「熟練作業員の知見について、共有できておらず、作業員間の技能において格差がある」との回答が 33.0%と続いている。

規模別では、「定年退職により、熟練者の人材の離職が進んでいる」との回答が中小規模では 21.8%なのに対し、大規模では 35.7%となっており、中小規模と比較すると大規模な企業においてより定年退職による離職が進んでいることが推察される。

表 2-39 人材確保や技能継承課題

	件数	割合 N=649
採用予定数を満たすことができず、人員が不足している	228	35.1
採用はできているが、採用者について十分にスキルマッチしていない	136	21.0
育成機会を十分に確保出来ず、人材の育成が進んでいない	252	38.8
定年退職により、熟練者の人材の離職が進んでいる	147	22.7
他企業への転職により、人材の離職が進んでいる	47	7.2
作業員の技能について十分に把握できておらず、適切に配置出来ていない	42	6.5
熟練作業員の知見について共有できておらず、作業員間の技能について格差がある	214	33.0
特になし	87	13.4
わからない	48	7.4
その他	2	0.3
無回答	11	1.7
全 体	1,214	—

表 2-40 人材確保や技能継承課題（規模別）

	全体	採用予定数を満たすことができず、人員が不足している	採用はできているが、採用者について十分にスキルマッチしていない	育成機会を十分に確保出来ず、人材の育成が進んでいない	定年退職により、熟練者の人材の離職が進んでいる	他企業への転職により、人材の離職が進んでいる
全体	649	228	136	252	147	47
	—	35.1	21.0	38.8	22.7	7.2
中小規模	606	34.8	20.8	38.4	21.8	7.3
大規模	42	38.1	23.8	42.9	35.7	7.1
無回答	1	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0
	作業員の技能について十分に把握できておらず、適切に配置出来ていない	熟練作業員の知見について共有できておらず、作業員間の技能について格差がある	特になし	わからない	その他	無回答
全体	42	214	87	48	2	11
	6.5	33.0	13.4	7.4	0.3	1.7
中小規模	6.1	32.0	14.4	7.4	0.3	1.8
大規模	11.9	45.2	0.0	7.1	0.0	0.0
無回答	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(2) ローカル 5G の特徴を活用したソリューション（問 17）

本設問では、ローカル 5G の特徴を活用したソリューションの興味関心についてたずねている。

全体では、「IoT センサによる製造過程のデータ可視化」に対して 37.1%の回答があり、可視化に対するニーズは高い。業種別では、素材型と加工組立型において当該回答が 41.9%、41.2%であり特に興味関心が高いことがわかった。

表 2-41 ローカル 5G の特徴を活用したソリューションの興味関心

	件数	割合
		N=649
高精細な映像とリアルタイム性を活用した遠隔地からの作業指導	126	19.4
高精細な映像を活用した検査工程の効率化	162	25.0
AR/VR/MR等の活用による作業効率化	69	10.6
低遅延性が必要な機器の制御	27	4.2
IoTセンサによる製造過程のデータ可視化、現場作業者の技能見える化	241	37.1
IoTセンサにより得た数値（温度等）の活用による品質確保	119	18.3
データを利用したAI（人工知能）による現場作業・指導等の省人化	137	21.1
データ活用によるデジタルツインの実現	16	2.5
その他	47	7.2
無回答	187	28.8
全 体	1,131	—

表 2-42 ローカル 5G の特徴を活用したソリューションの興味関心（業種別）

	全体	高精細な映像とリアルタイム性を活用した遠隔地からの作業指導	高精細な映像を活用した検査工程の効率化	AR/VR/MR等の活用による作業効率化	低遅延性が必要な機器の制御	IoTセンサによる製造過程のデータ可視化、現場作業者の技能見える化
全体	649	126	162	69	27	241
	—	19.4	25.0	10.6	4.2	37.1
素材型	279	17.6	24.0	11.1	4.7	41.9
加工組立型	187	24.1	28.9	11.2	4.8	41.2
生活関連型	148	18.2	21.6	6.1	2.0	25.0
その他	33	15.2	27.3	24.2	6.1	27.3
無回答	2	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

	IoTセンサにより得た数値（温度等）の活用による品質確保	データを利用したAI（人工知能）による現場作業・指導等の省人化	データ活用によるデジタルツインの実現	その他	無回答
全体	119	137	16	47	187
	18.3	21.1	2.5	7.2	28.8
素材型	20.1	23.3	2.2	7.5	30.1
加工組立型	15.0	16.6	4.8	7.5	23.5
生活関連型	20.9	23.6	0.0	7.4	32.4
その他	9.1	18.2	3.0	3.0	30.3
無回答	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0

(3) 遠隔指導への関心（問 18）

本設問では、遠隔指導ソリューションの興味関心についてたずねている。

全体では、「ある」との回答は 22.2%だった。業種別では加工組立型において 27.3%の回答があり、比較的遠隔指導ソリューションに対する関心が高い。

表 2-43 遠隔指導ソリューションへの関心

	件数	割合 N=649
ある	144	22.2
ない	247	38.1
わからない	240	37.0
無回答	18	2.8
全 体	649	100.0

表 2-44 遠隔指導ソリューションへの関心（業種別）

	全体	ある	ない	わからない	無回答
全体	649 100.0	144 22.2	247 38.1	240 37.0	18 2.8
素材型	279	23.3	39.1	36.2	1.4
加工組立型	187	27.3	31.0	39.6	2.1
生活関連型	148	14.9	41.9	39.2	4.1
その他	33	18.2	51.5	21.2	9.1
無回答	2	0.0	50.0	0.0	50.0

(4) 遠隔指導を実施したい業務（問 19）

本設問では、遠隔指導ソリューションを実施したい具体的な業務についてたずねている。

回答の分類としてはトラブル対応やメンテナンスに使用したいとの回答がそれぞれ 9 件ずつあり、技能検証といった用途に限定せずニーズがあることが推察される。また、件数としては 1 件だが、他社との同一製造品の技術連携との回答があり、ソリューションが広がることで産業全体の技能検証や生産性の向上へ繋がる可能性がある。

表 2-45 遠隔指導を実施したい業務

自由記述		件数小計	合計
検査	検査	6	98
	原料の入庫状況による製造効率化		
	点検、検査		
	検査、現地調査、設計フォローなど		
	検査、故障復帰作業、メンテCSやメンテ員の現地指導。		
不適合品質の判断			
メンテナンス	修理・メンテナンス	11	
	操作指導や機器のメンテナンス		
	・他拠点での指導		
	・リモートによる設備メンテナンス		
	メンテナンス		
	・印刷機メンテナンス		
	・オペレーション指導		
	メンテナンス		
	保全業務		
	設備保全		
・製品納入時の立ち上げ支援			
・納入後の保守			
設備の調整やメンテナンス指導、品質の確認			
設備保守・故障対応時に遠隔でのサポートで使いたい。			
加工	製造ラインへの指示	9	
	ブレンド量等の確認		
	製造		
	工場長から部員への指示。工場が1Fと2Fとで離れているため。		
	溶接、板金加工		
	水産加工品の切り方や手順等の作業工程		
	加工・組立作業		
	工作機械操作、特異な手作業		
機械の操作			
組み立て	製造工程全般	11	
	ロボットの操作		
	フレーム等の溶接・組立		
	材料の受入れから出荷迄の全工程		
	電子機器組み立て		
	組立て		
	溶接、組立、メンテナンス（国内／海外／船内）		
	設計等の業務、組立等の業務		
	複雑な組立作業		
	鍛造作業全般		
溶接作業、ロボット操作、ロボットオペレーター			
故障/トラブル対応	設備の故障診断	11	
	工場ラインでの故障、修繕の継承		
	射出成形機の異常復帰、トラブル対応		
	設備トラブル対応		
	海外拠点に導入する設備の設置指導		
	他拠点でのトラブル発生時の対応指示		
	設備停止の復旧		
	非日常の作業指示。異常処置やトラブル対応など。		
	夜間の設備故障等トラブル発生時の対応等		
	納入先で修理が発生しているとき		
製造時におけるトラブルへの対処等			
リモートワーク、在宅勤務などによる指導、非定時勤務時のトラブルへの対処指導など（熟練エンジニアの社外業務の推進）			
監視	機械の設置状況の確認	5	
	各作業に対しての安全への監視等		
	稼働監視		
	海外拠点の製造品質管理		
	・販売物品のメンテナンス業務。 ・日本全国で需要が発生した場合に指導したい（出張人員を2名→1名にできる。時間は30分～1・2日）。		
その他	他社との同一製造品の技術連携	45	

(5) 熟練技能者の指導時間（問 20）

本設問では、熟練技能者の1日あたりの指導時間について尋ねている。

「30分未満」との回答が41.9%、「1時間以上2時間未満」との回答が34.7%となっており7割強の回答において2時間未満との回答となっている。

業種別にみると大幅な傾向の違いはみられないと考えられる。

一方で、規模別にみると中小規模では「30分未満」との回答は42.9%、「1時間以上2時間未満」との回答は34.2%、「2時間以上4時間未満」との回答は10.2%であるのに対して大規模ではそれぞれ28.6%、40.5%、23.8%となっており中小規模と比較し大規模においては熟練技能者の指導時間について多くの時間を割いていることが推察される。

表 2-46 熟練指導者の指導時間

	件数	割合 N=649
30分未満	272	41.9
1時間以上2時間未満	225	34.7
2時間以上4時間未満	72	11.1
4時間以上6時間未満	17	2.6
6時間以上8時間未満	10	1.5
8時間以上	13	2.0
無回答	40	6.2
全 体	649	100.0

表 2-47 熟練指導者の指導時間（業種別）

	全体	30分未満	1時間以上2時間未満	2時間以上4時間未満	4時間以上6時間未満	6時間以上8時間未満	8時間以上	無回答
全体	649 100.0	272 41.9	225 34.7	72 11.1	17 2.6	10 1.5	13 2.0	40 6.2
素材型	279	43.0	31.9	11.5	3.2	1.8	1.8	6.8
加工組立型	187	40.1	38.5	10.2	2.7	1.1	1.1	6.4
生活関連型	148	43.2	32.4	12.8	1.4	2.0	2.7	5.4
その他	33	36.4	45.5	6.1	3.0	0.0	6.1	3.0
無回答	2	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2-48 熟練指導者の指導時間（規模別）

	全体	30分未満	1時間以上2時間未満	2時間以上4時間未満	4時間以上6時間未満	6時間以上8時間未満	8時間以上	無回答
全体	649 100.0	272 41.9	225 34.7	72 11.1	17 2.6	10 1.5	13 2.0	40 6.2
中小規模	606	42.9	34.2	10.2	2.8	1.5	2.0	6.4
大規模	42	28.6	40.5	23.8	0.0	2.4	2.4	2.4
無回答	1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(6) 熟練技能者の指導のための移動時間（問 21）

本設問では、熟練技能者の1日あたりの指導のための移動時間について尋ねている。

「30分未満」との回答が78.0%、「1時間以上2時間未満」との回答が11.4%となっており約9割の回答において1時間未満との回答となっている。

業種別、規模別では大幅な傾向の違いはみられないと考えられる。

表 2-49 熟練指導者の指導のための移動時間

	件数	割合
		N=649
30分未満	506	78.0
1時間以上2時間未満	74	11.4
2時間以上4時間未満	19	2.9
4時間以上6時間未満	3	0.5
6時間以上8時間未満	4	0.6
8時間以上	7	1.1
無回答	36	5.5
全 体	649	100.0

表 2-50 熟練指導者の指導のための移動時間（業種別）

	全体	30分未満	1時間以上2時間未満	2時間以上4時間未満	4時間以上6時間未満	6時間以上8時間未満	8時間以上	無回答
全体	649 100.0	506 78.0	74 11.4	19 2.9	3 0.5	4 0.6	7 1.1	36 5.5
素材型	279	75.6	13.3	3.2	0.7	1.1	0.4	5.7
加工組立型	187	80.7	9.6	3.2	0.5	0.0	0.5	5.3
生活関連型	148	79.7	10.1	2.0	0.0	0.7	1.4	6.1
その他	33	72.7	12.1	3.0	0.0	0.0	9.1	3.0
無回答	2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2-51 熟練指導者の指導のための移動時間（規模別）

	全体	30分未満	1時間以上2時間未満	2時間以上4時間未満	4時間以上6時間未満	6時間以上8時間未満	8時間以上	無回答
全体	649 100.0	506 78.0	74 11.4	19 2.9	3 0.5	4 0.6	7 1.1	36 5.5
中小規模	606	77.6	11.4	3.1	0.5	0.7	1.0	5.8
大規模	42	83.3	11.9	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4
無回答	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(7) 技能の見える化への関心 (問 22)

本設問では、技能の見える化ソリューションへの関心について尋ねている。

全体では「ある」との回答が 30.7%、「ない」との回答が 35.1%だった。

業種別では加工組立型において「ある」との関心が 38.5%であり、素材型の 29.4%や生活関連型の 25.7%と比較して加工組立型の企業における関心が高い。

また、規模別では「ある」との回答は中小規模において 30.0%なのに対して大規模では 40.5%となっており大規模企業において比較的に関心が高い。

表 2-52 技能の見える化への関心

	件数	割合 N=649
ある	199	30.7
ない	228	35.1
わからない	211	32.5
無回答	11	1.7
全 体	649	100.0

表 2-53 技能の見える化への関心 (業種別)

	全体	ある	ない	わからない	無回答
全体	649 100.0	199 30.7	228 35.1	211 32.5	11 1.7
素材型	279	29.4	35.5	34.1	1.1
加工組立型	187	38.5	29.9	29.9	1.6
生活関連型	148	25.7	37.8	33.1	3.4
その他	33	15.2	51.5	33.3	0.0
無回答	2	100.0	0.0	0.0	0.0

表 2-54 技能の見える可への関心 (規模別)

	全体	ある	ない	わからない	無回答
全体	649 100.0	199 30.7	228 35.1	211 32.5	11 1.7
中小規模	606	30.0	36.0	32.2	1.8
大規模	42	40.5	21.4	38.1	0.0
無回答	1	0.0	100.0	0.0	0.0

(8) AI 指導への関心 (問 23)

本設問では、AI 指導ソリューションへの関心について尋ねている。

全体では「ある」との回答が 31.6%、「ない」との回答が 32.0%だった。

業種別では加工組立型において「ある」との関心が 39.0%であり、素材型の 30.5%や生活関連型の 24.3%と比較して加工組立型の企業における関心が高い。

また、規模別では「ある」との回答は中小規模において 30.9%なのに対して大規模では 42.9%となっており大規模企業において比較的に関心が高い。

表 2-55 AI 指導への関心

	件数	割合 N=649
ある	205	31.6
ない	208	32.0
わからない	226	34.8
無回答	10	1.5
全 体	649	100.0

表 2-56 AI 指導への関心 (業種別)

	全体	ある	ない	わからない	無回答
全体	649 100.0	205 31.6	208 32.0	226 34.8	10 1.5
素材型	279	30.5	32.6	35.5	1.4
加工組立型	187	39.0	27.8	32.1	1.1
生活関連型	148	24.3	35.1	37.8	2.7
その他	33	27.3	39.4	33.3	0.0
無回答	2	100.0	0.0	0.0	0.0

表 2-57 AI 指導への関心 (規模別)

	全体	ある	ない	わからない
全体	649 100.0	205 31.6	208 32.0	226 34.8
中小規模	606	30.9	33.2	34.3
大規模	42	42.9	14.3	42.9
無回答	1	0.0	100.0	0.0

(9) ローカル 5G に関する期待・要望 (問 24)

本設問では、AI 指導ソリューションへの関心について尋ねている。

5G も含めたソリューションに対して期待する意見がある一方で、情報提供の要望や費用負担・運用面に関する懸念について多く挙がっている。

表 2-58 ローカル 5G に関する期待・要望

自由記述		件数小計
期待	工場内の機械が発するノイズに強く、高速かつ高信頼のプロトコルの研究をお願いします。	12
	早く実現可能としていただきたい。ビジネスチャンスを生かしたい。	
	作業標準書等は若者、外国人労働者にとってはわかりづらく、伝わりにくい。人が行っている付帯事業（お客様が支払っているつもりのない工賃作業）をなくしたい。	
	体や手の動かし方のデータを可視化する技術に興味湧きました。	
	技術が可視化できると思えず、どんなものが今後開発されるか期待している。	
	問22・問23のようなものがパッケージ販売されると、導入しやすくなる。	
	技能承継や生産性向上に資する活用を期待できるなら取り組んでいきたいです。導入して使用してみないと利用拡大が図れないと推測されます。初期導入に係わる障害が少なくなればローカル 5G の利用価値が評価され、多くのシーンで活用できそうです。	
情報提供	各種の情報提供をお願いします。	8
	SIに対する情報や規制に関する説明（当社はSI業務です）。	
	地方自治体に専門相談窓口設置（特に地方都市）、すでにあるならその宣伝強化まずは目的、技術、利点、応用例など制度自体を公開、ご説明ください。	
	DX2025年に向けてシステムの更新を計画中です。その中にローカル5Gをどのように織り込んでいくのが課題です。導入事例を含めた発信をお願いいたします。	

	<p>実用可能なコストの実現。</p> <p>ローカル5Gの導入に関する費用について、初期費用1000万、継続費用月150万円という記事をどこかで読みました。大企業や5G導入で大幅な効果を見込めるような業種では必要最低限のコストと言えるのかもしれませんが、中小製造業で一番の問題になるのは、あらゆるコスト・費用対効果と思います。</p> <p>現在、弊社内に高速通信を必要となるような機器や設備はなく、今後効果を発揮する場面のイメージ・ビジョンがなく、現在のコストでは導入の検討に入ることもありません。</p> <p>複雑な仕組みであれば継続的に管理する人間が必要になりますが、これも問題になると思います。</p> <p>ドローンのように、スマートフォンの傾斜センサー普及による低コスト化などが要因になった シンプルで効果（生産力・品質の向上）に見合うコストを実現できるようなモノ（機器・設備）、仕組みを作る事が普及につながると思いますので、関連のある技術や個人・企業との連携などは必要ではないかと思います。</p> <p>補助金があれば活用したい。</p> <p>通信は相互にやり取りをするからこそ価値が生まれる。大企業だけではなく、中小企業に於いても手の届く範囲まで導入コストのハードルを下げ、利用範囲の拡充を狙って欲しい。</p> <p>中小企業では独自でローカル5Gを設置する程の設備投資ができない。工場用途だけでは無く、自治体利用なども含め設備負担を軽減できる政策をご検討頂きたい。</p> <p>小規模企業でも容易に導入できるようにしてほしい</p> <p>新しい技術には非常に興味がありますが、我々中小企業としては投資効果を考えて場合にコスト面でどうしても手が出せない状況にあります。低コストな技術の開発及び行政の導入支援を期待します。</p> <p>今回のアンケートで提示される使い方に5Gで無いと実現不可能な使い方が想定できない</p> <p>以前の報道では導入に2千万円程度掛かるとあったが投資額に見合う使い方とは思えない</p> <p>弊社は、一般製造品でもなく、生産数量も少ないため、データ活用に不向きな面がありますので、幅広い業態で活用できるプラットフォームの構築に期待します。</p> <p>導入に際し中小企業が参入しやすい制度、仕組みづくりをお願いしたい。現状では中小企業は情報収集についても一苦勞な状態であり、かつ先端技術においては導入コストが高く大企業優先にならざるを得ないのは理解できますが、大企業からしてみれば先端技術は当然導入しているよね？的な態度になっており切れ間なく先端技術を導入し続けて行くのが人材不足もあり困難な状態になりつつあります。そういう面での補助や支援を行っていただきたい</p> <p>使用制限を設けず、誰でもどこでも自由に使用できるようになることを望みます。ランニングコストも最小にして、特定事業者だけが大きい利益を出す社会にはならないでほしい。</p> <p>地方への導入時期、知識の習得、コストを明確に知りたい。外国人実習生に指導すると考えた時、言語を翻訳する機能はあるのか？あれば、外国人とのコミュニケーションが取りやすくなる。</p> <p>ローカル5Gの内容を全く理解していないので見当違いな記述になるかもしれないが、とにかく簡素で安価なシステムで小規模企業でも導入可能な状態にしてほしい。限られた熟練技術者が同時に複数の対象者を指導したり、業務・作業の管理ができることは様々な問題の解決につながると思う（人手不足・販路開拓・技術継承・時短など）。</p>	
費用負担・補助金		18
必要性	<p>Wi-Fiとスマートグラスで概ね実現できている。</p> <p>ローカル5G導入については、各業種においてさまざまな効果が得られ、必要とされますが、畳の製造業者である弊社においては、まだそういった通信技術の必要性を感じないというのが正直な気持ちです。</p> <p>WiFiで今のところ間に合っている。</p>	5
運用面	<p>ローカル5Gネットワークの利用には国で指定された無線局免許が必要とありますが、各企業で取得するとなるとハードルが高い（難易度にもよるが）。</p> <p>期待は大きいですが、ITスキル、人材、資金面すべてにおいて不安も大きい。</p> <p>セキュリティや使用しやすさなどを追求してほしい（複雑化してくるので）。</p> <p>将来的には活用を考えることの必要などところもありますが、今すぐには難しいです（技術担当者、基幹職の知識習得をまずは考える必要があります）。</p>	4
懸念事項	<p>容量は大きくなったが距離が短いためスポットを多くしなければならぬ不安。</p> <p>全自動、AI化が出来るならばそれに越したことはないが、やりすぎると技術ではなく資本のみで話が出来てしまうので、大手優位となるのは中小としては避けたい面がある</p> <p>弊社のような中小は資本戦は避けたいし、なんでもAIや機械で良いとなるなら中小の役割は時代として終わりを迎えると思っている</p>	2
その他	ローカル5Gの導入には時間をかけて取り組みたい。	4

3. 無線通信及びローカル 5G の利活用における課題（考察）

本調査では、製造業の生産性向上等に資する無線通信の更なる普及や安全な利用の促進のため、無線通信に関する利用状況やニーズ、ローカル 5G の導入意向を伺った。以下では調査結果を基に、今後製造業各社に対してローカル 5G を普及するうえでの課題について考察している。

はじめに、ローカル 5G を普及促進するうえで、製造業各社におけるローカル 5G そのものに対する認知度の低さが課題として挙げられる。「知らなかった」との回答については令和 2 年度の調査では 55.6%であったことに対して、今回の調査では 52.2%となっており微減しているがおよそ過半数以上の企業において知らなかったとの回答があり、十分に認知されている状態とは言い難い。なお、ローカル 5G の「導入を検討している」との回答は 0.8%、「導入に関心がある」との回答は 21.1%であった。

有線通信の問題点といった観点では「レイアウト変更時の機器の移動が困難である」が 45.3%と最も多く、「有線ケーブルの劣化により断線が発生する」(21.0%)、「機器点検時等の有線ケーブルの抜き差しに手間がかかる」(15.6%)との回答があり、無線通信に対するニーズは強いと考えられる。

一方で、無線通信としては「導入している」を回答した企業が 67.2%、導入済の無線通信としては Wi-Fi との回答が 97.5%でありローカル 5G の普及展開を進めていく上では Wi-Fi がベンチマークとなると考えられる。無線通信の問題点としては「通信が遅延する」が 21.9%と最も高く、「頻繁に切断する」(15.8%)、「接続数が制限される」(10.9%)と続くため、現行の無線通信について何らかの不満を持っている企業においてはローカル 5G の導入検討の余地があると考えられる。現行の無線通信に対して、「特に不満はない」との回答は 57.9%であった。

ローカル 5G を導入するにあたり、不安な点としては「コスト・費用対効果」を挙げた企業が 57.0%あり、財務面での懸念が強い。加えて、現在の製造拠点におけるネットワーク整備費用については「100 万円未満」との回答が 49.5%、「100 万以上 500 万円未満」との回答が 24.2%であり 7 割強の企業において 500 万未満との回答だった。広く中小規模の企業においても普及展開をしていくためには、この程度の価格帯において導入可能なサービスが必要となると考えられるが、低価格帯での導入が可能となるサービスが普及することで財務面における懸念の解消につながる可能性はある。³⁷

加えて、同設問の体制・知識に関する項目では、「人材が不足している（ローカル 5G に詳しい人材がいない）」(26.8%)と「ローカル 5G を導入するために、どのような体制を設ければよいかわからない」(20.8%)も多くの企業において課題とされていた。多くの企業が、ローカル 5G に詳しい人材が不足していることから、導入判断ができない、または導入までのロードマップが描けないといった課題を抱えていると考えられる。

今回のアンケート調査では、5G を用いたソリューションのうち、コンソーシアムにおいて実証実験を行っている「遠隔指導ソリューション」「技能の見える化」「AI 指導」に関する興味関心においてもそれぞれ興味があるとの回答は 22.2%、30.7%、31.6%であり一定の関心はある。自由記述欄ではソリューションにおいて「パッケージとして提供されると導入しやすくなる」との回答も見られた。

以上に挙げた課題を踏まえ、ローカル 5G 普及促進のためには、周知広報活動を実施し、継続的な情報提供を行うとともに、ローカル 5G に関する有識者による支援や設備投資のための補助金の導入が必要になると考えられる。一方で、ローカル 5G を活用し

³⁷ ローカル 5G が「1 セット 498 万円から」 NEC がスターターパックを発売

<https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/8884/Default.aspx>

たソリューションについて創発を行い、費用対効果の観点から定量的に効果が見込めるようになることが必要と考えられる。

4. アンケート調査票（参照）

令和3年度 製造業におけるローカル5Gの利活用に関する調査

I 貴社の概要について

※ご回答に際して、設問に指定がない限り、該当する番号を○で囲ってください。

問1 貴社の主たる業種をご選択ください。[1つだけ○]

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. 食料品製造業 | 13. 窯業・土石製品製造業 |
| 2. 飲料・たばこ・飼料製造業 | 14. 鉄鋼業 |
| 3. 繊維工業 | 15. 非鉄金属製造業 |
| 4. 木材・木製品製造業（家具を除く） | 16. 金属製品製造業 |
| 5. 家具・装備品製造業 | 17. はん用機械器具製造業 |
| 6. パルプ・紙・紙加工品製造業 | 18. 生産用機械器具製造業 |
| 7. 印刷・同関連業 | 19. 業務用機械器具製造業 |
| 8. 化学工業 | 20. 電子部品・デバイス・電子回路製造業 |
| 9. 石油製品・石炭製品製造業 | 21. 電気機械器具製造業 |
| 10. プラスチック製品製造業 | 22. 情報通信機械器具製造業 |
| 11. ゴム製品製造業 | 23. 輸送用機械器具製造業 |
| 12. なめし革・同製品・毛皮製造業 | 24. その他の製造業 |

問2 貴社所在地をご記入ください。[1つだけ○]

- | | | | |
|---------|----------|----------|----------|
| 1. 北海道 | 13. 東京都 | 25. 滋賀県 | 37. 香川県 |
| 2. 青森県 | 14. 神奈川県 | 26. 京都府 | 38. 愛媛県 |
| 3. 岩手県 | 15. 新潟県 | 27. 大阪府 | 39. 高知県 |
| 4. 宮城県 | 16. 富山県 | 28. 兵庫県 | 40. 福岡県 |
| 5. 秋田県 | 17. 石川県 | 29. 奈良県 | 41. 佐賀県 |
| 6. 山形県 | 18. 福井県 | 30. 和歌山県 | 42. 長崎県 |
| 7. 福島県 | 19. 山梨県 | 31. 鳥取県 | 43. 熊本県 |
| 8. 茨城県 | 20. 長野県 | 32. 島根県 | 44. 大分県 |
| 9. 栃木県 | 21. 岐阜県 | 33. 岡山県 | 45. 宮崎県 |
| 10. 群馬県 | 22. 静岡県 | 34. 広島県 | 46. 鹿児島県 |
| 11. 埼玉県 | 23. 愛知県 | 35. 山口県 | 47. 沖縄県 |
| 12. 千葉県 | 24. 三重県 | 36. 徳島県 | |

問3 貴社の従業員数をご選択ください。[1つだけ○]

- | | |
|-----------|--------------|
| 1. 10人未満 | 9. 300-499人 |
| 2. 10-19人 | 10. 500-999人 |

- | | |
|--------------|-----------------|
| 3. 20-29 人 | 11. 1000-1999 人 |
| 4. 30-39 人 | 12. 2000-2999 人 |
| 5. 40-49 人 | 13. 3000-4999 人 |
| 6. 50-99 人 | 14. 5000-9999 人 |
| 7. 100-199 人 | 15. 1 万人以上 |
| 8. 200-299 人 | |

II 貴社製造現場について

問4 貴社工場において有線通信を導入済の場合、業務上の問題点はありますか。〔あてはまるもの全て○〕

- | |
|--|
| 1. レイアウト変更時の機器の移動が困難である |
| 2. 機器点検時等の有線ケーブルの抜き差しに手間がかかる |
| 3. AGV（無人配送車）や AMR（自律走行搬送ロボット）等の移動体の活用が難しい |
| 4. 有線ケーブル物理的に障害となり作業の障害となる |
| 5. 有線ケーブルの劣化により断線が発生する |
| 6. 公道を挟んだ遠隔地等に配線することが困難であり通信環境を整備できない |
| 7. 特に不満はない |
| 8. わからない |
| 9. その他
() |
| 10. 有線通信は導入していない |

問5 貴社工場における無線通信導入状況をご選択ください。〔1つだけ○〕

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1. 導入している →問 6 へ | 4. 関心が無い →問 10 へ |
| 2. 導入を検討している →問 10 へ | 5. わからない →問 10 へ |
| 3. 導入に関心がある →問 10 へ | |

問6 貴社工場において、導入している無線通信はありますか。〔あてはまるもの全て○〕

- | | |
|---------------|-----------------------|
| 1. Wi-Fi | 10. WirelessHART |
| 2. Bluetooth | 11. 特定小電力無線（300MHz 帯） |
| 3. 3G | 12. 特定小電力無線（400MHz 帯） |
| 4. 4G/LTE | 13. 特定小電力無線（900MHz 帯） |
| 5. 5G/ローカル 5G | 14. 特定小電力無線（2.4GHz 帯） |

6. ZigBee	15. 特定小電力無線（その他帯域）
7. Wi-SUN	16. わからない
8. LPWA（SIFGFOX、LoRA、NB-IoT 等）	17. その他 （ ）
9. ISA100	

問7 導入済の通信について、業務上の問題点はありますか。また、特に問題の頻発する通信種類について問6の通信種類を1つ記載してください。

例 Wi-Fi の場合は1を記載。〔あてはまるもの全て○。通信種類は番号を記載。〕

1. 通信が遅延する（発生する場合、通信種類の番号を記載： _____ ）
2. 頻りに切断する（発生する場合、通信種類の番号を記載： _____ ）
3. 接続数が制限される（発生する場合、通信種類の番号を記載： _____ ）
4. 特に不満はない
5. わからない
6. その他 （ ）

問8 貴社工場において、遮蔽物の影響により通信に影響がでることがありますか。また、影響がある場合は、問6の通信種類を1つ記載してください。例：Wi-Fi の場合は1を記載。〔1つだけ○。通信種類は番号を記載。〕

1. はい（発生する場合、通信種類の番号を記載： _____ ）	
2. いいえ	3. わからない

問9 無線機器同士の電波干渉（電波同士がぶつかり合うことによる通信不良の状態）について特にお伺いします。貴社工場において、無線機器同士の電波干渉による通信遅延は無線通信導入・運用上の懸念点となっていますか。〔1つだけ○〕

1. はい	3. わからない
2. いいえ	

問10 貴社製造現場においてライン変更はどの程度の頻度で発生しますか。〔1年あたりのおおよその発生件数を1つだけ○〕

1. 数年に1度など減多に発生しない	3. 3回以上5回未満
2. 1回以上3回未満	4. 5回以上

問11 貴社の1拠点あたりの製造現場について、有線・無線問わずネットワーク整備にどの程度の初期費用を費やしていますか。〔1つだけ○〕

1. 100 万円未満	5. 1,000 万円以上 5,000 万円未満
2. 100 万円以上 500 万円未満	6. 5,000 万円以上 1 億円未満
3. 500 万円以上 1000 万円未満	7. 1 億円以上
4. 1,000 万円以上 5,000 万円未満	8. わからない

Ⅲ ローカル 5G について

【ローカル 5G とは】
“ローカル 5G は、携帯電話事業者による全国向け 5G とは別に、地域の企業や自治体等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し利用可能とする新しい仕組みであり、地域の課題解決を始め、多様なニーズに用いられることが期待される。基本的には、自営目的での利用を想定しているが、地域に密着した多様なニーズに対応するために、地域の企業等にネットワーク構築などを依頼し、電気通信役務として提供を受けることも可能としている。”
※総務省『ローカル 5G 導入に関するガイドライン』
https://www.soumu.go.jp/main_content/000659870.pdf
(令和元年 12 月) より抜粋

問12 ローカル 5G について知っていましたか。[1 つだけ○]

1. 知っていた	3. 知らなかった
2. 聞いたことがあった	

問13 貴社工場におけるローカル 5G 導入検討状況をご選択ください。[1 つだけ○]

1. 導入を検討している	3. 関心が無い
2. 導入に関心がある	4. わからない

問14 貴社工場において、ローカル 5G を導入する場合、どのような業務に活用したいですか。[あてはまるもの全て○]

管理について

1. 工場内環境に関する管理（塵埃、CO2、温湿度、照度等の管理）
2. 工場内の設備やモノに関する資産管理
3. 作業工程漏れ防止のための動作数カウント
4. 製造した製品数カウント
5. プラントやデータセンタ向けの電力消費量の管理
6. 分散型電圧制御の管理
7. 保全情報システムによる生産管理
8. スマートグリッドを用いた電力管理（電気自動車の充電池活用等）
9. 特になし
10. わからない

制御について

1. 工作機械に関する動作制御
2. 梱包機械に関する動作制御
3. 印刷機械に関する動作制御
4. 移動ロボットに関する制御
5. 組立ロボットや切削ロボットに関する制御
6. クレーンやポンプなど固定された機器に関する制御
7. 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
8. 機器に対するエネルギー供給量の制御
9. 動画像による遠隔ロボットの制御
10. 風力プラントなど、エネルギー関連設備の制御
11. 特になし
12. わからない

安全・品質等について

1. 温湿度に関する情報収集による予防保全（故障検知）
2. 在庫管理システムによる過重在庫・滞留在庫の検知
3. 動画像による異常検知
4. 空気環境（ガス、CO₂、有害物質等）による異常検知
5. 非常停止スイッチ操作
6. 移動ロボットのための動画像通信
7. ARのための動画像通信
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
9. 手動パルス信号の通信
10. 生産物ごとのデータ伝送
11. 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
12. 特になし
13. わからない

前頁にてご回答いただいた業務（管理、制御、安全・品質等）の他に、貴社工場において活用してみたい業務や実際にご利用を検討しているものがあれば、自由にご記述ください。

〔自由記述〕

問15 貴社工場において、ローカル 5G を導入するにあたりどのような不安がありますか。〔あてはまるもの全て〇〕

技術について

- | | |
|--------------------------|----------------|
| 1. 通信の信頼性（通信遅延） | 6. 電波干渉 |
| 2. 通信のセキュリティ | 7. 通信距離 |
| 3. コスト・費用対効果 | 8. 特になし |
| 4. 電源供給 | 9. わからない |
| 5. 通信方式を複数利用する場合の機器の設置方法 | 10. その他
() |

体制・知識について

- | |
|---|
| 1. ローカル 5G によって自社で目指していることが実現できるかわからない |
| 2. 導入費用がわからない |
| 3. 導入資金が不足している |
| 4. 投資に見合ったメリットが得られるかわからない |
| 5. 導入するシステム・機器がわからない |
| 6. システム・機器の運用に不安がある |
| 7. ローカル 5G の制度がわからない |
| 8. ローカル 5G の特徴がわからない |
| 9. 人材が不足している（ローカル 5G 導入に詳しい人材がいない） |
| 10. ローカル 5G を導入するために、どのような体制を設ければよいかわからない |
| 11. 協業する相手や調達先が分からない |
| 12. 特になし |
| 13. わからない |
| 14. その他
() |

IV 5G を用いたソリューションについて

多くの製造現場において、指導が効率的に実施できず技能継承が十分進んでいない課題があります。

この課題に対して、ローカル 5G の特徴である超低遅延性を活用し、作業員の動きをカメラで撮影しながら遠隔地から熟練作業員が指導をするような遠隔指導のソリューションについて実現に向けた検証が始まっています。

また、製造現場の作業員についてカメラやモーションセンサ、マイク等により情報を計測し技能の見える化や AI による効率的な動きの指導を行うソリューションについて検討が進められています。

問16 貴社において製造現場における人材確保や技能継承について感じている課題はありますか。〔あてはまるもの全て○〕

1. 採用予定数を満たすことができず、人員が不足している
2. 採用はできているが、採用者について十分にスキルマッチしていない
3. 育成機会を十分に確保出来ず、人材の育成が進んでいない
4. 定年退職により、熟練者の人材の離職が進んでいる
5. 他企業への転職により、人材の離職が進んでいる
6. 作業員の技能について十分に把握できておらず、適切に配置出来ていない
7. 熟練作業員の知見について共有できておらず、作業員間の技能について格差がある
8. 特になし
9. わからない
10. その他
()

問17 ローカル 5G の特徴（低遅延、高速大容量、多数同時接続、セキュリティ強化等）を生かして活用したいソリューションはありますか。〔あてはまるもの全て○〕

1. 高精細な映像とリアルタイム性を活用した遠隔地からの作業指導
2. 高精細な映像を活用した検査工程の効率化
3. AR/VR/MR 等の活用による作業効率化
4. 低遅延性が必要な機器の制御
5. IoT センサによる製造過程のデータ可視化、現場作業者の技能見える化
6. IoT センサにより得た数値（温度等）の活用による品質確保
7. データを利用した AI（人工知能）による現場作業・指導等の省人化
8. データ活用によるデジタルツイン※の実現
9. その他
()

※デジタルツインとはリアル（物理）空間にある情報を IoT などで集め、送信されたデータを元にサイバー（仮想）空間でリアル空間を再現する技術

問18 遠隔指導への関心についてお伺いいたします。製造現場にカメラやマイクなどを設置することで映像、音等のデータを取得し、それらの情報をもとに遠隔での指導を可能とするソリューションについて興味はありますか。〔1つだけ○〕

1. ある →問 19
2. ない →問 20
3. わからない →問 20

問19 遠隔での指導を行いたい業務はどういった業務ですか。〔自由記述〕

--

問20 指導者となる熟練の作業員は、他の作業員の指導にどの程度の時間を要していますか。〔1日あたりの1人の指導者のおおよその平均指導時間に1つだけ○〕

1. 30分未満	4. 4時間以上6時間未満
2. 1時間以上2時間未満	5. 6時間以上8時間未満
3. 2時間以上4時間未満	6. 8時間以上

問21 作業員の指導にあたって、指導者の移動にどの程度の時間を要していますか。〔1日あたりの1人の指導者のおおよその平均移動時間に1つだけ○〕

1. 30分未満	4. 4時間以上6時間未満
2. 1時間以上2時間未満	5. 6時間以上8時間未満
3. 2時間以上4時間未満	6. 8時間以上

問22 製造現場における作業員についてカメラやモーションセンサ、マイク等により情報を計測し、体や手動かし方などのデータを可視化し、技能の見える化※を可能とするソリューションについて興味はありますか。〔1つだけ○〕

1. ある	3. わからない
2. ない	

※技能の見える化とは、熟練作業員の感覚的な知識・知見を言語化・可視化することで効率的な技能継承を実施することを目的とした技術

問23 技能の見える化によって得られた情報をもとに技能のコツや身体、道具の使い方などの指導をAIが行うソリューションについて興味はありますか。〔1つだけ○〕

1. ある	3. わからない
2. ない	

問24 ローカル 5G に関する今後の研究開発へのご期待や、行政へのご要望等を自由にご記述ください。

〔自由記述〕

アンケート調査は以上です。ご協力ありがとうございました。
