

# 生産状況モニタリングシステムの開発

## ～生成 AI を活用した行動解析とサイバーフィジカルシステムの高速開発～

九州職業能力開発大学校 寺内 越三・牟田 浩樹  
 アイム電機工業株式会社 砂本 綾香・蒲原 隆浩

### 1. はじめに

九州職業能力開発大学校 応用課程 生産電子情報システム技術科では、1年次第Ⅲ期の標準課題実習「組込みシステム構築課題実習」において遠隔監視システムの構築に取り組んでいる。実習は10月中旬からの9週間、3～4名のチーム編成で行われ、学生は、各種センサ、Wi-Fi マイコン、USB カメラおよびシングルボードコンピュータ（以下、SBC という）を用い、教室と学生の遠隔監視をテーマに実践する。2024年度は企業からの相談を受け、特別テーマとして製鉄所構内における運用を想定し、物体検出 AI を活用した「作業員と重機の接近警報システム」の開発に8名の学生が取り組んだ。

2025年8月20日、アイム電機工業株式会社（以下、アイム電機工業という）生産部生産改善課の砂本氏より、物体検出 AI を用いた加工機周辺における作業員の滞在時間計測に関する相談を受けた。

アイム電機工業は、水中ポンプや水中モータの設計・製造を手掛ける専門メーカーで、多様な顧客ニーズに合わせたオーダーメイド、小ロット、多品種の生産に対応している。同社の工場では、マシニングセンタなどの加工機を用いて、ポンプやモータの部品加工を行っている。しかし、日報が手書きであるため作業実績がデータ化されておらず、客観的なデータに基づいた生産計画の立案が課題となっている。作業員に負担をかけることなく加工機の稼働時間と作業員の実作業時間を正確に計測することがで

ければ、1名の作業員が2台の加工機を操作する「多台持ち」の体制構築が可能となり、大幅な生産効率の向上が期待できる。

そこで本実習では、生産効率の向上を目的に、加工機の稼働状態をセンサで、作業員の状態を物体検出 AI 等でそれぞれ計測・判定し、生産状況を「見える化」するサイバーフィジカルシステム（CPS）「生産状況モニタリングシステム」を安価に開発することを目標とした。実習においては、実証実験の容易性を考慮し、「加工機に向かう作業員」を「棚に向かって作業する学生」に見立てた模擬環境を設定して検証を行った。図1に加工機と作業員のイメージイラストを、図2および図3に設定した模擬環境（チームA・B）を示す。

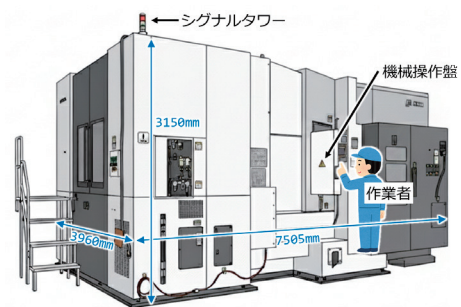


図1 加工機と作業員のイメージイラスト



図2 模擬環境（チームA）



図3 模擬環境 (チームB)

## 2. 実習の計画と開発プロセス

### 2.1 工場見学の実施と課題の設定

9月8日、共同研究者の牟田指導員（機械系）と共に工場見学を実施した。現場では、水中ポンプを構成する部品や、それらを加工する大型横形マシニングセンタ（OKUMA MB-8000H）、および作業者の行動範囲や作業内容（段取り・加工）について確認した。また、同社が現在取り組んでいる生産改善活動についても視察を行った。これは、加工機に設置されたシグナルタワーをUSBカメラで撮影し、画像認識によって点灯状態を検知・記録してWebブラウザ上でグラフ化するシステムである。

これらの知見と、本実習で扱うIoT・AI・Webアプリ技術を照らし合わせ、システムの目的と目標を明確化し、システム構成の検討および使用機器の選定を行った。図4にシステム構成図を示す。

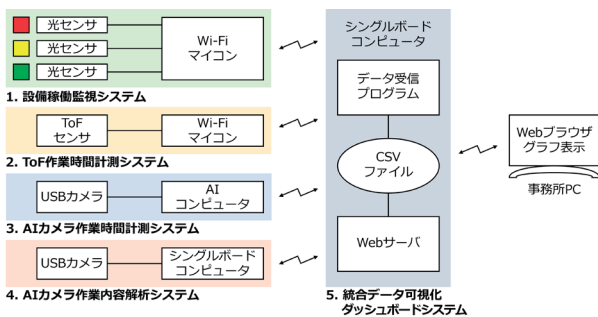


図4 システム構成図

本実習で開発する「生産状況モニタリングシステム」は、以下の5つのサブシステムから構成される。

#### (1) 設備稼働監視システム

加工機のシグナルタワーの点灯状態を光センサで検知し、稼働データを収集する。

#### (2) ToF 作業時間計測システム

加工機を操作する作業者をマルチゾーン ToF 測距センサで検知し、作業時間を測定する。

#### (3) AI カメラ作業時間計測システム

加工機を操作する作業者を AI カメラで検知し、作業人数を測定する。

#### (4) AI カメラ作業内容解析システム

加工機を操作する作業者の姿勢を AI カメラで検知し、作業内容を判定する。

#### (5) 統合データ可視化ダッシュボードシステム

各システムから集約した計測データを CSV 形式で記録し、Web ページ上にグラフで可視化する。

その後、9月30日に全学生に対して課題概要を説明し、参加希望アンケートを実施した。その結果に基づき選出した8名の学生を、4名ずつ2つのチーム（A・B）に編成した。表1に実習の全体スケジュールを示す。

表1 スケジュール

週	主な実習内容
1	実習場見学, 要件定義とシステム設計, 企画提案会議
2	開発環境の構築, 要素技術の検証, 画面・通信設計
3	データ構造・処理フロー設計, アルゴリズムの調査
4	工場見学, システム実装 (回路・プログラム)
5	発表準備 (予稿・スライド), 発表練習
6	中間発表会, 機能追加・改良
7	予稿作成, シナリオテスト
8	発表準備 (スライド・動画), 最終発表会
9	開発報告書の作成

### 2.2 課題の理解と企業への企画提案

10月14日より実習を開始した。まず前提知識として、対象企業の事業概要および機械加工の基礎について学習した。具体的には、主な工作機械（旋盤、フライス盤、マシニングセンタ）の種類や、加工作業における「段取り」と「加工」の工程について習得した。

次に、牟田指導員の案内により、学内の機械系実習場を見学した。ここでは監視対象となるマシニングセンタを用いた具体的な加工作業の手順や、メンテナンス作業について詳細な説明を受けた。

これらの事前学習から課題内容を整理し、10月20日に共同研究先企業とWeb会議にて「企画提案会議」を開催した。会議では、各自が担当するシステムの目的、使用機器および動作概要についてプレゼンテーションを行い、質疑応答を経て仕様を決定した。

### 2.3 現場観察とプロトタイプ開発

実習4週目となる11月6日、学生の要望に基づき、代表学生4名による工場見学を実施した。現場では企業担当者の案内のもと、加工機の高さや作業範囲、段取り作業の手順や、加工時の操作姿勢などを観察した。特に、作業者が加工機内へ出入りする様子や、事務所で稼働する既存監視システムの運用状況についても観察した。これらの見学で得られた知見を設計に反映させ、プロトタイプ開発を継続した。図5に工場見学の様子を示す。



図5 工場見学の様子

### 2.4 中間発表会と機能改善

実習6週目となる11月20日、企業担当者2名の出席のもと、中間発表会を開催した。発表会では、各サブシステムの画面設計、動作概要および開発進捗について説明を行った。発表後には、企業担当者を交えた意見交換会を実施し、現場視点での具体的なフィードバックを得た。主な意見を以下に示す。

#### 【ToF 作業分析システム】

- ・装置は高所に設置するため、操作が不要なメンテナンスフリーが望ましい。

#### 【AI カメラ作業時間計測システム】

- ・段取り作業時に作業者は加工機内に入り、カメラの死角となるが、作業状態の継続判定ができないか。
- ・熱中症などの体調不良により作業者が動かなくなる異常発生時に、管理者に警告を発する機能があれば有用である。

#### 【AI カメラ作業内容解析システム】

- ・作業者の「位置」と「向き」を組み合わせることで、操作盤の操作（左向き）、加工機内の確認（奥向き）、図面の確認（右向き）といった具体的な作業内容の判別が可能ではないか。

#### 【統合データ可視化ダッシュボードシステム】

- ・設備の稼働状態（ランプ点灯）のグラフと作業者の作業内容グラフを同一の時間軸上で重ねることで、両者の相関関係を把握しやすくしてほしい。
- ・製造工程が日をまたぐケースを考慮し、表示データの開始・終了日時を任意に選択できる機能がほしい。

以上の意見を受け、各システムの仕様変更および機能追加に取り組んだ。AIカメラシステムにおいては、作業者が加工機内に入ったことを検知する「作業状態継続機能」や、一定時間動かない場合に異常とみなす「体調不良判定機能」、および作業者の位置と向きから「段取り」か「加工」かを判定するロジックを実装した。また、ダッシュボードシステムにおいては、「設備および作業稼働グラフの統合表示」を実装し、視認性を向上させた。図6に意見交換会の様子を示す。



図6 意見交換会の様子

### 3. 生産状況モニタリングシステム

本章では、開発した生産状況モニタリングシステムの詳細について述べる。開発プロセスとして、まず各チームにおいてシステム間の通信プロトコル（チームA：MQTT，チームB：TCP）およびデータフォーマットを策定し、通信仕様の確定後、各サブシステムの機能実装を行った。

なお、本年度の標準課題実習における新たな試みとして、近年の技術動向を踏まえ、ソフトウェアのコーディングやデバッグにおいて、ChatGPTやGeminiなどの生成AIを積極的に活用した。

#### 3.1 設備稼働監視システム

加工機の稼働状態を可視化することを目的に、シグナルタワーの点灯状態を光センサで検知し送信するシステムを開発した。まず、動作検証用のシグナルタワー模擬点灯装置を製作した。次に、センサ固定用治具を設計し、3Dプリンタで造形した。治具は、外乱光の影響を排除するため、シグナルタワーに密着する構造とした。図7に固定治具の3Dデータと実物を、図8にセンサを固定したシグナルタワー模擬点灯装置を示す。

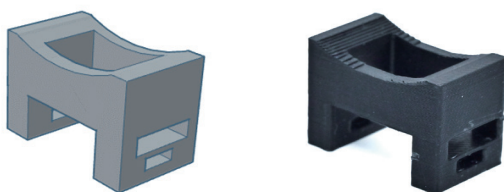


図7 3Dデータと実物

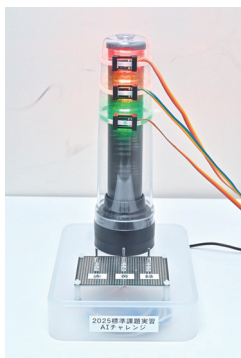


図8 シグナルタワー模擬点灯装置

ハードウェア構成として、光センサにはTexas Instruments社製OPT4001を、Wi-FiマイコンにはM5Stack社製AtomS3を選定し、両者はI<sup>2</sup>Cにて接続される。

システム動作として、電源投入時にはディスプレイにセンサの検知状態と通信状態（Wi-Fi，MQTT，I2C）を表示する。センサ値が設定した閾値を超えると点灯と判定し、その点灯色（緑・黄・赤）を画面に表示し、結果を送信する。図9に設備稼働監視装置を示す。

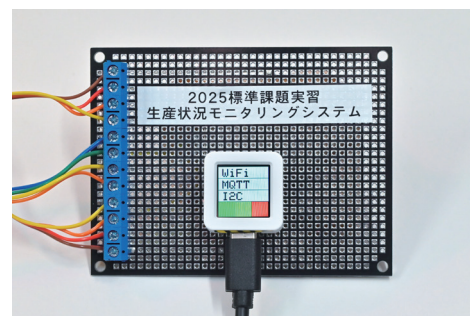


図9 設備稼働監視装置

#### 3.2 ToF 作業時間計測システム

AIカメラシステムよりも低コストで作業時間を計測することを目的に、ToFセンサで作業者の有無を検知し送信するシステムを開発した。ハードウェア構成として、ToF測距センサにはSTMicroelectronics社製VL53L5CXを、Wi-FiマイコンにはM5Stack社製M5Stack Core2を選定し、両者はI<sup>2</sup>Cにて接続される。

システム動作として、電源投入後に初期キャリブレーションを実行し、作業者がいない状態の基準値を定め、自動的に測定を開始するメンテナンスフリーな運用とした。測定中は、8×8マスの測定値をヒートマップとしてディスプレイに表示するとともに、基準値に対し一定以上の変化が生じた際に作業者の有無を送信する。また通信エラーが発生時には、原因表示および警告音で異常を通知し、自動復旧する機能を実装した。

装置を高さ2.5mの天井に設置した結果、1.35m×1.35mの範囲が検知可能であることを確認した。図10にToF作業時間計測装置を示す。

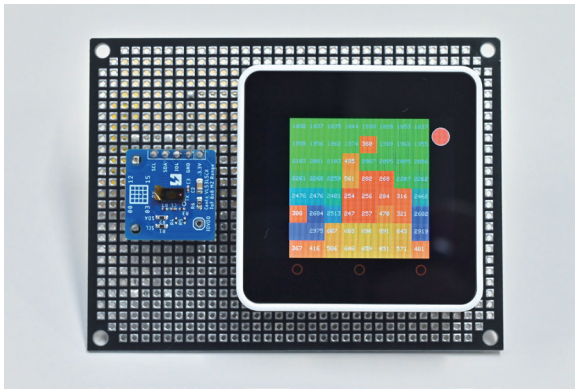


図10 ToF 作業時間計測装置

### 3.3 AI カメラ作業時間計測システム

作業時間を計測することを目的に、AIを用いて作業者を追跡し、作業人数を送信するシステムを開発した。ハードウェア構成として、USBカメラにはBUFFALO社製BSW500MBKを、AIコンピュータにはNVIDIA社製Jetson Orin Nano Superを選定した。ソフトウェア構成として、物体追跡にはYOLO11を、Web配信にはFlaskを採用した。推論モデルには、作業帽を被った作業者を俯瞰撮影した画像約1,000枚を用いて学習させた独自モデルを使用した。

システム動作として、両チーム共通で作業者を追跡し、時刻と人数を送信する。

これに加え、各チームが独自機能を実装した。チームAは、作業場の内外を区分けするために、マウス操作で検知範囲を指定する機能を実装した。これにより、領域内での作業や領域外への移動を明確に判定できる。また作業内容解析システムの姿勢推定機能と連動し、作業者が15秒以上横たわっている場合は危険状態として警告する「体調不良判定機能」を実装した。

一方、チームBは、段取り作業中に作業者が加工機内に入り、カメラの死角となる課題に対応した。具体的には、扉（図12の映像の右端の緑枠）から機内（死角）に入り検知されなくなった場合は、作業終了（未検知）とはせず、作業状態継続機能を実装した。図11および図12に作業時間計測画面（チームA・B）を示す。



図11 作業時間計測画面（チームA）



図12 作業時間計測画面（チームB）

### 3.4 AI カメラ作業内容解析システム

作業内容を把握することを目的に、AIを用いて作業者の姿勢を推定し、作業者の位置と向き、及び作業内容（段取り・加工）の判定結果を送信するシステムを開発した。ハードウェア構成として、USBカメラにはELP社製ELP-USB16MP01-L75を、SBCにはRaspberry Pi Ltd製Raspberry Pi 5およびAI Kitを選定した。ソフトウェア構成として、姿勢推定にはHailo Pose Estimationを、Web配信にはFlaskを採用した。

システム動作として、両チームともAIが検出した作業者のバウンディングボックスと推定した身体のキーポイント（鼻、目、耳、肩、肘、股関節、膝）から、作業者の「滞在エリア」「体の向き」「姿勢」の3要素を解析する。具体的には、3つの滞在エリア、4方向の向き、および4種類の姿勢（立つ、しゃがむ、かがむ、横たわる）を分類し、これらを組み合わせて「段取り」か「加工」かを判定する。

判定ロジックとして、例えば、「右エリア」で「左向き」の時は「加工中」と判定し、それ以外の場合は「段取り中」と判定する機能を実装した。図13および図14に作業内容解析画面（チームA・B）を示す。



図13 作業内容解析画面 (チームA)

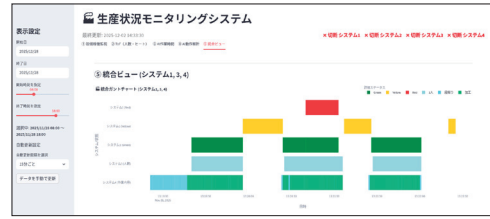


図15 ダッシュボード (チームA)

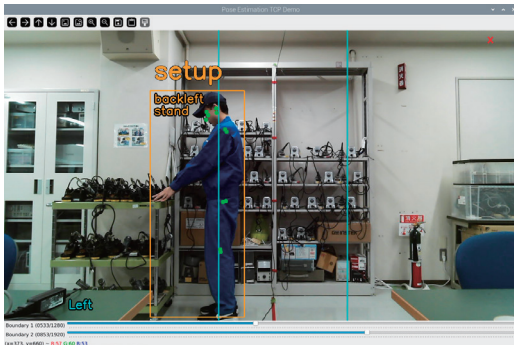


図14 作業内容解析画面 (チームB)



図16 ダッシュボード (チームB)

## 4. システムの評価

### 4.1 シナリオテストによる動作検証

開発した生産状況モニタリングシステムの総合的な動作検証を行うため、実際の運用を想定したシナリオテストを実施した。テスト用シナリオとして、2分間の中に「作業者の入場」「段取り」「加工開始」「エラー発生」「復旧作業」「加工完了」という一連の工程を盛り込んだフローを作成した。図17に学生が検討したシナリオを、図18に策定したテスト用シナリオ (抜粋) を示す。

### 3.5 統合データ可視化ダッシュボードシステム

生産状況を一元的に把握することを目的に、各システムで取得した稼働データを集約し、可視化するシステムを開発した。ハードウェア構成として、SBCにはRaspberry Pi Ltd製Raspberry Pi 5を選定した。ソフトウェア構成として、データ処理にはPandasを、グラフ描画にはPlotlyを、Web表示にはStreamlitを採用した。

システム動作として、まずMQTTやTCPで受信したデータを、サブシステムごと、かつ日付ごとのCSVファイルに保存する。次に、保存されたデータの統合とグラフを描画し、Webブラウザ上にダッシュボードとして公開する構成とした。

ダッシュボードの画面構成は以下の通りである。メイン画面には、ガントチャートを用いて「シグナルタワーの点灯状態 (3色)」「作業者の人数」「作業内容 (段取り・加工)」を同一の時間軸上で表示した。またヘッダーには、各サブシステムとの最終通信時間を表示し、サイドバーにはカレンダーとスライダーを配置し、表示対象となるデータの日時を絞り込む機能を実装した。図15および図16にダッシュボード (チームA・B) を示す。

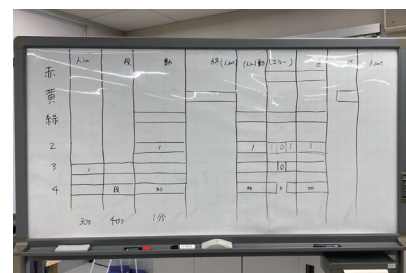


図17 学生が検討したシナリオ

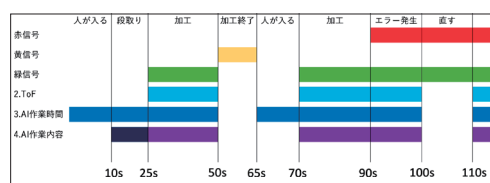


図18 策定したテスト用シナリオ (抜粋)

検証実験は、シグナルタワー模擬点灯装置の操作、および作業員役の学生による演技により実施し、システムがシナリオ通りの稼働状況を正しく検知・記録できることを確認した。検証実験の様子として、図19に加工中の作業員を、図20にエラー発生時の作業員を示す。



図19 加工中の作業員



図20 エラー発生時の作業員

#### 4.2 企業による評価（最終発表会）

実習8週目となる12月11日、最終発表会を開催した。当日は、企業担当者2名に来校いただいたほか、Web会議にて代表取締役社長をはじめとする7名にもご参加いただいた。

発表会では、実演動画を多用して各サブシステムの機能説明を行った。図21および図22に最終発表会の様子（チームA・B）を示す。



図21 最終発表会の様子（チームA）



図22 最終発表会の様子（チームB）

また、発表会で得られた主な意見を以下に示す。

生産改善課より

- ・幅広い生産現場での導入が期待されるシステムとなっている。
- ・加工機への入退場を追跡する機能も実装されており、現場の運用を十分に理解したうえで開発が進められている。
- ・メンテナンス性や画面構成など、利用者に配慮した設計となっている。
- ・本システムで取得した稼働データを活用すれば、現場作業員に具体的な改善提案が期待できる。

代表取締役社長より

- ・当社が実現したいと考えていた生産改善の構想に非常に近く、有効な取り組みになった。
- ・複数の加工機に本システムを搭載し、工場全体の稼働情報を一元的に「見える化」するシステムを構築してみたい。

#### 4.3 学生たちの考察と生成AI活用の評価

(1) 学生たちの考察と感想

実習を通して得られた、エンジニアとしての役割や技術的な課題に対する学生たちの考察を、3つの観点で整理して以下に示す。

【エンジニアの役割と開発プロセス】

- ・エンジニアの役割は、顧客の要望を実現するアイデア出しや設計が重要だと感じた。
- ・実装そのものよりも、仕様の整合性を保つ設計や、既存のコードを検証・修正する力が重要であり、コーディング以外の工程の重要性を再認識した。

- ・初期段階で通信方式などの共通事項を決めたことが、開発に集中するために不可欠だと学んだ。

#### 【顧客視点と「伝える力」】

- ・開発前の「依頼主との対話」で実装機能の優先順位をすり合わせるプロセスが、成果物の質を左右すると実感した。
- ・どれほど優れたシステムでも、その利便性や目的が伝わらなければ価値は半減する。エンジニアには技術力と同等以上に、「伝える力」が必要である。
- ・複雑な解析データを初見の相手に理解させるため、スライド構成や図解に試行錯誤を繰り返し、システムの価値を正確に伝えることに注力した。

#### 【システムの価値と技術倫理】

- ・設備と作業者のデータを同一時間軸で可視化したことで、現場の課題発見や業務改善の糸口になると確信した。作業者追跡データの分析により、レイアウト改善などの具体的な提案が可能になる。
- ・カメラ映像はプライバシー侵害のリスクがある。ToF センサの活用や、保存データへのモザイク処理、特徴量抽出など、配慮した設計が必要である。

#### (2) 生成 AI を活用したプログラミングについて

学生はプログラミング全般で生成 AI を活用した。報告書のアンケート結果および考察を以下に示す。

##### ①依存度と開発効率

AI 生成コードの割合は、40%~80% とする学生もいたが、6 名が「全体の 90% におよぶ」と回答した。開発時間の短縮については、「3 分の 2」から最大「10 分の 1」まで短縮できたという回答もあり、全員が大幅な時間短縮を実感した。

##### ②生成コードの精度と理解度

AI が生成したコードの動作については、汎用的な処理や細かい指示に対してはそのまま動作する一方、規模の大きい処理では手動による修正が不可欠であった。生成されたコードの理解度については「4 割」から「全て」までばらつきが見られた。

##### ③技術向上の実感

AI 利用によるスキル向上は、「あまり向上していない」という意見の一方で、「シンプルな書き方や、自分では思いつかない処理手順を知り、少し向上した」という前向きな回答も得られた。また、「以前は Web サイトで技術を調べていたが、今は生成されたコードを AI に解説させ学んでいる」といった学習の変化や、「基礎を理解し応用することで、開発スピードとスキル向上を実感した」との考察もあった。

## 5. おわりに

本実習では、生産効率の向上と生産状況の「見える化」を目的とし、IoT デバイスや物体検出 AI を活用した安価なサイバーフィジカルシステム「生産状況モニタリングシステム」を開発した。本システムにより、「加工機の稼働データ」と「作業者の工程データ」という異なる種類のデータを統合し、同一時間軸での可視化を達成した。

実習開始時、学生には「Make Something People Want (人が欲しいものを作れ)」というメッセージを提示した。学生はこの方針のもと、工場見学や意見交換会を通じて現場のニーズを機能へ反映させた。その結果、発表会の際には企業担当者より「まさにこんなのを探していた」との驚きの声をいただいた。

開発プロセスにおいては生成 AI を積極的に活用することで、短期間のうちに高度な機能を実装し、シナリオテストによる動作検証を経て、実用性の高いシステムを構築することができた。

最終発表会では、社長をはじめ多くの社員の方に向け、実演動画を多用したプレゼンテーションを実施し、同社の構想に近い有効な取り組みとして高い評価を得た。

本取り組みが、中小製造業における生産性向上と DX 推進の一助になることを期待する。

### 謝辞

本システムの開発にあたり、多大なるご協力をいただいたアイム電機工業株式会社の皆様に深く感謝の意を表します。