

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた  
開発実証に係る工場分野におけるローカル5G等の  
技術的条件等に関する調査検討の請負  
(目視検査の自動化や遠隔からの品質確認の実現)

成果報告書

令和3年3月29日

住友商事株式会社

## 目次

<b>1. 全体概要</b> .....	<b>1</b>
1.1. 全体概要 .....	1
1.2. 背景・目的 .....	1
1.3. 実施事項及び実証目標.....	2
1.4. 実施体制 .....	3
1.5. 実証のスケジュール .....	5
課題実証スケジュール.....	6
技術実証詳細スケジュール.....	7
1.6. 免許申請の概要.....	8
<b>2. 実証地域</b> .....	<b>11</b>
2.1. 実証地域の概要.....	11
2.2. 実証環境 .....	12
2.3. 地域課題等 .....	17
<b>3. 実証環境の構築</b> .....	<b>21</b>
3.1. ネットワーク構成 .....	21
3.2. システム機能・性能・要件 .....	21
3.2.1. 無線区間及びシステム全体として必要とされる通信性能.....	21
3.2.2. ローカル5G機器.....	24
3.3. 実証環境の運用.....	26
3.3.1. 実証システムの運用.....	26
<b>4. 課題解決システムの実証課題解決システムの実証</b> .....	<b>33</b>
4.1. 高精細画像データ及びAI解析を用いた目視検査の自動化.....	35
4.1.1. 前提条件.....	35
4.1.2. 実証目標.....	37
4.1.3. 課題解決システムに関する検証及び評価・分析 .....	37
4.1.4. 課題解決システムに関する効果検証 .....	55
4.1.5. 課題解決システムに関する機能検証 .....	62
4.1.6. 課題解決システムに関する運用検証 .....	87
4.1.7. まとめ.....	92
4.2. 高精細映像伝送による品質確認等（遠隔作業支援） .....	95
4.2.1. 前提条件.....	95
4.2.2. 実証目標.....	96
4.2.3. 課題解決システムに関する検証及び評価・分析 .....	97
4.2.4. 課題解決システムに関する効果検証 .....	109
4.2.5. 課題解決システムに関する機能検証 .....	113

4.2.6.	課題解決システムに関する運用検証	119
4.2.7.	まとめ	126
<b>5.</b>	<b>ローカル5Gの性能評価の技術実証</b>	<b>130</b>
5.1.	前提条件	130
5.1.1.	使用する周波数帯域	130
5.1.2.	基地局の設置場所とアンテナ角度の決定	131
5.1.3.	環境ノイズ測定	142
5.1.4.	使用測定器類	146
5.2.	実証目標	153
5.2.1.	国際標準化に資する検証	153
5.2.2.	屋内エリアシミュレーション精度の向上	154
5.2.3.	その他ローカル5Gの技術的課題の解決	155
5.3.	ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等	156
5.3.1.	評価・検証項目	156
5.3.2.	課題解決システムからの要求性能	156
5.3.3.	屋内測定ポイントの選定	157
5.3.4.	測定方法（スループット評価）	160
5.3.5.	性能評価結果	161
5.3.6.	工場屋内における電波伝搬損失係数	193
5.3.7.	類似の調査	197
5.3.8.	技術的課題の解決方策	200
5.4.	ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等	201
5.4.1.	評価・検証項目	201
5.4.2.	カバーエリアおよび調整対象区域	202
5.4.3.	屋外測定地点の選定	203
5.4.4.	測定方法（電波測定）	207
5.4.5.	検証結果	208
5.4.6.	実測値フィードバックによるシミュレーション精度向上	234
5.4.7.	技術的課題の解決方法	246
5.5.	その他ローカル5Gに関する技術実証	247
5.5.1.	ハンドオーバー機能検証	247
5.5.2.	準同期TDDのスループット測定	256
5.5.3.	工場特有の環境要因による無線通信への影響評価	260
5.6.	まとめ	262
<b>6.</b>	<b>実装及び横展開に関する検討</b>	<b>264</b>
6.1	前提条件	264
6.1.1	実装に係る基本的な考え方	264
6.1.2	横展開に係る基本的な考え方	265
6.2	持続可能な事業モデル等の構築・計画策定	267
6.2.1	実証終了後の継続利用の見通し	267

6.2.2 普及モデル実装時のサービススキーム.....	269
6.2.3 実装計画について.....	270
<b>6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討.....</b>	<b>272</b>
6.3.1 普及モデル.....	272
6.3.2 推進対応方策.....	280
6.3.3 横展開計画.....	281
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討.....	289
6.4.1 5Gソリューション提供センター（仮称）の必要な機能等の仕様案.....	289
6.4.2 課題解決システムが公開するAPI仕様ないしはPFとのインターフェース仕様.....	292
6.5 まとめ.....	295
<b>7. まとめ.....</b>	<b>297</b>
<b>8. 参考資料.....</b>	<b>301</b>

## 1. 全体概要

### 1.1. 全体概要

我が国の製造業の現場では、少子高齢化等による人手不足や熟練技術者不足、さらには危険な作業が伴う作業員の労働環境の改善等が課題となっており、また、多様化する顧客ニーズに応じた製品・サービス展開や品質管理に対応するため、多品種少量生産化、製品サイクルの短縮化などの生産環境の変化もあり、新たな生産工程、品質管理の仕組みの確立も求められている。例えば、製造物の品質を維持・保証するために実施する外観検査は、主に熟練作業員の「目視検査」で行われてきたが、近年画像センサーによる判別やAIの活用など、作業の効率化・自動化に向けた取組が進みつつある。しかしながら、これらを実現する上で必要となる通信ネットワークは、必要なデータ容量や速度、安定性、信頼性などの観点から無線化が難しく、また、工場内の安全確保や製造ラインの組み替えなどの観点から有線の敷設も難しいのが現状である。

このため、本調査検討では、工場分野の課題解決に資するローカル5G等の無線通信システムの具体的なユースケースとして、高精細画像データ及びAI解析を用いた目視検査の自動化及び高精細映像伝送による遠隔からの品質確認に関する実証を行い、その有効性を検証するとともに、ローカル5G等の電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施し、技術面・制度面・運用面から課題の抽出及び解決策、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行った。

上記の調査検討のために以下の通り、課題実証、技術実証を実施した。

- ・ 課題実証：地域の製造業における課題解決を目的としたソリューション実証
  - ① 高精細画像データ及びAI解析を用いた目視検査の自動化(以下、目視検査の自動化)
  - ② 高精細映像伝送による遠隔からの品質確認 (以下、遠隔作業支援)

上記2つの具体的なユースケースの実証を行い、その有効性検証として、従来オペレーションとの差分を検証し、効果・機能・運用においてそれぞれの評価を行うとともに、同ユースケースを想定したローカル5G等の高精細映像伝送等に基づくローカル5Gの性能評価を実施した。

- ・ 技術実証：ローカル5G基地局のエリアカバレッジ (以下、無線エリア) 設計精度向上に向けた電波伝搬特性評価実証
  - ① 工場屋内無線エリア品質評価
  - ② 屋外への電波漏洩評価
  - ③ 運用を見据えたハンドオーバー機能検証
  - ④ 下りリンク/上りリンク比率変更\_非同期 (準同期) における評価検証

### 1.2. 背景・目的

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。

5 G の技術的条件等については、今後も、周波数の拡張が予定されており、更なる技術的条件等の検討を行うため、引き続き、実際のユースケースの利用環境における性能評価試験や既存無線局との共用可能性に関する試験等を行う必要がある。

このため、総務省では令和2年度から、様々な分野におけるローカル5 Gのユースケースについて、多種多様なローカル5 G基地局の設置・利用環境下でローカル5 G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5 G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5 G等の活用策とその導入効果等を明らかにし、ローカル5 G等の導入の促進を図ることとしている。

本調査検討では、「地域課題解決型ローカル5 G等の実現に向けた開発実証」の一環として、工場分野において、特に製造現場の人材不足や熟練技術の承継及び作業員の安全性の向上等の課題解決に向けて製造現場の検査工程にローカル5 Gの導入を促進するため、金属製設備・部材等の環境下にある工場におけるローカル5 Gの電波伝搬特性の解明及び課題解決システムによる具体的なアプリケーション（製造物の検査工程の自動化・省力化及び遠隔からの品質確認）を想定したローカル5 G等の高精細映像伝送等に基づくローカル5 Gの性能評価を実施することを目的とする。

### 1.3. 実施事項及び実証目標

各実証、及び検討における実施事項及び実証目標は以下のとおり。

#### ① 課題解決システムの実証：

##### ・目視検査の自動化

製造現場の省力化や安全性の向上を目的として、ローカル5 G等無線通信システムを用いて製造物の高精細画像伝送及びAI活用による目視検査の自動化等による新たな品質管理支援を実現し、大阪工場 S2 でのキズ検査に係る作業工数をゼロにすることを目標とする。また、目視検査の自動化を可能とするAIを活用した鋼板キズ検査装置を導入することでキズの指標化を目指し、社内外と発生する「調整コスト」を削減することを目標とする。また、効果、機能面、運用面等の観点から検証し、検証にあたっては技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題等について取りまとめる。

##### ・遠隔作業支援

本開発実証では、製造現場の省力化や安全性の向上を目指し、ローカル5 G (4.8GHz 帯)の無線通信システムを活用して、持ち運び可能な小型の高精細映像ポータブルカメラとGPUを組み合わせたモバイルシステム(高精細映像伝送による品質確認等(遠隔作業支援))を実現することで、営業担当者の大阪工場への品質確認時の移動時間削減、加えて工場現場における濃厚接触機会を減らし新型コロナウイルス感染リスク低減を図りつつ、鋼板キズ許容判断待ちによるダウンタイムの最小化を実現する。また、効果、機能面、運用面等の観点から検証し、検証にあたっては技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題等について取りまとめる。

#### ② ローカル5 Gの性能評価の技術実証：

ユースケースに基づくローカル5 Gの性能評価等のために必要な各種データを取得し、示す課題解決システムを実現する上で求められるローカル5 Gの技術基準等を整備するための知見を得る。

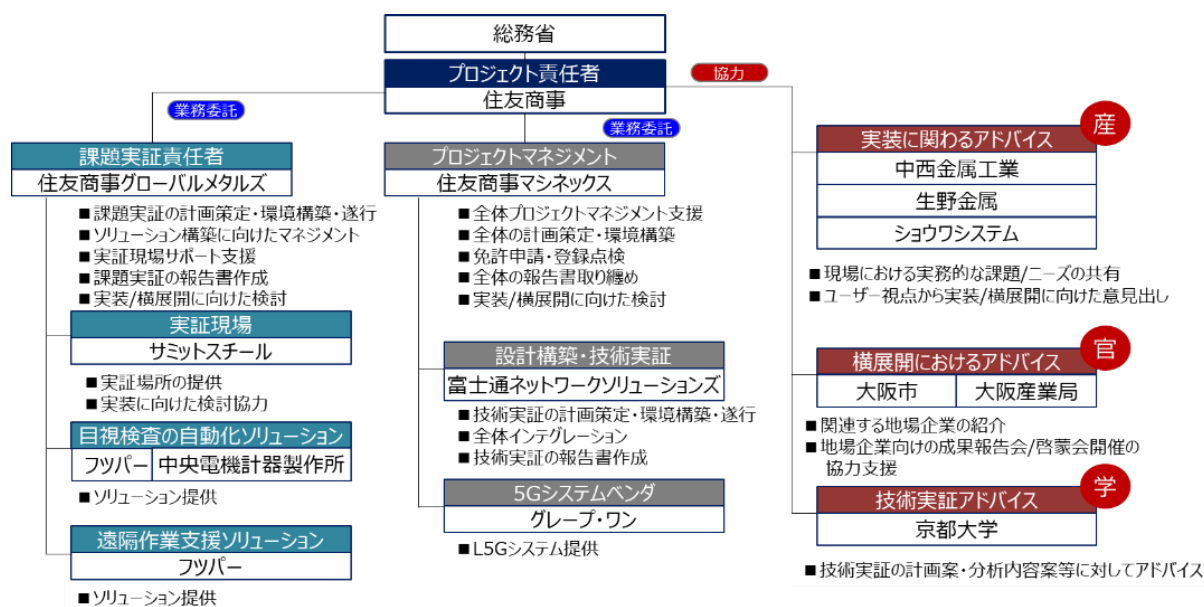
本実証を経て、中規模の製造現場の建物構造における最適なローカル5Gの無線エリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行う。特に製造現場における建物構造・製造ライン設備による遮蔽の存在を前提とした、電波の減衰・回折等の通信特性等に係る検証及び評価を行い、横展開における無線エリア設計の考え方を整理する。

### ③ 実装及び横展開に関する検討：

住友商事マシネックス、住友商事グローバルメタルズ、住友商事の3組織を軸に、①持続可能な事業モデル、②横展開に資する普及モデル、③共同利用型プラットフォームを検討する。

## 1.4. 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）で取り組む。（図1.4-1 参考）  
 図1.4-1) 実施体制（コンソーシアム）



- ・ 住友商事がプロジェクト責任者として全体を統括する。
- ・ 地域課題を有するサミットスチールが参加し、実証現場を提供する。
- ・ 住友商事グローバルメタルズが課題実証における計画策定・環境構築・遂行、ソリューション構築に向けたマネジメント、実証現場サポート支援、課題実証の報告書作成、実装/横展開に向けた検討等を担当する。「目視検査の自動化」ソリューション技術開発をツツパー及び中央電機計器製作所、「遠隔作業支援」ソリューション技術開発をツツパーの協力を得て進める。
- ・ 住友商事マシネックスが、全体プロジェクトマネジメント支援、全体の計画策定・環境構築、免許申請・登録点検、全体の報告書取り纏め、実装/横展開に向けた検討等を担当する。
- ・ 富士通ネットワークソリューションズが、技術実証の計画策定・環境構築・遂行、電波伝搬特性評価、全体インテグレーション、技術実証の報告書作成等を担当し、グレープ・ワンがローカル5Gシステムを提供する。

- ・以下の産官学の分野からも各関係組織がコンソーシアムに参加し、実装、及び横展開検討に協力頂く。
  - 「産」の分野では、同様の地域課題を有する「生野金属」、「中西金属工業」、「ショウワシステム」等の地場企業が参加する。各々の現場における課題解決システムの導入を検討してもらう機会とし、横展開検討に協力頂く。
  - 「官」の分野では、「大阪市」「大阪産業局」が参加し、関連する地場企業の紹介や実証成果の啓蒙活動に協力頂く。
  - 「学」の分野では、京都大学の原田博司教授が参加し、技術実証の計画案・分析内容案等に対してアドバイス頂く。
- ・同コンソーシアムメンバーにて、実装及び他の製造業者への横展開等の検討を進める。また実証で構築したローカル5G等の通信環境について、実証後も実証地域において継続的に利用することを検討する。



### 1.5. 実証のスケジュール

下図（図 1.5-2）に示す全体スケジュールにて実証を取り進めた。

計画策定時は図 1.5-1 に示すスケジュールを想定していた。計画時は令和 3 年 3 月上旬に「公開デモ」を実施し、コンソーシアム関係者や横展開候補先企業に幅広く声かけし、実証実験の現場となるサミットスチール大阪工場を直接視察してもらうことを想定していた。然し、新型コロナウイルスの感染拡大防止の観点で、現場における視察会は中止し、オンラインで実証実験の様子を関係者や横展開候補先へ伝えるウェブ形式のセミナーに切り替えた。

図 1.5-1) 全体スケジュール（計画）

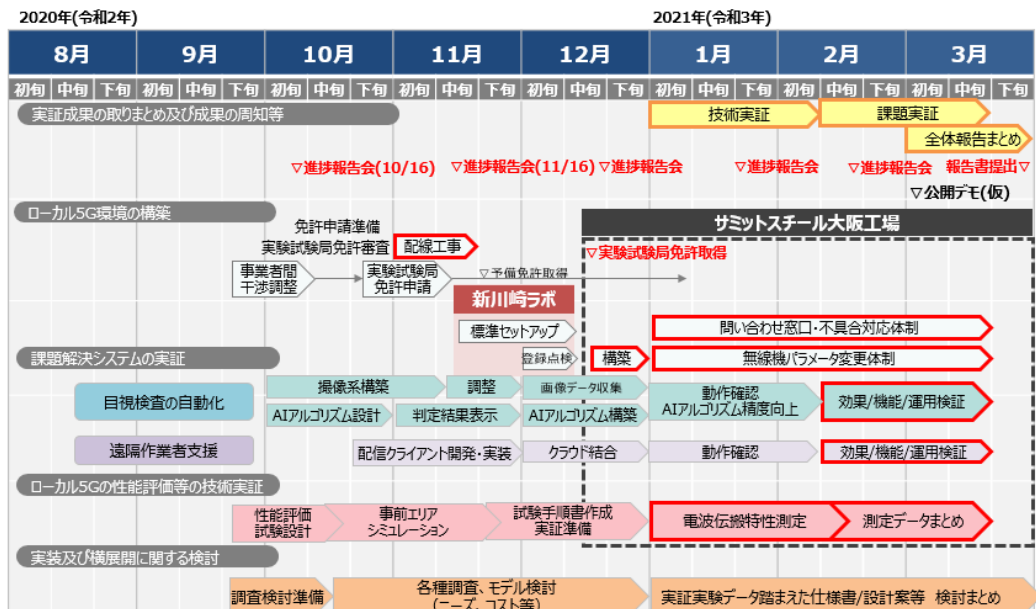
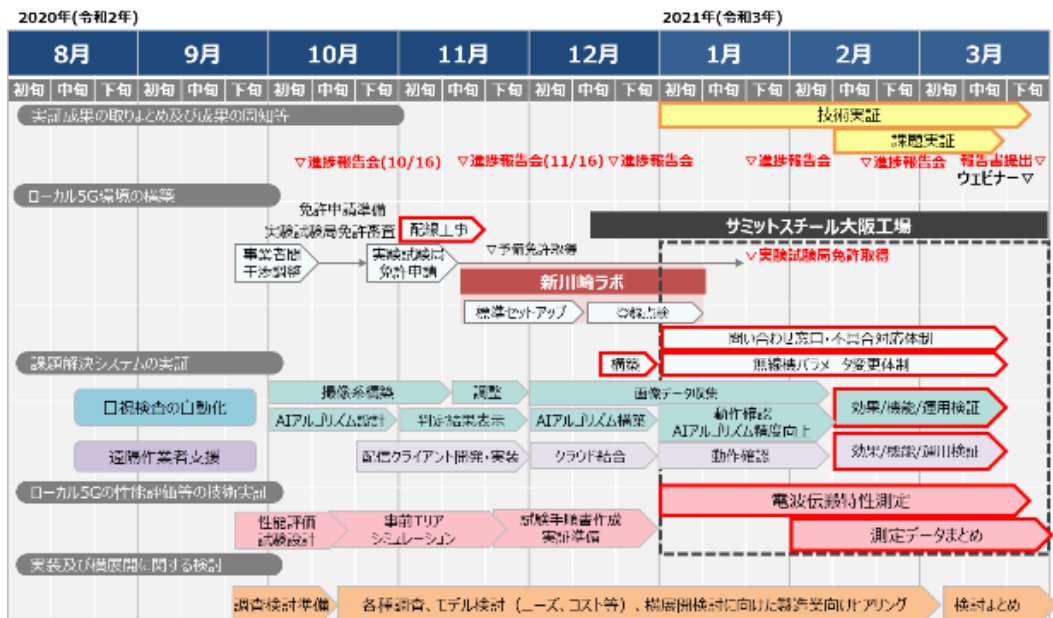


図 1.5-2) 全体スケジュール（実績）（報告書作成/令和 3 年 3 月時点）



## 課題実証スケジュール

下図（図 1.5-4）のスケジュールにて課題実証を取り進めた。

計画策定時のスケジュールを図 1.5-3 に示す。令和 2 年 12 月末まで環境構築を行い、令和 3 年 1 月から 2 月中旬まで動作確認を行った後、2 月中旬からローカル 5 G を活用して実証を進める計画を立てた。

最終的なスケジュール（実績）を下図（図 1.5-4）に示す。当初計画通り、令和 2 年 12 月末までに環境構築を完了させ、令和 3 年 1 月から動作確認を行うことができた。然し、目視検査の自動化については動作確認と並行して、画像データの収集を 2 月中旬まで継続し、アルゴリズムの精度向上を図った。

加えて、技術実証スケジュール等との兼ね合いから、目視検査の自動化については、2 月中旬から下旬までの期間は有線で実証を進め、3 月上旬からローカル 5 G を活用した実証を開始した。上記スケジュールの変更による、各検証への影響は出ていない。

図 1.5-3) 課題実証スケジュール（計画）

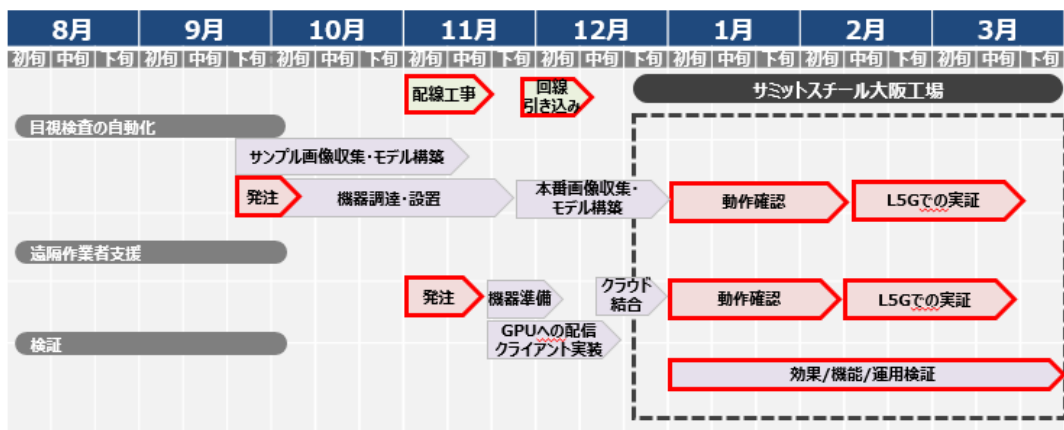
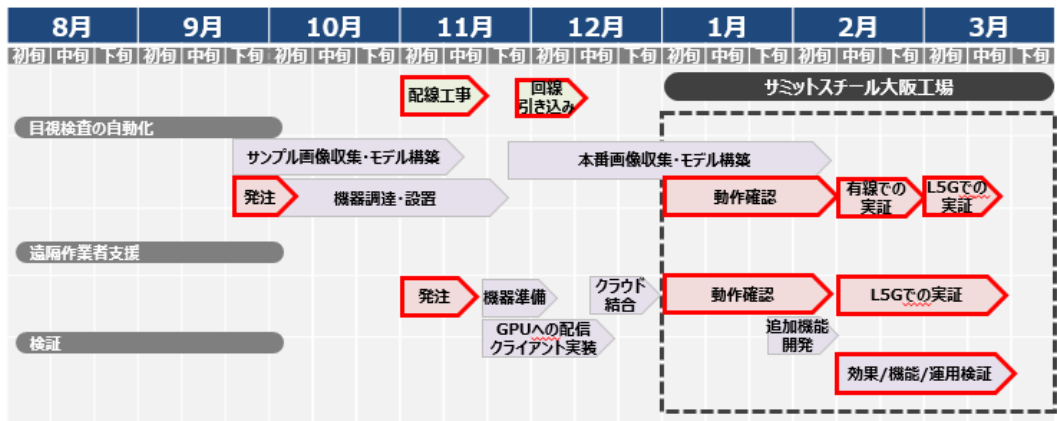


図 1.5-4) 課題実証スケジュール（実績）（報告書作成/令和 3 年 3 月時点）



## 技術実証詳細スケジュール

下図（図 1.5-6）のスケジュールにて技術実証を取り進めた。

計画策定時は図 1.5-5 に示すスケジュールを想定していた。令和 2 年 12 月までに環境構築を行い、令和 3 年 1 月から技術実証①（工場屋内無線エリア品質評価）を開始する想定だった。実際には、ローカル 5 G 機器の開発遅延の影響により、技術実証①（工場屋内無線エリア品質評価）と②（屋外への電波漏洩評価）の順番を入れ替えて実施した。実施スケジュールの変更や、課題実証との調整が発生したものの、当初想定していた検証を実施することができた。

### 【補足】

技術実証①：工場屋内無線エリア品質評価

技術実証②：屋外への電波漏洩評価

技術実証③：複数基地局間のハンドオーバー機能検証（参照）

技術実証④：下りリンク/上りリンク比率変更 非同期（準同期）における評価検証

図 1.5-5) 技術実証詳細スケジュール（概要版 計画）

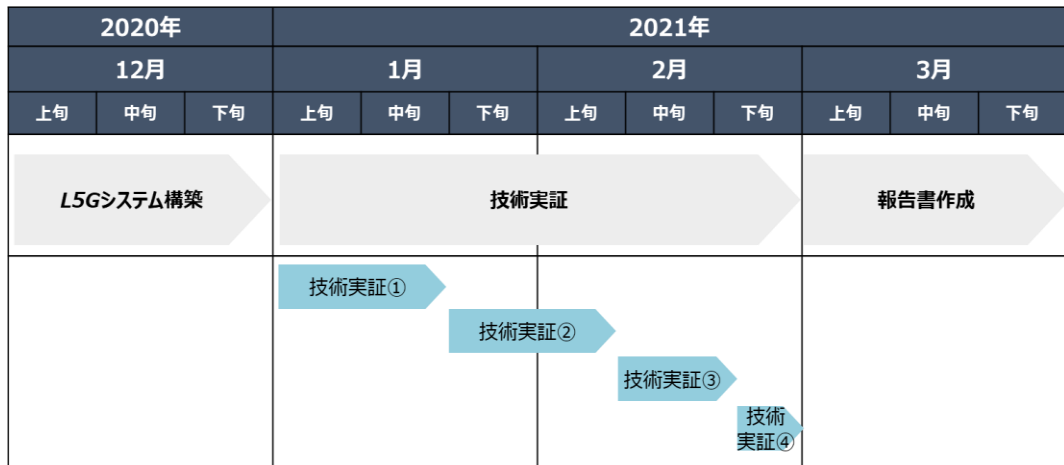
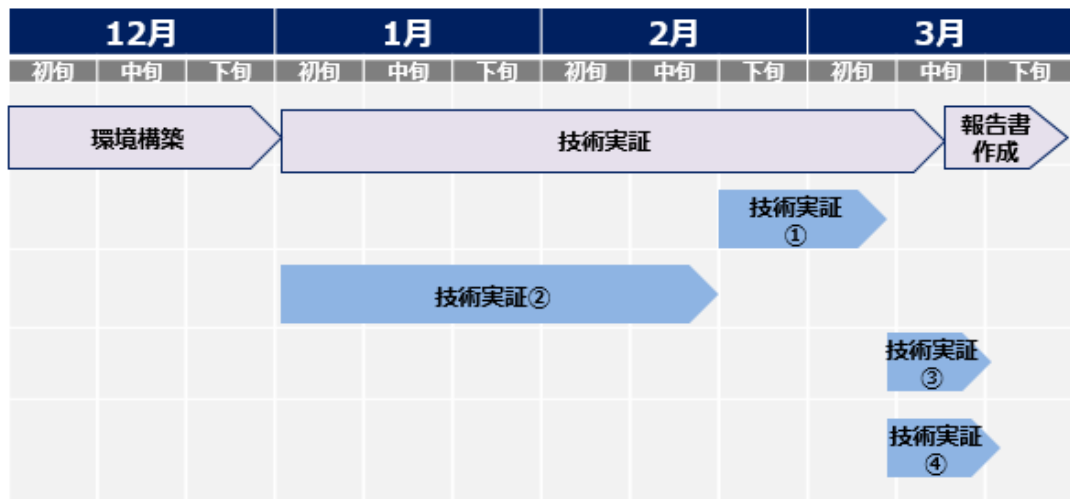


図 1.5-6) 技術実証詳細スケジュール（実績）（報告書作成/令和 3 年 3 月時点）



## 1.6. 免許申請の概要

本実証では、住友商事を免許人として、4.8GHz 帯システム(4.8～4.9GHz)の実験局免許を取得した。詳細は(表 1.6-1)に記載のとおり。

検討初期段階(2020年6月頃)は、実装現場であるサミットスチールを免許人とするこで検討していた。しかし、サミットスチールは無線通信システム運用の経験がなく、免許申請に係る知見を持ち合わせていないことから、申請に時間がかかることが予想された。また、実際にサミットスチールより、免許申請は困難である旨申し入れがあった。斯様な状況下、ローカル 5G 免許人としての経験を有す住友商事が、本開発実証においても免許人となることで、コンソーシアム全体としてのリソース削減及びリードタイム削減につながることから、住友商事を免許人とした。

なお、免許人選定の際には、実証現場である工場土地を所有するサミットスチール以外の事業者が免許人となることで、免許申請上「他社土地利用」とみなされ、運用に一定の制限が課されることを懸念していた。しかし、調査を進める中で「住友商事が、サミットスチールから依頼受けて免許取得をする」という整理のもと申請をすることにより「自己土地利用」とみなされることが判明し、上記懸念は解消された。

実験局免許の概要を(表 1.6-2) および(図 1.6-1) に示す。また、実験局免許取得スケジュールを下図(図 1.6-2) に示す。

無線局免許の取得に当たっては、無線局の設置予定の場所周辺の携帯電話事業者が開局している、又は開局予定のキャリア 5G 及びローカル 5G 等の無線局との共用調整の上、携帯電話事業者及びローカル 5G の免許人等の合意を得た上で行った。

(表 1.6-1)

項目	内容
免許人	住友商事株式会社
申請先	近畿総合通信局
常置場所	大阪府大阪市此花区常吉 1 丁目 1 サミットスチール大阪工場内
移動範囲	大阪府大阪市此花区常吉 1 丁目 1 サミットスチール大阪工場棟内
空中線電力	0.309W (24.9dBm)/99.9MHz
空中線利得	14.3dBi
ケーブルロス	0dB
実効輻射電力 (EIRP)	8.3W (39.2dBm)
設備メーカー名	富士通株式会社
同期方法	同期および準同期

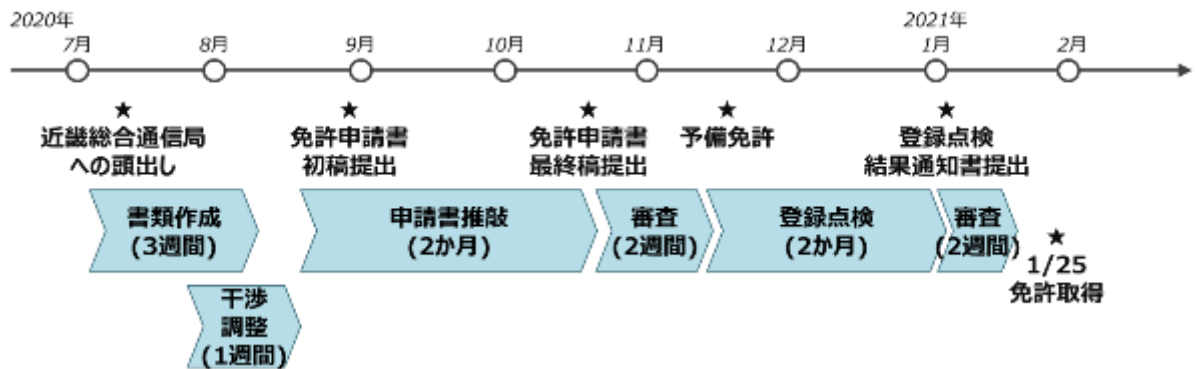
表 1.6-2) 実験局免許の概要

申請者	住友商事株式会社
周波数	4.8GHz～4.9GHz（中心周波数 4.85GHz）
申請内容	<p>実験試験局 6 局</p> <p>①基地局相当（2 局）          帯域幅：99.9MHz 電波の形式：99M9X7W 変調方式コード：OFDM</p> <p>②移動局相当（4 台）          帯域幅：40.50.60.80.100MHz 変調方式コード：OFDM</p>
期間	令和 2 年 12 月 1 日～令和 3 年 5 月 31 日
干渉調整の概要	<p>NTT ドコモ様（事業者）と干渉調整完了（令和 2 年 8 月 21 日）。          影響を与えることが確認された場合には直ちに運用を停止するとして申請。</p> <p>その他、周辺において新規に 4.8GHz 帯(サブ 6GHz 帯)の事業者様が運用を開始される          場合には、他の無線局運用に妨害を与えないように干渉調整を実施。</p>

図 1.6-1) 実験計画書抜粋「10. カバーエリア」



図 1.6-2) 実験局免許スケジュール

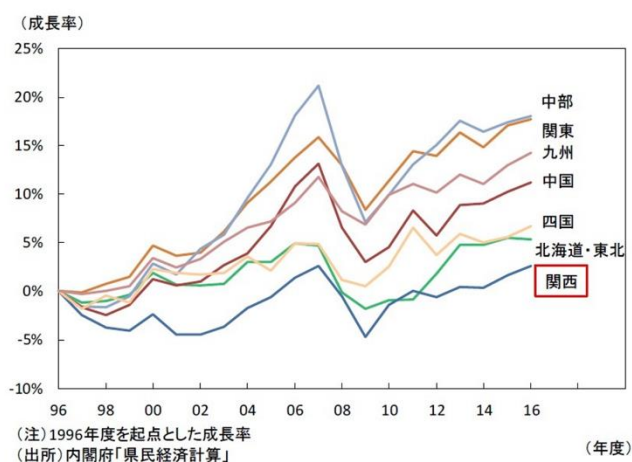


## 2. 実証地域

### 2.1. 実証地域の概要

実証地域である大阪が位置する関西圏は、かつては日本隆盛の中心地帯であり、その経済的地位は確固たるものであったが、近年の関西経済を見ると以前ほどの勢いは乏しく、経済的地位は相対的に衰退傾向にある。内閣府の県民経済計算をもとに、平成8年度を起点として実質地域内総生産(以下、実質 GRP)の現在までの成長率を地域別に比較すると、東日本大震災の影響で北海道・東北を上回った時期もあったが、関西の伸び率は一貫して他の地域に劣後している。(図 2.1-1 参照)

図 2.1-1) 実質 GRP 成長率の推移



実質 GRP 成長率の推移を産業別に寄与度分解すると、関西はすべての産業で成長率の寄与度が全国以下となったおり、関西の成長が低迷している要因の1つとして、製造業の伸びが小幅であることが挙げることができる。製造業の課題は 1.2 章に記載の通りであるが、同課題を解決し、製造業の成長を実現することが実証地域の成長に寄与するといえる。

	関西	全国
実質GRP	2.8%	12.7%
情報通信・運輸・郵便業	1.3%	2.0%
宿泊・飲食サービス業	0.1%	0.2%
金融・保険・不動産業	2.0%	3.8%
製造業	1.8%	5.6%
卸売・小売業	▲4.7%	▲2.8%
電気・ガス・水道・産業物処理業	▲0.2%	▲0.1%
建設業	▲3.9%	▲3.0%
その他	3.8%	4.3%

(注) 1996年度から2016年度の成長率の寄与度分解  
産業ごとの寄与度の合計は実質GRP成長率と完全には一致しない  
(出所)内閣府「県民経済計算」

図 2.1-2) 実質 GRP 成長率の寄与度分解

サミットスチール大阪工場の位置する大阪市此花区は、西は大阪湾に面し、北は淀川に南は安治川に接していることから水利に恵まれ、重化学工業・製造業を中心とする我が国の経済を支える臨海工業地帯として発展してきた。多くの製造業企業が位置する此花区にて、製造業企業における課題解決環境を構築することで、大阪府、関西地域へのモデルケースになりうると考える。

図 2.1-3) 此花区の位置



(参考)

- ✓ 関西経済の低迷要因と復活への明るい兆し—96 年度以後の県民経済計算に見える弱点、足元の経済指標から見る好転への期待—(令和 2 年 2 月 ニッセイ基礎研究所)  
(<https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=63717?pno=2&site=nli>)
- ✓ 此花区の概要(此花区 HP)  
(<https://www.city.osaka.lg.jp/konohana/page/0000001529.html>)

## 2.2. 実証環境

本開発実証は、住友商事グローバルメタルズ株式会社の連結子会社であるサミットスチール株式会社(以下、サミットスチール)の大阪工場にて実施する。同工場は、金属製設備・部材等の環境下にあることから実証現場に適している。

サミットスチールは住友商事グループの中核スチールサービスセンターとして長年にわたり薄板の加工・販売を行っている。年間約 80 万 t と全国トップクラスの加工能力を最大限活用し、千葉 2 拠点・滋賀・大阪・兵庫・大分に配置した 6 工場からの製品を自動車・電機・建機・建材など幅広い分野に納入している。

その中で大阪工場は上記 6 工場の中でも中核工場と位置付けられており、年間約 40 万 t の加工能力を持つ。住友商事グローバルメタルズは、本件に限らず様々なデジタル技術を、大阪工場をモデル工場として国内外のスチールサービスセンターへ横展開する「工場高度化プロジェクト」を推進している。



スチールサービスセンターとは、主に鉄鋼メーカーで製造されたトイレットペーパー状に巻かれた巨大な鋼帯(母材コイル)を加工して得意先へ販売する「流通加工業者」であり、コイルセンターとも呼ばれる。

大阪工場は 3,000t 級の在来船が接岸できるバース(港)を保有しており、鉄鋼メーカーの製鉄所から在来船で輸送された母材コイルをバースで荷卸しすることができる。また、近場の製鉄所からはトラック輸送で母材コイルが輸送される場合もある。入荷された母材コイルは、工場内の天井クレーンによって荷卸しされ、倉庫内に在庫される。

大阪工場は、主に「スリッター」と「レベラー」と呼ばれる 2 種類の加工工程がそれぞれ 3 ラインずつ、計 6 ラインを有する。「スリッター」とは、母材コイルを縦方向に切断した後、再度トイレットペーパー状に巻き取り「輪切り状」のコイル(「スリットコイル」と呼ぶ。)へ加工するロール加工設備を指す。「レベラー」とは、ロール状の母材コイルを横方向に切断することで平らな板(「シート」と呼ぶ。)に加工する設備を指す。

加工されたスリットコイルやシートは大阪工場の倉庫内に在庫され、Just in Time(JIT)で得意先に出荷される。(図 2.2-1 参考)

図 2.2-1) サミットスチール大阪工場業務概要

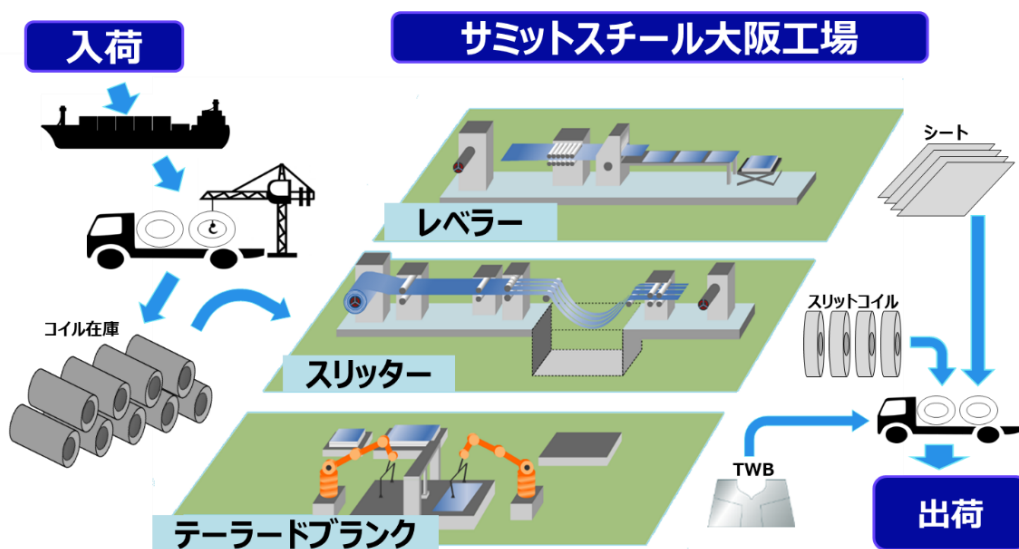
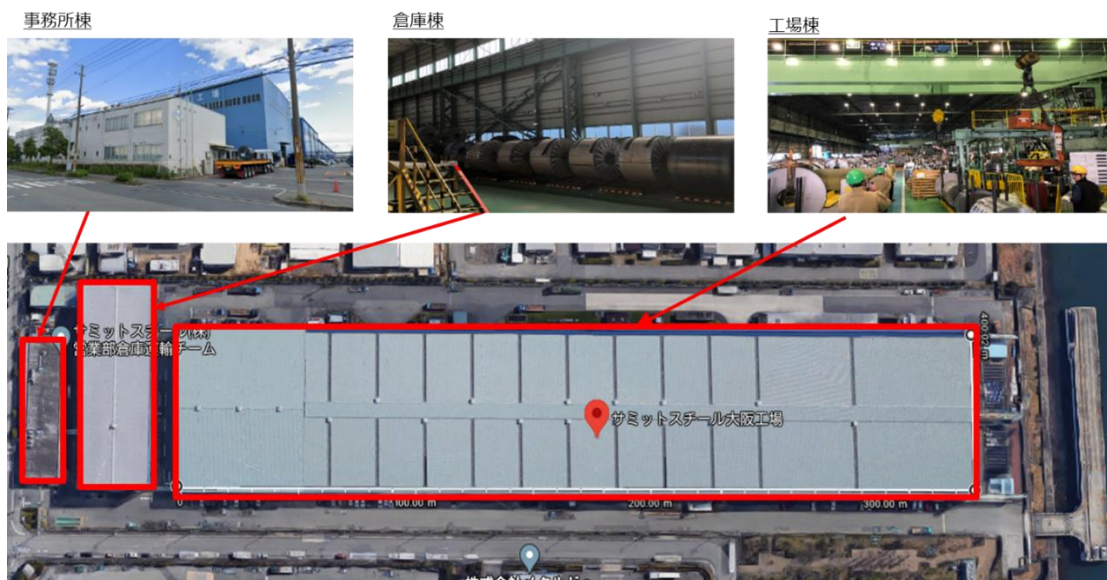


表 2.2-1) <サミットスチール株式会社概要>

商号	サミットスチール株式会社
本社所在地	大阪本社：大阪府大阪市中央区北浜4-7-19 住友ビル3号館2階 東京本社：東京都江東区木場5-8-40 東京パークサイドビル3階
統合日*	平成24年10月1日
代表取締役社長	若島 浩
株主	住友商事グローバルメタルズ株式会社、日鉄物産株式会社 日本製鉄株式会社
従業員数	428名（令和元年4月現在）
資本金	462百万円
拠点数	生産拠点：国内6箇所（大阪、大分、兵庫、滋賀、千葉2拠点） 営業拠点：国内4箇所（大阪、大分、滋賀、東京） （北海道シャーリング株式会社も同一グループ）
大阪工場所在地	大阪府大阪市此花区常吉一丁目1番78号
事業内容	熱延、冷延、特殊鋼の販売と受託加工ならびにこれら加工製品の販売、倉庫業
主要取引先	住友商事グローバルメタルズ株式会社、日本製鉄株式会社、株式会社神戸製鋼所、日鉄日新製鋼株式会社、日鉄鋼管株式会社、日新電機株式会社、株式会社メタルワン、日鉄物産株式会社、伊藤忠丸紅鉄鋼株式会社、三井物産スチール株式会社（敬称略、順不同）

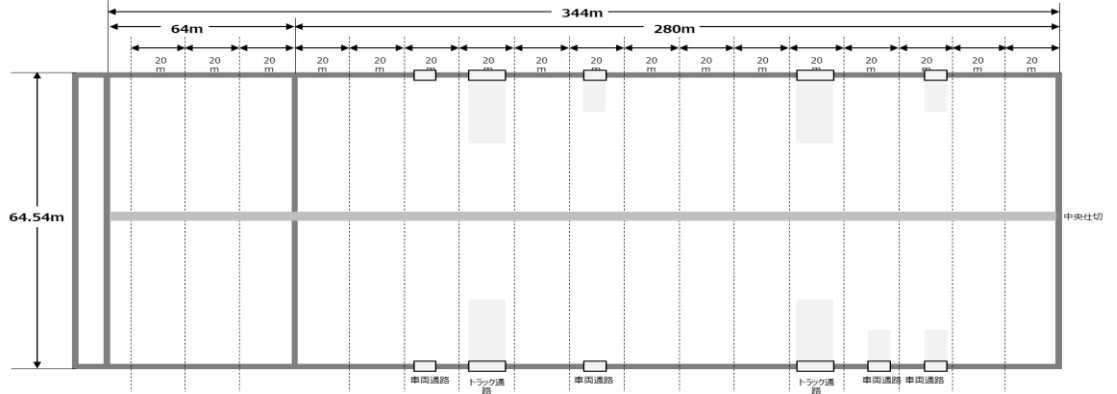
サミットスチール大阪工場は、事務所棟、倉庫棟、工場棟と大きく3棟から構成される。  
本実証では、工場棟において開発実証を行う。（図1.5-2 参考）

図 2.2-2) サミットスチール大阪工場全体レイアウト

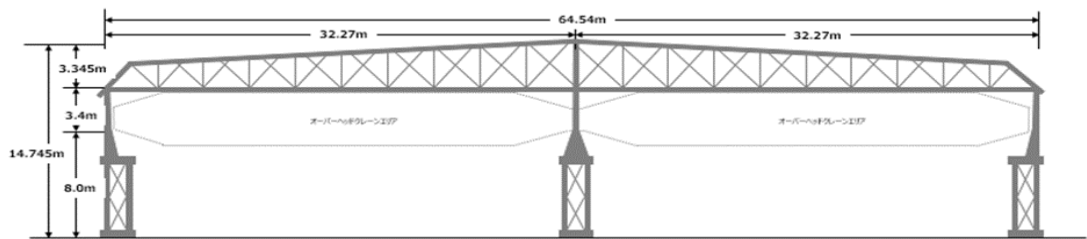


本実証を行う工場棟の規模としては、横幅 344m、縦幅 64.5m、天井高さ約 15m となり、南側は輸送船が接岸できるバース(港)があり、母材コイルの荷下ろし場となる。工場棟で加工されたコイルを各工場へ輸送するため、工場棟周辺は大型の輸送トラックが搬入のために工場を周回する環境となる。（図2.2-3、図2.2-4 参考）

図 2.2-3) 工場棟レイアウト  
(平面図)



(立面図)



(工場棟内の製造ライン設備配置)

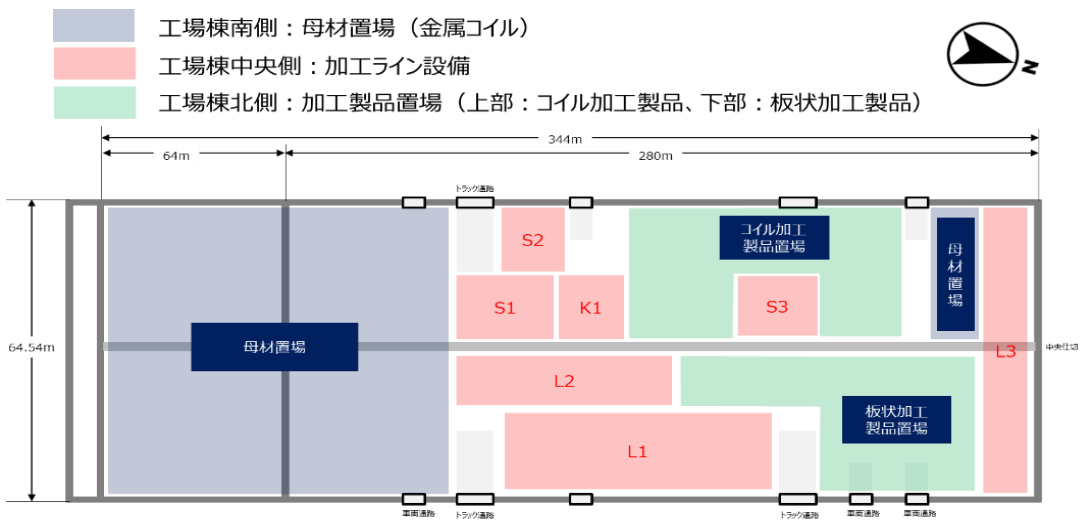
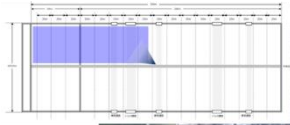


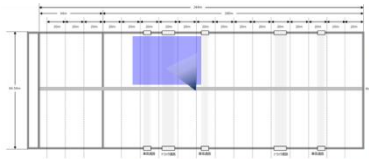
図 2.2-4) 工場棟内観

写真奥：母材置場

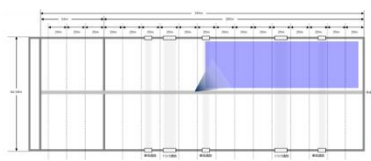
写真手前：ライン加工設備



中央西部ライン加工設備



写真奥：コイル加工置き場



### 2.3. 地域課題等

現在の日本の地域社会の主たる課題の一つに労働力不足があり、これらはあらゆる産業分野においてみられるが、特に製造業においては深刻な問題となっている。

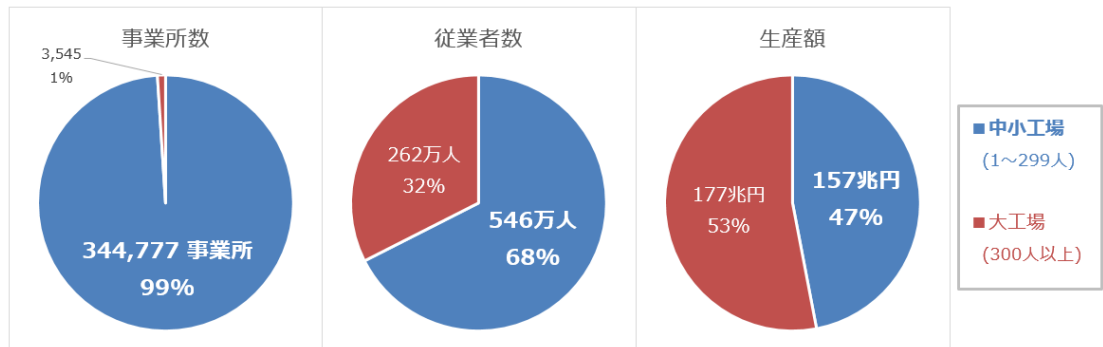
かつて製造業を屋台骨として戦後復興、社会発展を迎えた日本の社会であるが、近年では全国的な少子高齢化、特に地方の過疎化により製造業における労働力不足が深刻化している。

また、地域の製造業の現場では少子高齢化・都市部への人口流入に加えてそもそも3K（きつい・汚い・危険）と言われる労働環境自体が人材・労働力を遠ざける形となっている。さらに、近年の新型コロナウイルス感染拡大の影響を受け、従業員の出勤制限といった新たな課題が発生している。

これら課題解決には重層的なアプローチが必要となるが、その主たるものが生産性の向上と労働環境の改善であり、本実証では地域の製造業における労働力不足解消・生産性向上により、地域の製造業の産業振興・競争力強化へ貢献することを目的とした調査検討を実施した。

製造業におけるローカル5Gへの注目度・期待値は高く、規模の大きな工場への導入検討が先行して進むことが見込まれる。一方、事業所あたり従業者数300人未満の中小工場へのローカル5G導入は、設備投資額の制約からすぐには始まらない可能性が高い。国内事業所数・従業者数ともに大工場よりも圧倒的に多い中小工場だが、総生産額については大工場に引けを取っており、生産性の向上・スマート工場化のニーズは大工場よりも高いと考えられる。（図2.3-1参考）

図 2.3-1) 経済産業省 令和元年工業統計表よりグラフ化



今後のローカル 5 G 普及、市場の創出、製造業の課題解決、産業振興を考える上で大工場のみならず、中小工場にも無理なく導入できるモデルを創ることは重要な施策である。今回、調査検討を行うサミットスチール大阪工場は、現場作業員 50 名の中小工場であり、ローカル 5 G 運用における経済条件も踏まえて検討した。

また、近畿地方は製造事業所の集積地であり、国内製造業において重要な役割を果たす。日本の製造業が抱える課題はこの近畿地方においても同様であり、課題の解決が急務となっている。特に大阪府は、都道府県別工場事業所数が最多であり、大阪府の一工場を現場とする本実証は、全国中小工場への横展開モデルとなりうると考える。(図 2.3-2 参考)

図 2.3-2) RESAS 「産業構造マップ 製造業の比較」平成 29 年 事業所数

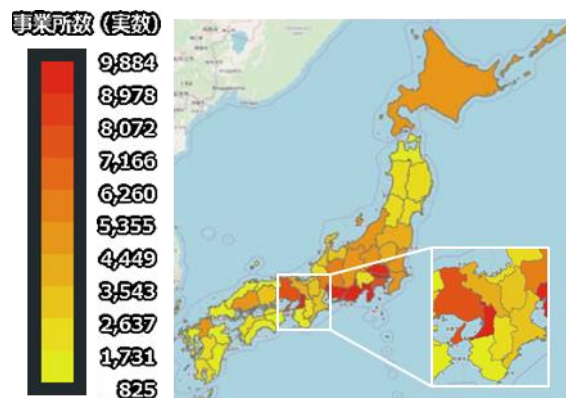
1位：大阪府(15,784)

2位：愛知県(15,576)

3位：埼玉県(10,902)

4位：東京都(10,332)

【出典】経済産業省「工業統計調査」再編加工  
 総務省・経済産業省「経済センサス-活動調査」再編加工  
 総務省「住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査」

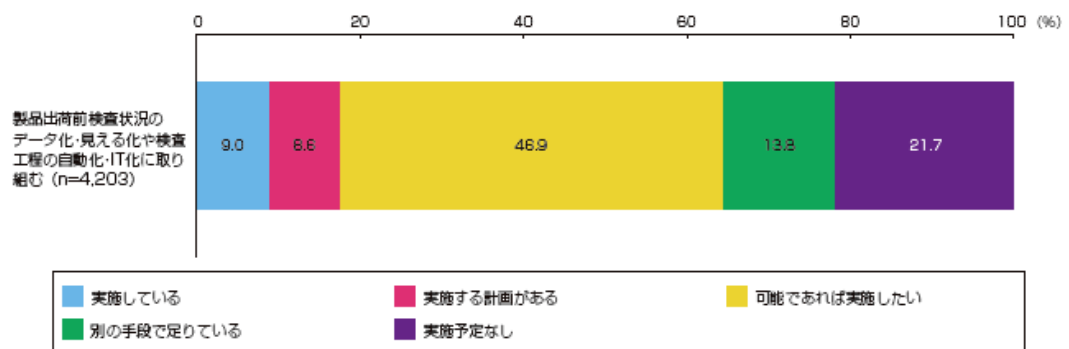


近年、日本および各国の製造業で提唱されている「スマートファクトリー」において、様々な製造工程の自動化・省人化が進んでいる。特に先進国の製造業においては労働人口

の減少に伴って、各産業での機械化・ファクトリーオートメーションの動きが加速している。自動車産業を中心に溶接や組み立てといった生産ラインでは、産業用ロボットや自動搬送設備を導入した自動化が加速しているが「検査工程」については、ニーズがありながらも自動化が進んでいない背景がある。

(図 2.3-3 参考)

図 2.3-3) 経済産業省アンケート 平成 29 年 12 月



平成 29 年以降、複数の業界で製品検査データに書き換えなどの品質不正が発覚した。労働人口の減少による製造業現場での人手不足の問題が顕在化する中で、複数の現場作業者の「目」と「経験」に頼った検査工程には品質管理における根本的な改善・改革が必要であり、自動化ラインを活用した「ウソのつけない仕組み」の導入が必要になっている。

(経済産業省 HP :

[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2018/honbun/mobile/honbun\\_mb/101025\\_mb.html](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2018/honbun/mobile/honbun_mb/101025_mb.html))

本開発実証では、上記にあげた地域課題を有するサミットスチールを現場に実施するもので、ローカル 5 G を活用した課題解決システムの構築を図る。課題解決システムは、以下 2 点を設定する。(詳細は 4 章参照)

- ① 高精細画像データ及び AI 解析を用いた目視検査の自動化  
製品品質の目視検査という高い集中力を要する作業を AI 解析により自動化することで、作業効率向上・労働環境改善などの効果を検証する。
- ② 高精細映像伝送による品質確認等（遠隔作業支援）  
高精細映像伝送により、遠隔からの作業指示等を実現することで、作業支持者の移動時間削減・新型コロナウイルス感染症対策としての接触機会削減などの効果を検証する。

同様の課題を有する地場企業をはじめ、産官学の幅広い分野からコンソーシアム(項目「6.1 実施体制 (コンソーシアム)」参照)を組成し、実装、及び横展開を見据えた普及型モデルを検討する(項目「実装及び横展開に関する検討」参照)。

- 日本の製造業における課題(主に中小の製造業における人手不足や事業継承などの問題)を記載予定
- 大阪府・大阪市の製造業における課題も同様に記載予定。日本→大阪府→大阪市でそれぞれどのような課題・特徴があるかを明示したい。

【参考】

- ✓ 製造業を巡る環境変化に対する課題と方向性(令和元年 4 月経済産業省)  
([https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/pdf/007\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/007_04_00.pdf))
- ✓ 大阪府における中小企業の事業承継支援の課題と方向性(令和元年 3 月大阪府商工労働部)  
(<http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/1949/00051733/173jigyosyokei.pdf>)
- ✓ 大阪の経済 2019 年版(令和元年 3 月大阪市経済戦略局)  
(<https://www.city.osaka.lg.jp/keizaisenryaku/page/0000003793.html>)

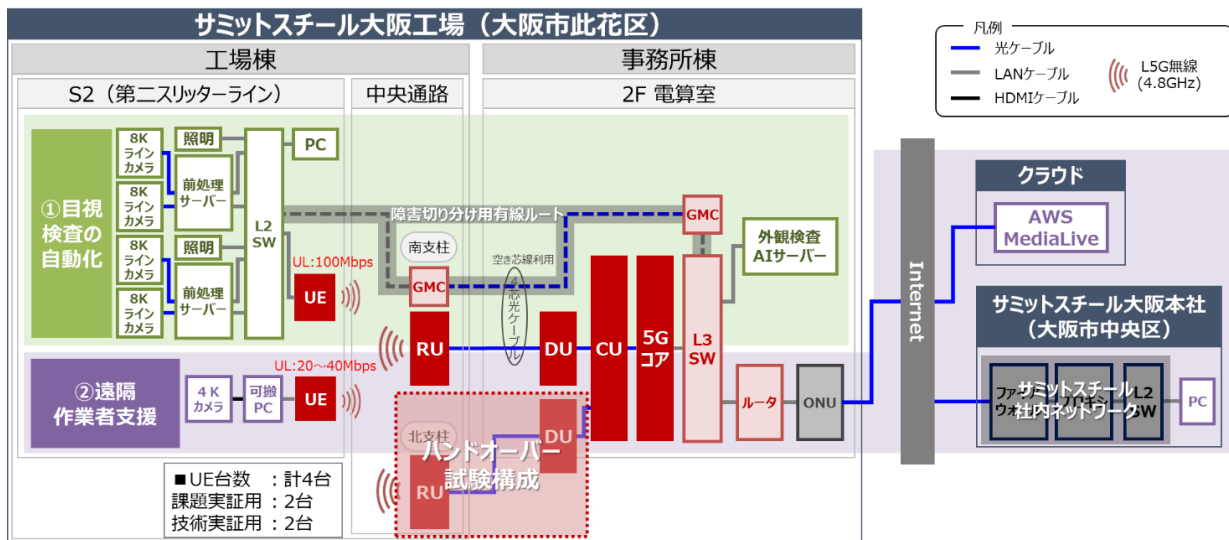


### 3. 実証環境の構築

#### 3.1. ネットワーク構成

今回の実証において、サミットスチール大阪工場に構築するネットワーク構成を下図（図 3.1-1）に示す。

図 3.1-1) ネットワーク構成図

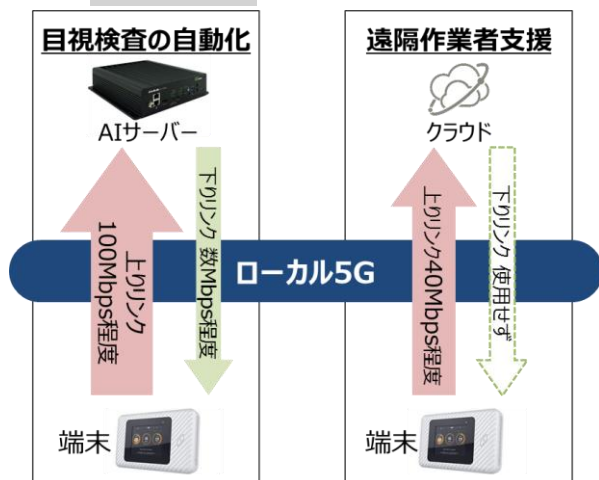


工場棟には①高精細画像データ及び AI 解析を用いた目視検査の自動化、②高精細映像伝送による遠隔からの品質確認を行う遠隔作業支援の二つの課題解決システムを構築する。

#### 3.2. システム機能・性能・要件

##### 3.2.1. 無線区間及びシステム全体として必要とされる通信性能

図 3.2.1-1) 必要とされる通信性能



本実証の2つの課題解決システムはそれぞれ高精細画像、高精細映像を伝送するために、主に上りリンクの大容量通信が必要となる。具体的には、目視検査の自動化で上りリンク 100Mbps 程度、遠隔作業支援で上りリンク 20~40Mbps 程度のスループットが求められる。下りリンクは、目視検査自動化の結果表示で数 Mbps 程度、遠隔作業支援では下りリンクを使用しない。（図 3.2.1-1）参照

本実証のシステム全体としてのスループットはローカル 5 G の無線部に依存する。ローカル 5 G 無線部のスループットを下表（表 3.2.1-1）に記載し、課題解

決システムからの通信性能要求を満たしていることを示す。

表 3.2.1-1) ローカル 5 G システムの性能

周波数帯	4.8GHz 帯
通信方式	TDD
システム種別	SA
上りリンク周波数幅	100MHz
下りリンク周波数幅	100MHz
上りリンク中心周波数	4.85GHz
下りリンク中心周波数	4.85GHz
D/U 比	DL:UL:S = 7:2:1 (同期)
加入者数/同時接続数	最大 100 端末(User Equipment : UE)

1 基地局あたり上りリンク伝送容量

変調方式	256QAM		64QAM		
	MIMO	2	1	2	1
実行スループット	0.192 Gbps	0.096 Gbps	<b>0.144 Gbps</b>	0.072 Gbps	
理論値					

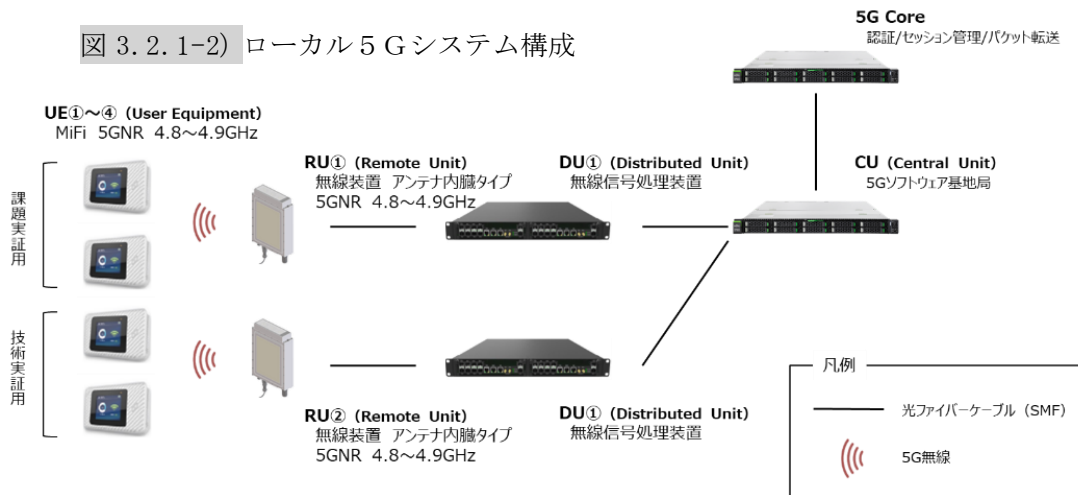
1 基地局あたり下りリンク伝送容量

変調方式	256QAM			64QAM			
	MIMO	4	2	1	4	2	1
実行スループット	1.211 Gbps	0.606 Gbps	0.303 Gbps	0.908 Gbps	0.454 Gbps	0.227 Gbps	
理論値							

※上り/下りとも適応変調方式としては、より低レートの[16QAM][QPSK]もあるが記載省略する。

実行スループット理論値は、上りリンク/下りリンクとも各種オーバーヘッドを差し引いたものであり、スループット測定に使用する iPerf (ネットワーク層:レイヤー3) の表示を想定した値となっている。2つの課題解決システムが同時に稼働する場合、上りリンクには 100Mbps 程度+40Mbps 程度=140Mbps 程度が流入するため、64QAM 変調かつ 2MIMO であれば要求を満たすことが分かる。

ローカル 5 G システムとしては、4.8GHz 帯 (4.8GHz~4.9GHz) サブ 6GHz 帯 SA 装置を採用する。認証、通信セッション管理、パケット転送を行う 5 G コアネットワーク装置 1 台、集約基地局 (Central Unit: CU) 1 台、ベースバンド装置である DU (Distributed Unit)、およびアンテナ一体型基地局 (Remote Unit: RU) がそれぞれ 2 台ずつ、端末として 5 G モバイルルータ端末 (User Equipment: UE) 4 台の構成となる。(図 3.2.1-2 参考)



また、サイバーセキュリティの観点では、課題解決システムが要求するインターネットアクセスが遠隔作業支援のクラウド向け上り映像配信のみであるため、インターネット接続ルータにおけるインバウンドのポート転送は行わず、インターネットからの不正アクセスを防止している。

### 3.2.2. ローカル 5 G 機器

本実証におけるローカル 5 G システムは 3GPP 規格に準拠し、5 G 無線アクセスの仕様の最新の標準化状況を踏まえた無線インターフェースを採用する。

下図 (図 3.2.2-1)、(図 3.2.2-2) 及び (図 3.2.2-3) にローカル 5 G システム機器を示す。

図 3.2.2-1) ローカル 5 G 機器概要 (5 G コアネットワーク、集約基地局、ベースバンド装置)




<p><b>5G Core (サーバー : Fujitsu PRIMERGY)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>SA対応</li> <li>認証、セッション管理、パケット転送</li> </ul>	
<p><b>Central Unit (サーバー : Fujitsu PRIMERGY)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>無線セッション管理</li> <li>無線リソース制御</li> <li>eMBBサポート</li> </ul>	
<p><b>Distributed Unit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ベースバンドプロセッシング</li> <li>同期機能</li> <li>周波数帯域 : 4.6GHz~4.9GHz</li> <li>帯域幅 : 100MHz</li> </ul>	



図 3.2.2-2) ローカル 5 G システム機器概要 (基地局)

Remote Unit (Fujitsu 開発中)	
仕様	詳細
周波数帯域	4.8GHz~4.9GHz(中心周波数4850.01MHz)
帯域幅	99.9MHz
空中線 (EIRP)	52.5W
無線アクセス方式	5G NR(TDD)
同期	DUから同期
空中線利得 (アンテナ利得)	最大12.3dBi
アンテナ	一体型 水平ビーム幅+ステアリング角 : ±17.5度以上 垂直ビーム幅 : ±12.5度以上
スプリアス値 (4GHz以下)	-80dBm/MHz以下を予定
環境条件	温度-10℃~+50℃/湿度65%±30%
入力電源	AC100/200V±10% (50Hz/60Hz)
消費電力	最大210W
サイズ/重量	W259.0mm以下×H353.0mm以下×D76.0mm以下/7.0kg以下



図 3.2.2-3) ローカル 5 G システム機器概要 (端末)

## User Equipment (COMPAL)

ID		Main Specification	
		<b>Band</b> 5G · Sub-6 : n79 · mmWave : n257 4G · B38, 41	
		<b>Platform</b> QCT SDX55	
		<b>Dimensions</b> 119 x 72 x 23.5 mm	
		<b>Weight</b> 228g	
		<b>Display</b> 2.4" Touch screen	
		<b>Connectivity</b> Dual band WiFi MIMO 802.11 a/b/g/n/ac/ax	
		<b>I/O</b> USB 3.1 Gen2, Type C , Nano-SIM, RJ45	
		<b>Key</b> Power On/Off, Reset	
		<b>Battery</b> 5300mAh (typ)	
		<b>Other</b> Quick Charging 3.0, LED indicator	
Schedule			
<b>Sample Delivery</b>	2020/Mar 2020/Jun (T ELEC certified)		
Selling Information			
<b>Target Segment</b>	Fastest Pocket Router		
<b>Product Position</b>	Local 5G support, Big battery		
<b>Selling Region</b>	Japan		

Primary Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Multiplexing scheme	OFDM
Communication Mode	TDD
Channel Bandwidth	40, 50, 60, 80, 100 MHz (100MHz × 1CC)
Center Frequency	4.7GHz (4.4GHz - 5GHz)
Antenna Type	OMNI
Transmission Power	23 dBm (conducted)
Antenna gain	2.4dBi
Cable loss	2 dB
Max EIRP	22.4 dBm
Noise Figure	11.0 dB

### 3.3. 実証環境の運用

#### 3.3.1. 実証システムの運用

本開発実証では、実証を開始する前に実証参加者へ、システム利用に関する研修を実施し、手順書、検証方法についても事前説明を実施した。なお、実証期間中はシステム開発者も実証に参加するものとし、不具合発生時に対応できる現地体制を整備した。

実証にあたっては、工場の安全基準に則り、安全性確保に十分に配慮するとともに、必要な安全対策等を行った上で実施した。

課題実証期間（令和3年2月15日～令和3年3月12日）については、サミットスチールによる課題実証用に構築した機器使用に関して住友商事グローバルメタルズ(株)が障害管理の一時窓口を担当。体制は以下（表3.3.1-1）の通り。



表 3.3.1-1) 課題実証期間中の障害対応体制図

- ① サミットスチール大阪工場での説明  
令和3年2月11日に、課題解決システム開発のソリューションベンダーである(株)フツパーからサミットスチール大阪工場の従業員に課題解決システムの使用方法を指導。説明内容は以下の通り。

#### A) 目視検査の自動化

##### I. 撮影起動

撮影を開始する前にアプリケーションが起動していることを確認。画面上の「待機中」のランプが点灯しており、「CPU 使用率」「メモリ使用量」のグラフが更新されていれば起動完了（図3.3.1-参照）。



図 3. 3. 1-) 起動時画面

## II. 撮影前の確認事項

起動確認後、以下(図 3. 3. 1-参照)の設定及び状態を確認。特に問題がなければ撮影が開始可能。「物理スイッチ」の「START ボタン(図 3. 3. 1-参照)」を押すと撮影開始。撮影中は「撮影中」のランプが点灯する。

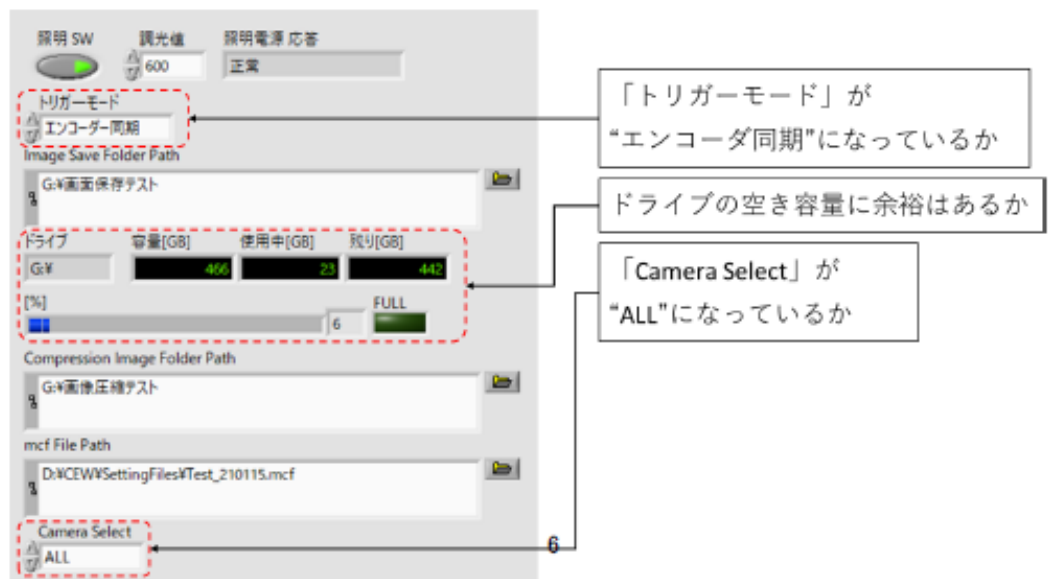


図 3. 3. 1-) 撮影前確認項目



図 3. 3. 1-) 「物理スイッチ」の「START ボタン」

### III. 撮影終了

撮影を停止する際は「物理スイッチ」の「STOP ボタン (図 3. 3. 1-参照)」を押す。撮影が停止すると「撮影中」のランプが消灯し「待機中」のランプが点灯する。

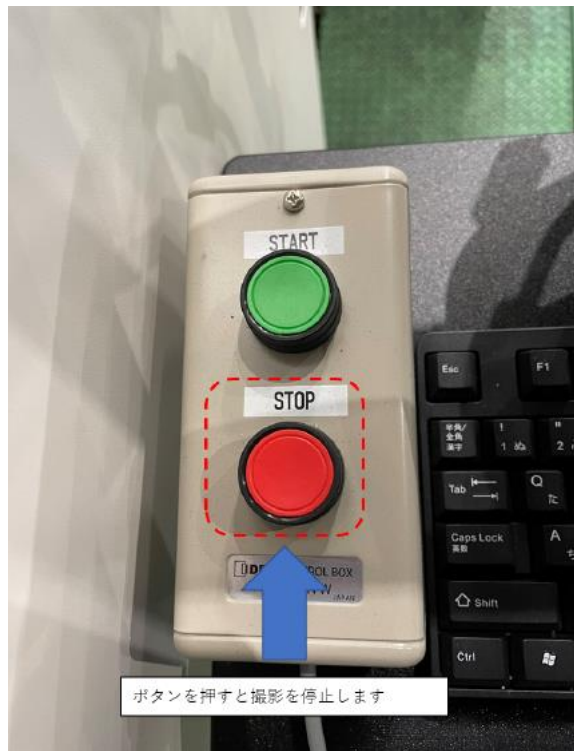


図 3. 3. 1-) 「物理スイッチ」の「STOP」ボタン



#### IV. 判定結果閲覧

判定結果表示画面を開くために、S2 に設置した「結果監視用 PC」にてインターネットエクスプローラーを開き、次の URL をブラウザ上で検索すると図 3.3.1-の画面が表示される。「<https://192.168.1.1:3000>」



図 3.3.1-) 結果表示画面

- ① : カメラで画像の撮影が行われた時間を表示
- ② : AI で判定した時刻を表示
- ③ : 撮影した画像が左右どちらのカメラかを表示
- ④ : 撮影したカメラが上下どちらのカメラかを表示
- ⑤ : 撮影した画像の時刻と同期して、その時間 1 分間付近の PLC データを取得
- ⑥ : 取得した PLC データがコイルの巻き初めから何メートルの位置かを表示

#### B) 遠隔作業支援

##### I. 起動

モバイルバッテリーから充電用の USB ケーブル (USB Type-C) を抜き給電ボタンを長押し、青いランプが点灯 (図 3.3.1-参照) すれば給電開始。給電がスタートすると自動的に Jetson の起動もスタートする。Jetson 起動から通信開始までに 2 分ほど必要。端末の LAN コネクタのランプ (図 3.3.1-参照) が高速で点滅すれば通信開始。



図 3.3.1-1) モバイルバッテリー起動時



図 3.3.1-1) 端末の LAN コネクタ

## II. 撮影

可搬式のバッグを肩にかけ、片手に折り畳み式三脚付きの4Kカメラを持って撮影(図3.3.1-参照)。



図 3. 3. 1-) 撮影中の様子

### III. 停止

モバイルバッテリーの給電ボタンを長押し、青色のランプが消灯すれば Jetson が停止。充電用の USB ケーブル (USB Type-C) を挿すことでモバイルバッテリーを充電する (図 3. 3. 1-参照)。



図 3. 3. 1-) モバイルバッテリー停止時

尚、サミットスチール大阪工場の従業員からは2つの課題解決システムでそれぞれ以下反応があった。

<目視検査の自動化>

- ・ 不良内容が良く分からない
- ・ 判定画面の画像をもっと拡大できるように
- ・ 傷の深さをよくお客様から聞かれるので深さが知りたい
- ・ 200m/分は無理なのか
- ・ 傷がどこにあるかもっとわかりやすくできないか

#### <遠隔作業支援>

- ・ ピント合わせをどうやるか
- ・ 現場側で見られるディスプレイが欲しい
- ・ 両手を開きたい
- ・ カバンを持ち運ぶのがしんどい
- ・ 見たいポイントは決まっている
- ・ 全体を見たいケースもある、材料メーカーの確認、新規業者の確認
- ・ 裏面を見るのに使えないか、鏡でやるところもある
- ・ スマホでできないか
- ・ ずっと繋ぎっぱなしにできないか
- ・ 準備自体が手間

#### ② サミットスチール大阪本社での説明

令和3年2月22日に、住友商事グローバルメタルズ株式会社からサミットスチール大阪本社の営業部に対して課題解決システムの使用方法を指導。大阪本社では、「遠隔作業支援」で使用する視聴端末の使用方法を指導した。

##### A) 遠隔作業支援

##### I. リアルタイム視聴

視聴画面の「チャンネル」をオンにしてクラウドサーバーを立ち上げる。Jetsonとモバイルバッテリーの起動を確認、リアルタイム配信映像を視聴。録画する場合は視聴画面の「録画」をオンにする（図3.3.1-参照）。

#### 4. 課題解決システムの実証課題解決システムの実証

##### ・背景

本実証では地域製造業における課題解決を目的とし、以下2点の開発実証を実施する。

- ①高精密画像データ及びAI解析を用いた目視検査の自動化
- ②高精密映像伝送による遠隔からの品質確認（遠隔作業支援）

近年、日本および各国の製造業で提唱されている「スマートファクトリー」において、様々な製造工程の自動化・省人化が進んでいる。特に先進国の製造業においては労働人口の減少に伴って、各産業での機械化・ファクトリーオートメーションの動きが加速している。自動車産業を中心に溶接や組み立てといった生産ラインでは、産業用ロボットや自動搬送設備を導入した自動化が加速しているが「検査工程」については、ニーズがありながらも自動化が進んでいない背景がある。（図4-1参考）

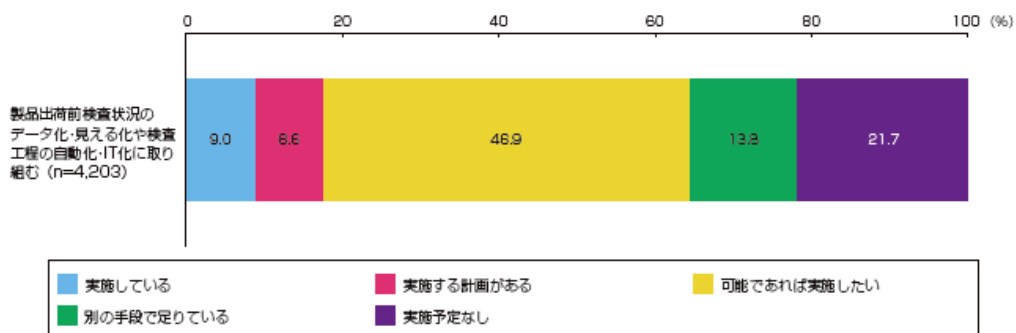


図4-1) 経済産業省アンケート 平成29年12月

サミットスチール大阪工場では、梱包工程の搬送ライン導入やカッター部(後述)における自動化設備導入など生産ラインにおける自動化には着手しているものの、品質検査工程の自動化には至っておらず現在も現場作業者の目視検査に頼っている。

金属加工の製造現場において赤外線探傷機や画像検査機が導入されている企業もあるが、特に中小の製造業を中心にバリ(材料を加工する際に発生する突起)やキズの有無といった外観検査を検査作業者の「目」や「経験」に頼っている企業が多い。この理由は、「精度」、「コスト」という2つがあると考えられる。「精度」について、既存の生産ラインに品質検査用のカメラを導入する企業も増加しているが、異常パターンの洗い出しが複雑、カメラの解像度や高速で動く生産ラインの稼働スピードなどの影響で画像の精度が悪く満足いく結果が出ないなどの問題が発生し、結果として「自動化ラインより目視検査の方が、キズの検出精度が高い」という結論に至る場合がある。「コスト」について、検査装置の導入には数百万円～数千万円のコストがかかり、営業利益が数百万円/年～数千万円/年である一般的な日本の中小企業においては多大な負担となり導入判断に時間がかかる場合もある。

平成29年以降、複数の業界で製品検査データに書き換えなどの品質不正が発覚した。労働人口の減少による製造業現場での人手不足の問題が顕在化する中で、複数の現場作業者の「目」と「経験」に頼った検査工程には品質管理における根本的な改善・改革が必要であり、自動化ラインを活用した「ウソのつけない仕組み」の導入が必要になっている。

(経済産業省 HP ) :

[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2018/honbun/mobile/honbun\\_mb/101025\\_mb.html](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2018/honbun/mobile/honbun_mb/101025_mb.html))

ある製造業企業の例では、人手で目視検査していた工程を、「AI+人」の二段階検査を実施することで省人化実現を目指している。検査工程はラインを流れる製品を短時間で正確にチェックするには確かな判断力が必要となり、ベテラン作業員への依存が大きい。また少子高齢化とバブル以降の新規採用数の減少によりノウハウの継承が難しい現状もあり、工数確保が困難という課題があった。既に検査機などのソリューションも存在するが検知に限界があり、導入コストの割に誤検知が多いという技術的な課題も存在している。技術的成長が著しい画像認識 AI を活用することで正解パターン+異常パターンを学習させ、異常パターンを正確に認識させることが期待されている。

(中小企業庁「中小企業の AI・データ活用について(スマート SME 研究会 討議用資料)」:  
<https://www.chusho.meti.go.jp/koukai/kenkyukai/smartsme/2019/190626smartsme01.pdf>)

デジタルトランスフォーメーション(DX)の動きが日本全国に広まる中、中小の製造業でも AI・IoT の導入検討が進んでおり、特に省人化が難しい品質検査工程を対象にした省人化検討も案件数が増加しているものと思われる。AI の精度向上が著しい一方で、前述の「精度」と「コスト」などの問題により、特に中小の製造業において、依然として自動化ラインの導入に障壁が存在し続けると想定される。その為、供給元・自社内・納入先との品質確認のステップが完全に無くなるにはまだ時間がかかると見られる。外観検査工程において「製造現場だけで判断できないキズ」が発生した場合に、出来るだけ早く供給元・自社内・納入先での使用可否を判断させることで、生産ラインの稼働効率悪化を防止することができる。但し、サミットスチールも含めて、「本社機能は都市部、製造現場は地方」という本社と現場が遠方にある企業も多く、自社内だとしても本社と製造現場での認識統一に時間がかかる場合もある。検査工程における自動化ラインの導入に加えて、遠方にある関係各所との認識統一を迅速化・円滑化するソリューションの導入も期待される。

課題実証は以下(表 4-1)のスケジュールで実施する。

「AI」：高精細画像データ及び AI 解析を用いた目視検査の自動化

「4K」：高精細映像伝送による品質確認等(遠隔作業員支援)

※AI…目視検査の自動化、4K…遠隔からの品質確認

2/14	15	16	17	18	19	20
	AI、4K：各機器の接続最終確認					
21	22	23	24	25	26	27
	AI：終日有線実証、4K：日中時間帯のみL5G実証					
28	3/1	2	3	4	5	6
	AI：終日有線実証、4K：日中時間帯のみL5G実証					
7	8	9	10	11	12	13
	AI：終日無線実証、4K：終日L5G実証					

表 4-1) 課題実証のスケジュール

#### 4.1. 高精細画像データ及び AI 解析を用いた目視検査の自動化

##### 4.1.1. 前提条件

- 開発実証環境

本開発実証では、大阪工場のスリッターラインの一つである「第二スリッターライン(以下、「S2)」を対象に課題実証を実施する(図 4.1.1-1)。S2 の基本構成は、下図(図 4.1.1-2)に示す「巻出部(アンコイラー部)」、「カッター部」、「巻取部(リコイラー部)」の3箇所に分けられ、大阪工場では自動車部品メーカー、建設資材メーカーなどに対して販売する製品コイルを加工・生産している。

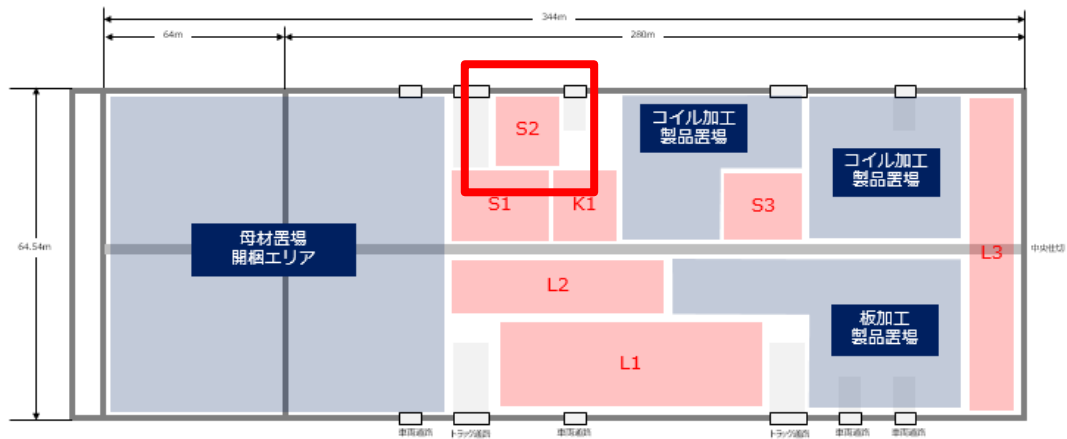


図 4.1.1-1) サミットスチール大阪工場レイアウト

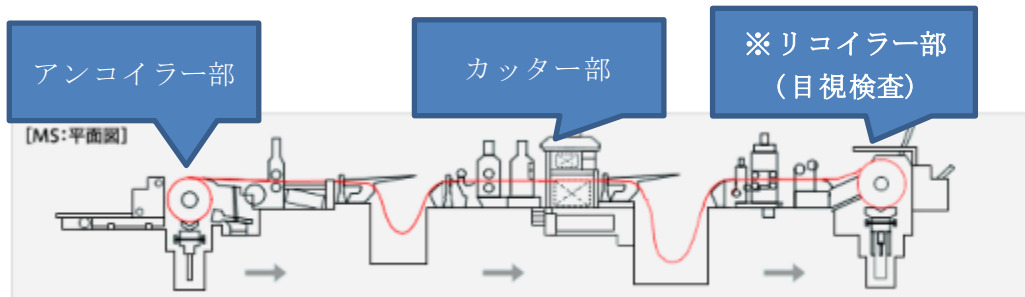


図 4.1.1-2) S2 断面図

- 現状の作業オペレーション

S2 では、現状 4 名を 1 班として作業者が図 4.1.1-2 に示す「アンコイラー部」「カッター部」「リコイラー部」の各部分でオペレーションを実施、リコイラー部では 2、3 名の作業者が鋼板表裏面の「キズ検査」に加えて、「清掃」、「梱包」、「ラベル貼り付け」などの作業を実施している。

- オペレーション上の課題

S2 を含めた大阪工場の各ラインでは、作業者が「しゃがんだ姿勢」を保ちながら、熟練者による目視で鋼板表裏面のキズ検査を実施している。長尺鋼板の場合、流れ方向に連続したキズがある場合が多く、1 つの母材コイルに対して製品コイルの「巻き始め(「コイルトップ」と呼ぶ。 )の 30m」と「巻き終わり(「コイルエンド」と呼ぶ。 )の 30m」の計 60m を、合計約

5分かけて作業員1～2名体制で鋼板表面と裏面の目視検査を実施している。コイルトップとコイルエンドにキズが無い場合は、中心部にはキズが発生していないものと見做すことができる。一方で、得意先からの要請があれば、コイル全長(長いもので数千m程度)を連続して約30分かけて裏面であれば「しゃがんだ姿勢(図4.1.1-3参考)」で、表面であれば「直立状態で」鋼板表裏面の目視検査を実施している場合もある。



図 4. 1. 1-3) 目視検査の様子

また、大阪工場 S2 では、現状、製品コイルと作業員が数十 cm の距離でキズ検査を実施している(図 4. 1. 1-3 参考)。これはサミットスチールの安全基準に則った作業であるものの、経験の浅い作業員が作業する場合においては万が一の事故に繋がる恐れもある作業である。工場などの製造現場は、「3K(汚い、きつい、危険)職場」と呼ばれることもあり、前述のキズ検査のような身体的に負荷のかかる姿勢でのオペレーションを長時間続けることが、生産性の悪化と人手不足を引き起こす一因となっている。複数のキズパターンを把握した上で、非常に薄いキズ(図 4. 1. 1-4 参考)有無などを判断するためには高い技術力と集中力を有する作業員の判断が必要であり、「技術継承」もオペレーションの課題となっている。



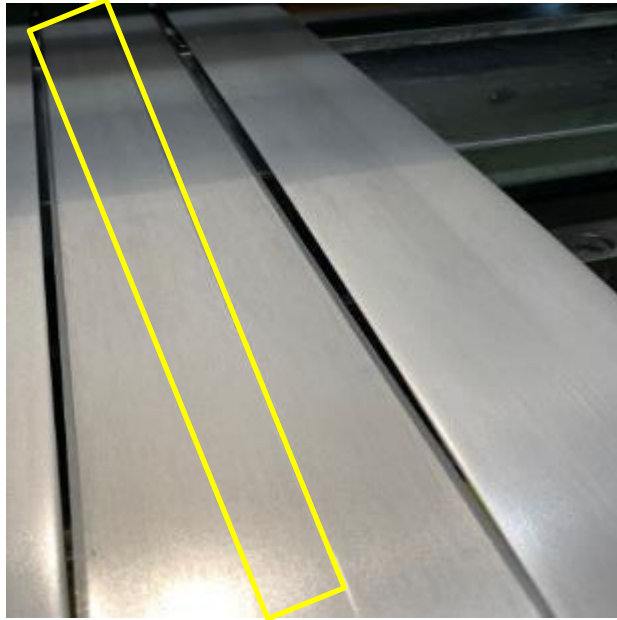


図 4. 1. 1-4) 鋼板表面に発生したスリ疵

薄板コイルに発生するキズはこれまで「指標化」が難しく、大きさや深さといったキズの基準が明確化されていなかった。1つの薄板コイルは「幅1m程度×長さ数千m」という大きさであり、表裏面で稀に発生する数mm程度のキズを人間の目で1つ1つ完全に発見することは困難な作業であるため。販売先は「キズ無きこと」という製品仕様を結び、キズが発見された場合は販売先を含めた関係者と都度相談の上で販売可否を決めるという「調整コスト」が発生していた。(最終納入先によって、「キズ」とみなすか「キズ」とみなさず販売可能となるか異なるため、都度営業部を経由した販売先との交渉が必要となっていた)

#### 4. 1. 2. 実証目標

製造現場の省力化や安全性の向上を目的として、ローカル5G等無線通信システムを用いて製造物の高精細画像伝送及びAI活用による目視検査の自動化等による新たな品質管理支援を実現し、大阪工場S2でのキズ検査に係る作業工数をゼロにすることを目標とした。また、目視検査の自動化を可能とするAIを活用した鋼板キズ検査装置を導入することでキズの指標化を目指し、社内外と発生する「調整コスト」を削減することを目標とした。また、効果、機能面、運用面等の観点から検証し、検証にあたっては技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題等について取りまとめた。

#### 4. 1. 3. 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

- ・課題解決システムの全体像

課題実証「目視検査の自動化」にて使用する設備機器を示す。システム構成について下図(図4. 1. 3-1)「目視検査の自動化」構成図に示す。

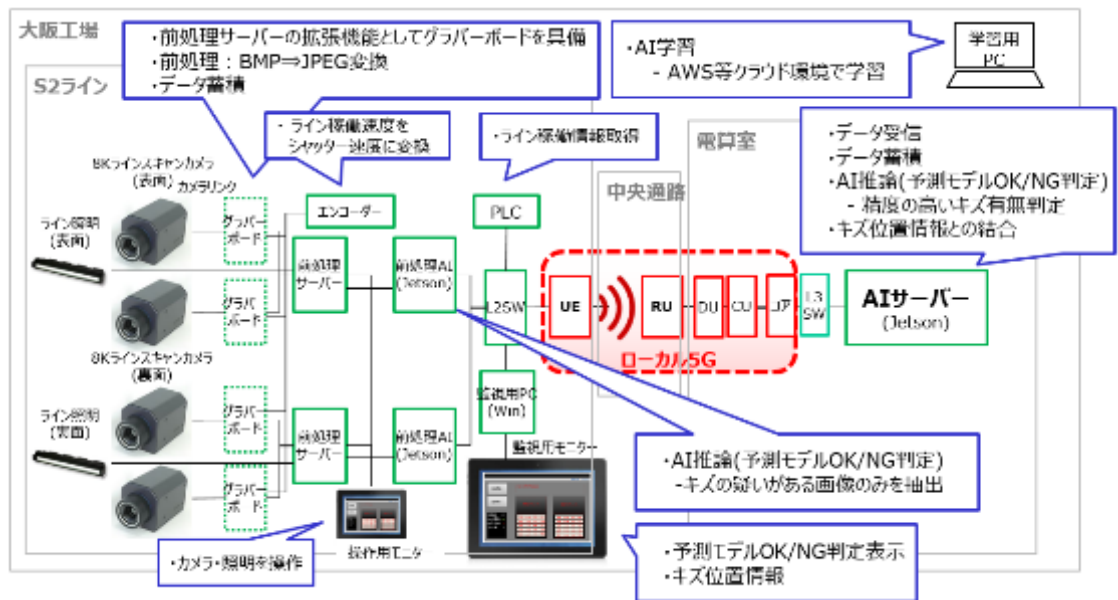


図 4. 1. 3-1) 「目視検査の自動化」構成図

- ・ UE : 端末
- ・ RU : 基地局
- ・ DU : ベースバンド装置
- ・ CU : 集約基地局
- ・ L2SW : レイヤー2スイッチ
- ・ L3SW : レイヤー3スイッチ

・ 構成

1. 取付架台 : 1台(カメラと画像処理照明を取り付ける架台)
2. 8K ラインスキャンカメラ : 4台(片面に2台ずつ設置)
3. 画像処理照明 : 2台(片面に1台ずつ設置)
4. エンコーダー : 1台(シャッター速度の信号取得)
5. グラバボード : 4台(カメラ1台につき1台)
6. 前処理サーバ : 2台(カメラ2台が1台の前処理サーバに接続)
7. 前処理 AI : 2台(Jetson AGX Xavier, キズの疑いがある画像を抽出)
8. 操作用モニター : 1台(カメラ・照明などの操作)
9. 監視用モニター : 1台(判定結果表示用)
10. レイヤー2スイッチ : 1台
11. AIサーバ : 1台(Jetson AGX Xavier)
12. WEBサーバユニット : 1台

1. 取り付け台座

今回、S2のカッター部とリコイラー部の間にある、テンションパッドとエクステンションロールの間(図4.1.3-2 赤枠部)(図4.1.3-3 青枠部)(図4.1.3-4 赤枠部)にアルミ製の取り付け台座を設置。取り付け台座の上部(図4.1.3-5)(図4.1.3-6)(図4.1.3-7)と下部に8Kラインスキャンカメラをそれぞれ2台ずつ計4台、画像処理照明をそれぞれ1台ずつ計2台設置した。

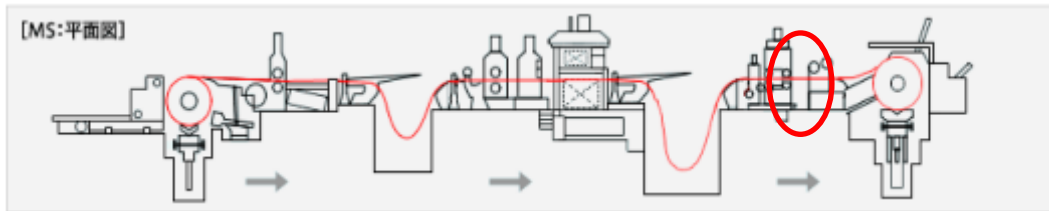


図 4.1.3-2) 取り付け台座設置位置(S2 断面図)

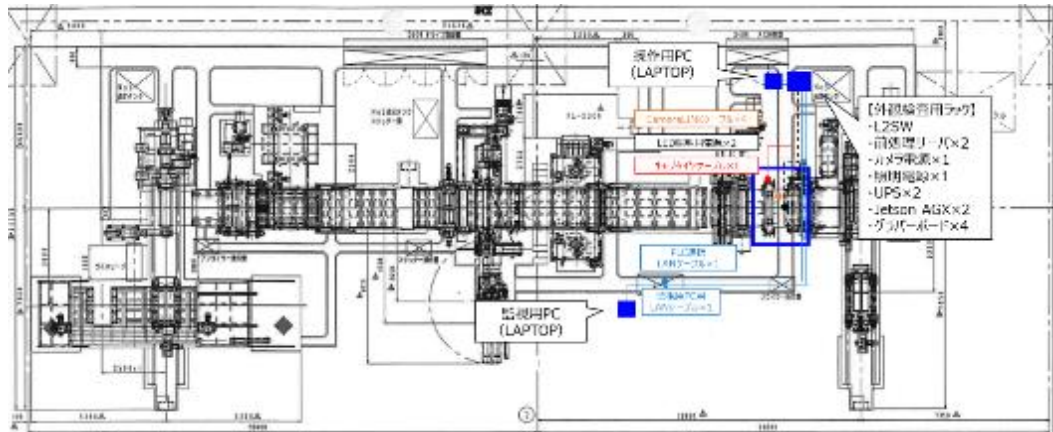


図 4.1.3-3) 取り付け台座設置位置 (S2 平面図)



図 4.1.3-4) 取り付け台座(遠方)



図 4.1.3-5) 取り付け台座上部(接近)



図 4.1.3-6) 取り付け台座下部(接近)

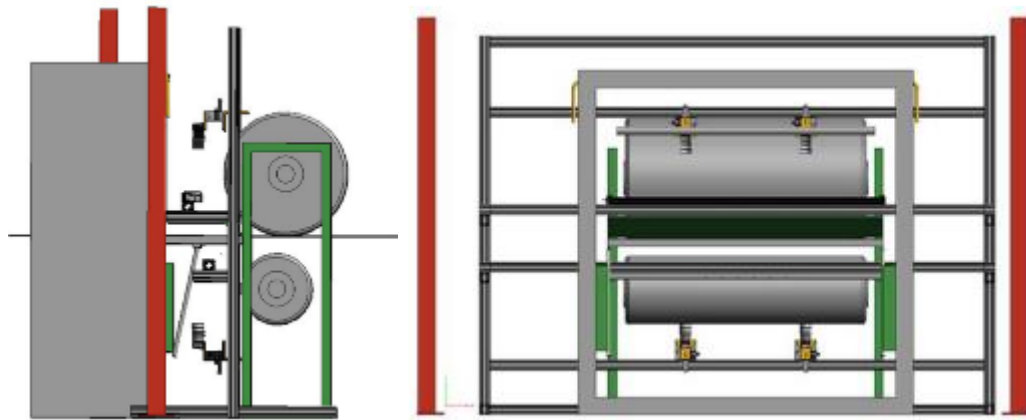
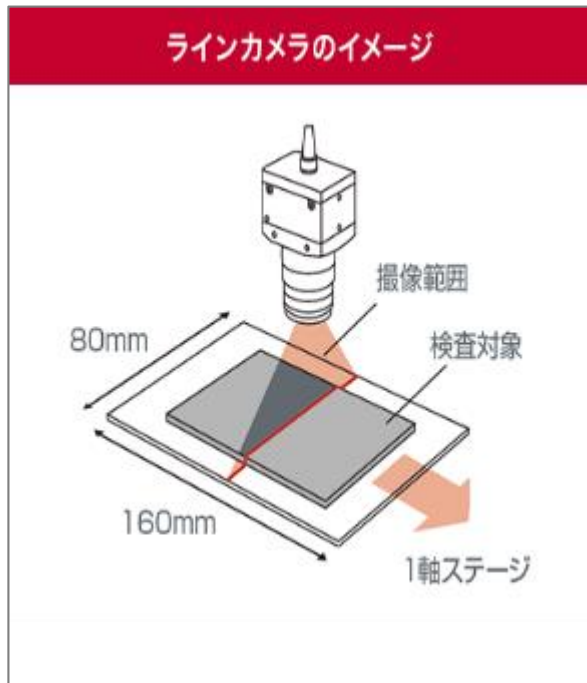


図 4.1.3-7) 8K ラインスキャンカメラおよび画像処理照明立面図(3D 図面)

## 2. 8K ラインスキャンカメラ



ラインスキャンカメラは、検査対象物の進行方向に対して幅方向の視野が確保できれば、一度で連続高速撮像が可能。エリアカメラでは撮影に時間を要していた、或いは、端部に“照明ムラ(光の当たり具合が中央部と端部で異なる)”が発生していたシートや円柱形などの撮影に最適なカメラである。(図 4.1.3-8 参考)

近年は、鋼板の他に段ボールなどの紙製品やラップなどの樹脂製品といったロール状の製品、ギヤやボルトといった金属部品の検査にも使用されている。(金属部品は、中心軸を中心に回転させ側面のキズ有無を検知させる。)

図 4.1.3-8) ラインスキャンカメラのイメージ

「検査対象幅:1,600mm」「最小のキズ幅:0.1mm」、「片面カメラ台数 2 台」の場合、  
 ⇒カメラ 1 台の撮像幅 : 800mm(=1,600mm/2 台)  
 ⇒必要最小素子数(px):8,000px(=800mm/0.1mm)

カメラ 1 台当たり 8,192px の画素数が必要であり、今回の開発実証では 8K(8,192px)のラインスキャンカメラの使用が適当と考える。

- 開発実証に使用した 8K ラインスキャンカメラ  
 8K デジタルラインスキャンカメラ(raL8192-80km(basler)) (図 4.1.3-9 参考) (8,192 画素、スキャンレート 80kHz、Camera Link 出力)



解像度	8,192pixel
画素サイズ	3.5um×3.5um
最大ラインレート	80kHz
カラー/モノクロ	モノクロ
階調	モノクロ 8bit (10/12bit も切替可)
カメラインターフェース	カメラリンク (Base, Medium, Full)
I/O 数	4input、1output
マウント	F or M42

図 4.1.3-9) 8K デジタルラインスキャンカメラの外観および仕様

### 3. 画像処理照明

開発実証に使用した画像処理照明は、最大幅 1,350mm の対象物に対して均等に光を照射することができる照明を選定した。

- ・ 開発実証に使用した画像処理照明  
画像処理照明(LNSD-1600SW(CCS)) (図 4.1.3-10 参考)



図 4.1.3-10) 画像処理照明の外観および仕様

#### 4. エンコーダー

エンコーダーとは、スリッター設備の稼働速度をパルス信号に変換する機器である。エクステンションロール表面とエンコーダー表面を設置させ、エクステンションロールの回転数をパルス信号に変換し、8K ラインスキャンカメラのシャッタースピードを制御する。エンコーダーの回転数に比例して 8K ラインスキャンカメラのシャッタースピードが変化することで、スリッターの稼働速度に依存しない画像品質を保つことができる。(4.1.3-11 参考)

- ・ 開発実証に使用したエンコーダー



図 4.1.3-11) エンコーダーの外観および仕様

下図 (図 4.1.3-12) は実際に S2 にエンコーダーを設置した様子である。加工された鋼板が上下にバタつかないように上から圧力をかけて押さえるための「エクステンションロール」にエンコーダーを設置させて、エクステンションロールの回転数に合わせて 8K ラインスキャンカメラのシャッターを切る構成となっている。



図 4.1.3-12) エンコーダー設置箇所 (エクステンションロールと接地させる)

#### 5. グラバーボード

グラバーボードは、それ自身がストレージ機能や FPGA を搭載している小型 PC であり 8K ラインスキャンカメラからの画像情報をバイナリーデータとして取得し、前処理 PC に送る機能を持つ。今回の開発実証では 8K ラインスキャンカメラのインターフェースとしてカメラリンクを使用しているため、専用のグラバーボードが必須という構成となっている。エンコーダーからの信号をカメラへ送りシャッターを切る指示もグラバーボードの機能である。

(図 4.1.3-13 参考) 尚、CameraLink とは異なるインターフェースとして GigE がある。GigE は前処理 PC とラインスキャンカメラを直接接続させることができるがデータレートが遅く、今回のように 100m/min. の高速で稼働する対象物进行处理することはできないため、CameraLink を使用した。

- ・ 開発実証に使用したグラバーボード



型番	A タイプ : Marathon-ACL
画像入力 インターフェース	・ CameraLink 2.0 ・ ピクセルクロック:最大 85MHz
ホスト側 インターフェース	・ PCIe x4 (Gen2) ・ 最大 1800MB/s のデータ転送
搭載 FPGA	Xilinx Kintex7 XC7K160T
オンボードメモリー	DDR-RAM 512MB
形状	167.64mm x 111.15mm
ソフトウェア	Win7, 8, 10, Linux 対応

図 4. 1. 3-13) グラバーボードの外観および仕様

今回使用したカメラリンクの仕様は以下 (図 4. 1. 3-14) の通り。接続端子はミニストレート (標準) を採用している。

**カメラリンクケーブル (準拠)** RoHS対応 PoCL対応 高屈曲

- 特性インピーダンス100±10Ω
- スキュー(ペア間とペア内)50ps/m(最大)
- ロボット仕様(高屈曲仕様)
- Base/Medium/Full Configuration
- 新しく規格化されたPoCL Full Configuration準拠のケーブル



ミニストレート(標準)



スタンダード(標準)



ミニL型(標準)

**品番体系**

DT	##-	26P	##	XXX	/*	-*
型式名称	カメラリンク規格(準拠)	コネクタ 極数	ケーブル長	コネクタ形状 (Camera側 - FGB側)	伝送種類	ケーブル種類
DT:オリジナル製品	CL: Non-PoCL PL: PoCL FC: Non-PoCL Full Configuration ※1 PF: PoCL Full Configuration ※1	26Pin	2桁表記 ※1m単位でない ものは3桁表記 例: 02=2m 018=1m80cm	CC : ミニストレート - ミニストレート MUC : ミニL型(UP) - ミニストレート MDC : ミニL型(DOWN) - ミニストレート SD : スタンダード - スタンダード CS : ミニ - スタンダード MU : ミニL型(UP) - スタンダード MD : ミニL型(DOWN) - スタンダード SC : スタンダード - ミニストレート	/T : 標準 ※2 なし : 高伝送	-S : 標準 ※3 なし : 高屈曲

※1. Non-PoCL Full Configuration, PoCL Full Configurationは、高屈曲タイプのみとなります。(標準タイプの取り扱いはありません。)  
 ※2. 伝送種類「標準」は高伝送に比べケーブル径が細く、最大L長が短くなります。詳細は下記「仕様一覧」をご参照下さい。  
 ※3. ケーブル種類「標準」は非屈曲ケーブルになります。

図 4. 1. 3-14) カメラリンクケーブルの仕様

## 6. 前処理 PC

グラバーボードで蓄積された画像を bmp ファイルに変換し、jpeg ファイルに圧縮する機能を持つ。JPEG ファイルに圧縮された画像を前処理 PC 内のストレージに蓄積した後、前処理 AI の指定のフォルダへ保存する。現場にサーバラックを設置し、前処理 PC や前処理 AI、レイヤー 2 スイッチを収納している。(図 4. 1. 3-15、図 4. 1. 3-16 参考)



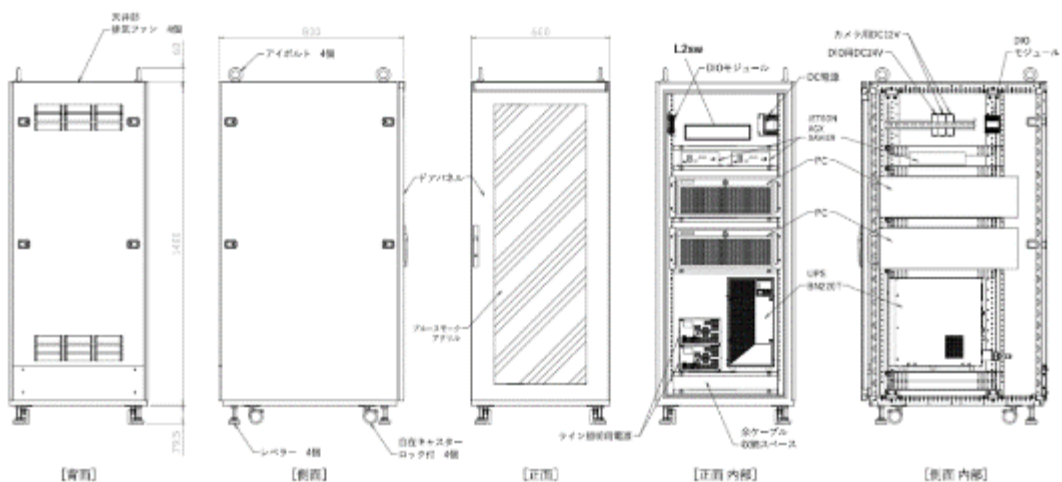


図 4.1.3-15) 現場に設置したサーバラック図面



図 4.1.3-16) 現場に設置したサーバラック (現物)

今回、端末もサーバラック上部の天板に設置するものとした (図 4.1.3-17 参照)。工場棟の側面部に位置しているため、基地局から端末の直線状に S2 が存在しているが、端末から基地局まで十分見通しが聞く場所であることが分かる (図 4.1.3-18 参照)



図 4. 1. 3-17) サーバラックの天板上に端末を設置



図 4. 1. 3-18) 現場サーバラックから基地局までの見通し

#### 7. 前処理 AI (Jetson AGX Xavier)

前処理 PC から保存された JPEG ファイルを画像処理 AI モデルで解析し、「不良である可能性が高い画像」と「不良である可能性が極めて低い画像」を仕分ける機能を持つ。「不良である可能性が高い画像」のみを電算室に設置された AI サーバ (Jetson) に転送し、「不良である可能性が極めて低い画像」は順次消去する構成としている。(図 4. 1. 3-19 参考)



モデル名	Jetson AGX Xavier
CPU	8 コア Arm v8.2 64 ビット CPU, 8MB L2 + 4MB レイヤー 3 スイッチ
メモリー	32GB 256 ビット LPDDR4x - 137GB/s
補助記憶装置	32GB eMMC5.1 (オンボード)
GPU	NVIDIA Jetson AGX Xavier 32GB
GPU 性能	512 コア Volta GPU、64Tensor コア (2x) NVDLA Engines
LAN	1GbE 2 ポート (RJ45)
標準インターフェース	HDMI 1 ポート, USB3.0 2 ポート 40 pins: 1x UART, 2x I2C, 1 x CAN (W/O transceiver), and 5x GPIO
外形寸法 (WxDxHmm)	196 x 232 x 60
重量	12V DC Power Input / 60W power adapter

図 4. 1. 3-19) Jetson AGX Xavier の外観および仕様

#### 8. 操作用モニター

現場のサーバラック横に設置されており、主に 8K ラインスキャンカメラの起動と停止、モードの切り替えや、画像処理照明の光量調整などの操作と JPEG ファイルに圧縮される前の画像データを確認が可能で、「撮像条件」の制御および状態確認が主な役割である。AI で検知した結果は後述の「監視用モニター」で確認する。(図 4. 1. 3-20 参考)

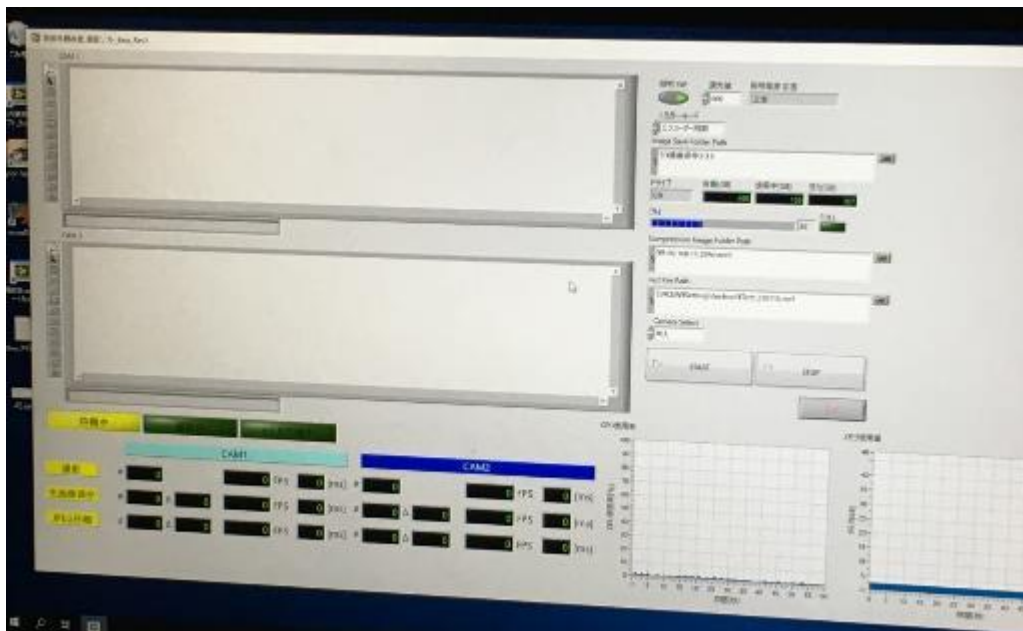


図 4.1.3-20) 8K ラインスキャンカメラおよび画像処理照明の操作画面

また今回、現場サーバラック横に「物理スイッチ（図 4.1.3-21 参照）」を導入。これは表裏面に設置された 8K ラインスキャンカメラの起動と停止を制御するスイッチであり、「オン（緑色のボタン）」を押すと撮影待機状態になり、エンコーダーが回転運動を始めると 8K ラインスキャンカメラもエンコーダーの回転運動に同期して撮影が開始される。「オフ（赤色のボタン）」を押すことで撮影停止状態となり、前処理サーバでの前処理や AI サーバへの伝送も終了する。



図 4. 1. 5-21) カメラを開始・停止を制御する「物理スイッチ」

### 9. 監視用モニター

AI サーバ(Jetson)で NG と検知された画像および PLC から取得した稼働データを表示させる画面。NG 画像が撮影された時間、NG 画像データ、不良部の位置情報などが表示され、「いつ」「どのような不良が」「どこの位置に」発生したと判断したかの結果を確認することができる。(図 4. 1. 3-22 参考)

時刻	稼働率	不良発生数	不良発生率	画像	位置情報
10:00:00	95%	1	0.01%		位置情報
10:00:05	95%	0	0.00%		位置情報
10:00:10	95%	1	0.01%		位置情報
10:00:15	95%	0	0.00%		位置情報
10:00:20	95%	1	0.01%		位置情報
10:00:25	95%	0	0.00%		位置情報
10:00:30	95%	1	0.01%		位置情報
10:00:35	95%	0	0.00%		位置情報
10:00:40	95%	1	0.01%		位置情報
10:00:45	95%	0	0.00%		位置情報
10:00:50	95%	1	0.01%		位置情報
10:00:55	95%	0	0.00%		位置情報
10:01:00	95%	1	0.01%		位置情報

図 4. 1. 3-22) 監視用モニターの表示画面

### 10. レイヤー 2 スイッチ

現場側のサーバラック内の各種ユーザー端末のネットワーク接続におけるハブとしての役割を担う。(図 4. 1. 3-23 参考)



モデル	BS-GS2024
対応機種	IEEE802. 3, IEEE802. 3u, IEEE802. 3ab, IEEE802. 3x 対応機器
伝送速度(規格値)	10Mbps (10BASE-T) 100Mbps (100BASE-TX) 1000Mbps (1000BASE-T)
ポート数	BS-GS2024 : 10/100/1000M 24 ポート(全ポート Auto-MDIX 機能搭載)+SFP2 ポート (コンボポート)

図 4. 1. 3-23) レイヤー 2 スイッチの外観および仕様

## 11. AI サーバ

大阪工場事務所棟の電算室に設置されており、前処理AIで「不良である可能性が高い画像」と仕分けられた画像を、不良有無を推論するためのAIモデルが実装されたサーバ。前処理AIと同じくJetson AGX Xavierを使用。(図4.1.3-19参考) ローカル5G各種サーバと共用で、事務所棟の電算室に設置されたサーバラック内にJetson AGX Xavierを設置した。(図4.1.3-24参考)



図 4. 1. 3-24) 電算室に設置したサーバラック (AI サーバも設置)

また、今回の課題解決システムのソフトウェア構成を図4.1.3-25に記載した。AI解析で「不良」と判定された画像を指定の画像フォルダに保存する。PLCから取得した稼働データを一定時間ごとにMySQLへ格納し、Java Scriptを用いてWebサーバ上で不良画像と稼働データ(位置情報)を結合させ、ブラウザで表示させるという構成。

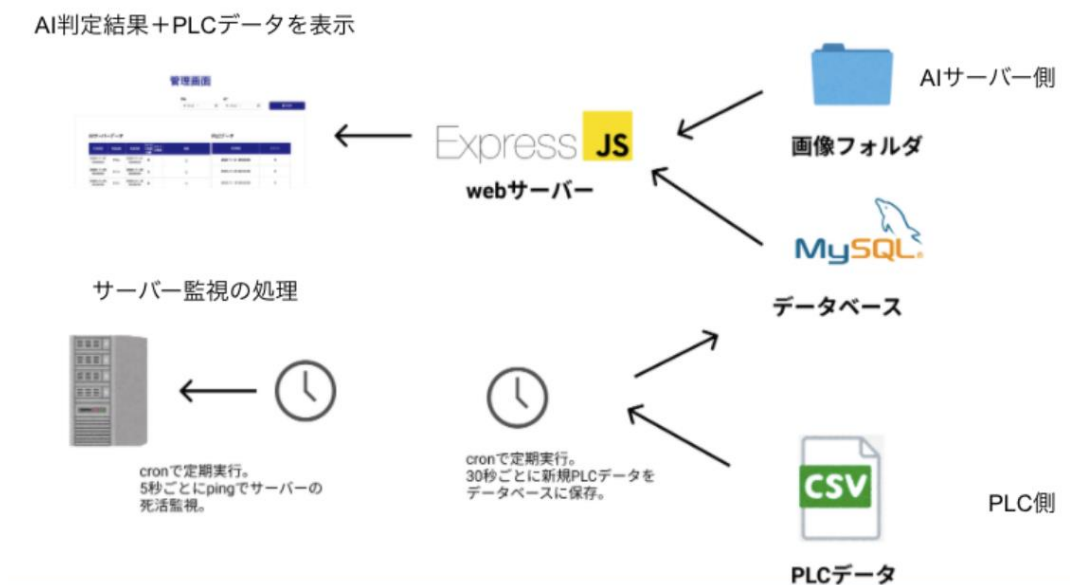


図 4. 1. 3-25) AI サーバにおけるデータ転送の構成

## 12. WEB サーバユニット

今回導入した課題解決システムの結果表示画面では、8K ラインスキャンカメラで撮影された不良と判断された画像だけではなく、不良がコイルのどの位置に発生しているかという「位置情報」を取得することで、より現場オペレーションに根差した環境構築を目指した。既設の S2 に新規の WEB サーバユニットを接続 (図 4. 1. 3-26 参照) し、LAN ケーブルを経由して電算室の AI サーバに PLC から取得した稼働データ (図 4. 1. 3-27) が送られる。AI 解析により不良と判断された画像の時刻と PLC データの時刻を突合させ、巻き始めからの不良発生位置を示す「カウント」を表示させるものとした。

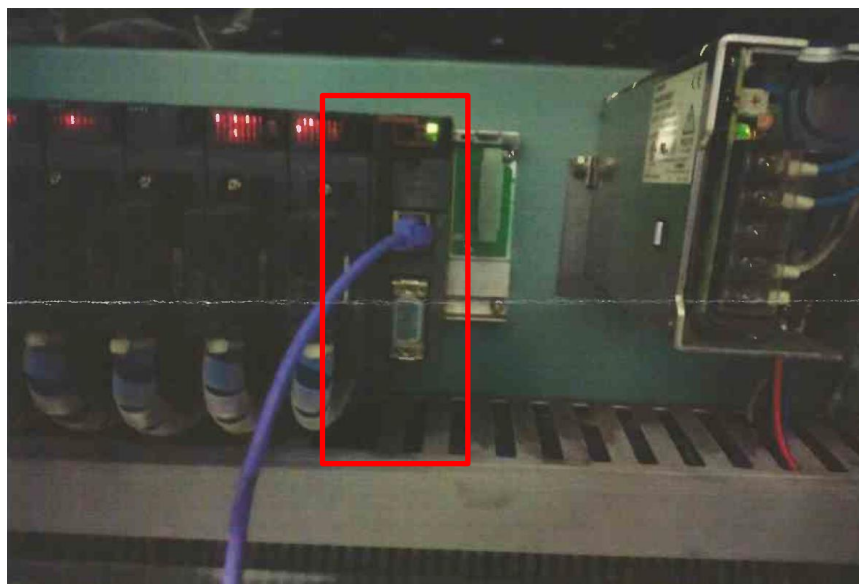


図 4. 1. 3-26) S2 に取り付けけた WEB サーバユニット

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIME	ライン運転	ドラム拡げ	カウンタ	表示リセッ	切断	ライン	位置情報		
2	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	30	1		
3	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	30	1		
4	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	60	2		
5	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	60	3		
6	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	90	4		
7	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	90	6		
8	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	90	7		
9	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	90	9		
10	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	10		
11	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	12		
12	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	14		
13	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	16		
14	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	18		
15	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	20		
16	2020/12/23 17:20	0	0	1	0	0	120	22		
17	2020/12/23 17:21	0	0	1	0	0	120	24		
18	2020/12/23 17:21	0	0	1	0	0	120	26		

図 4. 1. 3-27) PLC から取得した稼働データ

- ・課題解決システムの構築、運用にあたって注意した安全確保の取組等
- 項番 4. 1. 3 で後述するように今回の課題解決システム構築においては、S2 のエクステンションロールとテンションパッドの間にある「成人男性一名が入れる(約 80cm 幅)程度の狭いスペース」に、8K ラインスキャンカメラおよび画像処理照明を設置した。こちらのスペースは従来、作業者がエクステンションロールの清掃作業を実施するスペース(図 4. 1. 3-28)であったが、課題解決システムを構築することにより同スペースを使用することができなくなり、現場の作業者と相談の上で清掃作業の変更を実施した(図 4. 1. 3-29)。従来の清掃スペースとは反対側のアンコイラー側から清掃することとしたが、当該箇所には鋼板巻き終わりの最後尾を切断して端部を揃えるための「シャー(鋼板切断用カッター)」がある箇所になる。稼働停止中であつたとしてもシャーの中に手を入れて直接エクステンションロールを清掃する作業は「危険作業」にあたるため、現場の作業者と相談の上で、モップの先端に布を挟むことでシャーの中に手を入れずとも安全にエクステンションロールを清掃できる運用とした。手作業からのオペレーション変更ということで当初は「汚れの残り」も懸念されていたが、現在も特に「汚れの残り」等は問題報告されておらず、新しい運用を継続している状況。





図 4. 1. 3-28) 従来のエクステンションロール清掃作業

布をモップ先端に挟む



アンコイラー側からモップで清掃



図 4. 1. 3-29) 新しいエクステンションロール清掃作業

本開発実証では、製造現場の省力化や安全性の向上を目指し、ローカル 5 G (4. 8GHz 帯) の無線通信システムを活用して「高精細画像伝送及び AI 活用による目視検査の自動化」に関する実証を行い、システム面・運用面・コスト面、他地域への横展開の観点など多角的に検討を行う。

大容量のキズ画像をローカル 5 G で伝送し、AI を活用した鋼板キズ検査装置を用いてキズ画像を解析することで、これまで作業員が目視で確認していたキズ検査工程の省人化・自動化を実現する仕組みを構築し、「きつい姿勢を維持した長時間のオペレーション」、および、

「目視でのキズ検査であるため検査基準が明確に指標化されていない」、「自動化が望ましい危険な作業」という3つの現場課題を解決する新たな品質管理支援の実現を目的とする。

大阪工場 S2 の上部と下部それぞれに 8K ラインスキャンカメラ 2 台ずつ(表裏計 4 台)と画像処理照明 1 台ずつ(表裏計 2 台)を設置し、100m/min. のラインスピードで高速に加工される鋼板表裏面の画像を撮影する。撮影された鋼板の画像を画像 JPEG 変換ボードでデータ圧縮し、ローカル 5 Gを利用して画像解析用 AI サーバへ伝送する。AI サーバでは教師データを用いて学習させた画像処理 AI モデルを用いて、新たに発生したキズの画像を取り込んだ際に「キズが発生している」と推論させる。その後、監視用モニターにキズ位置を表示させ作業者が確認できるようにする。

以上の課題解決システムを活用することで、以下3つの検証を実施する。

- ・ 効果検証：工場作業員の作業工数低減効果の検証
  - ・ 機能検証：ハードウェア、ソフトウェアの最適化
  - ・ 運用検証：新しい運用の整理およびユーザー意見の聴取
- ・ 実施体制
- 「目視検査の自動化」ソリューションについては、株式会社フツパー、株式会社中央電機計器製作所、株式会社ショウワシステムと環境構築を実施した（図 4. 1. 3-30）。実施体制および各社の役割は以下の通り。

- ・ 住友商事グローバルメタルズ株式会社：現場での実装および効果検証
- ・ 株式会社フツパー：AI 開発および監視用 PC の表示画面作成
- ・ 株式会社中央電機計器製作所：機器選定や調達、設置
- ・ 株式会社ショウワシステム：各種ケーブル配線および PLC から稼働データ取得

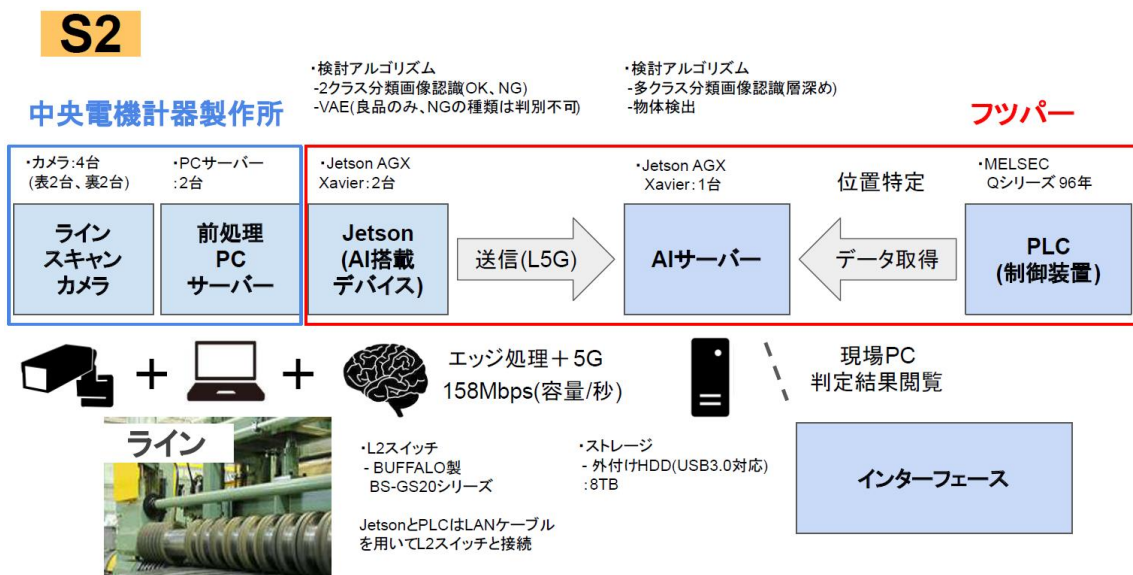


図 4. 1. 3-30) 本開発実証における各社の役割

4. 1. 4. 課題解決システムに関する効果検証

本検証にあたって定量化に必要な計測を行うとともに、課題解決システムの利用における現場作業及び関係者による評価を実施することで、課題や改善点について検討を行った。具体的な検証項目及び検証手法を下表（表 4. 1. 4-1）に示す。

検証項目	概要	検証手法
① 業務効率化や改善効果（工数削減や作業者の負担軽減等）	S2 の品質管理作業者をゼロにする。ゼロが達成不可の場合、なぜ達成できなかったかを検証する。	可視化ツール（Business Intelligence ツール）” Tableau”
② キズ等の検知・判定に係る基準の明確化による関係者間の調整時間・コストの削減	品質管理担当者と大阪本社の営業担当者のメールや電話での連絡や打合せが、どの程度削減されたかを検証する。	インタビュー
③ AI 自動検知に伴う効果や影響（検査漏れ防止等の検査品質の向上、新たに生じうる課題等）	検査精度の向上や検査レポート内容の充実といった検査品質の向上が実現するかを検証する。AI を活用した鋼板キズ検査装置を導入することで逆にライン停止が増加し、効率悪化等、新たに課題が生じる可能性あり、稼働時間への影響を検証する。	可視化ツール（Business Intelligence ツール）” Tableau”、インタビュー
④ その他課題解決に資する導入効果	品質管理の向上、人員の最適配置等	インタビュー
⑤ 上記を踏まえた費用対効果	工数削減等の定量的な効果を纏め、発生した費用と比較検証する。	可視化ツール（Business Intelligence ツール）” Tableau”、インタビュー

表 4. 1. 4-1) 具体的な検証項目及び検証手法

①業務効率化や改善効果（工数削減や作業者の負担軽減等）の検証

・ 検証の概要

大阪工場では1つの母材コイルを製品コイルに加工するために約60分の加工時間を要する。その内、ラインの清掃や段取り替えに必要な時間を除いた「純粋な設備稼働時間」は100～200m/min.の加工速度で10～20分程度であり、その内、目視検査は5分程度となる。しかし、特定の得意先の製品については厳重な品質管理の要求を受けて10～20m/min.という低速の加工速度で全長にわたって目視でのキズ検査を実施、1人または2人の作業者が約30分の目視検査を実施している。結果として、S2では1日当たり約60分の目視検査を実施している。

本件証では、課題解決システムを導入することで得られる定量的な「作業工数削減効果」を測定する。

- ・ 検証方法

大阪工場ではデータの可視化ツール(Business Intelligence ツール)「Tableau」を活用して、ライン毎に1回の加工の「開始」から「終了」までの設備稼働時間を可視化している。ローカル5Gを活用したAIキズ検知を導入することで、実際に削減され得る作業時間を「Tableau」を活用して計測し、S2における目視検査の時間をゼロにすることを目標とする。(図4.1.4-1参考)

- ・ 検証結果(実測)

可視化ツールTableauの「加工時間」の画面から、各月のS2の加工時間推移を取得。課題実証期間前後でのS2の加工時間推移を確認する。A社向けの商材およびB社向けの商材の一部は全長目視検査を実施しているため、課題実証システムが適切に機能していれば作業時間の削減効果が見られる。



図 4.1.4-1) 可視化ツール(Business Intelligence ツール) “Tableau” 表示画面例

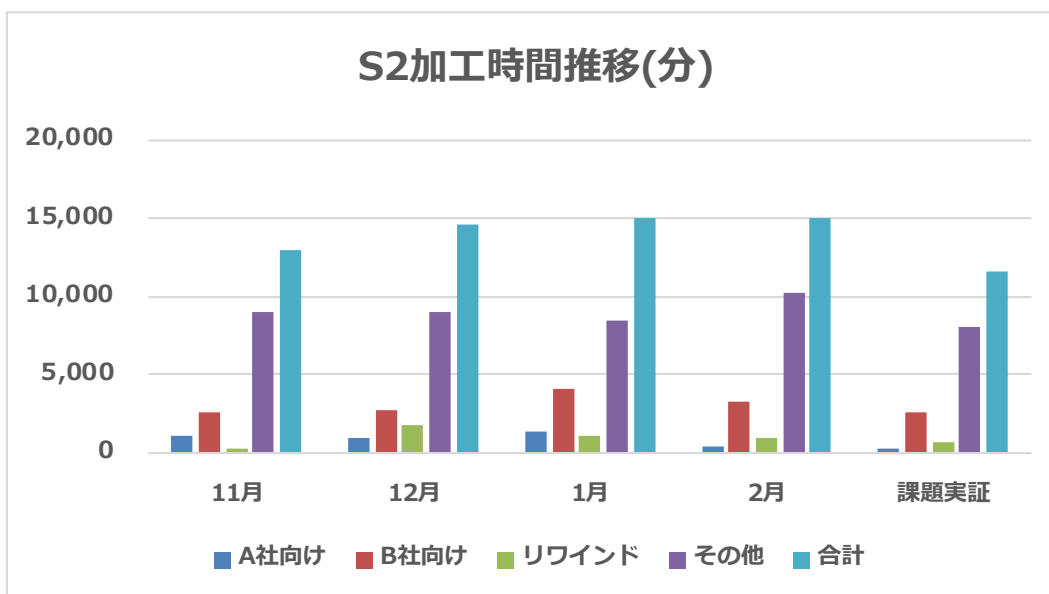


表 4.1.4-2) S2 における加工時間推移

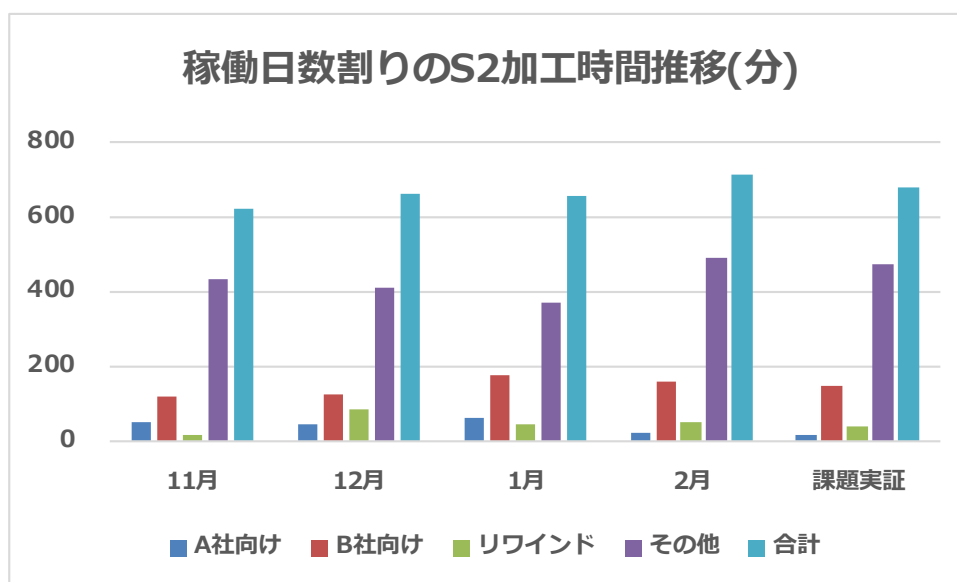


表 4.1.4-3) S2 における稼働日数割り加工時間推移

表 4.1.4-2 は、Tableau データ (表 4.1.4-1) から S2 の月別加工時間推移(分)を抜粋したグラフである。その内、全長目視検査を実施している A 社向けの加工と B 社向けの加工、および「リワインド」と呼ばれる「再検査」に掛かる時間を抜粋した。令和 2 年 11 月～令和 3 年 2 月までの S2 の加工時間と、課題実証期間 (令和 3 年 2 月 15 日～令和 3 年 3 月 12 日) の S2 の加工時間を比較しすることで、課題解決システムを導入したことによる加工時間の削減効果を検証した。

表 4.1.4-2 の通り、令和 3 年 1 月および 2 月と比較して、課題実証期間中の A 社向け、B 社向け、リワインドの何れも加工時間が減少しているように見える。ただし、各月で工場の稼働日数が異なるため、各月の加工時間を稼働日数で割ったグラフが表 4.1.4-3 である。これを見ると、S2 の日当たりの合計加工時間は、1 日当たり 600 分強で安定している。また、A, B 社

向け加工、および、リワインドについても、過去4ヵ月と比べて大きな差が無いことが分かる。課題実証期間中の1日あたりの加工時間は過去4ヵ月と比べて大きな変化が無いことが分かる。

- ・目標が達成できなかった理由および対策の考察

AI解析による検出精度が課題実証期間中に十分に向上しなかったことため、現状の目視検査のオペレーションを課題解決システムで代替できなかったことが原因である。

サミットスチール大阪工場では、納入先に対して「キズ無きこと」という取り決めのもと加工・出荷を実施している。その為、AIによる検出精度が低く「本当は不良品であるにも関わらず、良品と判断されてしまった不良」が発生してしまった場合、納入先からのクレームに繋がる恐れがあるため、工場現場として検出精度が高くない中で既存のオペレーションを今回の課題解決システムに代替できないと判断をしたもの。

工場現場として安心して既存のオペレーションを課題解決システムで代替してもらうためには、

- (1) AI解析による検出精度向上（項番4.1.5で後述）
- (2) 検出精度が信頼の置ける水準に達した後、目視と課題解決システムを併用。目視検査で検出した不良を課題解決システムでも検出できているかを検証する
- (3) 課題解決システムが目視検査と同水準、或いはそれ以上の精度で不良を検出した場合に完全に代替が可能に

という段階を踏んだ検証を実施することが必要になると考える。

- ・検証結果（将来的な想定見込み）

AIによる不良検出精度が向上し、課題解決システムの導入により検査工程の作業工数がゼロとなる場合、A社向け加工時間、B社向け加工時間、リワインド（再検査）は、20m/min.で加工・検査していたものが100m/min.で加工・検査することができるため、▲80%の削減効果が見込まれる。

- ・ A社向け : 21分/日 → 4分/日 (▲17分/日)
- ・ B社向け : 128分/日 → 26分/日 (▲102分/日)
- ・ リワインド : 49分/日 → 10分/日 (▲39分/日)

以上より1日当たり▲158分の削減効果が見込まれる。課題実証期間中、S2では2シフトで計16時間（960分/日）稼働を実施していたため、1シフト全体を削減することはできないまでも1シフトの158分（2.5時間分）を削減することは現実的だと考える。

## ②指標化効果の検証

- ・概要

大阪工場では、「限度見本(図4.1.4-2)」と呼ばれる不良による出荷可否判断をするために参考にする「不良サンプル」を使用して目視で不良の程度を判断しており、不良の「大きさ」や「深さ」といった定量的な数値基準がない。そのため、作業者によっては不良判定の基準にバラツキが発生してしまい、不具合の正式判断のために作業者・品質管理者・営業担当者・販売

先や仕入先の品質担当者との打ち合わせに月間約 120 分の「調整コスト」が発生している。今回の開発実証では、課題解決システムを導入することによって改善された「調整コスト」を把握し、指標化効果の検証を実施する。



図 4. 1. 4-2) 大阪工場で使用されている「限度見本」

・ 検証方法

課題解決システムを導入することで下図（図 4. 1. 4-3、図 4. 1. 4-4）のような画像データを取得することができる。下図の赤枠で示した箇所がキズ部位である。取得した画像データ学習し、学習データに基づいてキズ有無を判定させる AI モデルを構築することで、キズの幅や長さなどの指標化実現を目標とする。作業や営業担当者へのアンケートを通じて、各担当者間で発生していたキズ発見に伴う「調整コスト」の削減を計測する。



図 4. 1. 4-3) 不良画像の生データ

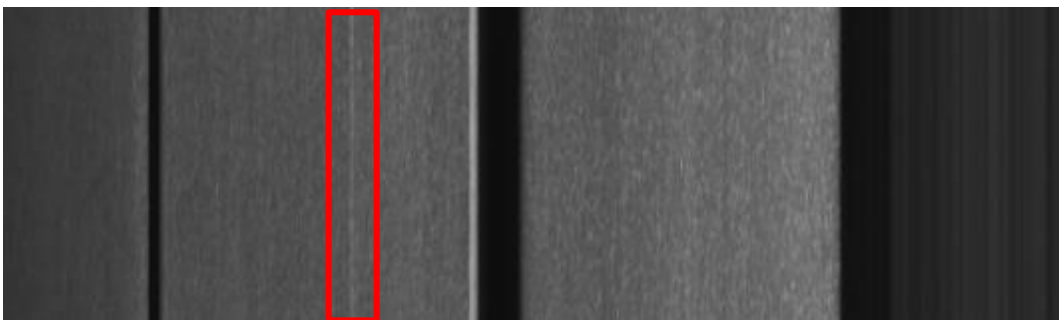


図 4. 1. 4-4) 不良画像の生データ（拡大画像）

・ 検証結果

サミットスチール大阪工場/品質管理チームから、現在納入先や仕入先との間で発生している「調整コスト」を削減するためには、「キズの深さ」と「正確なキズの位置」が分かることが重要という意見をいただいた。

➤ キズの深さ

品質に厳しい自動車業界などでは、製品外観に発生したキズの深さを基準に使用可否を判断している。キズの深さを判断する代表的な手法として「光切断方式」と「干渉縞方式」がある。

A) 光切断方式

ライン状のレーザー光を検査対象物に照射し、それを斜めから 2D カメラで測定し、レーザー光の曲がり具合から深さ方向距離を測定する方式。

B) 干渉縞方式

縞模様の照明をワークに照射し、上から 2D カメラで撮影し縞の曲がり具合から深さ方向距離を測定する方式。

現状では何れの方式も、100～200m/min. という高速で移動する対象物の深さ測定に適応しておらず、現状のラインで深さ測定を実施することは困難。

➤ 正確なキズの位置

サミットスチール大阪工場で加工されたスリットコイルに不良が発生している場合、各スリットコイルの端面からの正確なキズ位置情報を取引先に伝達する必要がある。今回の開発実証では、S2 の PLC データと連結させて巻き始めからのキズ位置情報を取得できる課題解決システムを構築したが、「調整コスト」を削減するためにはスリットコイルの端面を認識させ、端面からの位置情報を取得し Y 軸方向のキズ位置を取得できるようなプログラムを検討する必要がある。

➤ ヒートマップ

AI アルゴリズムが画像のどこを見て「不良」の判断をしたかをヒートマップで表現することができる（図 4. 1. 4-5 参照）。また、ヒートマップを原画像と重ね合わせることで、鋼板のどこにキズがあったかが分かるような結果表示画面イメージを作成した（図 4. 1. 4-6）



図 4. 1. 4-5) 「ヒートマップ」イメージ



## AIサーバーデータ

## PLCデータ

作成時刻	判定結果	判定時刻	カメラの設置位置	カメラの表裏	画像	作成時刻	カウント
2021-03-11 09:41:14	NG	2021-03-11 09:43:03	WS	表		2021-03-11 09:42:14	5
2021-03-11 09:41:11	NG	2021-03-11 09:43:03	WS	表		2021-03-11 09:42:13	5
2021-03-11 09:41:12	NG	2021-03-11 09:43:03	DS	表		2021-03-11 09:42:12	5
2021-03-11 09:41:13	NG	2021-03-11 09:43:01	DS	表		2021-03-11 09:42:11	5
2021-03-11 09:41:10	NG	2021-03-11 09:43:01	WS	表		2021-03-11 09:42:10	5
2021-03-11 09:41:15	NG	2021-03-11 09:43:01	DS	表		2021-03-11 09:42:09	5
2021-03-11 09:41:10	NG	2021-03-11 09:43:01	WS	表		2021-03-11 09:42:08	5
2021-03-11 09:41:13	NG	2021-03-11 09:43:00	WS	表		2021-03-11 09:42:07	5

図 4. 1. 4-6) ヒートマップ導入後の画面イメージ

ヒートマップを原画像に転写することにより「画像のどこに不良があったかを判断することができるが、ヒートマップを表示するためのアルゴリズムを別で作成する必要があり、コードを繋げる必要があるため処理速度が増加してしまう。結果表示のリアルタイム性が損なわれるため、今後の要検討事項としたい。

## ③AI 自動検知に伴う効果や影響

## ・概要

従来、大阪工場では不良の発生個所をデジタルカメラで撮影し、社内サーバに構築された共有フォルダに不良の画像を格納して社内共有していた。大阪工場の品質管理チームにて不良報告を取りまとめており、Excel に共有フォルダ内に保存された画像を貼付して報告書を作成するというオペレーションを実施していた。課題解決システムを導入することで、AI が判定した不良画像を AI サーバ (Jetson AGX Xavier) 内に保存することができる。保存された画像によって検査品質の向上や報告書の精度向上に寄与する効果を検証する。

## ・検証方法

サミットスチール大阪工場「品質管理チーム」へのインタビューを通じて、現状の取引先への報告書作成手法から、AI による自動判定に切り替わった場合の作業工数削減効果を確認する。

## ・検証結果

項番 4. 1. 4-②と同様に、「正確なキズ位置情報を取得することが必要条件」との意見。また、「『キズの色味』が見えることによって、不良の状態がより鮮明に伝えられる」という意見もあり。サミットスチール大阪工場として、毎月仕入先である各鉄鋼メーカーに対して報告書を作成しているが、今回の開発実証では、PLC からのデータを連結することで流れ方向の位置情報のみを表示していること、8bit カラーの 8K ラインスキャンカメラを使用していることから、「正確なキズ位置情報の取得」と「キズの色味の取得」を今後の要検討課題として、本項目は今回の効果算出には含めないこととする。

#### ④その他課題解決に資する導入効果

##### ・概要

課題解決システムを導入することで、「作業者の作業工数削減効果」、「指標化効果」、「検査品質の向上」以外に発生する効果を検証する。具体的には、品質向上や作業工数削減によって作業者が別の作業を実行して得られる効果を検証する。

##### ・検証方法

サミットスチール大阪工場「生産チーム」へのインタビューを通じて、目視検査の自動化により当該作業を実施していた作業者が他の作業を実施することによる効果を確認する。

##### ・検証結果

生産チームのインタビューでは、「品質確認が不要となった場合でも、直ぐに生産に係る別の作業を実施する訳ではなく、『4S（整理・整頓・清掃・清潔）活動』など普段は手が届かない活動をするようになるのでは。」というご意見をいただいた。課題実証期間中にも止むを得ない事情でラインを一時停止させる場合は、作業者は4S活動を実施していた。品質検査が自動化することにより4S活動の実施などで定性的な効果があるものとして、本項目は効果算出には含めないものとする。

#### ⑤検証項目①～④を踏まえた上での費用対効果の算出

##### ・検証方法

効果検証の①～④により、工数削減効果によって実施費用に対する金銭的効果の算出が可能になる。今回の課題実証システムを導入したことに伴う費用と検証項目 4.1.4-①～4.1.4-④によって得られた効果を比較し、費用対効果を算出する。なお、効果の算出には、平成30年の製造業の平均年収 519.5 万円を稼働日数 220 日および 1 日当たり 8 時間労働の前提で割り戻した「単価 3,000 円/時間」を採用する

##### ・検証結果

今回の開発実証で想定される費用対効果は以下の通り▲1,738 千円/年となる。

4.1.4-①：▲158 分/日 \* (3,000 円/時 ÷ 60 分) \* 220 日 = ▲1,738 千円/年

4.1.4-②：(現状では効果算出に含めず)

4.1.4-③：(同上)

4.1.4-④：(同上)

また、本課題解決システムで発生した費用は構築費用も含めて 17,850 千円であり、約 10 年で回収することができる。本課題実証システムは固定資産として計上される予定であるため、償却年数が 10 年の場合は課題実証システム単体として費用回収が可能である見込みである。

#### 4.1.5. 課題解決システムに関する機能検証

目視検査の自動化を実現する手段としての適正性や実用性について検証するとともに、AI 解析による検知精度の向上に資するよう、カメラや照明 (LED 等) の設置方法の工夫による教師データの収集、AI 解析に必要な前処理作業、最適な画像解析手法やアルゴリズム等について検討を行う。具体的な検証項目及び検証手法を下表 (表 4.1.5-1) に示す。

検証項目	概要	検証手法
① カメラやライトなどのハードウェア機能検証	最適なカメラ距離・角度の設定。最適なライト距離・角度の設定。	現地におけるソリューションベンダーとの会話
② 教師データの収集	不良のサンプル画像を教師データとする場合、不良の発生頻度が集まらない場合、学習に十分なデータが収集できない可能性がある。キズ画像を分割、或いは、増幅させるなど効率的な教師データ収集方法を検証する。	現地におけるソリューションベンダーとの会話
③ AI 解析に必要な前処理作業	「画像内のどこがキズか」をAIが判断するために、「アノテーション」という印付けの作業が必要になる。作業工数のかからない効率的なアノテーション作業を実施できるかを検証する。	現地におけるソリューションベンダーとの会話
④ 最適な画像解析手法やアルゴリズム	画像認識AIでは物体検知等の一般的な手法に加えて、VAE (Variational Autoencoder) 等複数の手法が存在する。検査対象物や現場環境に合わせて最適なアルゴリズム手法を検討する。	現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑤ 判断速度	遅滞が発生する場合に限る(撮影→AI判断までの時間(〇〇秒)が運用に耐えられるかどうか。)	現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑥ 過検知率&見逃し率	これまではOKだと思っていたものがNGと判定されてしまう(=過検知)可能性あり。	現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑦ AI アルゴリズム開発頻度	キズ、ワーク、時間帯毎にアルゴリズム開発が必要か? 周辺環境の設定 vs コスト。	現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑧ 課題解決システムとしての無線品質評価	2つの課題解決システムを同時に運用した際に、目視検査の自動化における判定速度の比較検証	現地におけるソリューションベンダーとの会話

表 4.1.5-1) 効果検証の各検証項目

また、課題解決システムの実装に必要な機能について検証する。機能の実現において複数の手段が考えられる場合には、それぞれメリット・デメリット及び課題について整理し、解決策を検討する。現状想定される機能の実現手段を下表(表 4.1.5-2)、(表 4.1.5-3) 及び(表 4.1.5-4) に示す。

表 4.1.5-2) ⑨ ラインスキャンカメラとエリアカメラの比較

	メリット	デメリット
ラインスキャンカメラ	高速で移動する検査対象物の撮影に特化	利用対象が限定、一台当たりの単価が高価
エリアカメラ	幅広い分野で使用実績あり、一台当たりの価格が安価	高速で移動する検査対象物の撮影時に光の当たり方にムラが発生する。

表 4.1.5-3) ⑩ オンプレミスとクラウドの比較

	メリット	デメリット
オンプレミス	自社ネットワークで完結。	蓄積されたデータの他工場との共同利用が難しい。
クラウド	蓄積されたデータを他拠点と共同利用が可能。	セキュリティ上の不安。

表 4.1.5-4) ⑪ Deep Learning とその他アルゴリズムの比較

	メリット	デメリット
Deep Learning	画像認識 AI として一般的に利用、実績豊富。	開発工数大きい。複雑なアルゴリズムを利用。
その他アルゴリズム	複雑なアルゴリズムを利用しなければ、高速判定可能。	画像認識 AI として実績少ない。

#### ① カメラやライトなどのハードウェア機能検証

##### ・ 概要

鋼板のキズを撮影するためには、「撮像条件」が重要な検証項目となる。高速で通板される薄板コイルの複数種類のキズを撮影するために、最適なラインスキャンカメラと画像照明の性能、及び、8K ラインスキャンカメラの角度や画像処理照明の角度・光量といったハードウェアの取り付け方法を検証する。

##### ・ 検証内容

ラインスキャンカメラや画像処理照明などハードウェアの調達や設置を担当した株式会社中央電機計器製作所との会話を通じて、一般的な撮像条件の選定方法および今回の S2 における最適な撮像条件について検証する。

##### ・ 検証結果

##### A) 正反射・乱反射および同軸オプション

一般的な画像検査では、「①正反射」、「②乱反射」と呼ばれる手法のどちらか、或いは、両方を用いて撮像条件を決定する。但し、今回の開発実証では、S2 における制約条件の都合で、「③同軸オプション」という手法を使用した。

(ア)正反射

「正反射」とは、入射光の入射角と反射光の反射角が等しい撮像条件を指す（図 4.1.5-1 参考）。最も一般的な撮像条件であり、撮影対象物の表面に不良がある場合、反射光の角度が変わることで不良部分が画像として浮かび上がらせることができる。主に、対象物の表面が均一な素材に対して用いられることが多い。

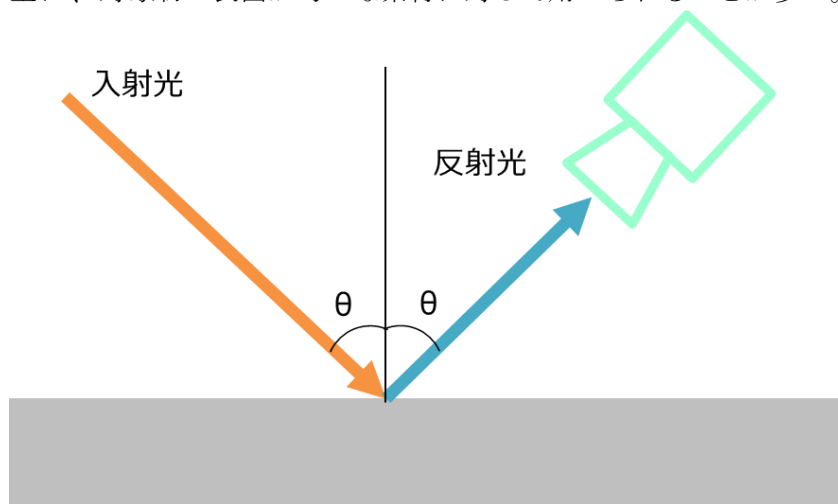


図 4.1.5-1) 正反射

(イ)乱反射

入射光が対象物によって様々な方向に拡散することを「乱反射」もしくは「拡散反射」と呼ぶ。この場合、入射光の入射角 ( $\theta$ ) と反射光の反射角 ( $\theta'$ ) の大きさが異なる。表面が粗く、光沢やツヤがない対象物に対して乱反射が用いられる（図 4.1.5-2 参考）。鉄の表面はざらつきがあるため、金属製品の撮影については乱反射が用いられる場合が多い。

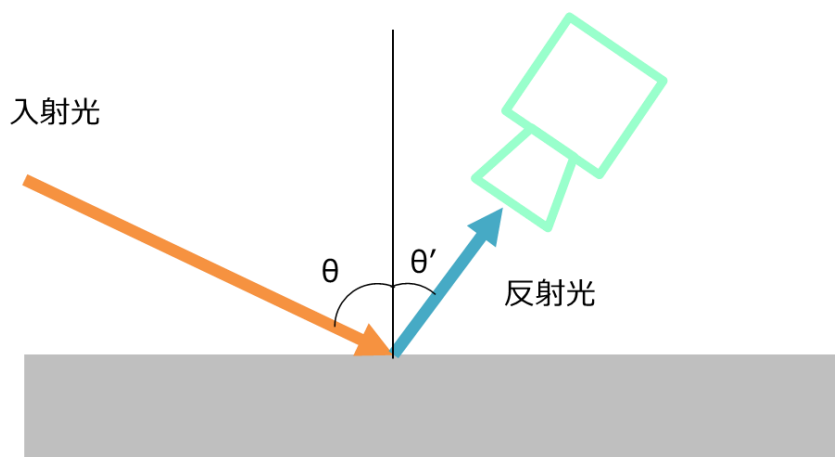


図 4.1.5-2) 乱反射

(ウ)同軸オプション

今回の開発実証では、「同軸オプション」と呼ばれる手法を用いた。同軸オプションとは正反射の手法の一つであり、ハーフミラーと呼ばれる光を透過の鏡を使用する（図 4.1.5-3 参考）。光源からの入射光をハーフミラーで反射させ、対象物からの反

射光がハーフミラーを透過して撮影されるもの。入射角も反射角も対象物に対して90度であることから、正反射の手法の一つとされている。

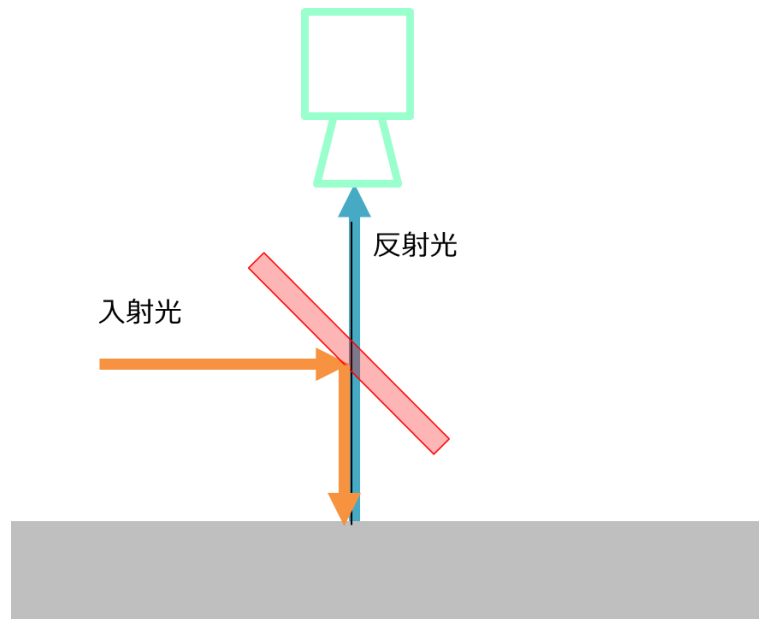


図 4.1.5-3) ハーフミラーを用いた同軸オプション

今回の開発実証現場であるサミットスチール大阪工場の S2 の 8K ラインスキャンカメラや画像処理照明を設置する箇所が、成人男性 1 人が横向きで通れる程度のスペースと非常に狭い環境を選択した（経緯は「項番 4.1.5-B」を参照。）正反射や乱反射に必要な「流れ方向に十分な設置スペース」を取れないという制約条件がある（図 4.1.5-4 赤枠参考）。そのため、省スペースでも撮像が可能な同軸オプションでの設置とした。



図 4.1.5-4) S2 の 8K ラインスキャンカメラや画像処理照明の設置値

B) 被写界深度

当初、現在の目視検査を実行しているリコイラー部（図 4.1.1-2）の位置に 8K ラインスキャンカメラと画像処理照明を導入することを検討していた。しかし、以下の問題を想定し、図 4.1.5-5 の位置は今回の開発実証における撮像条件設定は難しく、細かなキズが撮影できないと判断した。

- コイルの巻き始めと巻き終わりでコイルの直径が変わり撮影距離が変わる
- S2 で加工できる鋼板は「0.4mm-4.5mm」という板厚制限があるため、最厚製品と最薄製品で「最大 4.1mm 程度」の焦点距離の変化が発生してしまう（図 4.1.5-6 参照）
- 加工中の製品では「たわみ(ばたつき)」が発生してしまうため、「たわみ(ばたつき)」を最小限に抑えるために加工中の鋼板は上から圧力（テンション）をかけられ「突っ張った状態」で加工する。その為、「圧力を掛けられていない状態」から「圧力を掛けられた状態」にすると、鋼板が「約 3mm 程度」下方にずれるため、焦点距離の変化が生じてしまう。
- 圧力を掛けられた状態でも、「上下に 3mm 程度」の「たわみ(ばたつき)」が発生してしまい、入射角と反射角の角度や焦点がずれてしまう

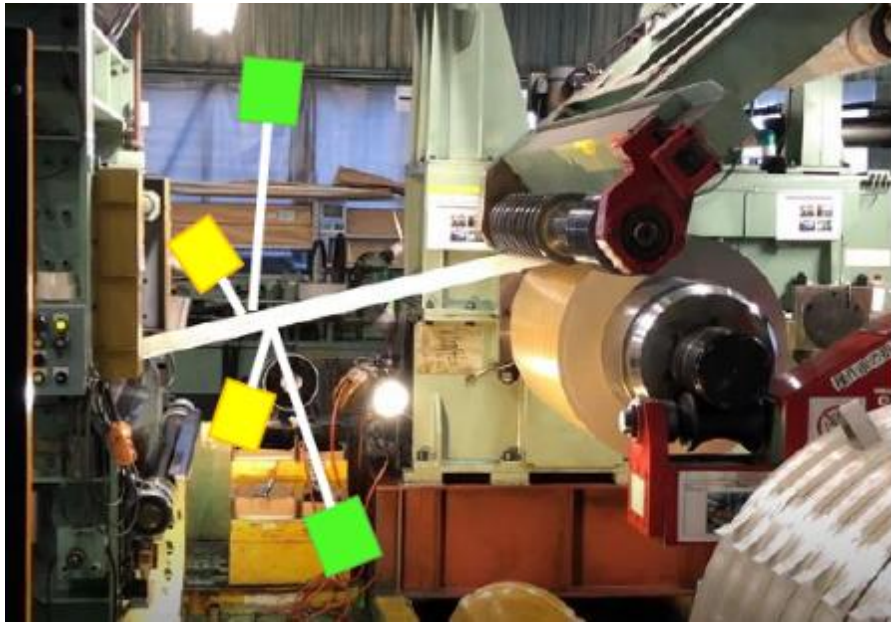


図 4.1.5-5) 当初想定のカメラと照明の設置位置

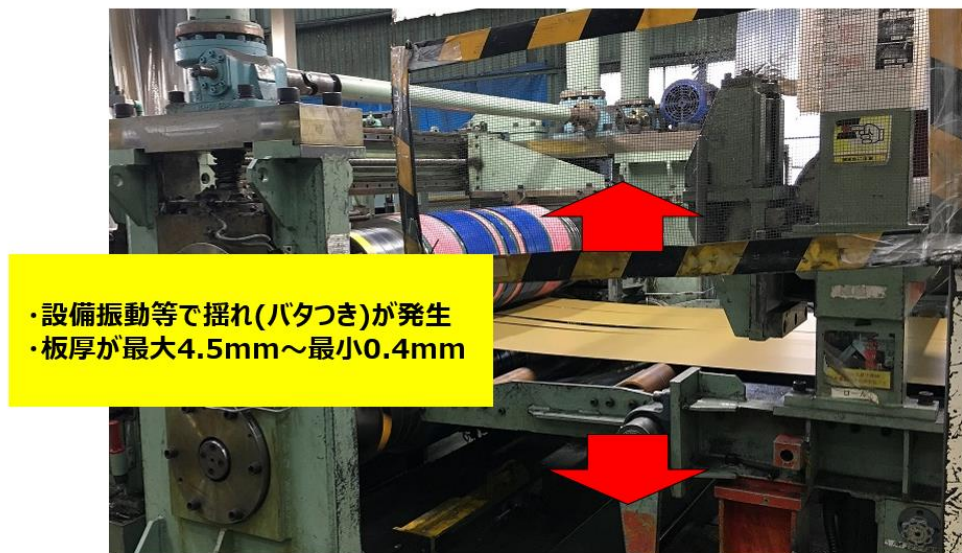


図 4.1.5-6) 板厚の変化や設備振動にともなるバタつき

今回の開発実証では、「同軸オプション」を用いることで 8K ラインスキャンカメラと対象物が垂直の関係になるため、「たわみ」による入射角と反射角の変化はなくなった。一方で、焦点距離が変化することで「ピンボケ」が発生する問題を解消するために、「被写界深度（図 4.1.5-7 参考）」について検証した。



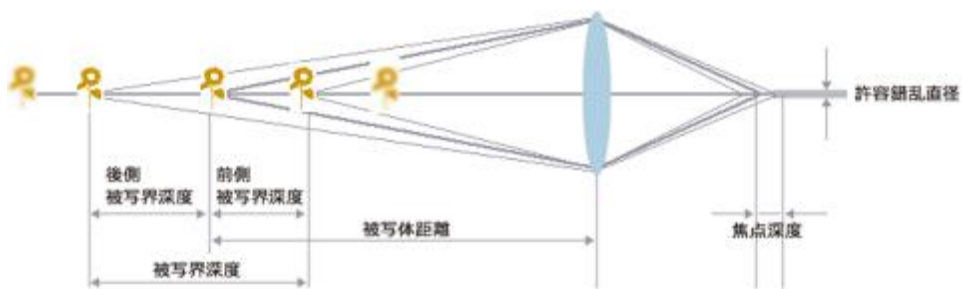
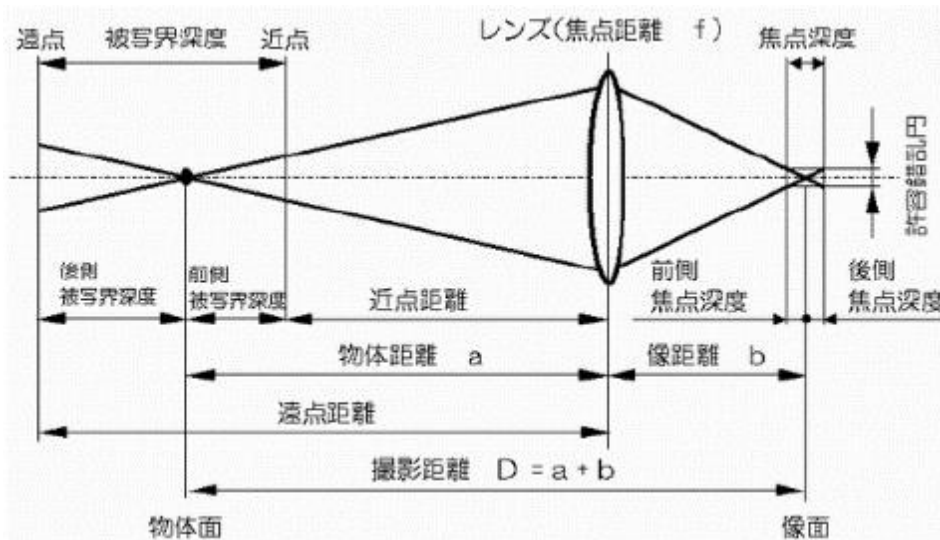


図 4.1.5-7) 被写界深度の考え方

ある一転に焦点を合わせたときに、その前後の一定の範囲内ではピントの合った像が得られる。この範囲内の近点と遠点の距離のことを「被写界深度」と呼ぶ。焦点から近点までの距離を「前側（前方）被写界深度」、焦点から遠点までの距離を「後側（後方）被写界深度」と呼ばれており、「前側（前方）被写界深度」と「後側（後方）被写界深度」の合計が「被写界深度」となる。「前側（前方）被写界深度」および「後側（後方）被写界深度」は以下図 4.1.5-8 の公式で導くことができる。



$$\text{前方被写界深度} = \frac{\text{許容錯乱直径} \times F\text{値} \times \text{物体距離}^2}{\text{焦点距離}^2 + \text{許容錯乱直径} \times F\text{値} \times \text{物体距離}}$$

$$\text{後方被写界深度} = \frac{\text{許容錯乱直径} \times F\text{値} \times \text{物体距離}^2}{\text{焦点距離}^2 - \text{許容錯乱直径} \times F\text{値} \times \text{物体距離}}$$

図 4.1.5-8) 「前側（前方）被写界深度」と「後側（後方）被写界深度」の計算式

今回の開発実証における各計算パラメータは以下の通り。「F 値」とは、「絞り値」とも呼ばれており、カメラに入射する光を制限する値のことを指す。便宜上、代表的な数字である「F 値=2.8」を計算で用いる。「許容錯乱直径」とは「ピンボケ」として許容できる最小の像の大きさを指す。ここでは便宜上、最小画素数の 1 辺の長さ 0.0035mm を使用する。

- ・ 焦点距離 : 18mm

- ・ F 値                   : 2.8
- ・ 物体距離             : 450mm
- ・ 許容錯乱円径       : 0.0035mm

結果として、「前側（前方）被写界深度」と「後側（後方）被写界深度」、「被写界深度」は以下のように求められる。

- ①前側（前方）被写界深度：6.04mm
- ②後側（後方）被写界深度：6.21mm → 被写界深度：12.25mm（＝①＋②）

今回の開発実証では「板厚変化：約 4.1mm」、「圧力：約 3mm」、「たわみ（ばたつき）：約 3mm」により、焦点の変化幅が合計「約 10.1mm」となり、理論上、被写界深度の範囲（12.25mm）内に収まっていればピントの合った画像が得られると想定された。



図 4.1.5-9) 板厚 4.5mm の製品の画像



図 4.1.5-10) 板厚 0.5mm の製品の画像

図 4.1.5-9 および図 4.1.5-10 の通り、加工制約条件である板厚の差によって画像品質に影響がないことが分かった。また、株式会社フツパーおよび株式会社中央電機計器製作所との協議の結果、判定への影響も最小限に抑えられるという結論に至り、今回の開発実証では「同軸オプション」での開発実証を実施することとした。

#### C) 画像処理照明の光量および角度

サミットスチール大阪工場の S2 では、酸洗鋼板（酸洗）、冷間圧延後半（冷延）、溶融亜鉛メッキ鋼板（GI）、電気亜鉛メッキ鋼板（EG）、カラー鋼板、ステンレス鋼板など、多種多様な品種の鋼板を加工している。例えば、表面が粗い「酸洗」と反射の強い「ステンレス」では、同じ光量であっても 8K ラインスキャンカメラでの映り方に差が発生する。

図 4.1.5-11 および図 4.1.5-12 は、同じカラー鋼板で光量を変化させた画像であるが、実証期間の制約の都合上、今回の開発実証では、光量設定「600」を基準値として画像データを収集することとした。

尚、今回の開発実証では「同軸オプション」での撮影を採用したため、画像処理照明の角度は「90 度」で固定となっている。



図 4.1.5-11) 光量設定「300」の画像データ



図 4.1.5-12) 光量設定「1000」の画像データ

## ②教師データの収集

### ・概要

一般的に画像検知 AI のモデル構築の際には、精度の高い判定モデルを作成するために 1,000～10,000 枚の「教師データ（不良箇所の画像）」が必要とされる。今回の開発実証では、期間内に十分な教師データを収集できるものと見込んで開発実証を始めた。

#### A) 今回の開発実証における教師データの収集方法

一般的に日本の鉄鋼業界における外観品質は、「不良が無いこと」が求められる。そのため、基本的に製品の表面には不良はないものとして取り扱われており、不良があるかどうか分からない製品から不良箇所が映っている画像を探すことは非効率的である。教師データとして不良画像を収集するための一般的且つ効率的な手法として、「予め不良箇所が判明している製品」の画像から不良箇所を探すという手法がある。サミットスチール大阪工場では、外観の品質不良を発見した場合、自社判断もしくは取引先からの要望で「出荷保留」とし、必要に応じて加工を伴わない通板により「再検査」という作業が行われる。

当初、今回の開発実証では課題解決システムを現場に導入した後、「再検査」での不良画像データ収集を実施することとしていた。S2 では、1 日当たり 8 回程度の加工を実施している。その内 1 回を「再検査」に充て、1 回あたり 100 枚程度の不良画像を取得できることを期待していたため、令和 2 年 12 月上旬～令和 3 年 2 月上旬までに「20 日×2 ヶ月×100 枚=4,000 枚程度」の不良画像取得を期待していた。

#### B) 令和 2 年 12 月～令和 3 年 2 月のサミットスチール大阪工場の状況

令和 2 年上期は新型コロナウイルスの影響により、自動車業界を中心に鉄鋼の需要が急減。しかし令和 2 年 10 月頃から、自動車産業の需要回復に伴い鉄鋼需要も大幅に回復。取引先から注文が殺到し、鉄鋼業界全体での供給が需要に追い付かない状況となっており、令和 3 年 3 月現在においても同様の状況が継続している。サミットスチール大阪工場においても取引先からの注文が回復し、急な生産増加を強いられることとなった。

そのような中で、令和 2 年 12 月にサミットスチール滋賀工場のスリッター設備に故障が発生。海外製の部品に不具合があり同部品を輸入する必要があるため、復旧まで数か月の時間を要することが判明した。設備制約もあり、サミットスチール大阪工場の S2 のみでバックアップ可能で、滋賀工場の復旧までは S2 で加工対応することとなった。

「鉄鋼業界全体の需要増」および「滋賀工場スリッター設備の故障に伴うバックアップ」により大阪工場の S2 では受注残解消が最優先事項となり、「再検査」の優先順位を下げざるを得ない状況となった。

#### C) 前述の理由により、今回の開発実証では「合計 766 枚」という目標を下回る不良画像取得に留まった。

- ・ 検証内容

外部要因により今回の開発実証期間中に得られた不良画像は「766枚」と予想を下回る枚数となったが、不良画像の枚数が不十分な場合の「不良画像の増幅方法」を、AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて検証した。

- ・ 検証結果

- ✓ 不良画像データ収集の効率化

まず、Deep Learning など機械学習を活用した画像処理の最も大きな難点の一つが「学習用の画像データ収集」と言われており、実際の本番環境と全く同一の環境で学習用の画像データを収集することが理想とされている。これは、画像処理照明の光量や周囲の自然光などの影響を考慮し、撮像条件を常に一定に保つことでベースとなる画像のゆらぎを最小化することが目的である。

しかし、多くの製造業現場では学習用の画像データ枚数が揃えられないという問題に直面する。その場合に、簡易的な「疑似環境」を作り出し、不良のあるサンプルの切り板をベルトコンベアなどで指定の速度で稼働させて学習用の画像データを収集する方法もある。ただし、この場合は撮像条件が本番環境と異なるので、検出精度に影響ないか検証する必要がある。

画像検査装置業界では、前述のような「疑似空間」を自社内に保有するなどして、疑似環境で画像データ収集を行う企業もある。今回の開発実証では、本番環境での画像データ収集に努めたが、今後も不良画像収集に時間を要してしまう場合には、疑似環境を持つ企業とパートナーシップ契約を締結して実証を続ける、或いは、不良画像データ収集のみを委託するなどの方法が考えられる。

- ✓ 不良画像の増幅方法

- ・ 手動での増幅方法

最も手軽な方法として、「ペイント機能などを使用して、手動で本物の不良と同じような模様を模倣する」という手法を用いられることもある。以下（図 4. 1. 5-13）の赤枠は手動で「打痕キズ」を模倣した画像である。



図 4. 1. 5-13) ペイント機能を使用して疑似的に不良を転写

これは不良画像が不足している場合に用いられる手法であるものの、「実際の不良画像とは異なるため、アルゴリズムの精度に悪影響」、「手動での作業となるため人手と時間が必要」などの理由から、あまり推奨される手法ではない。

- ・ GAN (Generative Adversarial Networks : 敵対的生成ネットワーク)

GAN は「教師なし学習」の手法の一つであり、画像を自動的に生成することができるアルゴリズムである。「生成モデル (Generator)」と「識別モデル (Distributor)」の 2 つのアルゴリズムを競わせることで、より精度の高い画像を生成するという手法で

ある。生成モデル(Generator)で生成された「偽物データ」を本物とラベル付けすることで、「識別モデル(Distributor)」が本物か偽物かを学習し、生成モデルと識別モデルの相互作用によってより精度の高い画像データを生成することができる。GANは専門性が高く、基本概念やアルゴリズムの中身を理解していないと、適切な画像データが生成できない場合のチューニングに手間がかかってしまうという難点もある。

- ・ 転移学習

ある領域で学習させた学習済みモデルを、別の領域で適応させる技術のことを「転移学習」と呼ぶ。一般的に膨大な教師データを必要とする画像認識AIアルゴリズム(主にDeep Learning)開発において、別の領域で既に学習させた学習済みモデルを適用させることで、少ない教師データの枚数でも楽手モデルを構築することができる。ただし、既に学習させた学習済みモデルと、これから学習させるモデルの共通点と相違点を明確化することで、アルゴリズムの精度を向上させることができる。共通点と相違点が明確化出来ていない場合、新しい学習モデルでは不必要な項目までパラメータに組み込まれるなどして、逆に精度低下を招く可能性もある。

今回の開発実証では時間的な制約の関係で、本開発実証の環境における適切な教師データの増幅方法を検証・確率するまでには至らなかったが、実環境での教師データの取得が困難な場合は、各種手法により教師データを増幅させること、或いは、少ない教師データであっても精度の高いモデルを構築する方法を確立することを検討したい。

### ③AI 解析に必要な前処理手法

- ・ 概要

一般的に画像処理AIの学習モデルを構築し物体検出の推論を実施させる際は、画像圧縮などの「前処理」を実施することによって適切な推論を実施することができる。

- ・ 検証内容

今回の開発実証では、8K ラインスキャンカメラで撮影された画像を bmp ファイルから jpeg ファイルに圧縮し、前処理 AI (Jetson AGX Xavier) で「良品と思われる画像」と「不良品の可能性が高い画像」に仕分けて AI サーバで推論させるという構成を取る。AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて、ローカル 5 G によって画像処理 AI を実装する際に最適な前処理手法を検証する。

- ・ 検証結果

A) 前処理 PC および前処理 AI での前処理機能について

前処理 PC では 8K ラインスキャンカメラで撮影された bmp 形式の画像データを PC 内の指定フォルダに一時保存し jpeg 形式に変換して、前処理 AI (Jetson AGX Xavier) に転送する機能を持つ。前処理 PC では前述の処理により、以下の通り画像の伝送容量が圧縮される。

①不良最小サイズ	0.1mm
②最大ラインスピード	100,000mm/min
③検査対象幅	1,600mm

④ラインスキャンカメラ画素数	8,192px(8K)
⑤片面ラインスキャンカメラ台数	2台(表裏面合計で4台)
⑥階調	8bit
⑦Jpeg 変換後の圧縮率	1/10
⑧前処理 AI での削減率 (想定)	1/10

表 4.1.5-5) 前処理における各種条件

- ⑨1カメラ当たりの有効撮像幅：800mm (=③/⑤)
- ⑩必要最小画素数：8,000px (=⑨/①) → 8,192px(8K)のカメラが必要
- ⑪画素サイズ : 0.0977mm (=⑨/④)
- ⑫秒間撮像回数 : 17,067ライン/sec (= (②/60sec)/⑪)
- ⑬表裏面合計のファイル容量 : 447.4Mbps (=④\*(⑤\*2)\*⑥\*⑫/1,000,000)
- ⑭前処理 AI 処理後のファイル容量：44.7Mbps (=⑬\*⑧)

以上により、前処理 AI で処理した後にローカル 5 G で伝送されるファイル容量は「44.7Mbps」と想定される。但し、後述 (項目 4.1.5-(B)) の前処理 AI (Jetson AGX Xavier) での処理に応じて「⑧前処理 AI での削減率 (想定)」が変動する。

#### B) 前処理 AI (Jetson AGX Xavier) での前処理 (画像圧縮②)

今回の開発実証における前処理 AI (Jetson AGX Xavier) では、鋼板表裏面それぞれの前処理 PC から jpeg ファイルが伝送される構成となっており、「不良だと疑わしい画像を抽出して、AI サーバに伝送する」という役割を持つ。

前処理 PC から送られてきた jpeg ファイルにおいて「不良の可能性が高いか (=良品の可能性が低いか)」という二値分類を適用する。その後、不良の可能性が高い jpeg ファイルのみを指定フォルダ内に保存し、AI サーバに伝送させる。「打痕」のように鋼板の表面で疎らに発生する不良の場合、良品画像については AI サーバに伝送されないため、AI サーバに伝送されるファイル容量が削減される。

今回の開発実証では、項目 4.1.5-(A) と項目 4.1.5-(B) の 2 種類の前処理を適用させることにより、「不要なデータを削減し、AI サーバに伝送させるべき画像データのみを伝送する」という構成を取ることとした。

#### ④最適な画像解析手法やアルゴリズム

##### ・概要

一般的な画像処理検査の場合は、一定の閾値を設定して品質不良を検知するという手法を用いる。今回の 8K ラインスキャンカメラで撮影された画像は 8bit カラー/256 階調で識別されるため、8bit カラーの中で閾値を設定することで閾値を下回った画像を不良画像として認識させることができる。

##### ・検証内容

今回の開発実証では、一般的な画像処理 AI アルゴリズムである Deep Learning の中でも、画像処理領域で実績豊富な「CNN (Convolution Neural Network)」と呼ばれる機械学習手法を用いる。CNN の他に実装できる可能性のある画像解析手法を、AI 開発を担当した株式会社フツパーおよび 8K ラインスキャンカメラや画像処理照明の調達、設置を担当した株式会社中央

電機計器製作所を交えて検証する。「検証項目 4.1.5-⑩」と分けて、本項目では従来の画像処理手法との比較について検証する。

・ 検証結果

A) 既存のキズ検査装置

鋼板やロール状の製品の外観品質を検査するための既存のキズ検査装置は日本国内外で販売されている。サミットスチール大阪工場でも、S2にキズ検査装置（図4.1.5-14の赤枠）を導入している。

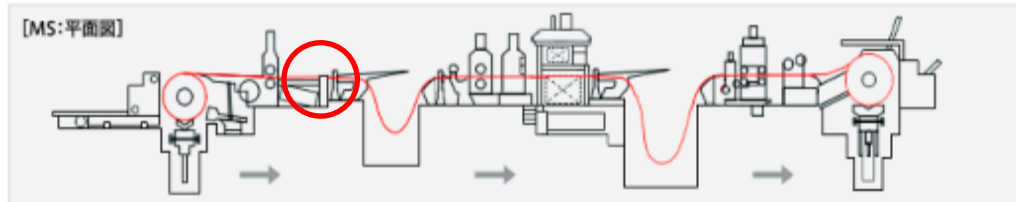


図 4.1.5-14) 既存の検査装置が設置されている箇所

既存のキズ検査装置は以下（図4.1.5-15 参考）のように、表面のみにカメラ2台を導入しており、裏面の検査が出来ない構成となっている。



図 4.1.5-15) 既存の検査装置

また、既存のキズ検査装置はスリット加工前の工程に設置されているため、加工後に発生した不良は検出できない。つまり、仕入先に起因する不良に関して表面のみ検出することはできるが、サミットスチール大阪工場に起因する不良で表裏面両方の不良を検出することはできない。

今回の開発実証で導入した課題解決システムは、これまでの課題であった「加工後」且つ「表裏面」の不良を検出する構成となっている。

サミットスチール大阪工場のS2に設置されている既存のキズ検査装置など一般的なキズ検査装置では手動で閾値を設定する必要がある。閾値を超えたキズが発生した場合に不良判定をするものになるが、新たに発生した不良を学習することができず設定された閾値を基準に「良品か、不良か」の判定するものになる。

B) AI サーバでの処理

今回の開発実証では、画像処理で実績のある「CNN」を使用している。CNN とは、Deep Learning の手法の一つであり、日本語では「畳み込みニューラルネットワーク」と呼ばれる。

CNN では画像を一定の大きさに分割し「領域ごとの特徴の傾向」を捉えることで、その画像がどのような画像なのかを識別することができる。例えば、「32 画素×32 画素」の画像（図 4.1.5-16）を 1 画素毎に特徴を捉えるのではなく、「5 画素×5 画素」の領域（図 4.1.5-17）を定めて、一定の幅で「5 画素×5 画素」の領域をスライドすることで特徴を識別する。

図 4.1.5-16) 32 画素×32 画素で「1」を表現した画像

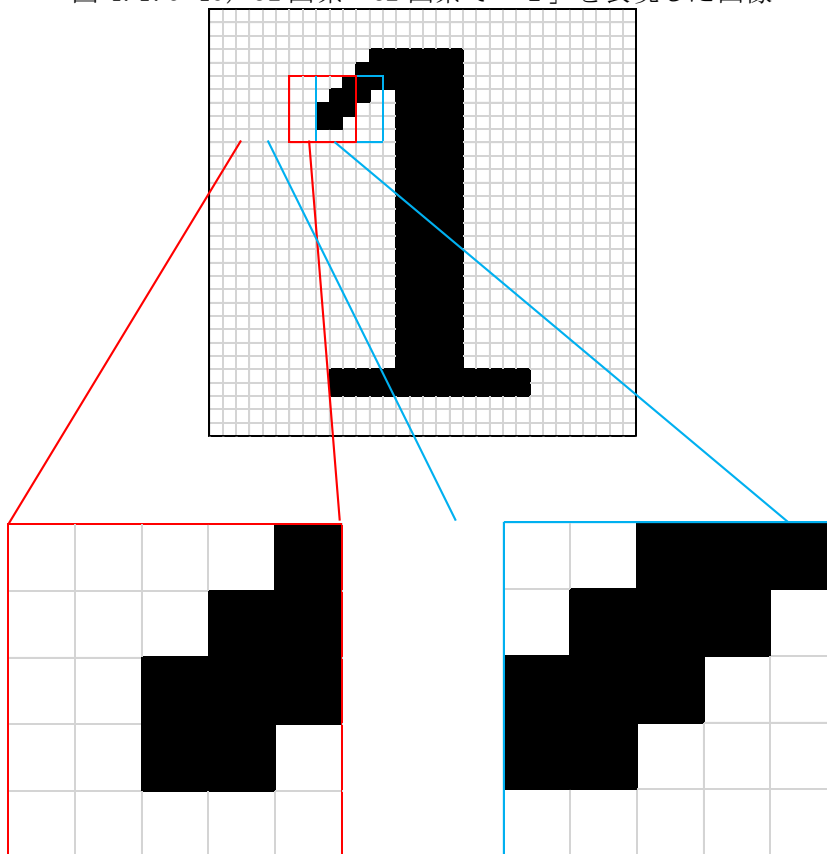


図 4.1.5-17) 5 画素×5 画素の領域で分割した画像

特定の領域で分割することで、例えば「『1』という文字の書き出しは、左下から右上にかけて線が延びる」という特徴を掴むことができる。局所的な特徴だけではなく、一定の大きさに分割した領域の特徴を重ね合わせて（＝「畳み込み」）画像の特徴を識別するという利点を活かすことで、CNN は画像処理分野で多くの実績を持つ。

今回の開発実証においても、良品画像と不良画像を教師データとして学習させることにより、良品と不良の双方の特徴を識別して判定させることとした。

#### ⑤判定速度

- ・ 概要



8K ラインスキャンカメラで画像を撮影してから AI サーバに実装された AI アルゴリズムで不良有無を判定させるまでに、前処理 PC や前処理 AI の処理能力制限によるタイムラグが発生する。

・ 検証内容

今回の開発実証に使用する Jetson AGX Xavier は 8つのコアを搭載する「マルチコア」の構成となっており、OS 起動や画像処理など CPU での実行処理を各コアに分散させている。AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて、分散させるコアの処理能力の最適化による判定速度の変化を検証する。

・ 検証結果

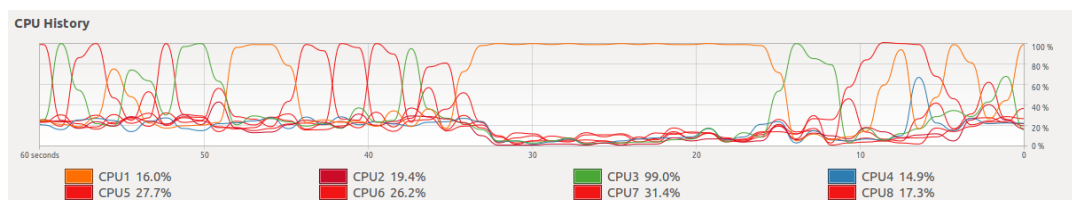


図 4.1.5-18) Jetson AGX Xavier の初期設定

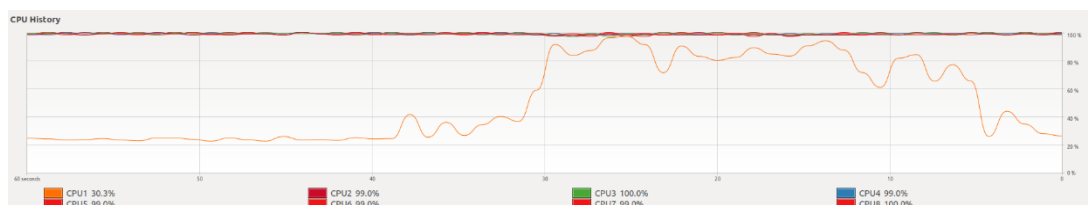


図 4.1.5-19) Jetson AGX Xavier で各コアの処理能力を最大化

Jetson AGX Xavier は CPU が 8つのコアで構成されており、それぞれが処理能力を分散させるように PC 内の処理を実行させている。これは各コアにかかる処理の負荷を分散させるというメリットはあるものの、意図的に処理能力を落とす仕様としているため、最大限の処理能力が発揮されないというデメリットもある(図 4.1.5-18 参照)。今回の開発実証では 8K ラインスキャンカメラで撮影した高精細画像の処理が必要になるため、処理能力を最大化するために「マルチコアの最適化」という手法を用いて複数のコアの処理能力を並行して最大化するという手法を用いた。図 4.1.5-19 のように、CPU1 のみ OS の実行処理に使用し、残り 7つのコアを画像処理のために常時高い処理能力を確保するような設定をとることで、Jetson の CPU の処理速度に依存しない課題解決システムの構築を実装した。

⑥ 過検知率&見逃し率(偽陰性検証)

・ 概要

画像処理 AI などの機械学習の評価指標として「混合同列」と呼ばれる評価指標がある。これは、複数のキズ画像を AI に学習させ、新しい画像に「キズがあるかどうか」を予測する場合に、予測結果を以下 4つの分類に分けたものである。

- ・ 真陽性 (True Positive) : AI の予測は「キズがある」、結果は「キズがある」
- ・ 真陰性 (True Negative) : AI の予測は「キズがない」、結果に「キズがない」
- ・ 偽陽性 (False Positive) : AI の予測は「キズがある」、結果は「キズがない」

- ・偽陰性 (False Negative) : AI の予測は「キズがない」、結果は「キズがある」
- ・検証内容  
真陽性および真陰性は予測と結果が一致している一方で、偽陽性と偽陰性は予測と結果が一致していない。つまり、真陽性率と真陰性率が高く、偽陽性率と偽陰性率が低いことが良い AI モデルの条件となる。開発実証期間中は、各分類項目の割合を計測するとともに、偽陽性率および偽陰性率の割合を下げられる施策を、AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて検討する。尚、今回の開発実証では、良品画像 1,042 枚、不良画像 766 枚を以下 (表 4.1.5-6) のように学習データ、テストデータ①、テストデータ②に分割した。

(単位:枚)	良品画像	不良画像	合計
教師データ	841	618	1,459
テストデータ①	150	107	257
テストデータ②	51	41	92
合計	1,042	766	1,808

表 4.1.5-6) 学習モデル用に用意した画像データ枚数

- ・検証結果  
テストデータ②を用いて検証した結果は以下 (図 4.1.5-20) の通り。良品画像は「0」、不良画像は「1」で表示されている。

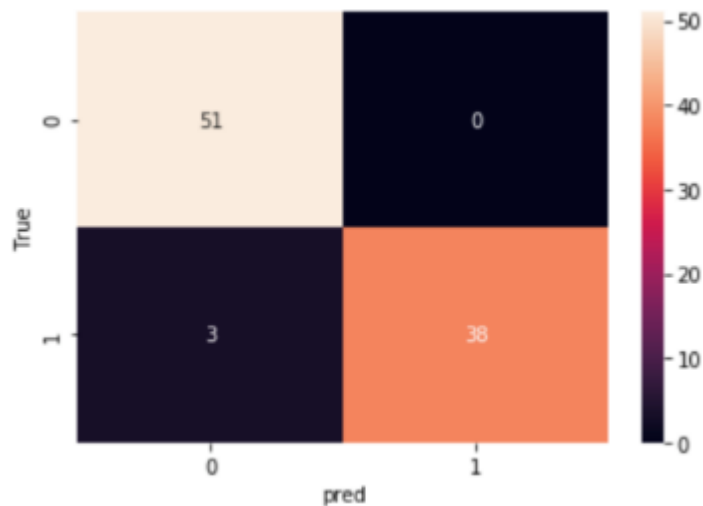


図 4.1.5-20) テストデータを用いて作成した混同行列 (AI による検知精度)

- ・真陽性 (True Positive) : 51 枚 (左上)
- ・真陰性 (True Negative) : 38 枚 (右下)
- ・偽陽性 (False Positive) : 0 枚 (右上)
- ・偽陰性 (False Negative) : 3 枚 (左下)

AI アルゴリズムの精度は  $(\text{真陽性の枚数} + \text{真陰性の枚数}) / (\text{テストデータ②の枚数})$  で計算できるため、この学習モデルのテストデータ②を使った検証の精度は「96.7%」となる。

また、更に各種パラメータを調整して学習データおよびテストデータを組み替えてアルゴリズムの検出精度を出したものが図 4.1.5-21 である。良品画像 109 枚、不良画像 96 枚でテスト実行し、検出精度 98.8%となった。

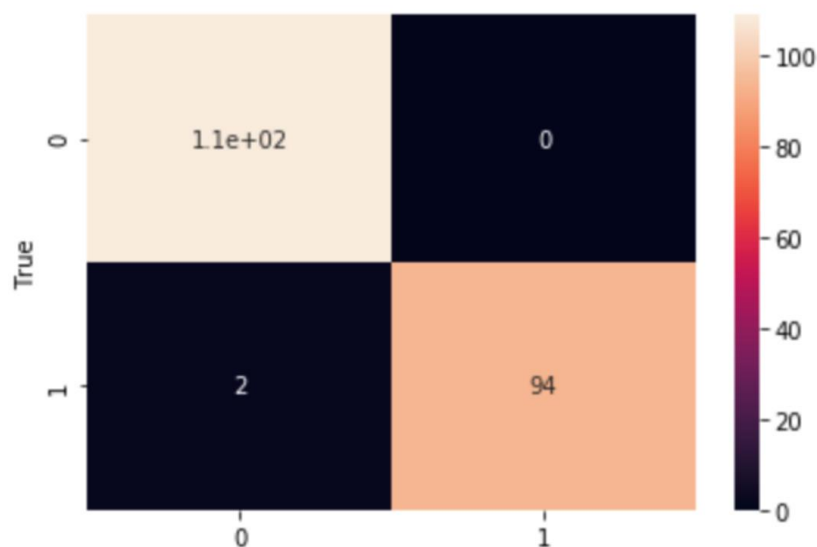


図 4.1.5-21) パラメータ調整後の学習モデル用いた検証結果

以下は、本番環境での検証結果であり、全て「良品 (OK)」である画像を AI で判定させた結果である。本検証中は「不良 (NG)」のスリットコイルがなく、AI で判定させた場合、全て「良品 (OK)」と出る必要がある。尚、表 4.1.5-7～表 4.1.5-12 の横軸が実際の良品・不良品の判定結果であり、縦軸が学習モデルによる良品・不良品の判定結果である。(左上：真陽性、左下：偽陰性、右上：偽陽性、右下：真陰性)

	OK	NG
OK	618	0
NG	63	0

表 4.1.5-7) カラー鋼板 (黄色)

	OK	NG
OK	0	0
NG	1,008	0

表 4.1.5-10) ステンレス鋼板 1

	OK	NG
OK	810	0
NG	215	0

表 4.1.5-8) カラー鋼板 (茶色)

	OK	NG
OK	0	0
NG	1,007	

表 4.1.5-11) ステンレス鋼板 2

	OK	NG
OK	503	0
NG	781	0

表 4.1.5-9) カラー鋼板 (緑色)

	OK	NG
OK	167	0
NG	52	

表 4.1.5-12) ステンレス鋼板 3

- 表 4.1.5-7 : 検知率「90.75%」
- 表 4.1.5-8 : 検知率「79.02%」
- 表 4.1.5-9 : 検知率「39.17%」

- 表 4.1.5-10 : 検知率「00.00%」
- 表 4.1.5-11 : 検知率「00.00%」
- 表 4.1.5-12 : 検知率「23.24%」

今回の開発実証では、主にカラー鋼板（黄色）の不良画像データが収集できたため、同じ素地である鋼板での検知精度は高水準となった。約10%の見逃しもあるが、これはアルゴリズム内にある閾値を調整することで見逃しを抑制することは可能。

一方で、今回の開発実証で不良画像データ収集が不十分であったステンレス鋼板については、良品であるにも関わらず全ての枚数を不良と判断してしまうという結果であった。これは製品幅や光量など原因が考えられるが、不良画像データを数千枚集めることで精度を向上することが見込まれる。

#### ⑦AI アルゴリズム開発頻度

##### ・概要

一般的な AI アルゴリズムの開発では、同じ機械学習の手法であったとしても複数のアルゴリズムを並列で実装させ、判定させる対象物に応じて推論モデルを入れ替えながら最適な推論モデルを提供し判定精度を高めるという手法を取る。但し、複数の推論モデルを実装させた場合、AI サーバ側の CPU やメモリーに負荷がかかり、実運用に耐えられないという問題が発生する可能性もあるため、状況に応じた AI アルゴリズムの開発頻度が求められる。

##### ・検証内容

今回の開発実証では、一般的な画像処理 AI アルゴリズムである Deep Learning の中でも、画像処理領域で実績豊富な「CNN (Convolution Neural Network)」と呼ばれる機械学習手法を用いる。AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて、CNN を用いて AI アルゴリズムを作成する場合において、対象物や不良分類と言った様々な要素から AI アルゴリズムの開発頻度を検証する。

##### ・検証結果

##### A) キズ種類

今回の開発実証では、再検査対象となっていた「打痕（図 4.1.5-22）」と「擦りキズ（図 4.1.5-23）」の主に 2 種類の不良画像を収集することができた。この 2 つの不良は、サミットスチール大阪工場でも特に発生頻度の高い不良で、不良画像データ収集も比較的容易である。

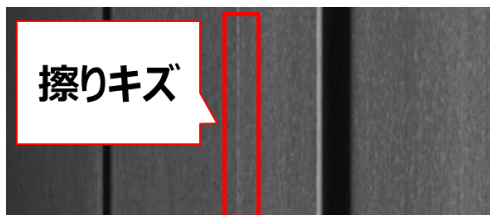


図 4.1.5-22) 擦りキズ



図 4.1.5-23) 打痕不良

但し、サミットスチール大阪工場では、「打痕」や「擦りキズ」の他に発生頻度の低い様々な不良が発生する。輸送中に発生したと思われる不良の一つである「へげ（図 4.1.5-24）」や、仕入先起因と思われる不良の一つである「腰折れ（図 4.1.5-25）」など、不良の種類に応じてアルゴリズムを開発する必要性も指摘される。

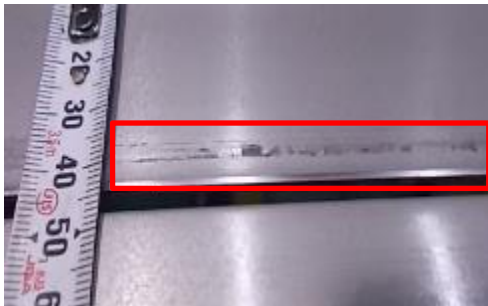


図 4.1.5-24) へげ不良



図 4.1.5-25) 腰折れ

#### B) 母材コイルの種類

サミットスチール大阪工場の S2 では、「項目 4.1.5-①-(C)」の通り、様々な種類の母材コイルを加工しているが、同じ光量でも母材コイルの素地によって明るさが異なるという事象が発生する。(図 4.1.5-26) と (図 4.1.5-27) の通り、素地が白いカラー鋼板に比べ素地が黒い酸洗鋼板は光量「600」でも暗く映る。



図 4.1.5-26) 光量「600」で撮影したカラー鋼板



図 4.1.5-27) 光量「600」で撮影した酸洗鋼板

#### C) 母材幅

S2 の設備制約上、加工可能な母材コイルの幅は最大 1,350mm と設定されているが、幅 500mm 程度の母材コイルも加工することがある。画像のどこまでが鋼板で、どこまでが鋼板ではない部分かを学習させることで、不要な部分は判定には無関係であることを学習させることが精度向上につながる可能性がある。

#### D) スリットコイル毎の間隔

S2 で加工される製品はスリットコイル毎の間隔が一定ではなく、製品の性質に応じてスリットコイルどうしの間隔を変えている (図 4.1.5-28)。学習モデルが特定の間隔を良品と認識している場合、間隔が「広がる」或いは「狭まる」場合であったとしても不良ではないと学習させる必要がある。

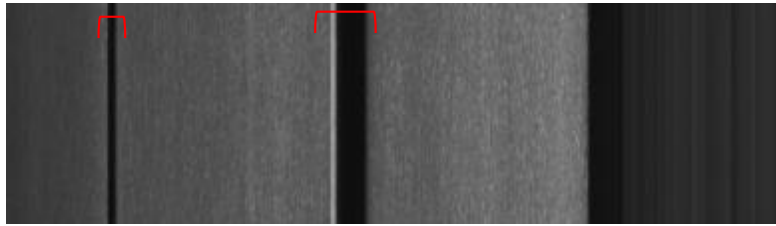


図 4.1.5-28) スリットコイルどうしの間隔が異なる画像

今回の開発実証では、実証期間の制約と不良画像の枚数が少量であったことから1つのアルゴリズムで検証を実施したが、(A)～(D)の要素およびその他の要因を考慮してアルゴリズムを分けることが精度向上につながる可能性も示唆する。

#### ⑧ ラインスキャンカメラとエリアカメラの比較

##### ・概要

一般的な画像処理では、エリアカメラと呼ばれる特定の場所を撮影するカメラを用いられる。ただし、高速で移動する対象物を撮影する場合には、移動体の画像処理に強みを持つ「ラインスキャンカメラ」という特殊なカメラが使用される。ラインスキャンカメラだけでなくエリアカメラも画像処理に用いられる。

##### ・検証内容

今回の開発実証では、高速で移動する鋼板を撮影するためにラインスキャンカメラを使用するが、ラインスキャンカメラとエリアカメラを用いた際のメリットおよびデメリットにつき、ラインスキャンカメラや画像照明の調達、設置を担当した株式会社中央電機計器製作所を交えて検証する。

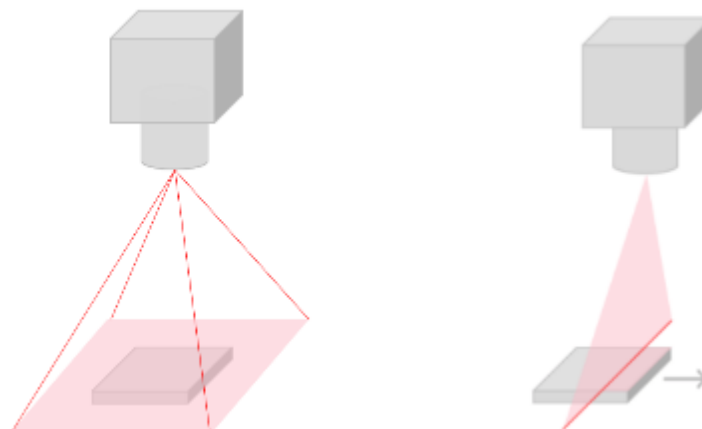


図 4.1.5-29) エリアカメラ(右)とラインスキャンカメラ(左)のイメージ図

##### ・検証結果

##### A) ラインスキャンカメラ

まず今回の開発実証では、カメラを取り付けるためのスペースに制約があり、且つ、裏面に関しては幅約20mmの隙間(図4.1.5-30の黄色点線)から撮影することが必要である。

その為、今回導入する課題解決システムにおいては、設備制約上エリアカメラは適さない。

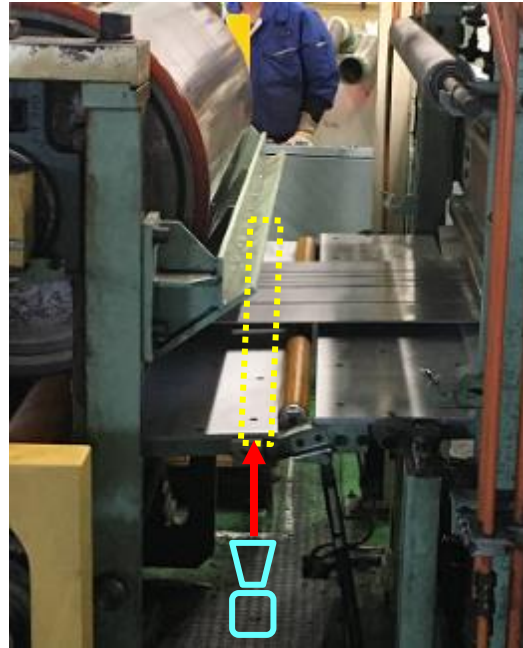


図 4.1.5-30) 鋼板裏面からの撮影イメージ

B) エリアカメラ

ラインカメラに比べて対応できる速度は遅く、100m/min.程の高速で移動する対象物の撮影には適さない。また、レンズの仕様によりひずみの影響が起きやすく、横方向(=幅方向)のみならず縦横両方(=流れ方向も)の画像の「ひずみ」が発生してしまうというデメリットも持つ。今回の開発実証では、撮影可能なスペースや撮影対象物が高速で移動するという特徴を考慮して、ラインスキャンカメラでの撮影が最適であるとする。

⑧課題実証としての無線品質評価

・ 検証内容

「目視検査の自動化」と「遠隔作業支援」という2つの課題解決システムを同時にローカル5G環境下で運用した際に、「目視検査の自動化」における判定速度から結果表示までの時間を1つの課題解決システムのみを運用した際の時間と比較検証を実施する。

・ 検証結果

今回は、以下図4.1.5-31の星印の箇所で「目視検査の自動化」と「遠隔作業支援」の2つの課題解決システムにそれぞれ端末を取り付けて測定を実施した。尚、星印の箇所は「目視検査の自動化」の課題解決システムでサーバラックが設置されている位置である。

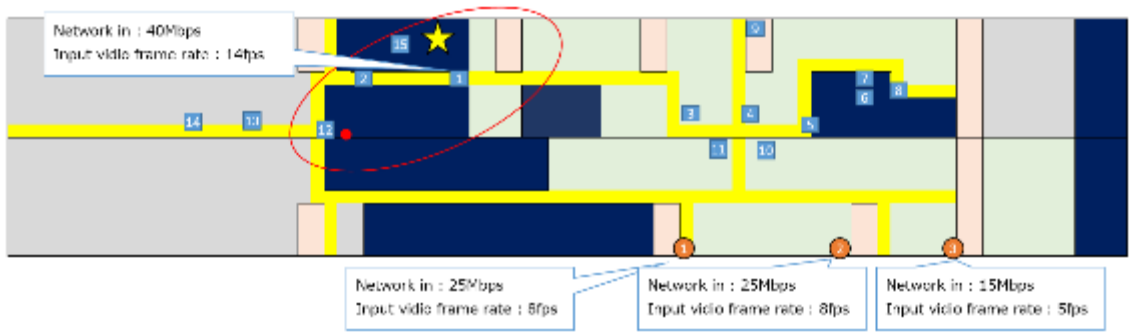


図 4. 1. 5-31) 工場内の測定ポイント

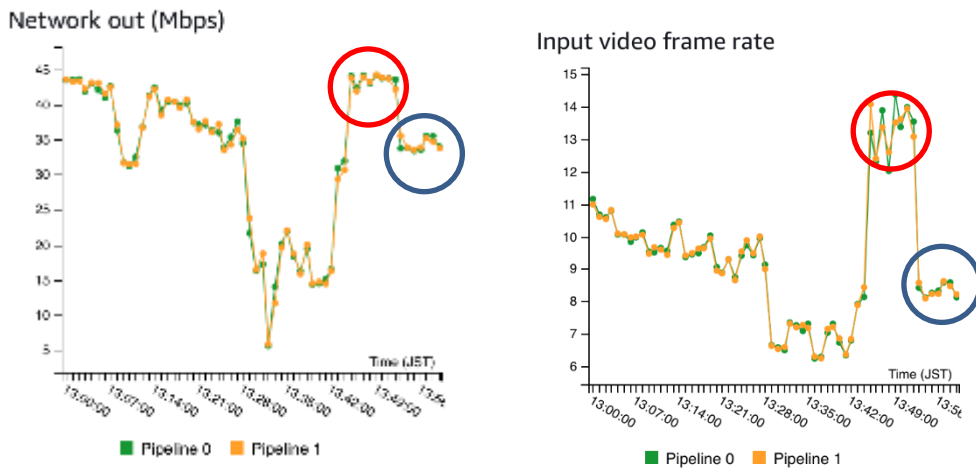


図 4. 1. 5-32) AWS MediaLive の Health 機能抜粋 (伝送容量+フレームレート)

図 4. 1. 5-32 の赤枠は、「遠隔作業員支援」で使用する課題解決システムのみを起動させた場合の伝送容量及びフレームレートである。この場合、「伝送容量45Mbps、フレームレート 14fps」という通信品質であることが分かる。

一方で青枠は、「目視検査の自動化」で使用する課題解決システムと「遠隔作業員支援」で使用する課題解決システムを同時に起動させた場合の伝送容量とフレームレートである。この場合、「遠隔作業員支援」の「伝送容量35Mbps、フレームレート 9fps」程度まで通信品質が下がることが分かる。なお、この場合、「遠隔作業員支援」では4K映像を配信し続けているが、「目視検査の自動化」では8K ラインスキャンカメラで撮影した高精細映像を伝送していない。

また、図 4. 1. 5-33 は、「目視検査の自動化」で使用する課題解決システムと「遠隔作業員支援」で使用する課題解決システムの両方を起動させた後、「目視検査の自動化」で使用する前処理 AI から 181MB (約 300 枚) の画像データを AI サーバへ伝送した際の伝送容量および転送するために費やした時間を表している。



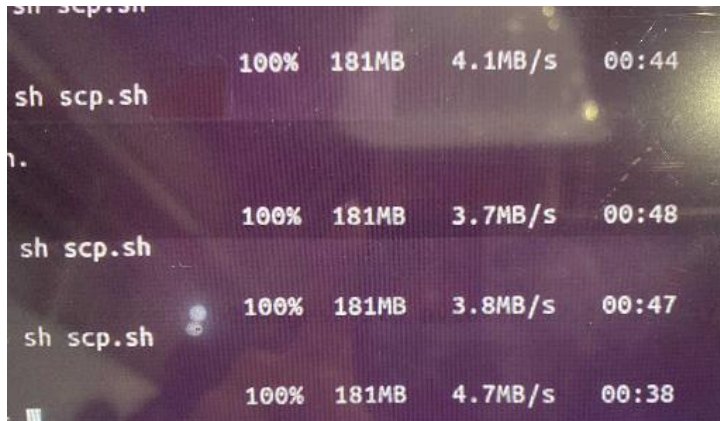


図 4. 1. 5-33) 前処理 AI から AI サーバへのデータ伝送速度検証

数回に渡り、同じデータセットを前処理 AI から AI サーバへ伝送させたが、3.7~4.7MB/s (= 29.6~37.6Mbps) 程度の伝送容量であることが分かる。同時間帯に「遠隔作業支援」で測定した通信品質の推移を図 4. 1. 5-34 に示す。

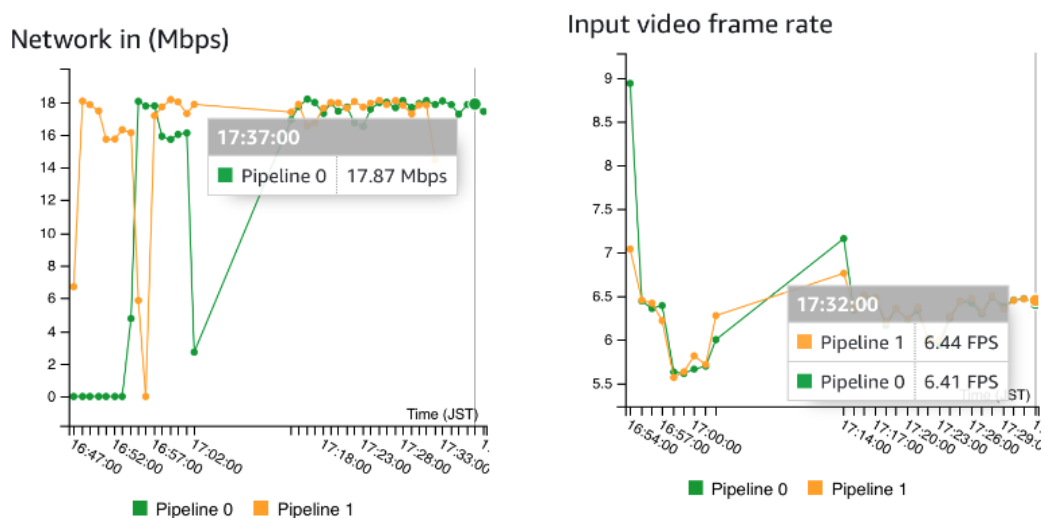


図 4. 1. 5-34) 「目視検査の自動化」使用中の AWS MediaLive の通信品質

ここでは「目視検査の自動化」で使用する課題解決システムで画像を転送した後に「伝送容量 18Mbps、フレームレート 6.4fps」という通信品質であることが分かる。それぞれの結果を以下表 4. 1. 5-13) に纏める。

	伝送容量	フレームレート
遠隔作業支援のみ	45Mbps	14fps
両方起動(画像伝送前)	30Mbps	9.0fps
両方起動(画像伝送後)	18Mbps	6.4fps

表 4. 1. 5-13) AWS MediaLive の伝送容量およびフレームレート纏め

以上により、本環境における最大の伝送容量は約 50Mbps であり、2つの課題解決システムを同時に稼働させた場合は、「目視検査の自動化：30Mbps」と「遠隔作業支援：20Mbps」程度で分割されることものと推測される。項目 4. 1. 5-③において、「前処理 AI で画像が 1/10 に圧

縮されることで 44.7Mbps という伝送容量となる」としていたが、2つの課題解決システムを遅滞なく動作させるためには、更に 1/3 程度の画像削減が必要になるものと推測される。

#### ⑨ オンプレミスとクラウドの比較

##### ・概要

画像処理領域など AI アルゴリズムを実装する場合には、特定領域のネットワークだけで処理を完結させるオンプレミスと、インターネットを経由して AWS などのクラウドサービスを使用する場合に分けられる。

##### ・検証内容

今回の開発実証では、AI サーバとして用いる Jetson AGX Xavier を大阪工場の電算室に設置し、オンプレミス環境での開発実証を実施する。これは、自社のデータをインターネットという公の環境に保存することに消極的な製造業の慣習に配慮したものであるが、オンプレミス環境とクラウドサービスそれぞれのメリットとデメリットを、AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて検証する。

##### ・検証結果

###### A) オンプレミス

製造業においては、自社データの外部流出リスクを最小限に抑えるためにオンプレミスで自社サーバでのサービス開発が好まれる傾向にある。特に自動車業界では、自社の開発情報や PSI (Purchase: 購買, Sales: 販売, Inventory: 在庫) 情報など外部流出しないようにオンプレミスでのサービス開発が主流となっている。今回の開発実証では、「製造業現場で撮影された品質に関わる画像データ」を使用するというので、製造業現場のニーズを満たすべくオンプレミス環境での開発とした。

###### B) クラウド

AWS (Amazon Web Service) を始め、Azure や GCP (Google Cloud Platform) など様々なクラウドサービスがリリースされている。将来的な横展開可能性を考慮した場合、クラウドサービスを活用することも視野に入れる必要がある。検出された不良の有無を確認する担当者は主に現場の作業員や大阪工場に常駐している品質管理チームのメンバーということもあり、本課題解決システムは、「工場内で発生した不良を、工場内で確認する」という目的で構築されたシステムであるため、サミットスチール大阪工場内の閉じられたネットワークで活用されている。今後、大阪工場のみならず、サミットスチール大阪本社や他拠点、或いは社外取引先からも「大阪工場で発生した不良の状態を確認したい」というような需要が増加した場合、閉じられたネットワークであるオンプレミスではなく、クラウドサービスを活用することで横展開可能性を広げることができる。

また、オンプレミスの場合は、AI アルゴリズムを改修した際にソリューションベンダーが大阪工場に訪問して新たに作成した AI アルゴリズムを現場のサーバに実装する必要がある。この場合、大阪工場への移動時間や実装のために時間を要してしまう。本開発実証においても、アルゴリズムを調整する場合にソリューションベンダーである(株)フツパーが大阪工場に訪れ、同社の PC で回収した AI アルゴリズムを AI サーバに移植するという実装手法を取った。

クラウドサービスの場合、インターネットを経由すれば移動や実装に時間をかけず AI アルゴリズムを改修することができるため、将来的な横展開や保守運用のニーズを捉えてクラウドサービスの活用も検討すべき課題である。

#### ⑩ Deep Learning とその他アルゴリズムの比較

##### ・概要

前述（検証項目 4.1.5-④）の通り、今回の開発実証では、一般的な画像処理 AI アルゴリズムである Deep Learning の中でも、画像処理領域で実績豊富な「CNN（Convolution Neural Network）」と呼ばれる機械学習手法を用いる。CNN に限らず、画像処理 AI 開発では、VAE (Variational Autoencoder) 等複数の手法が存在する。

##### ・検証内容

今回の開発実証で使用する AI アルゴリズムである CNN 以外に検査対象物や現場環境に合わせて別のアルゴリズム手法が主に VAE を活用できないか、AI 開発を担当した株式会社フツパーを交えて検討する。

##### ・検証結果

VAE とは、Deep Learning を活用した画像生成アルゴリズムの手法の一つであり、「正常品だけを学習する異常検知」である。VAE は主にエンコーダー、潜在変数、デコーダーによって構成されており、良品画像を学習データとして用いる。学習データの特徴をエンコーダーで圧縮した潜在変数を基に、デコーダーで学習データと同じような画像を生成するという学習モデルを構築する。良品画像を基に学習させた学習モデルに対して不良画像を投入すると、不良箇所の再現が出来ずキズの無い良品画像を生成してしまう。投入した不良画像データと生成した良品画像データの差分を比較して、異常箇所を判定させるという異常検知手法を取る。VAE の利点としては、「不良画像が少ない場合に良品画像のみを学習させることで学習モデルを構築することができる」という点がある。今回の開発実証のように、不良画像データの取得が当初計画ほど進まない場合、良品画像のみで学習させることができる。ただし、学習させたデータから少しでも差分が発生した場合は「不良である」という認識をさせてしまうため、「どのような画像を良品画像として学習させるか」という良品データの選定は重要なプロセスになる。

#### 4.1.6. 課題解決システムに関する運用検証

あらかじめ実運用を想定して運用作業の洗い出しを行い、運用検証を実施する。実証を通じて、運用面に関する課題の抽出・解決策の検討を行う。特に、検査の自動化等に伴うオペレーションの変更や改善策、工場の機器の保守や情報システムへの影響等を明らかにするとともに、今後、他拠点の工場やほかの製造現場にローカル 5 G を活用した課題解決システムを導入するにあたり、新たに自動化することによる工場の現場管理者や運用者が取り組むべき安全対策、リスク低減策、運用方法などを網羅的に検討する。検討にあたっては、他の製造現場への汎用性・拡張性にも配慮する。具体的な検証項目及び検証手法を下表（表 4.1.6-1）に示す。

検証項目	概要	検証手法
① 危険作業の改善	危険作業が無くなり安全性が増すか。	作業員へのアンケート

② 現場の機器習熟難易度	機器を入れただけで使いこなせない可能性あり。全員共通の使い方マスター。UIの使用感。	作業者へのアンケート
③ 作業への影響	カメラ・ライト・有線ケーブルなど新規機器が作業の邪魔にならないか。	作業者へのアンケート
④ 保守運用の難易度(ソフト側)	アルゴリズムについて、誰が、どのタイミングで、どこまでの責任範囲で、どんな作業が必要か。	作業者へのアンケート、及び現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑤ 保守運用の難易度(ハード側)	カメラやライトについて、壊れた場合の補修などは誰に、どのような頻度で頼めば良いのか。	作業者へのアンケート、及び現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑥ 汎用性	サミットスチールその他ラインや他コイルセンターにも適応できるかどうか。	作業者へのアンケート、及び現地におけるソリューションベンダーとの会話
⑦ 使用感	現場作業者が「どうしても使いたい」と思うかどうか。使用感における課題と解決策等	作業者へのアンケート

表 4.1.6-1) 具体的な検証項目及び検証手法 (想定)

運用検証を実施するために、サミットスチール大阪工場の S2 の作業員や品質管理チームを中心にアンケート調査を実施し、本課題実証システムの工場現場での実用性を調査する。アンケート項目は以下 (表 4.1.6-2) の通り。

■実証実験について

本システムをどれくらい他者に薦めたいですか？	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td><td style="text-align: center;">⑥</td><td style="text-align: center;">⑦</td><td style="text-align: center;">⑧</td><td style="text-align: center;">⑨</td><td style="text-align: center;">⑩</td> </tr> <tr> <td colspan="10" style="text-align: center;">薦めたくない ← 薦めたい</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	薦めたくない ← 薦めたい									
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩												
薦めたくない ← 薦めたい																					
機器の操作性 (使いやすさ)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">使いにくい ← 使いやすい</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	使いにくい ← 使いやすい					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
使いにくい ← 使いやすい																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					
画面の操作性	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">使いにくい ← 使いやすい</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	使いにくい ← 使いやすい					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
使いにくい ← 使いやすい																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					
不良画像の見やすさ (画像が鮮明か)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">見にくい ← 見やすい</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	見にくい ← 見やすい					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
見にくい ← 見やすい																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					
品質確認の難易度頻度 (品質確認業務で使いやすいか)	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">易しい ← 難しい</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	易しい ← 難しい					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
易しい ← 難しい																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					
既存作業への影響	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">悪化 ← 改善</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	悪化 ← 改善					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
悪化 ← 改善																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					
危険の軽減	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">悪化 ← 改善</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	悪化 ← 改善					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
悪化 ← 改善																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					
身体的負担の軽減	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">①</td><td style="text-align: center;">②</td><td style="text-align: center;">③</td><td style="text-align: center;">④</td><td style="text-align: center;">⑤</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">悪化 ← 改善</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">(ご意見・ご感想をご記入ください)</td> </tr> </table>	①	②	③	④	⑤	悪化 ← 改善					(ご意見・ご感想をご記入ください)									
①	②	③	④	⑤																	
悪化 ← 改善																					
(ご意見・ご感想をご記入ください)																					

表 4.1.6-2) 具体的なアンケート項目

今回の開発実証では、課題開発システムを導入したサミットスチール大阪工場のS2の作業者を対象にアンケート調査を実施し、本課題実証システムに対する創業評価を10点満点で、各項目への評価を5点満点で評価した結果が表4.1.6-である。

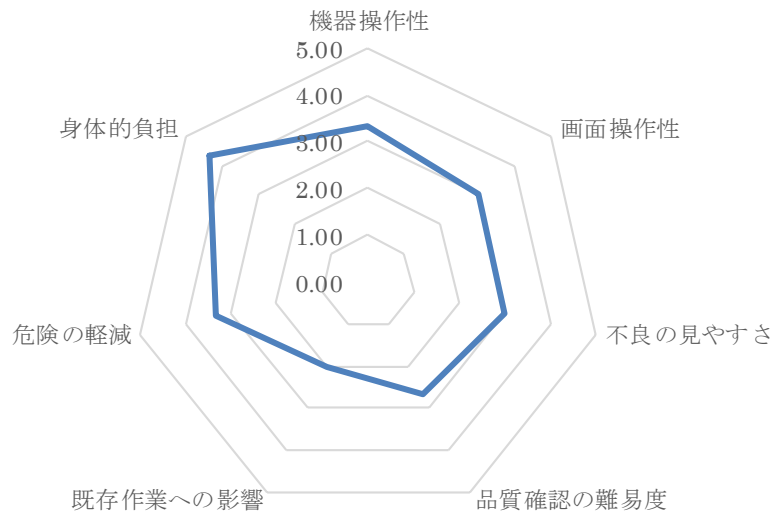


表 4.1.6-3) 大阪工場作業員へのアンケート結果

### ①危険作業の削減

#### ・概要

スチールサービスセンターの目視検査は安全基準に則った作業であるものの、稼働中のラインに近づくというリスクを伴う作業である。ローカル5GとAIを活用した課題解決システムを導入することで、作業員が加工中のコイルに近づく機会を削減し、安全なオペレーションを担保することを目標とし、AIを活用した鋼板キズ検査装置の導入前後でのオペレーションの変化を検証する。また、新たに自動化することによる工場の現場管理者や運用者が取り組むべき安全対策、リスク低減策、運用方法など、運用上の課題の抽出、及び改善策を検討する。

#### ・検証内容

サミットスチール大阪工場のS2の作業員を中心にアンケート調査およびインタビューを実施することで、本課題実証システムが危険作業の軽減に繋がるかを確認する。

#### ・検証結果

サミットスチール大阪工場のS2作業員へのアンケートの結果、「危険の軽減」は「3.33点（5点満点）」であり、3人全員が3点以上を付けた。以下のコメントがあった。

- 「精度が上がって目視で見なくて良いのであれば、危険作業はなくなると思う。」
- 「今の画像では映りが悪くキズが見えないのではないかと。一部の製品の目視検査はなくなるが、結局変わらない気がする。」

鋼板に近づくオペレーションを少しでも削減することができれば「危険作業の軽減」につながることへの期待感は大いである。加えて、身体的負荷のかかる姿勢での作業を軽減させることへの期待も感じている。

### ②熟練技術の汎用化

#### ・概要

鋼板表裏面の視検査には微細なキズを見分ける技術力が必要になる。高精細画像伝送及び AI 活用により目視検査を自動化することによって、熟練技術を誰でも出来るような作業として汎用化し、技術継承の課題を解決できるかを検証する。

- ・ 検証内容

サミットスチール大阪工場の S2 の作業者を中心にアンケート調査およびインタビューを実施することで、目視で細かなキズを見るという経験豊富な作業者に立ったオペレーションが、本課題実証システムを導入することによって汎用化に寄与するか検証する。

- ・ 検証結果

サミットスチール大阪工場の工場長や品質管理チーム担当者、S2 の作業者にインタビューを実施したところ以下のコメント。

- 「部品メーカーのように職人が工作機械の微妙なズレを見ながら加工をするものではないので、熟練技術が必要かと問われたら疑問。」
- 「熟練技術ではないかもしれないが、確かに 1 日の研修ですぐに現場で検査ができるものではない。経験に頼っている部分は大いにあり得る。」
- 「『人の目を介さない検査』が最終形。コイルセンター業界でも様々な設備が自動化される中、『検査』と『測定』が最後の砦。これを自動化できれば意義は大きい。」

課題実証期間中、S2 では経験豊富な作業人でなければ判別がつかないような不良が発生した。あまり経験のない作業者は、不良箇所を指し示されてもどれが不良なのかがしばらく分からず数十秒後によく認識できるという不良であった。作業者の経験に頼らざるを得ない目視での品質確認を自動化することができれば、作業者の業務標準化にも繋がり、人手不足解消（作業者によって異なる作業負荷のばらつき解消）に寄与できると感じる。

### ③ 品質管理担当者に於ける運用方法の変化

- ・ 概要

大阪工場では、作業人や営業担当者とは別に「品質管理担当者」を置いている。作業者が発見したキズの処置を判断し、報告に纏め、改善対策を立案することが主な業務であり、現状は、作業者がキズを発見した後、隣接する事務所棟に在籍している品質管理担当者に電話で連絡し、品質管理担当者が現場へ急行して処置を決定し、原因と対策を報告書に纏めている。

- ・ 検証内容

AI を活用した画像検査装置を導入することで、事務所棟に在籍しながらキズの状況を把握することで、処置判断の迅速化が見込まれる。作業人や営業担当者、品質管理担当者へインタビューを通じて AI を活用した画像検査装置を導入する前後でのオペレーションの変化を検証することを想定している。併せて、運用上の課題、解決策を検討する。

- ・ 検証結果

サミットスチール大阪工場の品質管理チームへインタビューを実施。今回の課題解決システムが導入されることによって品質管理チームのオペレーションにどのような影響があるか確認した。コメントは以下の通り。

- 「まずは精度向上が必要。不良であるにも関わらず良品として判断してしまったら、取引先からのクレーム対応で頻発するのではという懸念はある。」
- 「知りたいのは『正確なキズの位置』、『キズの深さ』、『色味』の3つ。これが写真で分かれば工場棟に出向いて確認する必要はなくなると思う。」
- 「不良が発生すると、鉄鋼メーカーごとに報告書を纏めている。今回のシステムの写真がそのまま報告書に使えれば良いが。」

現在は不良画像や位置情報が表示される「結果表示画面」が工場棟のPCでのみ閲覧できる構成となっているが、将来的には事務所棟のPCや本社営業部（淀屋橋）の営業担当者と共有できるような仕組みを目指したい。

現在、「結果表示画面」に記載される位置情報は「加工開始地点から進行方向の距離」を表しているが、「幅方向の距離」についてはデータ取得されていない。サミットスチールの納入先はサミットスチールから出荷される製品コイルのどこにキズがあるかを正確に知ることで、当該箇所を切り落とすなどの処置を実施しているとのことで、今後の本格実装に向けて表示画面の要件を再度精査する必要があると感じている。また、不良が発生した場合の報告書へ活用するためには、撮影されたコイル固有の番号（コイルナンバー）と突合せせる必要がある。現在は「加工時刻」でどのコイルを撮影したかが判別できるようになっているが、将来的な運用も見据えると鉄鋼メーカーから取得している情報との連携も検討できればと考えている。

#### 4.1.7. まとめ

- ・ 実証目標「目視検査をゼロにする」の達成状況  
本開発実証期間中は達成できず。不良画像データ収集が不調に終わり、AIによる不良の検出精度が十分に向上しなかったことにより、現状の目視による品質検査のオペレーションを課題解決システムで代替するに至らなかった。
- ・ 実証・検証結果
  - AIによる検出精度  
収集できた不良画像データは766枚と一般的に必要なとされている枚数より少数であったものの、テストデータでは95%を超える高い検出精度を記録することができた。

ただし、実証現場では鋼板の素地（品種）に応じて検出精度に差が見られるという結果となった。最も高い検出精度を示した「カラー鋼板（黄色）」では約91%の検出精度を記録、一方で「ステンレス鋼板」では最も高くても20%程度、検出精度の低いものでは検出率0%という結果もあった。今回学習データとして収集できた不良画像データの素地はカラー鋼板（黄色）が多かったことが原因でこのような検出精度の差が生じているものと考えられるが、逆説的に考えた場合、「ステンレス鋼板」などほかの素地（品種）の鋼板の不良画像データを一定枚数収集することができれば、「カラー鋼板（黄色）」のように高い検出精度を示すことができるという仮説を立てることができる。



➤ 無線品質評価

今回、基地局のアンテナ方向の場所（図 4. 1. 7-1 の星印参照）にて「8K の高精細画像」と「4K の高精細映像」の 2 種類の大容量データをローカル 5 G で伝送した。

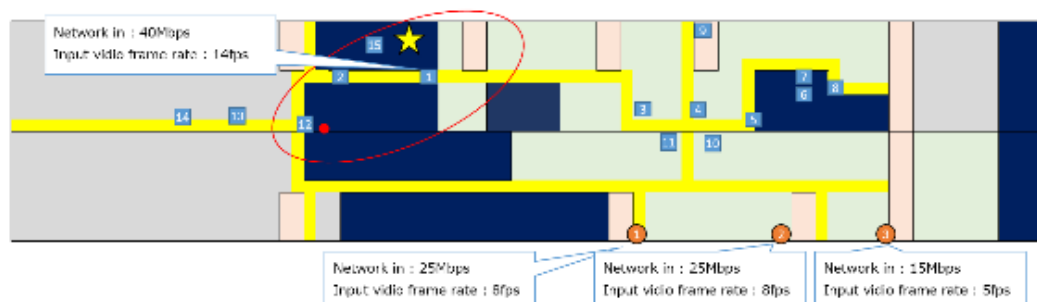


図 4. 1. 7-1) 2 つの大容量データの同時伝送場所

2 種類の大容量データを同時に通信した結果、

「8K の高精細画像」は実測値として約 30Mbps

「4K の高精細映像」は実測値として約 20Mbps

の「合計約 50Mbps」の伝送容量であることを確認できた。第 5 章の開発実証では、同場所にて UDP 環境下で 70~80Mbps という伝送容量を確認できているが、「8K の高精細画像」は TCP/SCP、「4K の高精細映像」は UDP でデータ通信していることもあり、データ再送により UDP と比較して伝送容量が低下しているものと思われる。つまり、同箇所では 2 つの課題解決システムを計 50Mbps という伝送容量の中で使用する必要があることが分かった。

・ 技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題

➤ 撮像条件

今回の開発実証では定量的な検証ができなかったが、「鋼板の素地（品種）」や「不良の種類」に応じた撮像条件を設定することで、どの程度検出精度が向上するかを定量的に分析することは必要。

今回の開発実証を通じて、S2 で加工されている全種類の鋼材の全種類のキズの検出精度向上を図ることは相当の時間を要すると感じる。例えば、「加工量」や「取引先」など、特定の項目に焦点を絞ってアルゴリズムを開発することで費用対効果を最大化することは検討する必要があると考える。その上で、特定の「鋼板の素地（品種）」に対して適切な光量を定めて鋼板の撮像条件を定めることが必要になると感じている。

➤ 加工スピード 200m/min. への対応

サミットスチール大阪工場の S2 では最速で約 200m/min. という加工スピードで製品を加工している。今回の開発実証では、機器性能や費用、スペースの制約もあり最速 100m/min. の加工スピードに対応できる課題解決システムを導入した。一部の 20m/min. の低速で全長を目視検査している製品に関しては 100m/min. での自動検査が実現するため「改善」になるが、200m/min. 加工している製品に関しては 100m/min. が従来よりも低速稼働になってしまうため「加工効率の悪化」という「改悪」を招くことが懸念される。

今回、8K ラインスキャンカメラを片面 2 台分の処理を、1 台の前処理 PC と 1 台の前処理 AI で実行していた。最大の加工スピードが 100m/min. から 200m/min. になると考慮する必要がある部分は大きく以下 2 つ。

- (1) エンコーダーが、200m/min. の加工スピードを 8K ラインスキャンカメラのシャッタースピードに変換できるか
- (2) 前処理 PC と前処理 AI が 100m/min. →200m/min. の 2 倍速で撮影される高精細が像の処理を遅延なく実行できるか

(1)については、エンコーダーの最大パルスが仕様上 85kHz とのことで、今回の開発実証で使用しているパルス 20kHz と比べても余裕がある。最大 400m/min. までは加工スピードをシャッタースピードに変換できる。

(2)について、現状の処理速度が 2 倍とする必要があるので、8K ラインスキャンカメラ 1 台に対して前処理 PC が 1 台、前処理 AI (Jetson) が 1 台という構成が必要となる。つまり、

- ・ 8K ラインスキャンカメラ : 4 台
- ・ 画像処理照明 : 2 台
- ・ 前処理 PC : 2 台→4 台 (+2 台)
- ・ 前処理 AI (Jetson) : 2 台→4 台 (+2 台)

現状、前処理 PC や前処理 AI (Jetson) を搭載している現場サーバラックは空きのポートがない為、サーバラックを再度購入する必要がある。その場合に新設するサーバラックは高さ 1.5~2.0m は必要になる。また、各種ケーブルの購入や各 PC のソフトウェア搭載・改修は必要という障害はある。

今回の開発実証である「目視検査の自動化」では、不良画像データ収集が最大の課題となったが、現場の運用を完全に自動化する場合は、技術的な課題を解決するための時間と費用および現場の理解が不可欠であると感じている。8K ラインスキャンカメラで高精細な画像を撮影し、ローカル 5 G で伝送するという機構を構築することはできたが、費用対効果の最大化を図るために対象を絞ったアルゴリズム開発を検討・推進し、サミットスチール大阪工場の現場課題解決に寄与する課題解決システムの構築を進めたい。

## 4.2. 高精細映像伝送による品質確認等（遠隔作業支援）

### 4.2.1. 前提条件

- ・現状の運用

サミットスチールにおける日常業務は、大阪本社と大阪工場の両拠点間で電話・FAX・メールによるコミュニケーションや、必要に応じて両拠点間を関係者が直接行き来することによって、商材である鋼板のデリバリーを行っている。

現状は、大阪工場内で作業者が鋼板キズ等を発見した際、まずは品質管理担当者が目視でキズのレベルを確認する。大阪工場の品質管理担当者が、客先毎の仕様基準と照らし合わせた上で、出荷判断に迷う場合は、品質管理担当者から大阪本社の営業担当者に対して、「販売先が許容出来るレベル」か、「許容出来るキズ箇所」か、「許容困難だとしても特別採用の交渉が可能なレベル」かを、デジタルカメラ等で撮影した写真をメールで送付の上、電話等で出荷可否の判断を仰いでいる。

- ・営業現場としての課題

大阪工場の品質管理担当者から大阪本社の営業担当者に対し出荷可否の確認があった場合、営業担当者は品質管理担当者から送付されてきた写真を確認の上で判断を行うが、写真からではキズの程度が詳細まで確認出来ず、判断に迷うケースが多い。

また、仮に大阪工場の品質管理担当者が仕様基準と照らしてNG判定した場合であっても、販売先との交渉次第で許容可能なケースも有る。交渉を行う上では、事前に鋼板を様々な角度から目視で確認する、触感の有無（凹凸が有るか無いか）等の確認が必要なため、大阪本社の営業担当者が大阪工場に訪問して現物を確認している。また、鋼板キズ以外にも、写真では撮影困難な端面（スリットした鋼板の横面）のバリ（材料を加工する際に発生する突起）高さや端面の荒れなどの判別についても、工場での現物確認が必要となっている。

大阪本社の営業担当者が大阪工場で鋼板キズ等の現物を確認する為に要する時間は、大阪本社-大阪工場の往復だけで約1.0~1.5時間を要しており、労働生産性低下を招いている。また、営業担当者が大阪工場を訪問することにより、現場環境下において工場関係者と濃厚接触機会が増え、新型コロナウイルス感染のリスクが高まると考えられる。

- ・工場現場における課題

作業者が鋼板切断加工中にキズ等を発見した場合、出荷可否について大阪工場の品質管理担当者から大阪本社の営業担当者に出荷可否の判断を仰いでいる間、加工ラインは停止され、生産性が大幅に低下する。また、加工中止し、別の鋼板の加工を行うとしても、加工途中の鋼板処理や再設定のダウンタイム発生で生産性低下を招く。

製造現場の省力化や安全性の向上を目指し、ローカル5G（4.8GHz帯）の無線通信システムを活用して、高精細映像伝送による品質確認等（遠隔作業支援）の実証を行い、鋼板キズ現物確認の為に本社-工場往復による労働生産性の低下の最小化を実現するとともに、システム面・運用面・コスト面、他地域への横展開の観点など多角的に検討を行う。

#### 4.2.2. 実証目標

##### ・実証目標

令和2年度開発実証では、製造現場の省力化や安全性の向上を目指し、ローカル5G（4.8GHz帯）の無線通信システムを活用して、持ち運び可能な小型の高精細映像ポータブルカメラとGPUを組み合わせたモバイルシステム（高精細映像伝送による品質確認等（遠隔作業支援））を実現することで、

- ① 営業担当者の大阪工場への品質確認時の移動時間削減
- ② 濃厚接触機会を減らし新型コロナウイルス感染リスク低減
- ③ 鋼板キズ許容判断待ちによるダウンタイムの最小化

を実現することを実証目標とする。また、効果、機能面、運用面等の観点から検証し、検証にあたっては技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題等について取りまとめる。

##### ・取り組み方針

大阪工場に、高精細映像(4K)ポータブルカメラと持ち運び可能な形のGPU・バッテリー・端末を格納した持ち運び用ケースを設置する。営業判断が必要な鋼板キズ発生時に大阪工場の品質管理担当者が4Kカメラ、持ち運び用ケースを持参して鋼板キズ発生箇所の高精細映像を撮影、ローカル5Gを活用して遠隔拠点（大阪本社の営業部）へ伝送し、遠隔作業支援や判断・出荷指示等の作業支援を行い、業務の効率化や品質向上等の観点から評価・検証を行う。具体的には、大容量の「4K高精細映像」をGPUでエンコード、端末からローカル5G無線でローカル5G基地局に映像データを伝送、インターネット回線でクラウド上の配信サーバ経由で映像配信する。（配信は大阪工場から大阪本社への一方向、映像のみとなる。）大阪工場の品質管理担当者と大阪本社の営業担当者の音声コミュニケーションは携帯電話にて行い、状況の説明共有や協議等を行う。大阪本社に設置する4K映像ディスプレイで高精細映像を表示、営業担当者が遠隔で鋼材キズの程度・位置等を確認した上で出荷可否等の判断・指示を行う。

（図4.2.2-1、図4.2.2-2参考）



図 4.2.2-1) 遠隔作業支援における 4K カメラを使用した撮影の様子



図 4.2.2-2) 遠隔作業支援における本社での 4K 映像を用いた品質確認の様子

#### 4.2.3. 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

- ・構成

- ① 4K ビデオカメラ
- ② Jetson Xavier NX

- ③ モバイルバッテリー
- ④ 4K 映像視聴用 4K ディスプレイ
- ⑤ 4K 映像視聴用 PC (iPad Pro)
- ⑥ サーバ「AWS MediaLive」

1. 4K ビデオカメラ : ELP 1 台 (図 4.2.3-1 参考)



Model	ELP-USB4KHDR01-KL36
Sensor	SONY IMX317 (1/2.5" )
Max Resolution	3840 (H) *2160 (V)
Sensitivity	1000mV/Lux-sec
Image area	6100 <sup>^</sup> m x 4524 <sup>^</sup> m
Picture format	MJPEG / YUY2 (YUYV)
Resolution & FPS	3840x2160@ 30fps MJPEG / 2592x1944@ 30fps MJPEG 2048x1536@ 30fps MJPEG / 1600x1200@ 30fps MJPEG 1920x1080@ 30fps MJPEG / 1280x1024@ 30fps MJPEG 1280x 960@ 30fps MJPEG / 1280x 720@ 30fps MJPEG 1024x 768@ 30fps MJPEG / 800x 600@ 30fps MJPEG 640x 480@ 30fps MJPEG / 320x 240@ 30fps MJPEG 3840x2160@ 1fps YUY2 / 2592x1944@ 1fps YUY2 2048x1536@ 3fps YUY2 / 1600x1200@ 3fps YUY2 1920x1080@ 3fps YUY2 / 1280x1024@ 3fps YUY2 1280x 960@ 5fps YUY2 / 1280x 720@ 5fps YUY2 1024x 768@ 5fps YUY2 / 800x 600@ 20fps YUY2 640x 480@ 30fps YUY2 / 320x 240@ 30fps YUY2
Center Definition	1000LW/PH (Center)
S/N (Signal Noise Ratio)	26dB
Sensitivity	0.65V/lux-sec@550nm
Low illumination	0.2lux
Shutter	Electronic rolling shutter / Frame exposure
Interface	USB2.0 High Speed

Adjustable Parameters	Brightness, Contrast, Saturation, Hue, Sharpness, Gama, White Balance, Backlight Contrast, Exposure
Lens	Size: 1/2.3", fisheye lens Relative Illumination (Sensor): 70% IR Filter: 650±10nm
Power Supply & Connector	USB BUS POWER 4P-2.0mm socket
Power	DC5V
Current	200mA
Size	38mm x 38mm
Storage Temperature	-20° C to 70° C
Working Temperature	0° C to 60° C
USB Cable	1M (2M/3M/5M Optional)
Operating System	Win XP/Vista/Win7/Win8 Linux with UVC (above linux-2. 6. 26) MAC-OS X 10. 4. 8 or later/Android 4. 0 or above with UVC

図 4. 2. 3-1) 4K ポータブルカメラの外観および仕様

今回、持ち運び撮影と定点撮影の両立を可能にするために、4K カメラに「ミニ三脚」を取り付けることとした (図 4. 2. 3-2)。このミニ三脚は脚を閉じることによって片手でも持ち運び可能で、定点撮影を実施したい場合は、直ぐに三脚で固定することが可能。



図 4. 2. 3-2) 4K カメラにミニ三脚を設置

2. エンコーダー : Jetson Xavier NX : 1 台 (図 4. 2. 3-3 参考)



モデル名	Jetson NX Xavier
CPU	6 コア Arm v8.2 64 ビット CPU, 6MB L2 + 4MB レイヤー 3 スイッチ
メモリー	8GB 128 ビット LPDDR4x - 51.2GB/s
GPU	NVIDIA Jetson NX Xavier 32GB
GPU 性能	384 コア Volta GPU、48Tensor コア (2x) NVDLA Engines
ビデオエンコード	2x 4Kp30   6x 1080p 60   14x 1080p30 (H.265/H.264)
カメラ	2x MIPI CSI-2 D-PHY レーン
LAN	1GbE 1 ポート (RJ45)
標準インターフェース	HDMI 1 ポート, USB3.0 2 ポート 40 pins: 1x UART, 2x I2C, 1 x CAN(W/O transceiver), and 5x GPIO
外形寸法 (WxDxHmm)	103 mm x 90.5 mm x 34 mm
電源	12V DC Power Input / 60W power adapter

図 4.2.3-3 エンコーダー (Jetson Xavier NX) の外観および仕様

### 3. モバイルバッテリー

当初、Anker 製の AC 出力対応モバイルバッテリー搭載を検討していた。これは、Jetson Xavier NX が AC 電源からの給電が必要であること、仕様にアプリ稼働時の消費電力 15W と記載あったことから、十分スペックの範囲内という認識で同バッテリーを使用した (図 4.2.3-4 参照)。

- サイズ : W96×D148×H34mm
- 重量 : 約 600g (本体のみ)
- バッテリー : リチウムイオン電池
- 容量 : 14.48V/2850mAh (41.27Wh)  
※3.62V 換算/11400mAh
- 入力 : DC18.5V/1A (最大)
- AC 出力 : AC100V 50Hz 65W (最大)





■ USB 出力 : DC5V/2.4A (最大)

図 4. 2. 3-4 参照) Anker 製モバイルバッテリー仕様および外観

しかし、開発実証当初は Jetson Xavier NX が起動せず、様々な条件下で障害を切り分けて原因を探ったところ、Jetson Xavier NX は「入力時：100-240V、1.2A、50-60Hz」とのことで、「最大消費電力は120W」であり、モバイルバッテリーのスペックが Jetson Xavier NX の最大消費電力の範囲を超えていることが分かった。「消費電力 15W」はあくまでもアプリケーション稼働時の消費電力とのことで、起動時には 120W 近くまで消費電力が上昇していることが考えられる。

Jetson Xavier NX の仕様に合わせて、Omars 製のモバイルバッテリー「OMESS150WBK-JP」を採用することとした(図 4. 2. 3-5)。これは、最大出力 130W、容量 40,200mAh であり、持ち運び可能なモバイルバッテリーとして Jetson Xavier NX の仕様を満たすものになる。

Brand	Omars
メーカー	Omars
製品サイズ	2.5 x 19 x 4.4 cm; 1.38 Kg
電池	1 リチウムイオン 電池
製造元リファレンス	OMESS150WBK-JP
Is Discontinued By Manufacturer	いいえ
カラー	黒
商品の寸法 幅 × 高さ	25 x 190 x 44 mm
同梱バッテリー	いいえ
リチウム電池	12.16 ワット時
リチウム電池パック	電池内蔵
リチウム電池重量	3.43 グラム
リチウムイオン電池数	1
商品の重量	1.38 kg



図 4. 2. 3-5) Omars 製モバイルバッテリー「OMESS150WBK-JP」仕様および外観

- ・ 機器選定の妥当性について (図 4. 2. 3-6 遠隔作業支援の簡易構成図、図 4. 2. 3-7 遠隔作業支援の詳細構成図 参照) :  
 遠隔作業支援の取り組み方針において、鋼板キズ発生時に品質管理担当者がカメラを持参して鋼板キズ発生箇所の高精細映像を撮影する想定をしており (詳細は 4. 2. 2「実証目標」ご参照)、カメラ等の使用機器は品質管理担当者が「持ち運びし易い」事が肝要である。カメラ選定は、上記の「持ち運びし易さ」に加えて、コスト削減の観点から光学ズーム等の機能を廃した 30 mm × 30 mm の 4K ビデオカメラ (ELP) を選定した。  
 エンコーダー選定に付いてもカメラ同様「持ち運びし易い」という観点と、「映像処理に特化した GPU を搭載している」という観点から、103 mm × 90.5 mm × 34 mm のエンコーダー (Jetson NX Xavier) を選定するものとした。

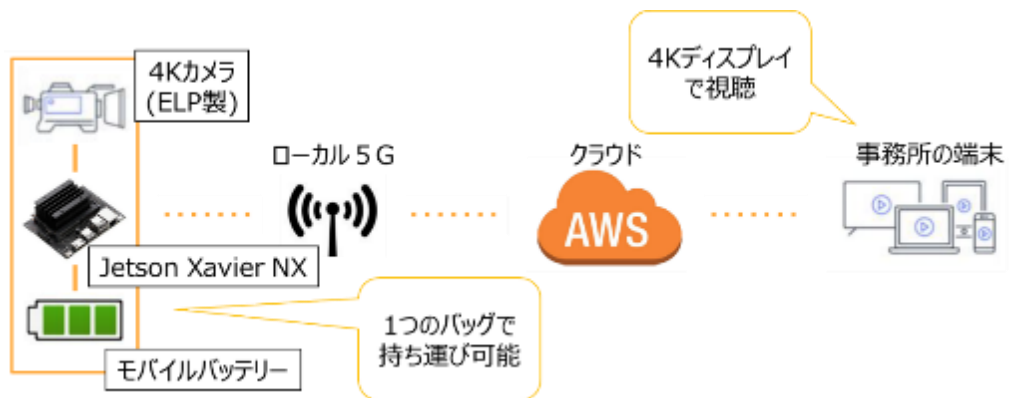


図 4. 2. 3-6) 「遠隔作業支援」の簡易構成図

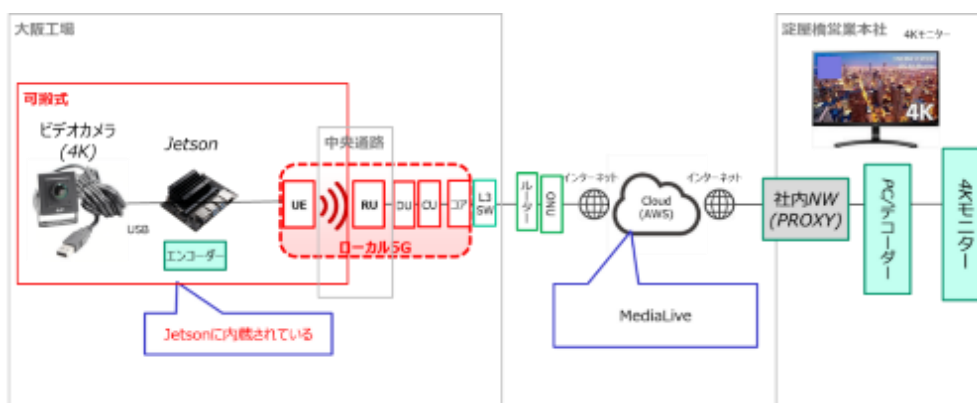


図 4. 2. 3-7) 「遠隔作業支援」詳細構成図

- UE：端末
- RU：基地局
- DU：ベースバンド装置
- CU：集約基地局
- L3SW：レイヤー3スイッチ
- NW：ネットワーク
- ONU：光回線終端装置

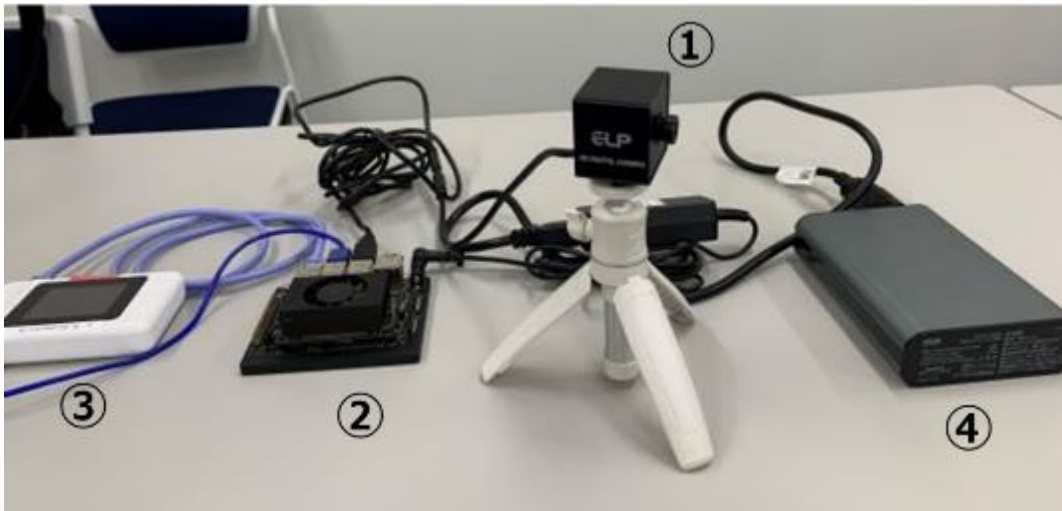


図 4. 2. 3-8) 「遠隔作業者支援」で使用する大阪工場側の実機

- ①4K カメラ
- ②Jetson Xavier NX
- ③端末
- ④モバイルバッテリー

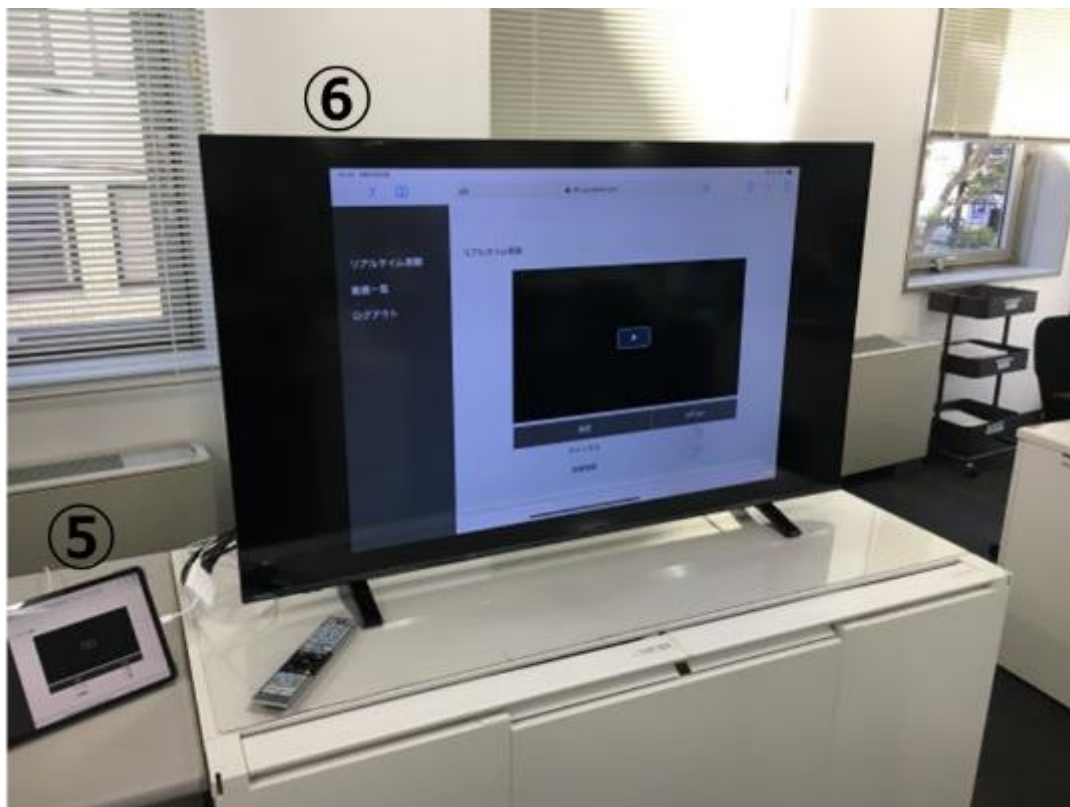


図 4. 2. 3-9 「遠隔作業者支援」で使用する本社側の実機

- ⑤4K 映像視聴用 PC (iPad Pro)
- ⑥4K 映像視聴用 4K ディスプレイ

	Jetson nano	Jetson Xavier NX
メモリー	4GB 64-bit	8GB 128-bit
OS インストール後の 使用可能メモリー	1,871,732KB	5,856,036KB
映像配信時の 使用可能メモリー	0KB (メモリーリーク発生)	3,778,120KB

表 4.2.3-1) Jetson nano と Jetson Xavier NX の比較表

今回、エンコーダー機能を持つ小型コンピュータ「Jetson」を使用して、可搬式の4Kカメラによる4K映像配信を可能にすることとした。今回の課題解決システムでは、映像配信処理に2GB以上を使用することになるため、表4.2.3-1の通り、「Jetson nano」の場合、OS(Ubuntu)をインストールした後の使用可能メモリーが映像配信処理に必要な容量をオーバーしてしまい、配信が停止されてしまうことが想定される。そのため、使用可能メモリーが大きい「Jetson Xavier NX」を使用することで、安定して配信できる環境を構築する。

・クラウド側のシステム構成

今回の開発実証では、エンコーダー(Jetson Xavier NX)からリアルタイム視聴と録画の2つの構成を構築した(図4.2.3-10参照)。視聴用は、AWS Elemental MediaLive と AWS Elemental MediaStore の2つAWSサービスを使用し Amazon Lightsail で画面表示させる構成。録画用は AWS Elemental MediaLive と Amazon S3 の2つのサービスを使用し視聴用と同様に Amazon Lightsail で画面表示させる構成としている。AWSの各サービスの昨日と役割は以下の通り。

A) AWS Elemental MediaLive :

ブロードキャストとマルチスクリーンビデオ配信のために入力をライブ出力に変換するサービス。リアルタイム視聴が可能。

B) AWS Elemental MediaStore :

ライブやオンデマンドのメディアワークフロー向けにビデオアセットを作成および保存するサービス。AWS Elemental MediaLive でエンコードされた映像を配信用に一時収納する。ユーザー端末からのリクエストに素早くこたえるために映像を一時的に保管する「オリジン」と呼ばれる機能を持つ。

C) Amazon S3 :

大容量ストレージサービス。AWS Elemental MediaLive でエンコードされた映像を録画用に保存する。

D) Amazon Lightsail (図4.2.3-11参照) :

AWS が提供する VPS (Virtual Private Server : 仮想プライベートサーバ) サービスの一つ。コンピューティング環境だけではなく、ストレージ、スナップショット、ロードバランサー昨日、ファイアウォールなど様々な機能がパッケージで提供されている。

同じ VPS サービスとして Amazon EC2 があるが、こちらはコンピューティング機能のみを提供する。Amazon EC2 を Amazon Lightsail と同じように使うためには、Amazon S3 や Amazon EBS などのストレージ機能や Amazon RDS や DynamoDB といったデータベース機能と組み合わせて併用する必要がある。

リアルタイム配信に加えて、ユーザーとの事前ヒアリング時に課題として挙げた「録画機能（図 4.2.3-12、図 4.2.3-14 参照）」、「映像配信チャンネルの起動/停止機能（図 4.2.3-11 参照）」、「映像配信の自動停止機能詳細（図 4.2.3-13 参照）」を付帯機能として実装している。



図 4.2.3-10) 「遠隔作業支援」におけるクラウド(AWS)のシステム構成



図 4.2.3-11) 4K 映像視聴画面 Amazon Lightsail

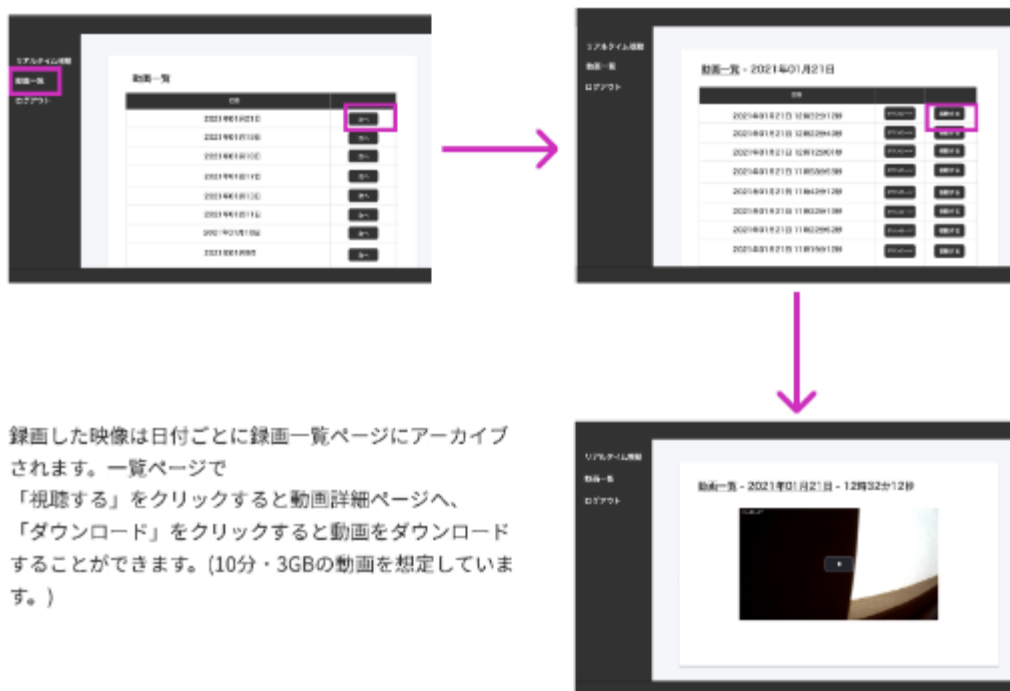


図 4. 2. 3-12) 録画機能の視聴方法手順

- ・システム構成上の懸念点（撮影～配信までの遅滞）

今回の課題開発システムでは、ELP 製 4K-USB カメラを使用して撮影した 30fps の JPEG 画像を MJPEG (Motion-JPEG) 動画に変換する。その後、MJPEG 動画を H. 264 でコーデックしフラッシュビデオに変換、フラッシュビデオを RTMP (Real Time Messaging Protocol) で AWS へ配信する。撮影された動画を圧縮し AWS に配信するまでの一連の流れを Jetson Xavier NX で実装している。

AWS Elemental MediaLive および AWS Elemental MediaStore にて生成・格納された動画を HLS (HTTP Live Streaming) で配信し、Google Chrome や Safari などのブラウザで視聴するという構成を取っている。開発実証では大阪工場で撮影された 4K 映像を本社営業部（淀屋橋）の iPad Pro から Safari で視聴するという構成をとっているが、将来的に本社営業部（淀屋橋）以外の取引先などに展開することを見据えて、HLS の特徴の一つである「マルチデバイス対応」という強みを活用することで、Windows 端末のや Android 端末からでも視聴できる環境構築を意識した施策である。

HLS を使用することにより、安定的に Live Streaming 動画を視聴するために一定のチャックサイズ毎にバッファリング（生成された動画を一時格納した後に纏めて配信する機能。「受信待ち」の状態を回避できる。）を実装している。今回の課題解決システムでは、HLS を使用することにより 15～20 秒程度の遅滞が発生することが確認されている。

鋼板に発生する品質不良を確認する上で 15～20 秒程度の配信遅滞は許容範囲内であるものとして、本課題解決システムを導入した

- ・映像配信チャンネルの起動/停止機能

従来、AWS Elemental MediaLive を使用する際は、管理者権限を有する担当者が専用の AWS Elemental MediaLive サイトにアクセスしてサーバを起動させる必要がある。サーバを立ち上げずに映像配信を開始することはできない。ユーザーは、視聴するたびに専用の Web サイトを立ち上げサーバを起動させるという煩雑な作業が発生する。その為、Amazon Lightsail のユーザー表示画面に「映像配信の起動/停止機能」を付けることで、煩雑な作業の軽減につなげた。

Amazon Lightsail 経由で表示されている「チャンネル」のスイッチを起動させることをトリガーとして AWS Lambda で設定されたプログラムが起動、AWS Elemental MediaLive が起動し映像配信が可能になる状態にする。停止する場合も Amazon Lightsail 経由で表示されている「チャンネル」のスイッチを停止させることをトリガーとして AWS Lambda で設定されているプログラムが起動、Amazon MediaLive が停止する構成としている。



図 4. 2. 3-13) 映像配信チャンネルの起動/停止機能

- 映像配信の自動停止機能詳細前述の通り、映像視聴後に「チャンネル」のスイッチを停止させる手順としているが、ユーザーが「チャンネル」のスイッチの停止を忘れる可能性もある。AWS Elemental MediaLive ではサーバが起動している間は時間単位で従量課金が発生してしまうため、配信が停止している場合は自動でサーバを停止させる機能が必要になる。

映像が配信停止となった後は、HLS (HTTP Live Streaming : Web 上で動画や音声のストリーミング配信・再生を行うためのプロトコル) のインデックスファイルが更新されない。Amazon CloudWatch (クラウドの監視機能) で 15 分ごとにインデックスファイルが更新されていないかをチェックし、インデックスファイルが更新されていない場合は、「インデックスファイルが更新されていないこと」をトリガーとして AWS Lambda のプログラムを起動、自動的にチャンネルを停止させる構成とした。



図 4.2.3-14) 映像配信の自動停止機能詳細

今回導入した課題解決システムでは、視聴用と録画用で異なる AWS Elemental MediaLive を構築した。Jetson Xavier NX が起動すると表示画面から取得した録画設定の情報を取得し、録画設定がオンになっている場合は視聴用と録画用の2つのチャンネルが起動する(図 4.2.3-15 参照)。この機能により、リアルタイム視聴と同時に映像を録画することができる。



図 4.2.3-15) 録画時のチャンネル起動



今回の開発実証では、4K カメラおよびエンコーダー (Jetson Xavier NX) を中心としたハードウェア、Amazon MediaLive を中心としたソフトウェア (クラウド) を使用することで、

- ・ 効果検証：工場作業員および営業担当者の工数および感染症リスク低減効果
- ・ 機能検証：ハードウェア、ソフトウェアの最適化
- ・ 運用検証：新しい運用の整理およびユーザー意見の聴取

という3つの検証を通じて、ローカル5Gと高精細な映像伝送を、品質確認を中心とした様々な活用方法を探り工場現場の課題解決に資する課題解決システムを模索する。尚、開発実証では以下の体制で実施することとする。

- ・ 住友商事グローバルメタルズ株式会社：現場での実装および効果検証
- ・ 株式会社フツパー：ハードウェア調達およびエンコーダーでの映像処理
- ・ 株式会社Positive Spiral：AWS 配信サービス構築

#### 4.2.4. 課題解決システムに関する効果検証

課題解決システムをサミットスチール大阪工場および大阪本社に実装することによって発生する、工場作業員および営業担当者の工数削減効果を検証する。また、昨今の新型コロナウイルスに対する感染対策効果を検証する。その他、現場で発生する導入効果を検証することで、費用対効果を多角的に検証することとする。具体的な検証項目及び検証手法を下表 (表 4.2.4-1) に示す。

検証項目	検証手法
拠点間の移動時間・コストの削減 (営業担当者の大阪本社から大阪工場への訪問/移動時間の削減状況)	社用車利用履歴確認 (上記検証方法①)、及び、アンケート (上記検証方法②)
設備の稼働停止時間の抑制	BI ツール” Tableau” (上記検証方法②)
設備の稼働停止時間の抑制 感染症リスク低減	インタビュー (上記検証方法③)
その他課題解決に資する導入効果 (品質管理の向上、人員の最適配置等)	アンケート (上記検証方法④)
上記を踏まえた費用対効果	

表 4.2.4-1) 具体的な検証項目及び検証手法 (想定)

## ①省人化効果の検証

### ・概要

サミットスチールでは大阪工場と本社営業で移動時間 1 時間程度の距離がある。また、大阪工場のみならず、東京工場と東京本社、滋賀工場と滋賀営業など、物理的な距離があるために製造現場と営業間での円滑なコミュニケーションに支障が生じる場面もある。

### ・検証内容

サミットスチールの社用車利用履歴から、営業担当者の工場訪問数が減少するかを検証する。具体的には、大阪本社における社用車利用履歴のうち、キズ確認目的での実績を事前集計した上で、効果検証期間における利用がどの程度減少したかを確認する。なお、効果の算出には、平成 30 年の製造業の平均年収 519.5 万円を稼働日数 220 日および 1 日当たり 8 時間労働の前提で割り戻した単価 3,000 円/時を採用する

### ・検証結果

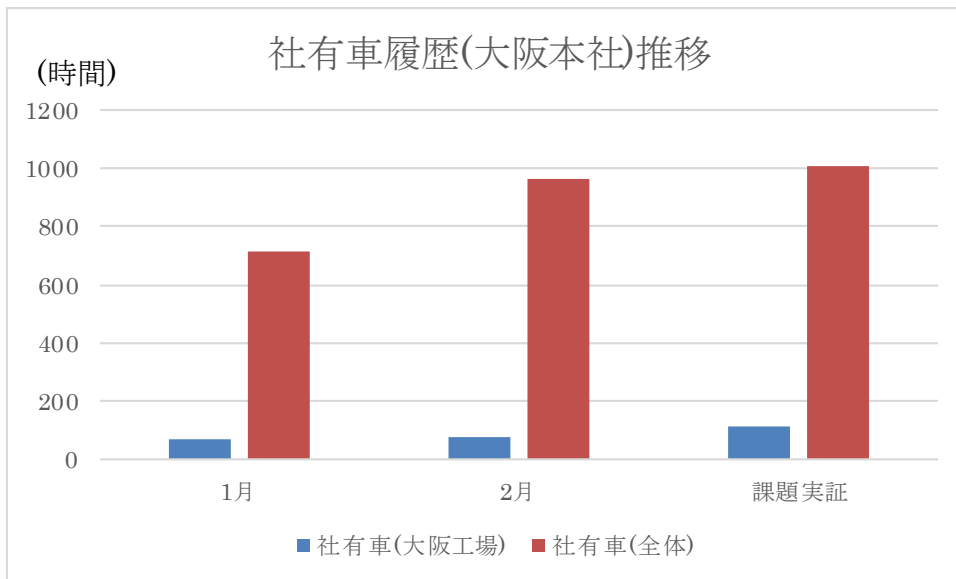


表 4. 2. 4-2) 品質確認待ち時間の推移および社有車履歴

サミットスチールで管理されている社有車履歴から、令和 3 年 1 月～令和 3 年 3 月までのデータを抽出したところ、課題実証期間中（令和 3 年 2 月 15 日～令和 3 年 3 月 12 日）に社有車の利用状況に大きな変化は見られなかった。大阪府全域に発令されていた緊急事態宣言が令和 3 年 2 月 15 日から令和 3 年 3 月 12 日までの課題実証期間中である令和 3 年 2 月 28 日に解除されたことで、令和 3 年 3 月 1 日以降にサミットスチール大阪本社から大阪工場に訪問するための社有車使用回数は増加。これは品質確認のみならず、緊急事態宣言中には控えていた取引先による大阪工場の見学などが解禁されたことによるもの。

サミットスチール大阪本社から大阪工場へ「品質立ち合い」など、品質に係る移動回数は月に 2 回程度。往復の移動時間 90 分を含めて、立ち合いに係る時間は 1 回あたり 180～240 分程度とみられるため、削減効果は▲360～480 分/月（＝▲6～8 時間であり計算上「▲7 時間」を適用）と見られる。人件費は項目 4. 1. 5 と同様に「3,000 円/時間」となり、年間の削減効果は以下の通り。

▲7時間/月 \* 3,000円/時間 \* 12か月 = ▲252千円/年

## ②加工設備停止時間

### ・概要

サミットスチール大阪工場では、鋼板に不良が発生した際に現場の作業員だけで出荷可否の判断がつかない場合は、品質管理チームもしくは営業担当者経由で取引先に出荷可否判断を委ねることがある。その場合、「連絡待ち」という休止項目設定によりラインの稼働が停止し生産効率悪化に繋がる。

### ・検証内容

サミットスチール大阪工場で導入中の BI ツール” Tableau” を使用し、停止時間を可視化している。効果検証期間中に、BI ツールの「計画外停止時間（図 4.2.4-1 参照）」の画面を活用して、「営業連絡待ち」による設備停止発生数及び停止時間が削減出来るか否かを検証する。

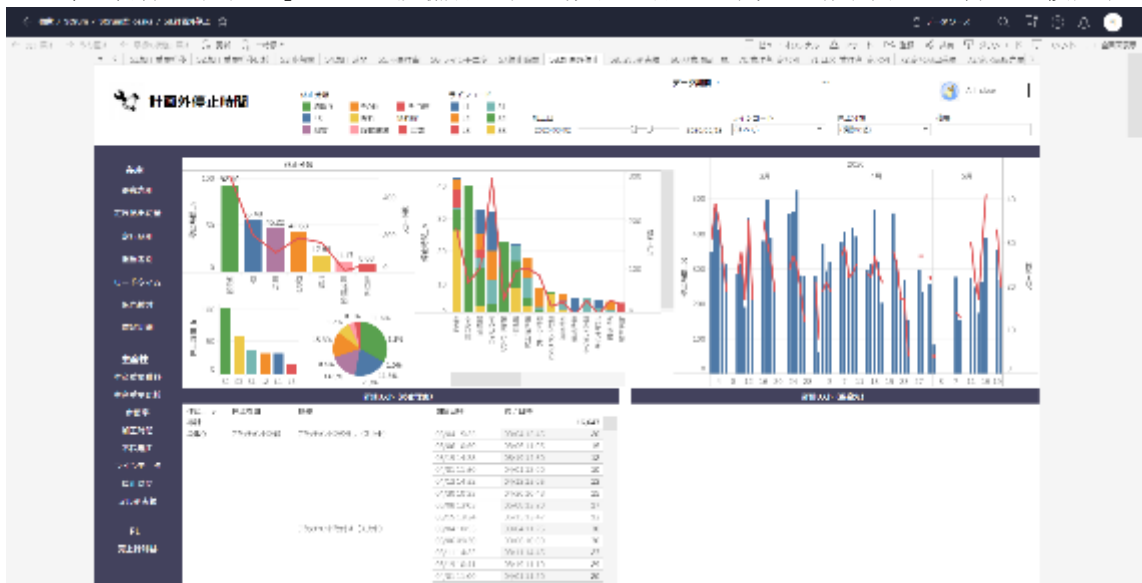
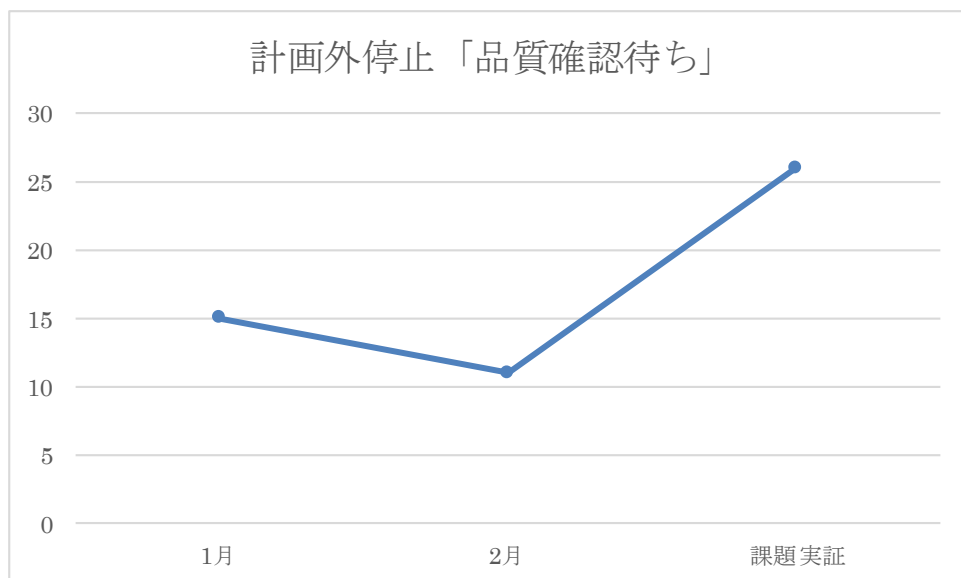


図 4.2.4-1 参照) Tableau 「計画外停止時間」の画面



#### 表 4.2.4-3) 計画外停止「品質確認待ち」の推移

- ・ 検証結果 (実測)

表 4.2.4-3 の通り、S2 の計画外停止「品質確認待ち」について改善は見られなかった。これは、項目 4.2.3-3 に記載の Jetson Xavier NX が起動しないことの原因がモバイルバッテリーにあることを突き止めていたタイミングと品質確認待ちのタイミングがちょうど被ってしまったが故に、4K カメラの活用検討する機会を逃してしまったことに起因する。

- ・ 検証結果 (将来の見込み)

仮に本課題実証システムが本格運用された場合、毎月約 10~20 分発生している「品質確認待ち」による稼働停止が毎月 ▲10 分削減されるとする。大阪工場の 1 ライン毎の売上総利益は約 60,000 千円/月、月間稼働時間が 9,600 分/月 (1 日 8 時間稼働) とすると、▲10 分削減した場合の効果は以下と見込まれる。

$$\cdot 60,000 \text{ 千円/月} * (\text{▲}10 \text{ 分/月} \div 9,600 \text{ 分/月}) * 12 \text{ か月} = \text{▲}750 \text{ 千円/年}$$

#### ③ 感染症リスク減少効果の検証

- ・ 概要

新型コロナウイルスの影響により大阪工場では言うて期間外部からの受け入れ制限を実施した。これは外部の取引先やサミットスチールの親会社である住友商事グローバルメタルズや住友商事の社員のみならず、大阪本社の営業担当者も大阪工場への訪問が原則禁止された。

- ・ 検証内容

省人化効果の検証方法同様、営業担当者に対するインタビュー調査を実施し、新型コロナウイルスの影響に伴う受け入れ制限に対する効果を調査する。

- ・ 検証結果

サミットスチール大阪工場では新型コロナウイルスの感染対策のために、東京等の遠隔地からの出張、および、大阪本社の営業担当者による立ち合い等、止むを得ない場合を除いた全ての立ち合いを禁止していた。課題実証期間中は大阪府内の緊急事態宣言が解除されたことに伴い、大阪本社と大阪工場間の往來回数も回復したものの、大阪工場/生産チームからは「外部の受け入れ制限がある中で高精細映像を活用した遠隔からの立ち合いが出来れば、感染症対策にも繋がる上に、立ち合いに合わせて工程を変更する必要もなくなる」という意見をいただいた。

#### ④ その他課題解決に資する導入効果及び費用対効果の検証

- ・ 検証方法

効果検証の主に①~②により、工数削減効果によって実施費用に対する金銭的效果の算出が可能になる。今回の課題実証システムを導入したことに伴う費用と検証項目①~②によって得られた効果を比較し、費用対効果を算出する。

- ・ 検証結果

大阪本社から大阪工場への移動削減 (項目 4.2.4-①)、および、品質確認待ちの削減 (項目 4.2.4-②) によって得られる効果は合計で約 ▲1,002 千円/年を見込まれる。

4.2.4-①：▲7時間/月 \* 3,000円/時間 \* 12か月 = ▲252千円/年

4.2.4-②：60,000千円/月 \* (▲10分/月 ÷ 9,600分/月) \* 12か月 = ▲750千円/年

本課題解決システムの構築費用が4,500千円であったため、4～5年で構築費用を回収できることが見込まれる。

#### 4.2.5. 課題解決システムに関する機能検証

実証にあたっては、サミットスチール大阪工場と大阪本社におけるコミュニケーション手段としての適正性や実用性について検証した。

##### ・従来の遠隔コミュニケーションツールとの比較

メール添付写真と比較して、従来の遠隔コミュニケーションツールでは難しかった「細かなキズ」を確認できるか検証する。また、従来の写真では伝わりにくかった「キズの凹凸、深さ」、「端面の荒れ具合やバリの高さ」等が遠隔で確認できるかも検証する。課題がある場合については、解決策についても検討する。検証方法は、営業担当者へのアンケートを実施するものとする。具体的な検証項目及び検証手法を下表（表4.2.5-1）に示す。

検証項目	概要	検証手法
鋼材表面疵、不具合	鋼材表面の剥がれや介在物等のキズの大きさ、光沢具合、位置等が正確に確認出来るか。	アンケート
凹凸、触感	鋼材表面の凹凸の深さや触感の有無が映像から確認出来るか。	アンケート
端面状況	鋼材端面の荒れの程度やバリの高さ等が確認出来るか。	アンケート

表 4.2.5-1) 具体的な検証項目及び検証手法（想定）

##### < 検証結果 >

	課題解決	既存の写真
	システム(ローカル5G) 4Kディスプレイ	







<p>鋼材表面の疵や不具合</p>	<p>(写真)</p> 	<p>(写真)</p> 
<p>凹凸、触感</p>	<p>(写真)</p> 	<p>(写真)</p> 
<p>端面状況</p>	<p>(写真)</p> 	<p>(写真)</p> 

表 4.2.5-2) 4K 映像と現在運用中の写真の比較

表 4.2.5-2 の左側が今回導入した課題解決システムの 4K カメラで撮影した映像のスクリーンショットであり、右側が従来からサミットスチールで運用されているデジタルカメラで撮影した画像である。視聴側であるサミットスチール大阪本社の営業担当者を対象にしたアンケート調査では以下代表的な意見が上がった。

① 鋼材表面の疵や不具合

- 「表面の不良が綺麗に映っており、工場に行かずとも品質確認ができそう。」
- 「写真で確認するよりも鮮明に確認できると感じた。お客様に不良を直接確認いただくことになればサミットスチールとしての武器になると思う。」
- 「キズの大きさ、発生位置などは分かりやすいと考える。取引先からの品質巡回にも活用できるのでは。」
- 「映像が鮮明過ぎて素地の肌合いまで見えてしまい、キズでない箇所までキズであるかのように認識されてしまう懸念がある。」

② 凹凸、触感

- 「キズの凹凸まではっきり分かった。触感もイメージが湧いた。」
- 「キズの大きさや状態は分かるが、詳細な凹凸までは良く分からなかった。」

③ 端面状況

- 「ピントが合えばよく見えるが、ピントが合うまでに時間がかかる。」
- 「端面の状態が鮮明に描写されており状態も良く分かった。」

その他、長期間在庫として滞留している在庫を「長期滞留在庫（長期材）」と呼ばれる製品の現物状態確認にも使用可能。品質不良や取引先からの需要減少などにより、長期に渡り工場内で滞留している長期滞留在庫は、鋼板表面に「錆」などの不良が発生してしまい、処置が送れるほど益々販売が難しくなる。4K カメラで映像を投影することにより、自信の担当先の長期滞留在庫に「錆」などの不良が発生しているかの確認にも活用できる（図 4.2.5-1 参照）。



図 4.2.5-1) 長期滞留在庫の鋼板表面に発生した「錆」

サミットスチール本社営業部（淀屋橋）に向けて配信された 4K 映像の画質に対して概ね高い評価を書く出来た。細かなキズを鮮明に配信、視聴することができ、不良の状態を遠隔地から確認できる水準まで達したと考える。ただし、「映像が鮮明過ぎて素地の肌合いまで見えてしまい、キズでない箇所までキズであるかのように認識されてしまう懸念がある。」とあるように、現在の運用から変わってしまう可能性も示唆されるため本格運用時の環境構築後の運用は慎重に進める必要があると考える。

ただし、目視での確認も非常に難しい品質不良もある。図 4.2.5-2 および図 4.2.5-3 はいずれも課題実証期間中に発生したカラー鋼板表面の「打痕」である。現物を目視で確認しても、品質確認に慣れていない作業者は指示されても判別がつかないほどの微妙な不良であるが、サミットスチールの取引先からは「外観不良」と認定される不良になる。このような不良の場合は、一般的なデジタルカメラで撮影しても、4K カメラで撮影しても確認が非常に難しいことが分かった。



図 4.2.5-2) カラー鋼板の打痕キズ箇所 (4K 映像)



図 4.2.5-3) カラー鋼板の打痕キズ箇所 (iPhone)



また、4K 映像そのものへの評価は高かったものの後述（項目 4.2.6）するように HLS を利用したことによる 15～20 秒程度の遅延に対する改善要望が多く、ローカル 5 G とは別の問題に起因する通信品質を重点的に改善する必要がある。

- ・サミットスチール大阪工場の各ポイントにおける無線品質評価  
AWS MediaLive に上りの伝送容量(Mbps)（図 4.2.5-4 参照）およびフレームレート(fps)（図 4.2.5-5 参照）の時系列推移を測定できる「Health 機能」が具備されている。

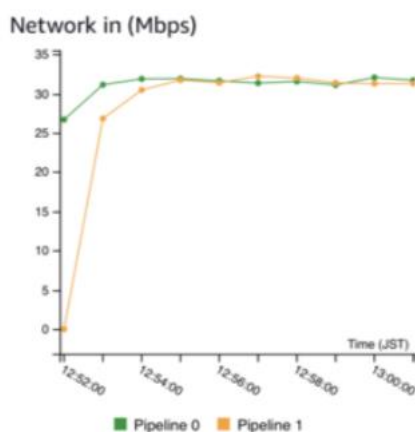


図 4.2.5-4) AWS MediaLive の Health 機能（上りの伝送容量(Mbps)）

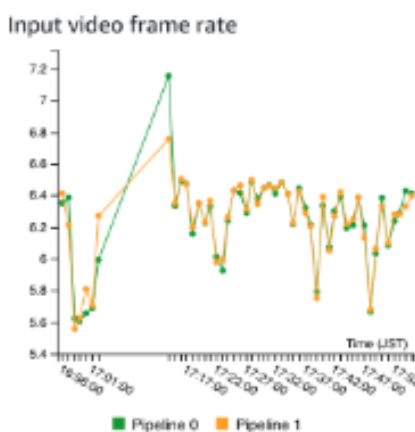


図 4.2.5-5) AWS MediaLive の Health 機能（フレームレート(fps)）

AWS MediaLive の Health 機能を活用して、サミットスチール大阪工場の工場棟の各ポイントにおける無線品質を評価する。測定したポイントは以下（図 4.2.5-6）の通り。

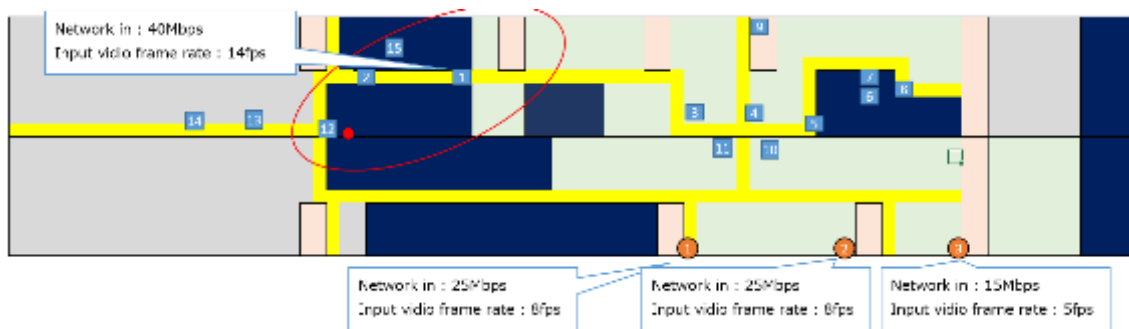


図 4. 2. 5-6) 工場棟の無線品質評価ポイント

<スリッター側の測定結果>

- 青 1 : Network in : 40Mbps, Input video frame rate : 14fps
- 青 2 : Network in : 40Mbps, Input video frame rate : 14fps
- 青 3 : Network in : 30Mbps, Input video frame rate : 11fps
- 青 4 : Network in : 30Mbps, Input video frame rate : 11fps
- 青 5 : Network in : 30Mbps, Input video frame rate : 11fps
- 青 6 : Network in : 25Mbps, Input video frame rate : 8fps
- 青 7 : Network in : 25Mbps, Input video frame rate : 8fps
- 青 8 : Network in : 25Mbps, Input video frame rate : 8fps
- 青 9 : Network in : 30Mbps, Input video frame rate : 11fps
- 青 10 : Network in : 30Mbps, Input video frame rate : 11fps
- 青 11 : Network in : 30Mbps, Input video frame rate : 11fps
- 青 12 : Network in : 40Mbps, Input video frame rate : 14fps
- 青 13 : Network in : 40Mbps, Input video frame rate : 14fps
- 青 14 : Network in : 40Mbps, Input video frame rate : 14fps
- 青 15 : Network in : 40Mbps, Input video frame rate : 14fps

<レベラー側の測定結果>

- 橙 1 : Network in : 25Mbps, Input video frame rate : 8fps
- 橙 2 : Network in : 25Mbps, Input video frame rate : 8fps
- 橙 3 : Network in : 15Mbps, Input video frame rate : 5fps

工場内で品質確認等に 4K カメラを用いることが予想される各ポイントにおいては、伝送容量 15～40Mbps、フレームレート 5～14fps で推移することが分かった。

レベラー側（橙 1～3）については、通信品質は劣化するものの基地局のアンテナ方向と全く別の方向に位置するにも関わらず、最低 15Mbps/5fps という結果を得られた。実際の配信映像はフレームレートが低下していることに伴い「カクカク」しているような映像が配信されてしまうが、製品表面の外観を確認するという目的に置いて運用上問題ない程度の通信品質であると考えられる。

また、青8については、サミットスチール大阪工場の第三スリッターライン（S3）の設備に付随している高さ約5m、幅7m、奥行き7m程度の「自動刃組ロボット（図4.2.5-7参照）」の影になる位置で測定を実施した。自動刃組ロボットはアーム型の産業ロボット2基が金属製の板や金網で囲われており、高さ5mの金属物の影で基地局のアンテナは直線方向で遮断されている。配信停止を招く可能性の高い環境にも関わらず、「25Mbps/8fps」で4K映像が配信し続けられていたため、工場内の金属物からの反射波により安定的に通信されていることが確認された。



図 4. 2. 5-7) S3 の「自動刃組ロボット」

#### 4. 2. 6. 課題解決システムに関する運用検証

検証にあたっては実証期間中、本課題解決システム（遠隔作業支援）を使用する担当者へのアンケートを通じた評価・検討を行う。

具体的には、営業担当者、品質管理担当者等々に対して、5つの検証項目（①操作方法及び運用の観点、②横展開（汎用性）の観点、③セキュリティの観点、④保守の観点、⑤安全性の観点）からアンケートを行い（以下「運用検証に関するアンケート項目（想定）」ご参照）、運用面での課題を抽出し、解決策を検討する。具体的な検証項目及び検証手法を下表（表4.2.6-1）に、運用検証に関するアンケート項目を（表4.2.6-2）（表4.2.6-3）示す。

本課題実証システムを導入する場合、下図（図4.2.6-1）（図4.2.6-2）の手順で課題実証システムを運用することとなる。新しい作業手順が撮影者にとって最適な手順か、アンケート調査を通じて作業員へのヒアリングならびに最適な作業手順を検証する。

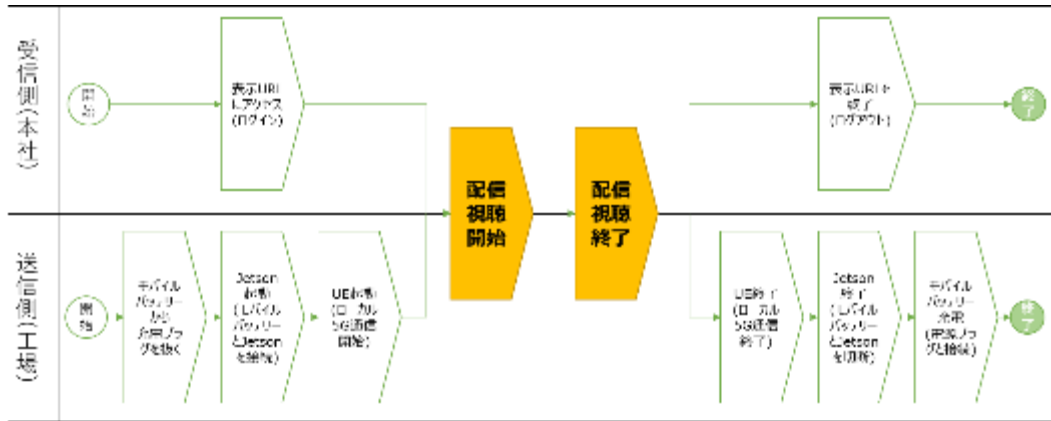


図 4.2.6-1) リアルタイム視聴の配信および視聴手順

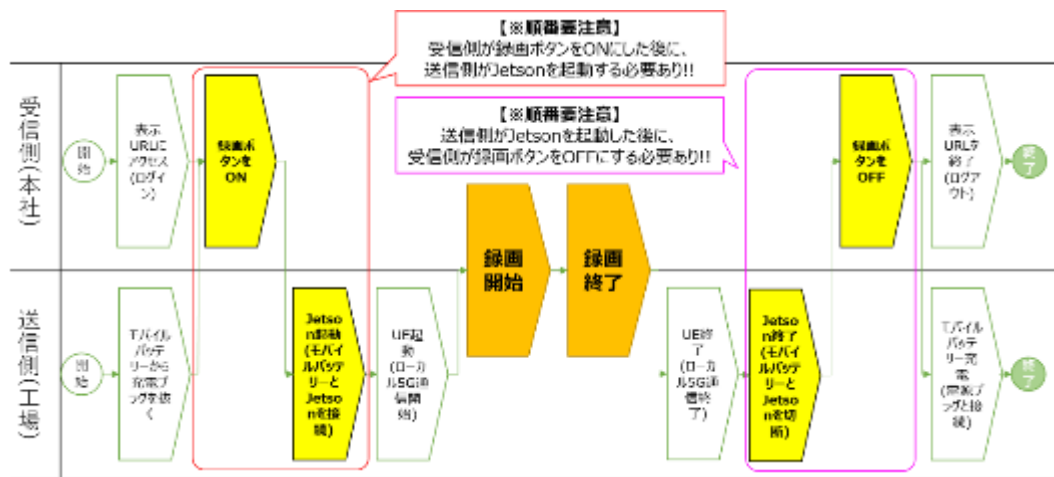


図 4.2.6-2) 録画機能作業手順

検証項目	概要	検証手法
①操作方法及び運用の観点	機器を操作する品質管理担当者や営業担当者が負荷無く使用でき、実際に使いたいと思うか。	アンケート
②横展開 (汎用性)の観点	サミットスチール社内のみでなく仕入先や販売先及び外注先等でも適用可能か。	アンケート
③セキュリティの観点	第三者からのアップロード、ダウンロード等セキュリティ上の問題は無いか。	アンケート
④安全性の観点	運用上、安全性に支障は無いか	アンケート
⑤保守の観点	機器のメンテナンス頻度、方法等について	アンケート、ソリューションベンダーとの会話等

表 4.2.6-1) 具体的な検証項目及び検証手法

■ ユースケースについて（今回使用したユースケースについて、該当部分にチェック(●点)をお願い致します）

ユースケース	チェック	詳細
1) 工場内での現品確認		(不良確認時) 工場棟と事務所棟をつないで現品確認。
2) 本社営業の現品確認		(不良確認時) 工場と本社をつないで現品確認。
3) 客先の加工立ち会い		(出荷保留コイルなどの加工立ち会い時) 工場、本社、客先をつないで現品確認。
4) メーカー品質巡回		(メーカー品質巡回時) 工場、本社営業、メーカーをつないで現品確認。
5) 保険求償業者の現品確認		(保険求償時) 工場と業者をつないで現品確認。
6) 客先海外拠点との打合せ		(客先海外工場に輸出する場合) 工場、本社営業、海外客先工場をつないで現品確認。
7) 設備業者の現場確認		(設備交換前後に設備業者が製品確認する場合) 工場と設備業者を繋いで確認。
8) 休日・夜間時の不良発券時		(休日・夜間加工時) 4Kの動画を録画する事で"確証"として保存が可能。
9) 結露発生時の現品確認		(結露発生時) 出荷前の結露発生時、工場と客先を繋いで確認。
10) 実地棚卸時の現品確認		(実施棚卸時の長期在庫の状態確認) 4Kの動画を録画する事で"確証"として保存が可能。
11) その他		(用途を記載ください)

■ 実証実験について(10段階評価で、①～⑩の該当する項目を「○」で囲んでください。)

本システムをどれくらい他のコイルセンターに薦めたいですか？	① 薦めたい	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩ 薦めたくない
-------------------------------	-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------

■ バッグ持ち運び時の運用について(5段階評価で、①～⑤の該当する項目を「○」で囲んでください。)

バッグの可搬性について	① 持ち運びしやすい	②	③	④	⑤ 持ち運びしにくい
安全面への影響有無について	① 影響無し	②	③	④	⑤ 影響有り

■ カメラスタンバイ～起動迄の運用について(5段階評価で、①～⑤の該当する項目を「○」で囲んでください。)

カメラ起動時の操作性について	① 操作しやすい	②	③	④	⑤ 操作しにくい
手取り棒、ミニ三脚の取付について	① 取付しやすい	②	③	④	⑤ 取付しにくい

■ 撮影時の運用について(5段階評価で、①～⑤の該当する項目を「○」で囲んでください。)

撮影のし易さについて	① 撮影しやすい	②	③	④	⑤ 撮影しにくい
安全面への影響有無について	① 影響無し	②	③	④	⑤ 影響有り
受信者側とのコミュニケーションについて	① 明瞭	②	③	④	⑤ 不明瞭

表 4.2.6-2) 配信側(大阪工場) 運用検証に関するアンケート項目

■コースケースについて（今回使用したコースケースについて、該当部分にチェック(●点)をお願い致します）

コースケース	チェック	詳細
1) 大阪工場内での目視確認		(加工中キズ発生時) SS大阪現場とSS大阪品管担当者をつないで現品確認。
2) 淀屋橋営業担当者の現品確認		(加工中キズ発生時) SS大阪現場と淀屋橋営業担当者をつないで現品確認。
3) 客先との現場加工立ち会い		(出荷保留コイルなどの加工立ち会い時) SS大阪現場と淀屋橋営業担当者、客先をつないで現品確認。
4) 鉄鋼メーカー定例品質巡回		(メーカー品質巡回時) SS大阪現場と鉄鋼メーカー、淀屋橋営業担当者等をつないで現品確認。
5) 保険求償時業者との現品確認		(保険求償時) SS大阪現場と業者をつないで現品確認。保険求償時の現品確認用として使用する。
6) 客先海外拠点との打合せ		(日本で加工した製品を客先海外工場に輸出する場合) SS大阪現場と淀屋橋営業、海外客先工場をつないで確認。
7) 設備業者の現場確認		(設備交換後に設備業者が製品確認する場合) 設備業者とSS大阪現場を繋いで確認。
8) 休日・夜間時の出荷保留時		(休日・夜間加工時にキズを発見した場合) SS大阪現場にて4Kカメラ動画で撮影、録画しておく事で確認として保存が可能。
9) 結露発生時の現品確認		(結露発生時) 出荷前の結露発生時、SS大阪現場と客先を繋いで確認。
10) 実地棚卸時の現品確認		(実施棚卸時) 長期在庫の状態確認。録画しておく事で確認として使用が可能。
11) その他		(用途を記載ください)

■実証実験について

本システムをどれくらい他のコイルセンターに薦めたいですか？	-	① 薦めたい	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩ 薦めたくない
-------------------------------	---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------

■カメラの操作性について(5段階評価で、①～⑤の該当する項目を「○」で囲んでください。)

画面の操作性について	-	① 使いやすい	②	③	④	⑤ 使いにくい
撮影者側とのコミュニケーションについて	-	① 明瞭	②	③	④	⑤ 不明瞭

■不良確認の場合(5段階評価で、①～⑤の該当する項目を「○」で囲んでください。該当しない項目は「記載なし」をお願いします。)

キズの大きさにについて	-	① よく分かる	②	③	④	⑤ 分かりにくい
不良部の位置について	-	① よく分かる	②	③	④	⑤ 分かりにくい
ピッチ性について	-	① よく分かる	②	③	④	⑤ 分かりにくい
凹凸の深さについて	-	① よく分かる	②	③	④	⑤ 分かりにくい
巻きすれ等の程度について	-	① よく分かる	②	③	④	⑤ 分かりにくい
バリの高さについて	-	① よく分かる	②	③	④	⑤ 分かりにくい

表 4. 2. 6-3) 視聴側(本社) 運用検証に関するアンケート項目

・ 検証結果

撮影側（大阪工場）のアンケート調査は、大阪工場の作業員 15 人を対象に実施。アンケート結果は表 4. 2. 6-4) の通り。総合評価（10 段階評価）では、平均で「5.40 点」という点数であった。

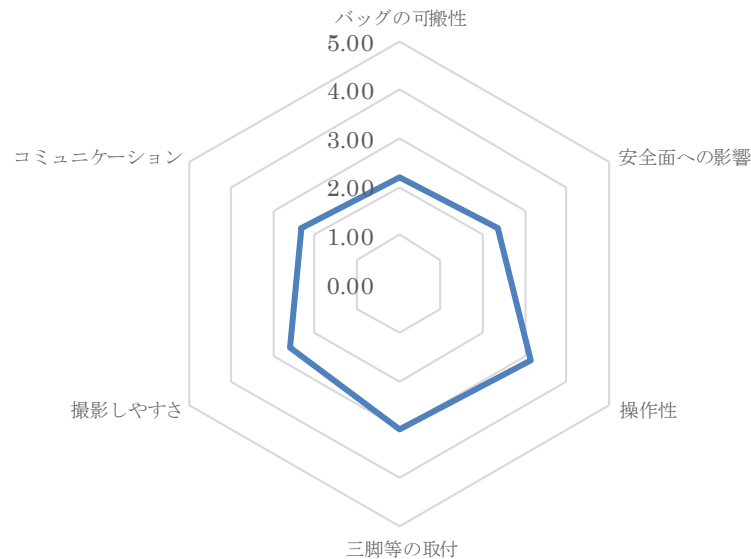


表 4.2.6-4) 撮影者用アンケート結果

撮影側（大阪工場）のアンケートの結果、「①バッグの可搬性（2.20点）」、「②安全面への影響（2.33点）」、「③受信者とのコミュニケーション（2.33点）」が要改善項目として挙げられている。作業者からの意見は以下の通り。

①バッグの可搬性（2.20点）について、

- ・ 「バッグをコンパクトにしてほしい。」
- ・ 「バッグがもう少しコンパクトで軽くなれば良い。」
- ・ 「見た目以上に重く感じる。軽くすることはできないのか。」

②安全面への影響（2.33点）について

- ・ 「配線無くしてもらいたい。両手がふさがるのは安全面に影響する。」
- ・ 「可能であれば、カメラ単体で体に取り付けられるタイプのものが良い。」

③受信者とのコミュニケーション（2.33点）について

- ・ 「撮影時の『タイムラグ』及び『手振れ』が調整できればキズや平坦不良などの品質不良を明確に伝えられると思う。」
- ・ 「『遅れ（タイムラグ）』が気になる。」

その他に、「4Kカメラを複数台使ってラインの複数個所を定点観測できれば、加工立ち合いのために取引先にわざわざ大阪工場に来てもらう必要もなくなるし、立ち合いのために加工工程を変更するなどの対応も必要なくなるので、非常に助かる。」という前向きに意見もいただいた。

受信側（本社）のアンケート調査は、本社の営業担当者20人を対象に実施。アンケート結果は表4.2.6-5)の通り。総合評価（10段階評価）では、平均で「7.00点」という点数であった。

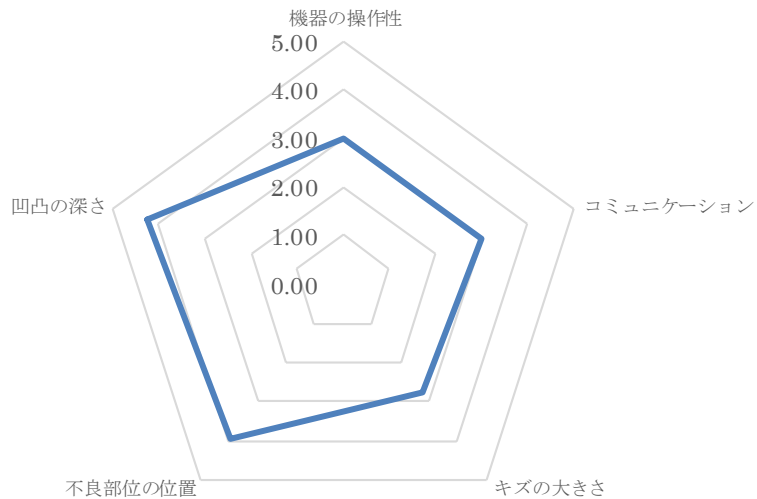


表 4.2.6-5) 受信者用アンケート結果

受信側（本社）のアンケートの結果、「①キズの大きさ（2.75点）」、「②受信者とのコミュニケーション（3.00点）」、「③機器の操作性（3.00点）」が要改善項目として挙げられる。

①キズの大きさ（2.75点）について

- ・「ピントが合うとよく見えるが、ピントが合うまでに時間がかかる。」
- ・「写真では表現しにくい凹凸は、副朝を測定する測定器を等を介揃えないと十分とは言えないかもしれない。」
- ・「画像が鮮明過ぎて素地の肌合いまで見えてしまい、キズでは無い箇所までキズに見えてしまう恐れがある（目視と差が出るのでは。）」
- ・「表示画面の中にメジャーなどがあればキズの大きさが分かりやすい。」

②受信者とのコミュニケーション（3.00点）について

- ・「反応が遅い（＝タイムラグがある）と感じる。」
- ・「現場とのコミュニケーションに不安を感じる。」

③機器の操作性（3.00点）について

- ・「接続（本社側のWi-Fi環境）が悪いので、スムーズにしてほしい。」
- ・「通信状態が悪く、画面が動かず判断がつかない。」

その他にも以下の前向きなご意見をいただいた。

- ・「写真で確認するよりも、より鮮明に確認できると感じた。」
- ・「お客様と直接確認できるのは武器になるはず。」
- ・「品質巡回や客先への品質説明に利用でき、情報の展開が期待できる。」
- ・「映像が鮮明で見やすい。」
- ・「デジタルカメラの画像と比較すると格段に明瞭。」



本開発実証では「品質確認」に絞って4K映像配信の開発実証を実施したが、品質確認のみならず、他の用途、特に遠隔からの設備メンテナンス支援にも活用出来るかにつき、サミットスチール大阪工場/技術チームも交えて調査を実施した。

図 4.2.6-3 はサミットスチール大阪工場 S2 の制御盤の様子である。現状、大阪工場の設備にトラブルが発生した場合や定期メンテナンスの前後では、技術チームが窓口となり設備メーカーとメンテナンスの調整をしている。

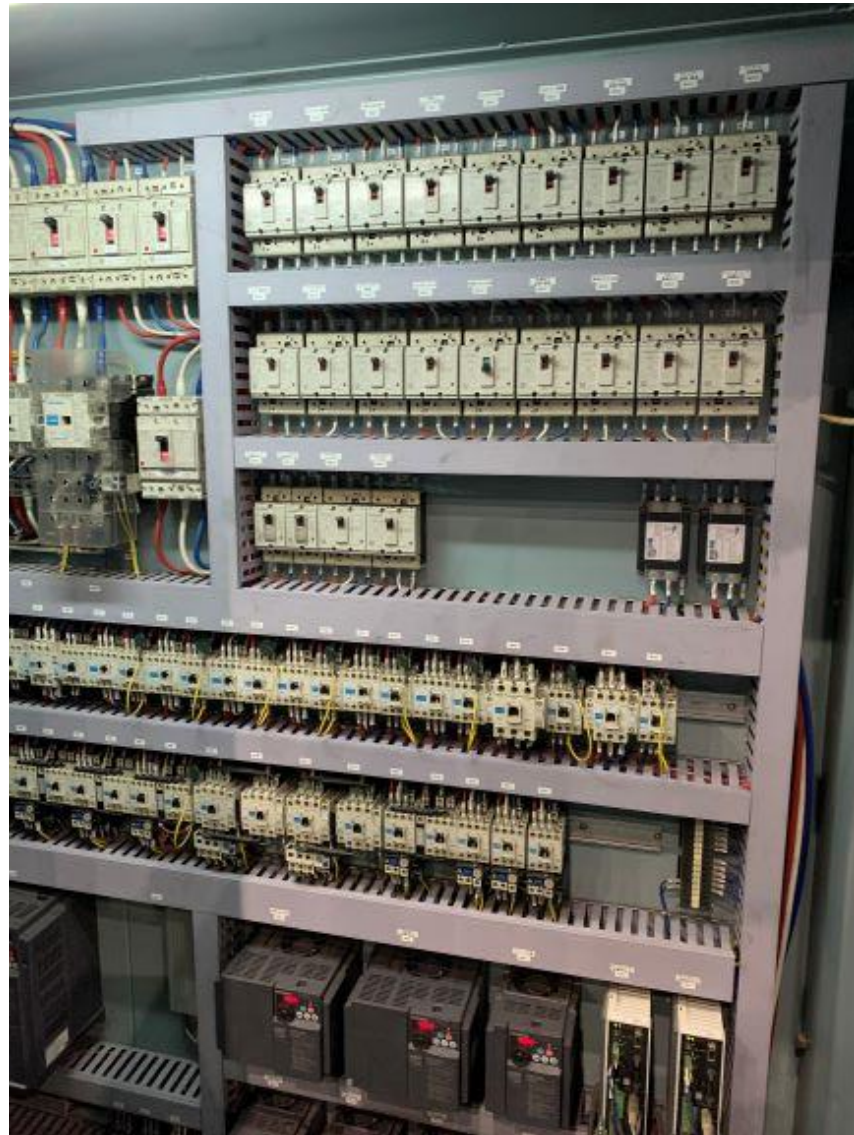


図 4.2.6-3) S2 の制御盤

制御盤の一部を4Kカメラで撮影した映像（スクリーンショット）が図 4.2.6-4 である。接写することにより細かな文字まで読み取ることができ、現物確認に活用できることが分かった。



図 4.2.6-4) 制御盤の一部を 4K カメラで撮影した様子

技術チームからは「設備トラブルは『異音』から始まることが多い。正常稼働時とは異なる音が発生した場合は音を頼りに不具合が起きている場所の特定を実施することが多い。また、近年はソフトウェアの進化により、遠隔からでも設備メンテナンス可能な仕組みもある。ただ、設備メーカーが大阪工場から片道 3 時間以上かかる場所に立地しているところもあるので、一番最初の状況確認に 4K カメラを活用することは検討の余地がある。」とのコメントがあった。

#### 4.2.7. まとめ

- ・ 実証目標の達成状況

- ① 営業担当者の大阪工場への品質確認時の移動時間削減

社有車履歴からは顕著な現象は見られなかったが、アンケート結果から「映像が鮮明で品質を確認できる」との声あり。在庫ヤードや S2 以外のラインでも 4K 映像が配信できることを確認できたため、活用範囲が広げられることが期待できる。

社有車使用履歴から、サミットスチール大阪本社から大阪工場に向けて月 200 時間程度の社有車使用時間となっている中、4K 映像を用いることにより品質確認のための工場訪問を月 2 回、合計 6～8 時間程度の立ち合い時間を削減することは現実的と考える。

- ② 濃厚接触機会を減らし新型コロナウイルス感染リスク低減

実証期間中にもサミットスチール大阪工場の作業者の発熱により、濃厚接触の疑いがある作業者を一時的に自宅隔離するという事態もあり (PCR 陰性)。品質確認以外にも設備メンテナンスや長期滞留在庫の状態確認など様々な用途に広げることによって新型コロナウイルスの感染対策に繋がるソリューションを構築できた。

### ③鋼板キズ許容判断待ちによるダウンタイムの最小化

課題実証期間中はモバイルバッテリーのトラブルにより、「品質確認待ち」による計画外停止のタイミングを逸してしまった。「品質確認待ち」によるライン停止は月に1回数十分の頻度で発生しているため、今後の要検討課題となる。

#### ・ 実証・検証結果

4K映像そのものに対する評価は高く、今後の品質確認のオペレーションを変える期待感は大きいと考える。

また、当初想定以上にローカル5Gの電波が向上の広範囲をカバーしていることで、S2付近のみならず他のラインや出荷ヤードなど工場内の広範囲で様々な用途の検討が期待できる。基地局から離れたポイントでの測定結果は伝送容量 25Mbps、フレームレート 8fps と通信品質に課題はあるものの、コマ落ちによる影響があったとしても鋼板の品質確認は「視聴者が視聴したいポイントでカメラを止める」というオペレーションとなるため、特に大きな影響はないと考える。

一方、最も大きな課題はローカル5Gにの外側で起きる配信遅延の問題で、工場の作業員や本社の営業担当者からも改善要望多数あり、課題として後述する。

#### ・ 技術的課題や実装を想定した場合の運用に係る課題

##### ➤ 15～20秒の配信遅延について

項目 4.2.3 の通り今回の開発実証では、データ通信において「安定配信」を志向した HLS を採用していることにより 15～20秒程の遅延が確認されている。但し、アンケート調査結果(項目 4.2.6)の通り、配信側の工場作業員および受信側の営業担当者からは、この配信遅延に対する改善要望が多く上がっていた。

##### ◇ 「CMAF Chunks」と「Chunked Transfer Encoding」

「CMAF」とは「Common Media Application Format」の略称であり、Apple社とMicrosoft社が共同で策定した共通規格である。CMAF Chunksとは、動画撮影によって生成されたセグメントファイルの中に「Chunks」という小さな単位(塊)を作れるようにすることであり、Chunked Transfer Encodingと組み合わせることによって「Chunksというセグメントファイルより更に小さな単位(塊)毎にデータ通信をすることができ視聴者への到達が早くなる」というメリットがある。実際に3秒未満の遅延も実現している例もあり、HTTP方式を用いながら超低遅延を実現できる。

##### ◇ WebRTC (Web Real-Time Communication)

APIを経由してウェブブラウザやモバイルアプリでリアルタイム通信を実現する技術である。Google Chrome、Microsoft Edge、Mozilla Firefox、Safariなど様々なブラウザに対応している。

HLS を含めた一般的な一方向の動画配信では TCP (Transmission Control Protocol) を採用している。TCP は、サーバを介したデータ通信であり、端末からサーバに接続を開始してから相手がデータを受け取ったかを確認するまでが一連の流れであり、相手がデータを受け取れていない場合は受け取るまで何度も再送するというプロトコルである。

一方で、WebRTC では、UDP (User Datagram Protocol) が採用されている。UDP は、サーバを介さない P2P (Peer to Peer) のデータ通信である。TCP と異なり配信されたデータは送りっぱなしであり、相手がデータを受け取ったかの確認はしない一方通行のデータ通信である。UDP を採用することにより通信の軽さを実現しているが、相手がデータを受け取っていない場合でもデータを再送せずデータの欠落が生じる可能性がある。WebRTC を用いることで 200ms~1 秒以内の遅延に収まることが可能であるが、データの到達が確認されず信頼性が落ちること、接続人数に限りがあることなどから注意が必要である。

今回の開発実証では初期構想段階において、多少の遅延があったとしても鋼板表裏面に確認される不良の確認に影響はないものと思いき開発実証を進めてきたが、本社、工場双方の担当者から遅滞解消に向けての要望を多数取得したことから、CMF Chunks + Chunks Transfer Encoding や WebRTC など超低遅延 (Ultra Low Latency) ~秒未満 (sub-second) の遅滞に収めるような改修を優先度高く考える必要があると考えている。

▶ 本社側 (視聴側) の遅延時間

今回の開発実証では、配信側 (上り) をサミットスチール大阪工場、視聴側 (下り) をサミットスチール大阪本社と定めて運用実施した。上りはローカル 5G を活用することで約 70Mbps 以上の伝送容量を確保したが、視聴側で受信速度が低下するという問題が発生した。

当初、サミットスチール大阪本社で使用されている社内 Wi-Fi を iPad Pro に接続することとしており 80Mbps 程度の下りの伝送容量を確保することができるものと考えていたが、通常営業時間帯では従業員も同じ Wi-Fi を使用することになるため、下りの伝送容量が 20~30Mbps に低下する事象を確認した。

開発実証中に変換アダプタ (USB Type-C を Ethernet、HDMI、USB-Type-A) を購入することで当初想定していた社内 Wi-Fi ではなく、有線環境での視聴環境を急遽構築することになり 160Mbps 程度の下りのスループットを確保することで安定的に視聴する構成を取ることができたが、将来的に本社営業部 (淀屋橋) に設置した 4K ディスプレイのみならず、外出先などからのスマートフォンでの視聴や、取引先による視聴などの運用を考えた場合、視聴側の通信環境に応じて 4K 映像が安定的に視聴できない可能性は考慮する必要があると考える。

今回の「遠隔作業支援」を通じて、4Kの高精細映像を用いた製造業現場における課題解決に関して開発実証を実施してきたが、昨今の新型コロナウイルスの感染対策にも繋がる有効な取り組みであったと感じている。

時間等の制約もあり具体的且つ定量的な効果を実現するまでには至らなかったが、ローカル5Gの無線電波が鉄製の内壁・天井・製品・設備などに反射・回折することにより、障害物があったとしても工場内の非常に広範囲の場所から4K映像を配信できることが分かった。これにより将来的に品質確認以外の用途での活用も模索でき、これまでの製造業現場ではあまり活用されていない「映像」を使った課題解決システムの構築が進むことが期待される。

工場内の様々な場所から、高精細な大容量の映像データをローカル5Gで遅延なく伝送することができれば、従来から取得している生産データなどと結合することで、製造業においてもより効果的且つ効率的なデータ活用が進むものと考えている。