

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

成果報告書概要版

令和4年3月25日

PwCコンサルティング合同会社

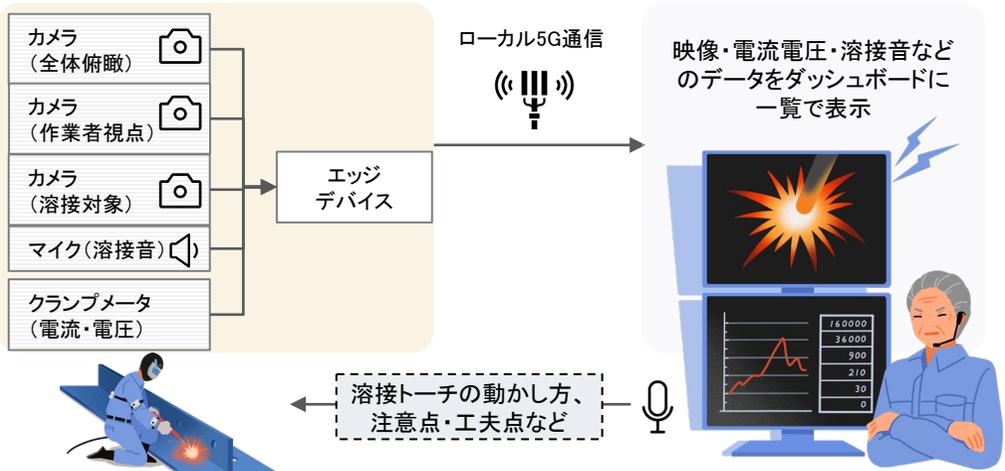
実証概要

(1) 概要

実証地域	神奈川県横浜市(株式会社IHI 横浜事業所)	コンソーシアム	PwCコンサルティング、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
背景・目的	<ul style="list-style-type: none"> 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 		
課題実証	<ul style="list-style-type: none"> 溶接時の映像、溶接音、電流・電圧データをフュージョン(統合・同期)させ、ローカル5Gを用いてリアルタイムに遠隔の熟練者に伝送することにより、熟練溶接士による遠隔指導の実証を実施 		
技術実証	<ul style="list-style-type: none"> 技術実証では、遮蔽効果が高い工場施設における建物侵入損を考慮した電波伝搬モデルの精緻化を実施 		
使用周波数等	周波数:4.5GHz帯(100MHz)(キャリア5G) 構成:NSA方式 利用環境:屋内		

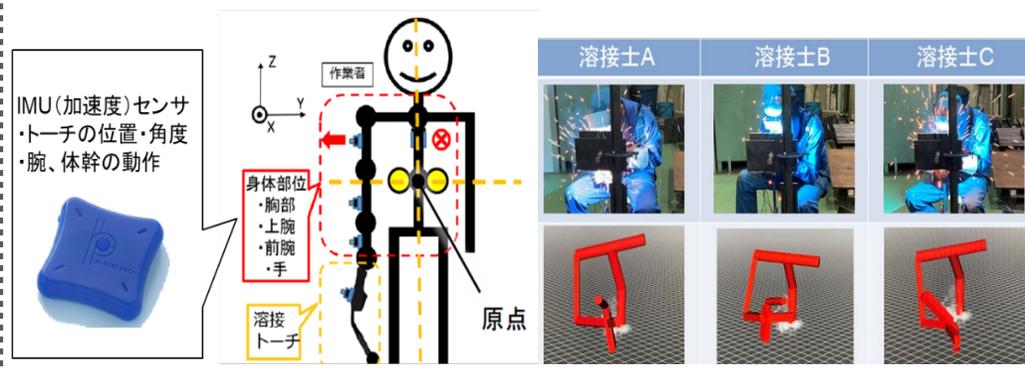
【熟練溶接士による遠隔指導】

■溶接の遠隔指導のためには、映像や電流・電圧等のデータをリアルタイムに同時に確認することが重要。本実証では、溶接現場のデータを同期してダッシュボードに表示することで、熟練技能者による遠隔指導の実現性を検証。



【溶接作業の技能伝承支援システム】

■溶接士の動作、ワーク、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上で、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。また、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実施。



【IMUセンサの装着箇所】

【IMUセンサによる動作計測例】

実証環境の構築

実施環境・実施場所

技術実証・課題実証共に、IHI横浜事業所で実施。実証結果の活用を担保すべく、工場として汎用的なサイズ、構造の場所を選定した。溶接工に関する遠隔教育を行う実証のため、2階に本棟の5G基地局を設置し、1階において溶接試験を実施。なお、熟練工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。

- IHI横浜事業所 511棟屋内（神奈川県横浜市磯子区新中原町1）
 - 製造業に代表される沿岸の工業地帯
 - 511棟は、横56m、縦20mであり、2階建ての建物
- 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
 - 構造：鉄骨造
 - 床：コンクリート金コテ仕上げにエポキシ塗
 - 壁：ALC（軽量気泡コンクリート）厚さ100mmに内部AEP塗装、外壁吹付塗装
 - 屋根・天井：カラー折版屋根（厚さ0.8mm＋断熱材＋0.6mm重ね）、天井は折版表し（天井材そのまま）
- 2階に本棟の5G基地局を設置し、1階において溶接試験を実施。なお、熟練工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

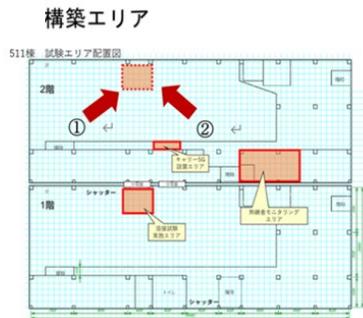


IHI横浜事業所

実施場所・実施環境



横浜事業所511棟

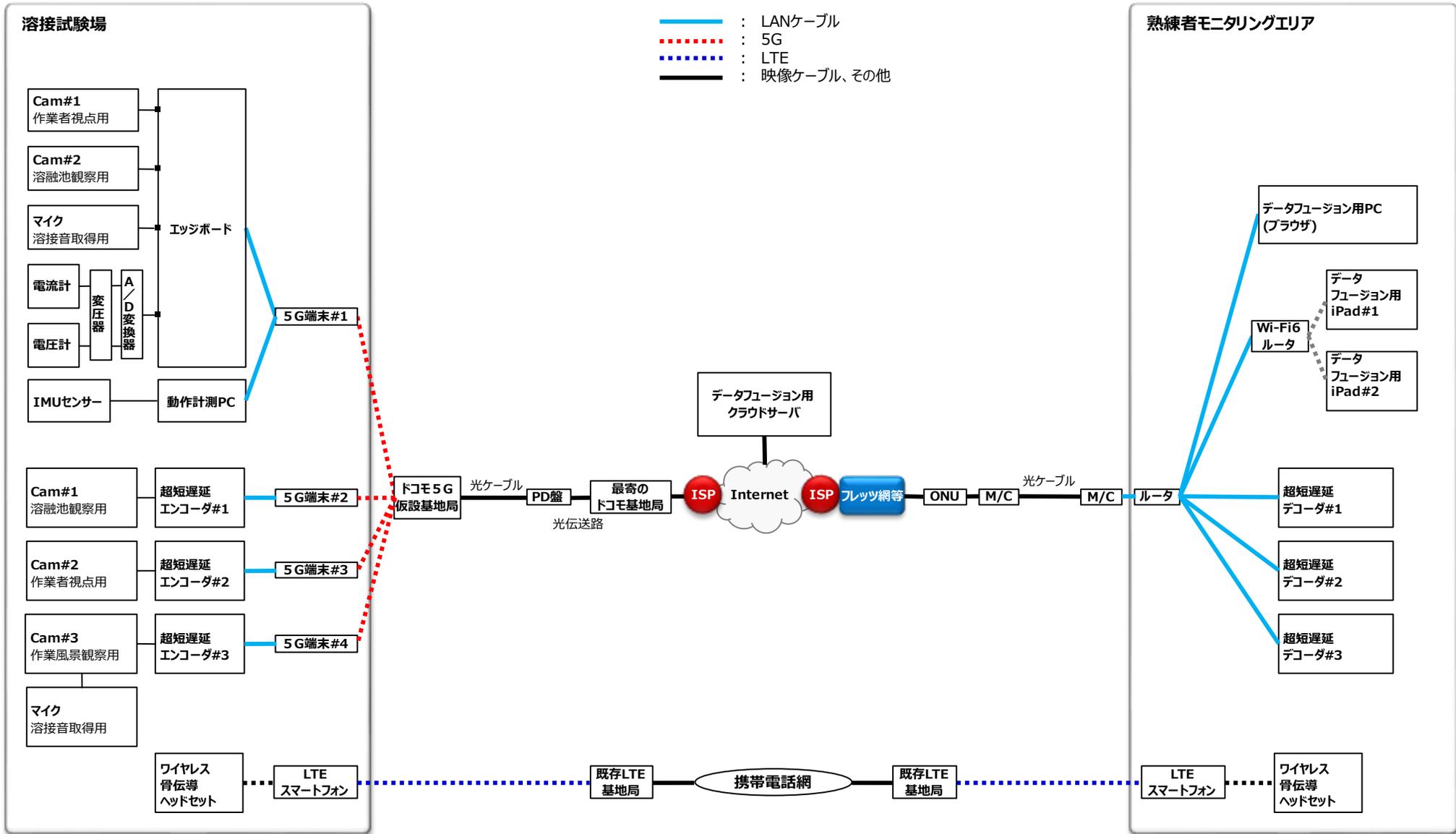


①の方向から見た状況



②の方向から見た状況

ネットワーク・システム構成



システム機能・性能・要件

本実証では、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を使用。システムの機能・性能・要件は以下の通りである。

	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
システム機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 伝送効率の向上機能 ・ 伝送データの流量制御機能 ・ 欠損したデータの完全回収機能 ・ インターネットを介したPCブラウザによるダッシュボード上のリアルタイム確認またはプレイバック確認機能 	<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
要件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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送信が可能 	<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から出力される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
性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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が可能 	<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から出力されるまでの区間に於ける映像伝送遅延が100msec以下
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証事業における開発対象は以下 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 溶接機器 — 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。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応を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証事業における開発を伴う機器利用はなし ・ 2021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から出力される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。また、今回の実証環境に於いても、2021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 ・ 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てされている受信拠点に直接映像データの伝送を行う

免許・各種許認可、実証環境の運用、及びその他要件

本実証で必要となった「免許・各種許認可」、「5G基地局の概要」、「実証環境の運用」は以下の通りである。

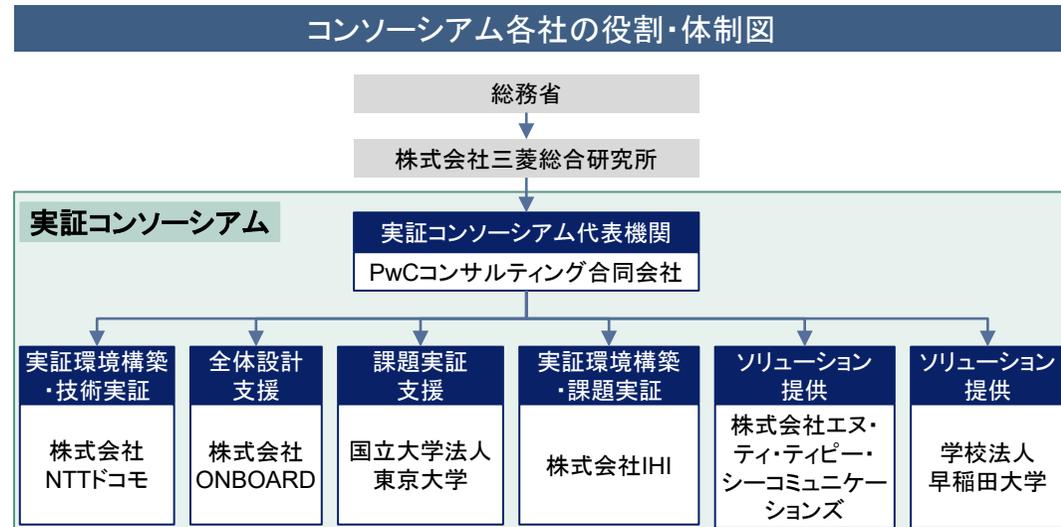
免許・各種許認可

- 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。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
 - 認定の日付:令和2年12月21日
 - 認定番号:2020導1総第0001号-1
 - 認定開発供給事業者の名称:株式会社NTTドコモ
- 総務省総合通信局にキャリア5G商用免許1局の免許申請を実施
 - 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事前に確認
 - 周波数帯:衛星放送事業者などと調整

5G基地局の概要			
製造ベンダ	富士通社	UL帯域幅	100MHz
台数	1台	DL帯域幅	
設置場所(屋内/屋外)	屋内	UL中心周波数	4.55GHz
同期/準同期	同期	DL中心周波数	
UL:DL比率	1:4	キャリア間隔	30kHz(4.5GHz)
周波数帯	4.5GHz帯	UL変調方式	QPSK,16QAM,64QAM
SA/NSA	NSA	DL変調方式	QPSK,16QAM,64QAM,256QAM
UL周波数	4.5~4.6GHz	MIMO	2×4MIMO
DL周波数		同時接続数	1500UE/セル(無線局)

実証環境の運用

- 実証実験における体制やルール等を周知
- 意思疎通を図るべく実証開始前に実証作業計画書を作成
- トラブル・異常発生時
 - コンソーシアム各社からコンソーシアム代表機関に連絡し、その後実証事業事務局、総務省に連絡
- 5G機器
 - 実証時以外においても停波などは行わず常時運用
 - ドコモオペレーションセンターにて24時間体制で監視し機器異常時は遠隔制御にてシステムの正常性を維持



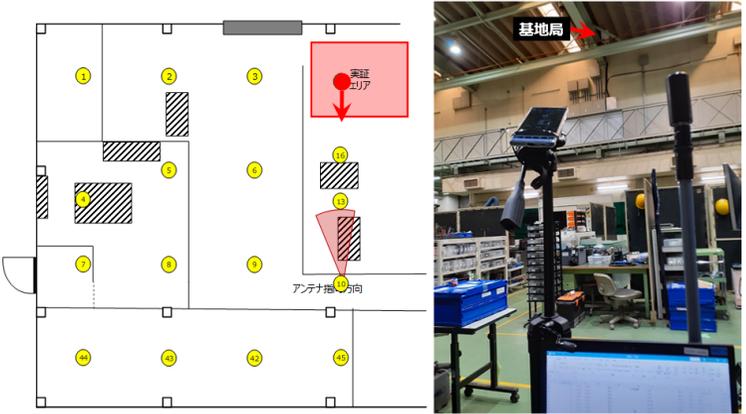
ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討 (技術実証)

実証概要

金属加工を行うための工作機器、クレーン等による遮蔽または反射による電波伝搬特性の影響が課題となるため、①適切な電波伝搬モデルの選定とともに、ローカル5G性能向上のための課題抽出と解決策の検討、②エリア算出法の適切性を評価するとともに、エリア算出式パラメータRの精緻化を検討した。

課題解決システム活用における技術的課題

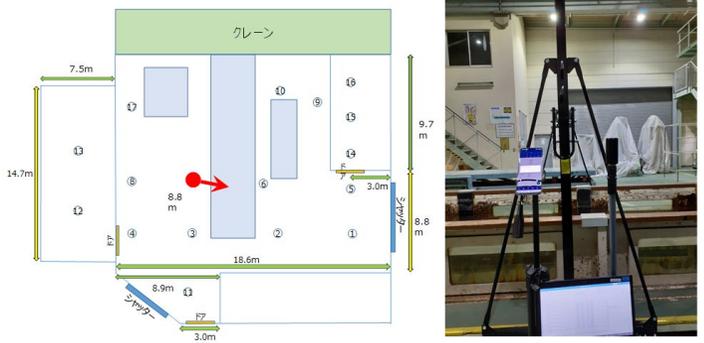
- 工場分野における本実証環境としては溶接時の遠隔指導を行うため、製造現場となる工場の上から吹き降ろす形でアンテナを設置
- そのため、金属加工を行う為の工作機器、クレーン等による、遮蔽または反射による電波伝搬特性への影響が課題



実証環境における基地局設置位置

実証目標

- a: 適切な電波伝搬モデルの選定とともに、ローカル5G性能向上のための課題抽出と解決策を検討
- b. I : エリア算出法の適切性を評価するとともに、エリア算出式パラメータRの精緻化を検討



実証環境図(工作機器・クレーン位置等)

実証内容：a.ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

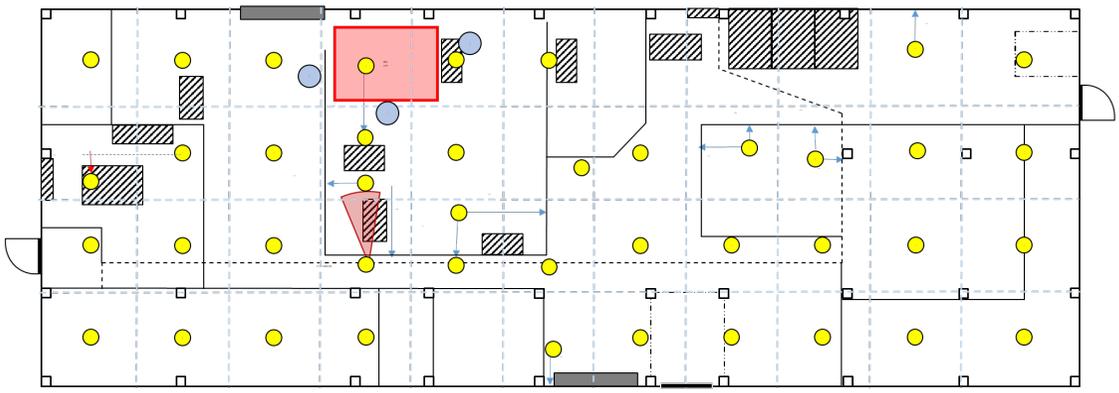
エリア算出法に基づくカバーエリア内である屋内42点、屋外60点(計102点)において、下り受信電力(SS-RSRP)、受信品質(SS-RSRQ/SS-SINR)、DL伝送スループット、UL伝送スループット、伝送遅延を計測した。

計測指標

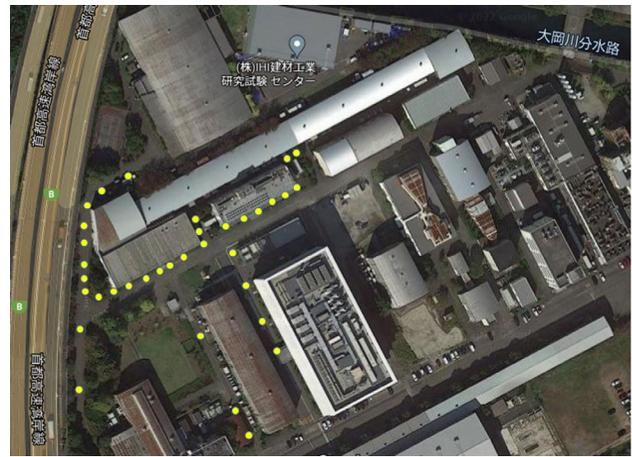
- ローカル5Gの性能評価として、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供品質の観点から評価を行うため、エリア算出法に基づくカバーエリア内の20地点以上において下記データを計測
 - エリア形成: 下り受信電力(SS-RSRP)、受信品質(SS-RSRQ/SS-SINR)
 - サービス提供品質: DL伝送スループット、UL伝送スループット、伝送遅延

評価・検証方法

- エリア形成は、エリア算出法に基づくカバーエリア、調整対象区域と受信電力の測定結果で評価
- サービス提供品質は、課題実証と同じ目標値(UL伝送スループット45Mbps)の達成率を評価
- 測定地点は、屋内で42点、屋外で60点の計102点で実施



アンテナ設置の工場建屋内



アンテナ設置の工場建屋屋外

実証内容:b. I 電波伝搬モデルの精緻化

①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結果の評価、②対象壁面内外で実測した受信電力から電界強度差分を建物侵入損として検証、③精緻化したR値を用いてエリア図を作成し、実測値エリア図との比較を行い、妥当性を検証した。

実証仮説

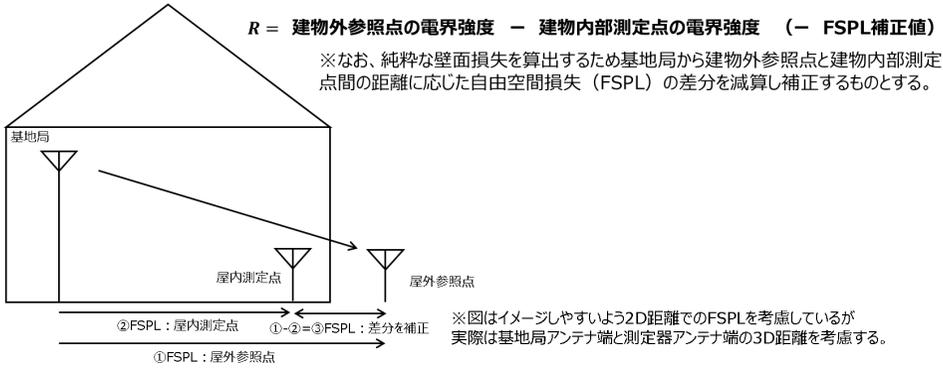
- 実証環境におけるパラメータR値を環境要因から推定し、エリア算出法に基づくエリア図を検討
- 工場建屋壁面の材質は、コンクリートによる複合材質が想定される為、R値は31.4dBと推定
- ITU-R P109-1 Thermally-efficientモデルの50%値

計測指標

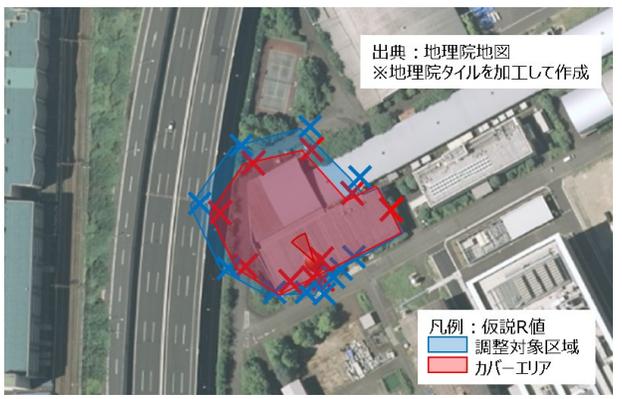
- a.ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定にて測定。下り受信電力値(SS-RSRP)を活用

評価方法

- 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結果を評価
- 対象壁面内外で実測した受信電力から、電界強度差分を建物侵入損として検証
- 精緻化したR値を用いてエリア図を作成し、実測値エリア図との比較を行いその妥当性を評価



実測値からのR値算出手法



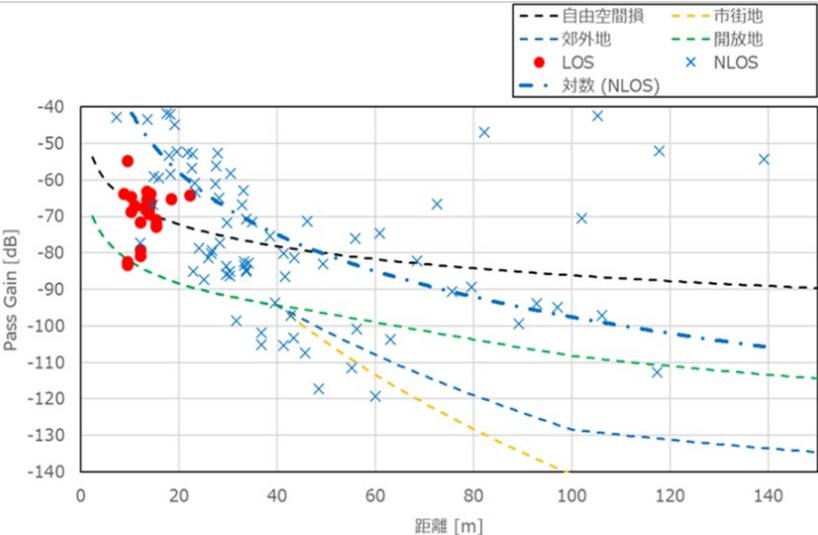
仮説R値を用いたエリア図

実証結果：a.ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

近似できる電波伝搬モデルは奥村・秦式(中小都市、市街地もしくは郊外地)であることがわかった。また、工場内環境においては、本実証環境のような天井近くからの吹き降ろしによる置局設計にて、工場内を十分にカバーするエリア設計が可能であることがわかった。

分析結果

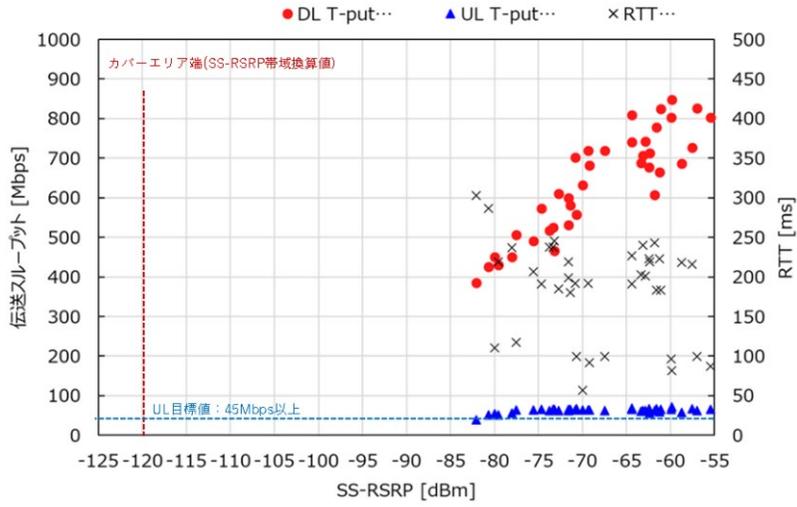
- ITU-R P109-1 Thermally-efficientモデルの50%値・実証環境における伝搬ロスから近似できる電波伝搬モデルは奥村・秦式(中小都市、市街地もしくは郊外地)
- ユーザへのサービス提供品質の観点では、カバーエリア内では良好な性能であり、DL平均700Mbps程度 / UL平均60Mbps程度 / RTT平均180ms程度



基地局からの伝搬ロスの距離特性

考察

- 今回サービスエリア内において十分な受信電力値及び通信性能を得ることができ、UL伝送スループットで目標値として掲げている45Mbpsを達成
- この結果から、工場内環境においては本実証環境の様な天井近くからの吹き降ろしによる置局設計にて、工場内を十分にカバーするエリア設計が行えることがわかった



伝送スループットとSS-RSRPの関係

実証結果:b. I 電波伝搬モデルの精緻化

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。工場環境においては、精緻化値を用い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。

分析結果

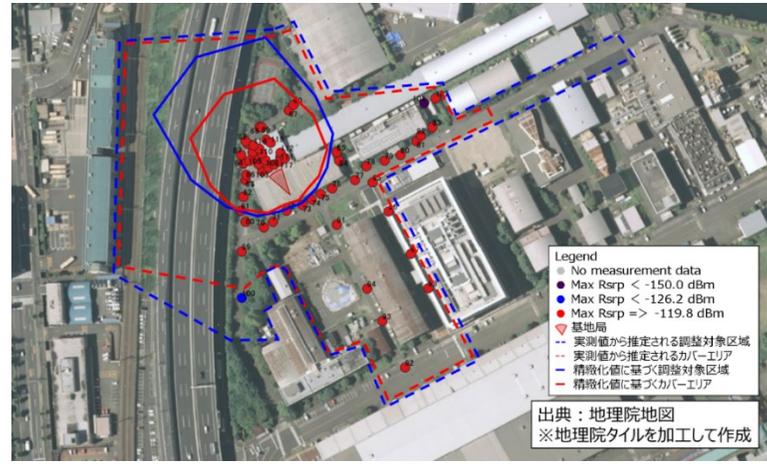
- 実測値から算出される精緻化値Rは15.1dB
- 別建屋が併設されている方向においては35.2dB
⇒上記は対象壁面と同様の2層の壁面構造となっており、概ね倍に近い値

周波数	建物	材質	厚さ [mm]	面積率	仮説値 R[dB]	精緻化 R[dB]
4.7 GHz	代表値					16.2
	窓などの開口部が多い壁面	コンクリート	200	70%	31.4	15.1
		ガラス	20	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	200	70%	31.4	35.6
		ガラス	20	30%		

4.7GHz帯における実証環境R値

考察

- 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(破線)と大きく乖離していることが分かる、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、小・中規模の工場においては大規模工場と比べてその影響は大きいと想定
- 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



仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較

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)

実証概要

製造現場における競争力の源泉である高度な溶接の技能継承を促進するための遠隔溶接指導の実現に向けて、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よる遠隔指導の実現性を検証した。

目的

- 遠隔溶接指導においては、溶接作業映像、溶接時に発生する音、電流・電圧等のデータを同期がとられた状態でリアルタイムにデータを指導者側に送付することが必要である。そこで、「高速大容量」「高信頼・低遅延通信」が特徴であるローカル5G及びデータフュージョン技術を用いた
- 本実証の目的は、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、熟練工の指導効率向上と、非熟練工の早期育成の実現である

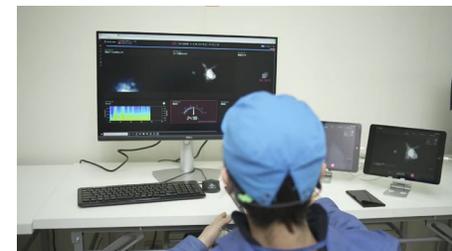
遠隔指導

データフュージョンシステムを用いた検証

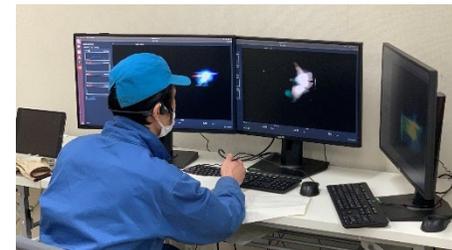
- カメラ(動画)、電流・電圧センサ、音声等のデータをローカル(エッジコンピュータ)でフュージョン(統合・同期)させた後、5Gシステムにおいてデータを送受信する「データフュージョンシステム」を構築して遠隔指導を実施し、効果・機能・運用面で検証を実施

超短遅延映像伝送システムを用いた検証

- 「データフュージョンシステム」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必要があるため、伝送遅延が大きい。実用化の際には、データフュージョンを行わず、伝送遅延が発生しない構成も必要と考えられるため、「超短遅延映像伝送システム」を構築して遠隔指導を実施し、効果・機能・運用面で検証を実施



データフュージョンシステムでの指導



超短遅延映像伝送システムでの指導



溶接士の姿勢の解析

検証概要

技能継承システム

追加提案部分: 技能伝承システムに関する実現可能性の検証

- ワークの状態や、動作、溶接状態等を計測し、クラウドサーバ上に送信した上で、溶接作業の質を解析するデータ処理方法等を検討
- 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実施

横展開・実装

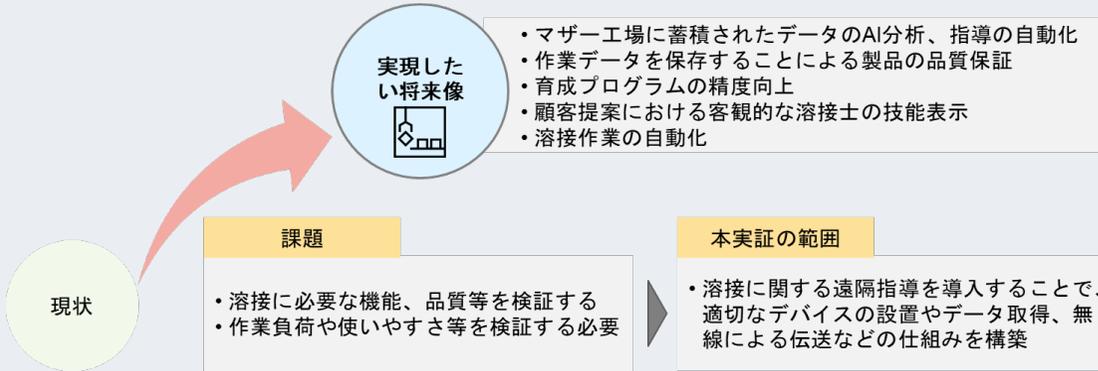
ソリューションの実装性に関する検証

- IHI社における実装・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を検討
- 横展開に向けたソリューションのニーズ・課題等を把握するため、アンケート調査やヒアリングを実施

背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

目指すべき将来像と、将来像実現に向けた課題

- 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



①【遠隔指導に関する課題】

- 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

②【技能の見える化に関する課題】

- 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

今年度の実証目標・検証項目

【遠隔指導ソリューションに関する実証】

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

実証目標		検証の観点
効果	溶接指導の効果	若手溶接士が遠隔指導により、溶接技能の向上を図れるかを検証
	指導効率の向上	現場まで移動する必要がなくなるなど、現在よりも指導効率が上がるか
	費用対効果	工数削減等の定量的な効果を整理し、発生した費用と削減したコストを比較
機能	データフュージョン	ソリューションの実装に適した機能を有するか
	超短遅延	ソリューションの実装に適した機能を有するか
運用	指導者側	指導のしやすさ、機器の使いやすさ、指導効率、安全性など
	現場若手側	指導の受けやすさ、機器の使いやすさ、作業効率、安全性など
	運用メンテナンス	データ取得、保存、メンテナンス、拡張性など

【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

評価・検証項目	詳細項目
溶接作業の記録	-
溶接作業の分析	作業視点映像
	音声
	溶接電源(電圧・電流)
技術課題の提示	IMUセンサ
	作業姿勢
	溶融池映像分析
	IMUセンサ取得方式の改善

実証方法

溶接士の初級者・中級者・上級者それぞれ2名を選定の上、指導者による指導を実施し、結果の測定を行った。溶接結果の評価は、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指導者が実施した。

溶接士・指導者の選定

- 溶接士: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
- 指導者: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。溶接品質の評価を実施

溶接試験の所要時間

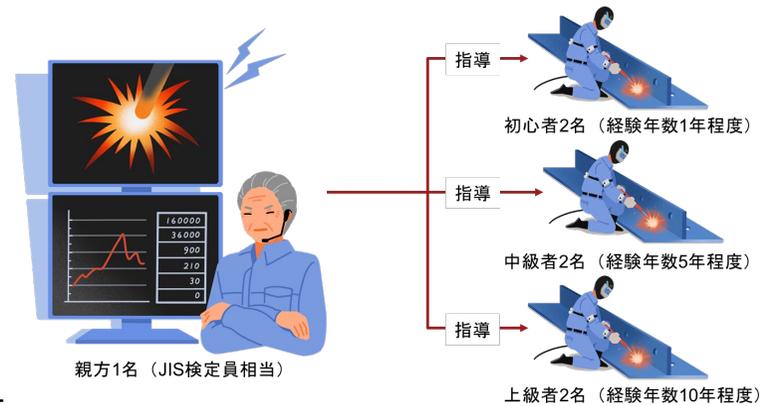
- 試験片の設置等の試験準備に30分、溶接時間に1時間

溶接対象

- 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
- 溶接対象:比較的施工難易度が高い「突合せ横向き溶接(JIS符号:SA-3H)」
- 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

溶接品質の評価

- 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
- それぞれの持ち点を100点とし、合計300点からの減点方式



溶接士・指導者の選定

溶接板を横側から撮影するカメラ



溶接板を後方から撮影するカメラ



溶接者が装着するヘルメット (カメラ付き)



溶接を実施する実験環境



溶接前の試験体

→
溶接後



溶接後の試験体

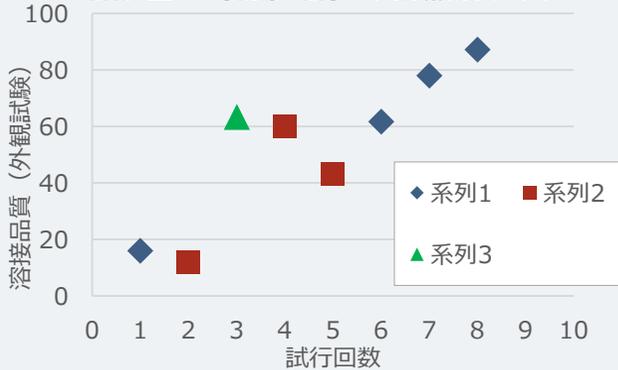
有効性に関する検証：効果検証

5Gを活用したシステム（データフュージョンシステム・超短遅延システム）を用いた遠隔指導により、溶接士が行った溶接の品質結果を通じて指導の効果が表れたかについて明らかにした。また、溶接士や指導者のヒアリングを通じて、指導効率の効果・費用対効果を明らかにした。検証により、遠隔指導により指導効果・指導効率の向上・費用対効果が生じることがわかった。

溶接指導の効果

- 溶接士A（初心者）：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。遠隔指導により、溶接技能の向上が図られることを確認できた。溶接士Aにヒアリングによれば、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、遠隔指導により上達を感じたとコメント
- 外観試験の点数が指導によって上昇したのに対し、放射線透過試験、曲げ試験はばらつきが大きい。部材の内部品質も考慮した指導が必要なことを確認したため、遠隔指導に必要な機能等検討は今後の課題

溶接士A（初級者）の習熟度グラフ



初心者（遠隔指導前）



溶接士A：1回目溶接後外観
（外観試験：16点）

初心者（遠隔指導後）



溶接士A：8回目溶接後外観
（外観試験：87点）

上級者（参考）



溶接士F：1回目溶接後外観
（外観試験：96点）

指導効率の向上

- 1.5時間×4回分程度の指導で、初級者→中級者、中級者→上級者の溶接が可能となる。直接指導と遠隔指導を比較した場合においても、指導回数は数回の差と考えられる。しかし、溶接作業が高度になるにつれて差が生じる可能性
- 機器の習熟に係る時間として機材等立ち上げに20時間、エッジデバイスの使い方3時間程度の時間を要する。改良により0～2時間程度となる想定

費用対効果

- 指導員の移動時間削減によるメリットは大きい。また、指導機会向上による、若手が早く育つという面で費用対効果は得られる

有効性に関する検証：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、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した。検証の結果、両システムとも、遠隔指導ソリューションで用いることのできる遅延の程度であり、遠隔指導に問題なく活用できることがわかった。また、システムについては状況によって使い分けることが想定される。

	検証項目	目標	結果	考察	メリット
データフュージョンシステム	通信遅延	1000msec	500～800msec	<ul style="list-style-type: none"> キャリア5G回線のTCP Upload実効スループット(約15Mbps)に合わせカメラ2台、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、通信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実効スループットが上がればより高画質(Full HD)での転送も可能である 	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業士の作業映像、溶接音、電圧・電流等のデータ等の情報を把握可能 複数のデータ(溶接作業士の作業映像、溶接音、電圧・電流等のデータ等)の同期がなされているため、同期を求める場合には、データフュージョンシステムの方が適している
	スループット(上り)	12Mbps	13～15Mbps		
	フレームレート	30fps	30fps		
	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	200msec	130msec	<ul style="list-style-type: none"> 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、目標値を上回る性能であったため、パラメータ変更は不要である。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程度と推察される 	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業士の映像面において、全体像を把握するには使い勝手が良い 短遅延性が求められる場合には、超短遅延映像伝送システムの方が適している
	スループット(上り)	3ch合計 36Mbps	iPerfに拠るUDP上り最大スループット 55Mbps		
	フレームレート	30fps	30fps		

有効性に関する検証：運用検証

若手溶接士、指導者に対して、安全性、使いやすさ、運用・メンテナンス等について、ヒアリングをベースに明らかにした。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、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、等に対応することで、運用可能性は拡大すると考えられる。

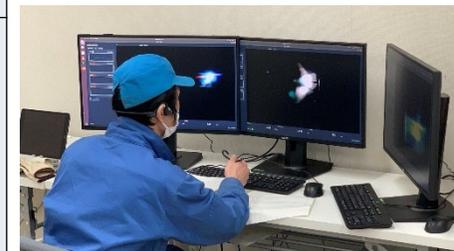
	ヒアリング結果	改善点
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・アーク光画像から指導中の溶接作業に対しての溶接作業による不安全状態は把握可能 ・配線の躓きなどにより安全性が損なわれる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接作業場所周辺の情報提示する仕組み ・機器の省配線化
指導者	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接プールの画像・溶接時の音は十分把握可能である。一方で、溶接中の温度・電流・電圧等の値は改善が必要 ・モニターは1つにまとめた方が使用・指導しやすい ・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で指導差は感じなかった ・移動時間削減による指導効率向上が図れた 	<ul style="list-style-type: none"> ・電流・電圧データの数値をフィルタで平準化 ・モニタ提示方法の工夫
現場若手	<ul style="list-style-type: none"> ・指導を受けるには、溶接の知識が必要である。ホワイトボードや動画でトーチの狙い位置が共有できると良い ・機器の使いやすさについては、配線の躓き等が気になる ・遠隔指導により、作業効率の向上・溶接の上達を感じた 	<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 ・機器の省配線化 ・指導者へ提示する溶接情報の追加
運用・メンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> ・データ測定、取得の観点からは概ね問題ない ・初期設置や計測機器の条件出しに時間を要した ・複数人(2、3名)の同時指導ができるシステムがあると良い ・熟練者のポンチ絵等を表示できるモニターを溶接士側に用意して欲しい ・側面や全体像やの映像追加・カメラの自動追従機能の追加等改善を行って欲しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・各種機器の改良 ・クラウドシステムの利便性向上 ・カメラ設置、条件出しの簡略化 ・複数人同時指導システムの検討 ・熟練者の動画再生など、音声以外の溶接指示方法の検討



遠隔指導を受ける様子



データフュージョンシステムで指導を行う様子



超短遅延映像伝送システムで指導を行う様子

実装性に関する検証：継続利用・実装計画

IHI社内において今後もソリューションの継続利用の検討を行い、令和5年度よりIHI内の他拠点展開を順次検討する。

今後の継続利用

スケジュール

- 令和4年度は、実証課題を踏まえたソリューションのブラッシュアップを実施。運用検証で明らかになった課題（機器の省配線化等）や、追加提案で明らかになった課題（特徴点の抽出ができていないフレームの改善等）の解消を目指す
- その後、横浜事業所における継続利用、順次IHI内の他拠点展開を検討
- 併せて、蓄積された技能に関するデータをもとにしたAI指導や品質保証といった応用方法についても検討

体制・資金

- IHIにて研究開発の一環として継続的に検討する見込み

遠隔指導ソリューションの横展開に向けたニーズ・導入課題の把握

横展開の目的

- 技能継承に課題を持つ業種において、遠隔での指導を行うことで効率的な技能継承を実施

ソリューションニーズ

- 製造業企業3,000社へのアンケート調査では、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が得られた
- ソリューションへの関心については、遠隔指導（35.7%）、技能の見える化（40.5%）ともに、大企業で特に高い横展開ニーズが伺える

活用したい業務

- アンケート調査を行い、98件の回答を得た
- 故障やトラブル対応（11件）、メンテナンス（11件）、加工組立（11件）等に使用したいとの回答

横展開の課題

- 拠点間において業務が異なる場合、遠隔での指導が効率的に実施できないため、事前に業務の標準化が必要
- 海外拠点に対しては言語の違いの考慮が必要
- 遠隔指導であれば、指導者の安全性は確保されるが被指導者は通信環境等により指示が遅延する恐れがあるため危険性の高い業務への適用は注意が必要

考察

- ソリューションの横展開に関して溶接工程に限定せず、一定のニーズがあることを確認した。今後は5GSCと連携し、ソリューションの横展開を図る

		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	後	前	期	前	後	前	後	前	後
遠隔指導	横浜事業所における利用	ブラッシュアップ		継続							
	他拠点展開			展開拠点判断		順次IHI内拠点展開					
見える技能	横浜事業所における利用	ブラッシュアップ		継続							
	他拠点展開			展開拠点判断		順次IHI内拠点展開					
品質保証・AI指導	横浜事業所における利用			ソリューション開発		ブラッシュアップ					
	他拠点展開					展開拠点判断		順次IHI内拠点展開			

技能伝承システムに関する実現可能性の検証：実証概要

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。

① 溶接作業の記録

- 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②の解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

② 溶接作業の分析

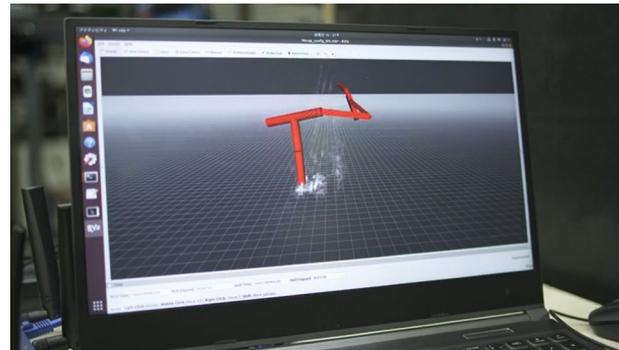
- 熟練者と非熟練者として、記録した溶接作業データにどのような違いがあるかを分析する
- 上記分析の結果、非熟練者の改善点、上達のコツなどを抽出できるか検討する

③ 技能伝承システムとしての技術課題の提示

- 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「①溶接作業の記録」「②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
- 上記の検討をもとに、非熟練者への訓練方法の提示方法を検討する



IMUセンサ(加速度センサ)を用いた動作計測



溶接士の姿勢の把握・解析



溶接士の姿勢の解析(特徴点抽出)

技能伝承システムに関する実現可能性の検証：検証結果・考察

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。検証の結果、溶接の質を示す特徴として、音声や電圧の変化傾向、体の使い方があることがわかった。

① 記録

- 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

作業者視点映像

- 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結果、頭部の移動距離の平均値については有意差があることがわかった

音声

- 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

溶接電源(電圧・電流)

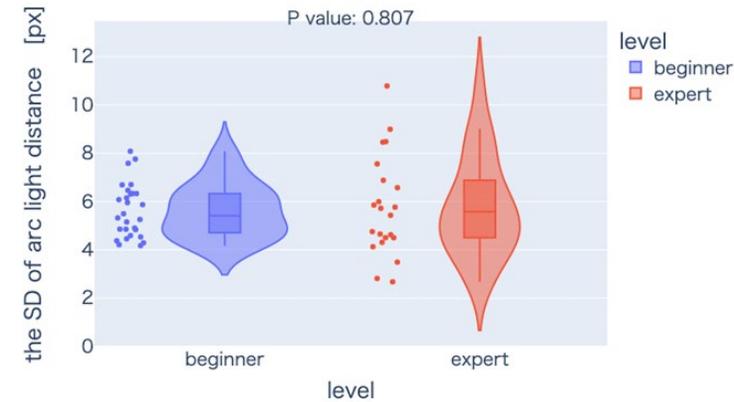
- 電圧の変化傾向には溶接の質に影響する特徴が含まれていると考えられる

IMUセンサ

- 熟練者は非熟練者に比べて、溶接を行う際に体全体を使っている可能性がある

作業者姿勢

- 特徴点9点抽出結果より、特徴点抽出率は47.09%となった。特徴点抽出率が低い要因は以下の3つと考えられる
 - 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



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

② 分析

③ 課題の提示

溶融池映像分析

- 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
- 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

IMUセンサのデータ取得方式

- IMUセンサの分析をより高度化するため、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が必要である

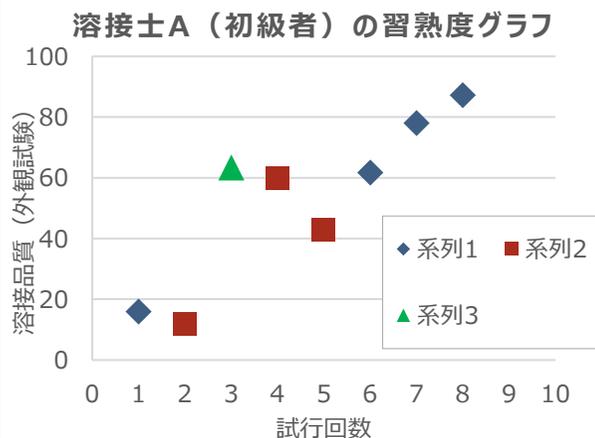
まとめ

開発実証のまとめ

技術実証

- 実測値から算出される精緻化値Rは15.1dBとなり、別建屋が併設されている方向においては35.2dBとなる。この値は、対象壁面と同様の2層の壁面構造となっており、概ね倍に近い値となることがわかった
- 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る。これらは、屋内における乱反射による電波漏洩が支配的であると考えられ、小中規模の向上においては大規模工場と比較して、影響が大きいと考えられる。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

課題実証の結果・考察



効果検証

- 溶接指導の効果は、指導無し、データフュージョン、超短遅延映像伝送について育成効果を検証した
- 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
- 遠隔指導により、溶接技能の向上が図られることを確認できた

運用検証

- 溶接作業周辺の情報を取得することで安全性向上に繋がる
- 溶接知識がある場合は言葉(音声)による指導で理解できるが、指導者側からも動画やホワイトボード等を共有することで、双方向の映像伝送が効果的である
- カメラ等の計測機器の省配線化やセッティングの容易化が進むと、溶接現場導入が促進されることが考えられる

技能伝承システムの検証

- 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について確認した結果、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
- 溶接の質を示す特徴として、頭部の移動平均距離や音声、電圧の変化、体の使い方が関係する可能性が得られた
- 今後は、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や、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可能性が得られた

実装・横展開に向けた検討

- 製造業企業3,000社へのアンケート調査では、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
- また、同アンケートでは、ソリューションへの関心について、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、IHI社内における実証を踏まえたソリューションの検討を行いつつ、コンソーシアムとして他社・他業界への横展開を検討する