

作業員と重機の接近警報システムの開発 ～物体検出 AI を活用した安全管理 DX～

九州職業能力開発大学校 寺内 越三
太平洋運輸株式会社 西田 康一

1. はじめに

応用課程生産システム技術系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「組み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む。遠隔監視システムは、カメラ装置と表示装置から構成され、カメラ装置が撮影した画像を、ネットワークを介して送信し、表示装置の画面に表示するシステムである。九州職業能力開発大学校では、10月中旬から12月中旬までの9週間にわたり、3名または4名のグループで標準課題実習に取り組む。実習では、各種センサ、Wi-Fi マイコン、Wi-Fi カメラモジュールおよびシングルボードコンピュータ（以下、「SBC」と言う。）を用いて、教室と学生の遠隔監視をテーマに遠隔監視システムの開発を行っている。

2024年7月2日、太平洋運輸株式会社（以下、「太平運輸」と言う。）の西田氏から、日本製鉄九州製鉄所八幡地区構内におけるAIを用いた画像認識システムの開発について相談された。太平運輸は、製鉄所構内のスラグヤードにおいて、高炉徐冷スラグの運搬業務を担っている。スラグヤードでは、スラグを積み込むためのバックホー、ホイールローダー、ダンプカーなどの重機が複数稼働しているが、作業員が稼働中の重機に接近するのは危険である。一方で、停止中の重機に接近するのは危険ではない。西田氏は安全・環境・防災部の部長を務めており、前職のプログラマー経験を生かしてUSBカメラと

SBC（Raspberry Pi 4 Model B）を用いて製作した監視カメラをスラグヤードに設置し、危険状態の監視と作業員への安全指導を行っている。

監視カメラの映像を図1に示す。監視カメラの配信映像からAIを用いて作業員と重機を追跡し、作業員が稼働中の重機に接近するのを検知し、危険と判断された場合にはパトライトとブザーで警告し、危険状態を記録することができれば、監視の見落としを防止し、監視の空白時間をなくすることができる。今回、西田氏は、本相談案件に学生の参画を希望されていたことから、地域貢献の一環として遠隔監視システム開発の特別テーマ、「AI チャレンジ編」と銘打って課題を設定した。

以上から、安全管理のDX（デジタルトランスフォーメーション）を目的に、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」を開発することを目標とした。



図1 監視カメラの映像

2. 課題の提示と実習の実施

作業員と重機の接近警報システムを開発するために、学生に課題を提示し、標準課題実習を実施した。

はじめに、全学生に開発の背景と目的およびシステム全体の構成図を提示した。システム全体構成図を図2に示す。システムは、スラグヤードの全景を録画し、他のシステムに配信する「監視カメラシステム」、AIで作業員と重機の接近を検知する「作業員接近検知システム」、警報ボタンの操作により、パトランプの点灯などで警報する「遠隔警報システム」、危険状態が発生したことをデータベースに記録する「危険状態 DB（データベース）システム」の4つから構成され、監視室またはスラグヤードに設置し、ネットワークで相互に接続される。実習では、開発のしやすさから、スラグヤードを教室に、作業員を学生に、重機をワゴンに置き換えて課題を設定した。ワゴンの一例を図3に示す。課題の提示後、希望調査により開発担当者を8人選出し、4人組のグループAとBに分けた。

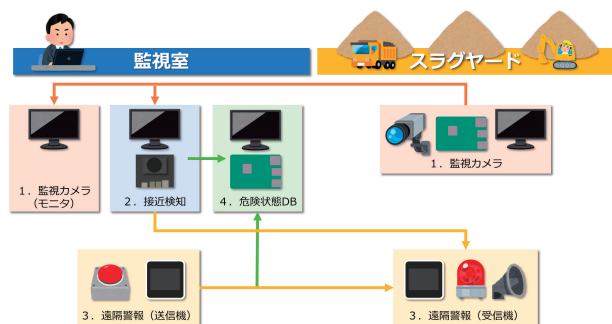


図2 システム全体構成図



図3 ワゴンの一例

次に、実習概要について説明する。週ごとの主な

実習内容を表1に示す。1週目は、各自が開発を担当するシステムを決定し、各システムの目的や使用機器、基本動作を明確にするために、目的と動作概要を明文化し、システム構成図を作成した。2週目は、各システムの画面デザインと動作や操作の詳細を明確にし、各システム間の通信方式を検討するために、画面詳細図を作成し、開発環境を構築し通信プログラムを試作した。3週目からは、プログラムの作成を開始し、4週目と8週目には、中間発表会や最終発表会に向けて予稿と発表スライドを作成し、発表練習を行った。5週目と9週目の各発表会には、太平運輸から西田氏と総務部の平川氏に出席していただき、発表会後には意見交換会を開催した。12月12日に開催した最終発表会の様子

表1 週ごとの主な実習内容

週	主な実習内容
1	目的と動作概要の明文化、システム構成図の作成
2	画面詳細図の作成、開発環境の構築、通信方式の検討
3	ソフトウェア設計、プログラム作成
4	予稿・スライド作成、発表練習
5	中間発表会、プログラム作成
6	プログラム作成
7	プログラム作成、システム統合
8	試験調整、性能試験、予稿・スライド作成、発表練習
9	最終発表会、報告書作成



図4 最終発表会の様子



図5 意見交換会の様子

を図 4 に、意見交換会の様子を図 5 に示す。

3. システム開発

グループ A、B が開発したシステムを順に説明する。

3.1 監視カメラシステム

遠隔地の危険状態を監視録画し、危険状態が発生した原因を究明することを目的として、スラグヤードの全景と作業員や重機の往来を録画し、他のシステムへ配信する監視カメラシステムを開発することを目標とした。

システム構成図を図 6 に示す。システムは、120 度広角 USB カメラ (ELP-USB4KCAM01H-CFV (5-50), ELP), SBC (Raspberry Pi 4 Model B, Element14), SSD (SSD-SCT500U3-BA, BUFFALO) から構成される。SBC 上では録画・配信プログラム、Web サーバ、ファイルサーバが動作する。プログラムの作成には Python, OpenCV, Tkinter を、Web サーバには Flask を、ファイルサーバには Samba を用いた。USB カメラの映像

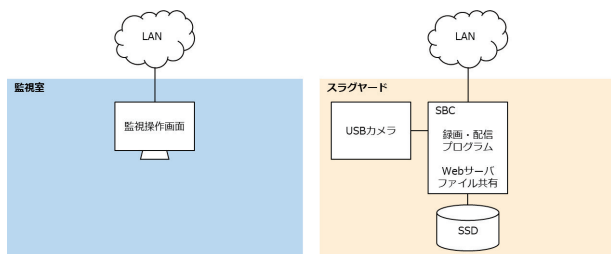


図 6 システム構成図

は、SSD に動画ファイルとして保存されるとともに、作業員接近検知システムに配信される。映像には NTP サーバから取得した日時が書き込まれ、1 時間ごとに新たなファイルに分割保存される。また保存されたファイルはファイルサーバにより共有され、他の端末から閲覧することができる。

グループ A の監視操作画面を図 7 に、グループ B の画面を図 8 に示す。グループ A の操作画面は Python アプリケーションとして、グループ B は Flask と JavaScript を用いた Web アプリケーショ

ンとして作成した。画面には録画経過時間や SSD への録画可能日数が表示され、ボタン操作により、録画や配信を行うことができる。



図 7 グループ A の監視操作画面

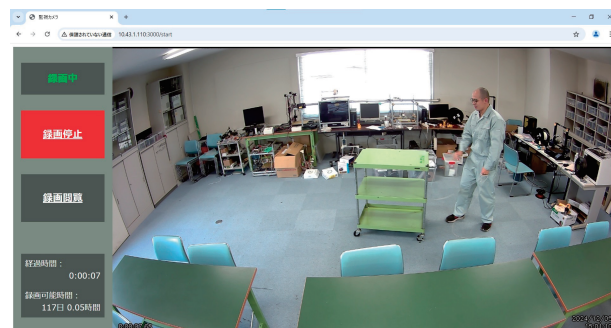


図 8 グループ B の監視操作画面

3.2 作業員接近検知システム

監視の見落としを防止し、監視の空白時間を削減することを目的として、スラグヤードを往来する作業員と重機を AI で追跡し、稼働中の重機への接近を検知する作業員接近検知システムを開発することを目標とした。

システム構成図を図 9 に示す。システムは AI コンピュータ (Jetson Orin NX 16GB, NVIDIA) とディスプレイから構成される。AI コンピュータ上では接近検知プログラムが動作する。プログラムの作成には Python と OpenCV を、物体検出ライブラリには YOLOv8 を用いた。YOLO の学習には学生の写真を 500 枚とワゴンの写真を 80 枚撮影し、アノテーション後、Google Colaboratory でラーニングを行い、重みファイルを作成した。接近検知プログラムは、監視カメラシステムからの配信映像を AI で分析し、結果をディスプレイに表示する。作業員と稼働中の重機の接近を検知すると、遠隔警報システムに通報するとともに、危険状態 DB システ

ムへデータを送信する。

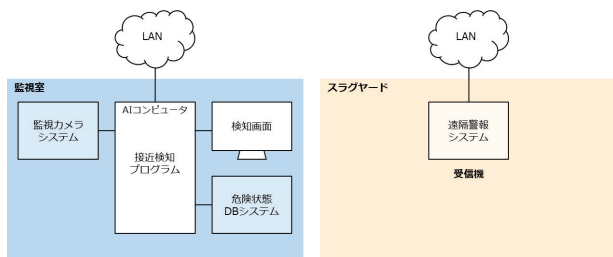


図9 システム構成図

グループAの検知画面を図10に、グループBの画面を図11に示す。グループAの検知画面では、危険状態が発生すると発生場所に危険を示す三角形のアイコンを表示し、検知した瞬間の画像を画面右下に表示する。グループBの画面では、危険状態が発生すると画面上部に「DANGER」とメッセージを表示し、検知した瞬間の画像をSFTP（Secure File Transfer Protocol）を用いてDBシステムにアップロードする。また各グループとも、図11のように中央手前と右奥に学生がいて、左奥にワゴンがある状態で、ワゴンが左奥から右奥へ真横に移動するときに、中央手前の学生との接近は検知せず、右奥の学生との接近を正常に検知できるように、バ



図10 グループAの検知画面

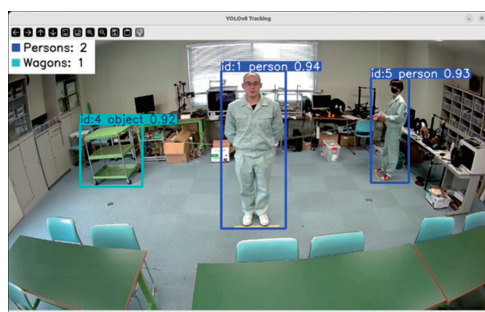


図11 グループBの検知画面

ウンディングボックスの底辺座標を比較して対処するなど処理を工夫した。

3.3 遠隔警報システム

作業現場への警報の効率化を目的として、監視中に危険状態を予知・発見したときに、警報ボタンの操作により、パトランプの点灯とブザーの鳴動で警報する遠隔警報システムを開発することを目標とした。

システム構成図を図12に示す。システムは送信機と受信機から構成され、送信機は警報ボタンとWi-Fiマイコン（M5Stack Core2, M5Stack Technology）、受信機はWi-Fiマイコン、パトランプ、ブザーから構成される。送信機の警報ボタンが押されると、受信機にデータが送信され、両機器の画面を危険状態に変更するとともに受信機がパトランプの点灯とブザーの鳴動により危険状態を警報し、危険情報が発生した日時と発生時の気象情報を危険状態DBシステムに送信する。また作業員接近検知システムが作業員と重機の接近を検知したときにも、受信機にデータが送信され、同様に動作する。

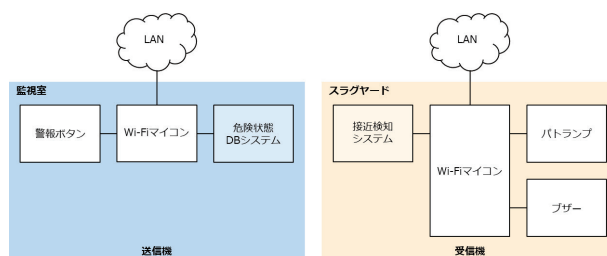


図12 システム構成図

グループAが製作した送信機と受信機を図13, 14に、グループBの送信機と受信機を図15, 16に示す。各部品はユニバーサル基板を用いて接続し、アクリル板に固定した。グループAの画面では、安全・危険状態の表示と共に時刻や電波強度（RSSI）、バッテリー残量を表示し、メニューの操作により温湿度センサ（BME280, BOSCH）の測定値や日時、IPアドレスを確認できる。また警報時にはLINE公式アカウントからユーザーに通知を投稿する。グループBの画面では、状態の表示と共に時刻、IPアドレス、電波強度や天気API

(OpenWeatherMap) から取得した温度, 湿度, 風速, 降水量が表示される。

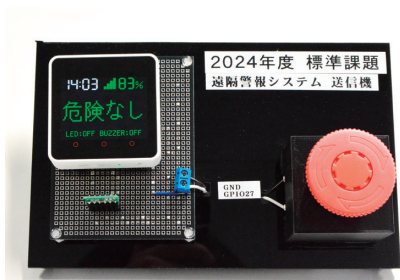


図13 グループ A 送信機

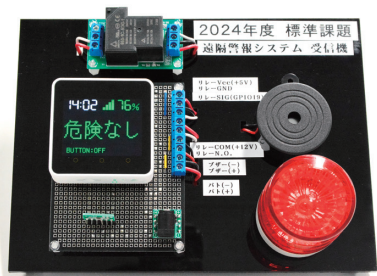


図14 グループ A 受信機



図15 グループ B 送信機

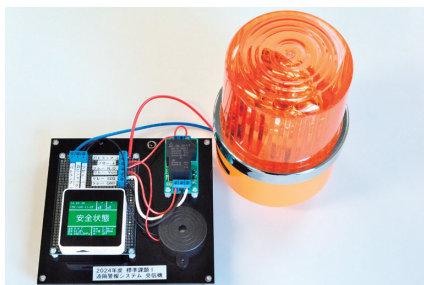


図16 グループ B 受信機

3.4 危険状態 DB システム

危険状態の再発防止策を策定することを目的として、警報ボタンの操作および AI が危険状態を検知したときに、危険情報を記録する危険状態 DB システムを開発することを目標とした。

システム構成図を図17に示す。システムはSBC (Raspberry Pi 4 Model B, Element14) から構成される。SBC 上では警報受信プログラム、データベース、Web サーバ、Web アプリケーションが動作する。警報受信プログラムの作成には Python を、データベースには InfluxDB や MariaDB を、Web サーバには Apache を、Web アプリケーションの作成には PHP などを用いた。警報受信プログラムは、作業員接近検知システムや遠隔警報システムから送信された危険情報を受信し、データベースに保存する。保存されたデータは Web アプリケーションのデータ表示画面から表示、検索、変更が可能である。

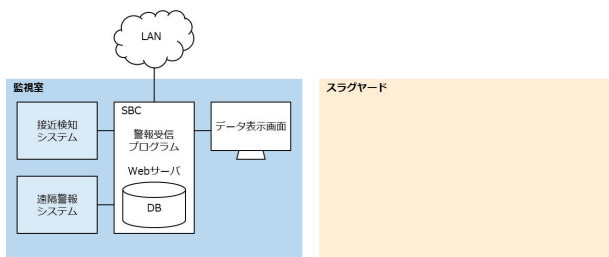


図17 システム構成図

グループ A のデータ表示画面を図18に、グループ B の画面を図19に示す。グループ A の表示画面では、データを50件ごとにページング表示したり、ログイン画面から管理者アカウントでログインすることで、危険状態の詳細を入力したりすることができる。グループ B の画面では、日付や通報手段（警報ボタン・AI 検知）の種類によってデータを絞り込んだり、危険状態発生時の画像を閲覧したり、危険状態の概要を追記したりすることができる。

データ表

ID	性別	姓名字	年齢	身長	体重	身長	体重	身長	体重
180	男	田中 太郎	25	175	70	175	70	175	70
181	女	山田 花子	23	160	55	160	55	160	55
182	男	佐藤 一郎	27	180	80	180	80	180	80
183	女	鈴木 美咲	21	155	50	155	50	155	50
184	男	高橋 健太	29	185	85	185	85	185	85
185	女	渡辺 真由	24	165	60	165	60	165	60
186	男	中村 大輔	26	178	72	178	72	178	72
187	女	小林 千恵	22	158	52	158	52	158	52
188	男	加藤 拓也	28	182	82	182	82	182	82
189	女	松本 由美	20	152	48	152	48	152	48
190	男	伊藤 隆夫	30	190	90	190	90	190	90
191	女	清水 愛子	25	162	58	162	58	162	58
192	男	山口 健一	27	180	80	180	80	180	80
193	女	石川 理恵	23	160	55	160	55	160	55
194	男	木村 浩二	29	185	85	185	85	185	85
195	女	藤田 美穂	21	155	50	155	50	155	50
196	男	佐々木 隆太	26	178	72	178	72	178	72
197	女	山崎 千尋	24	165	60	165	60	165	60
198	男	中島 大輔	28	182	82	182	82	182	82
199	女	小川 由美	20	152	48	152	48	152	48
200	男	伊藤 隆夫	30	190	90	190	90	190	90
201	女	清水 愛子	25	162	58	162	58	162	58
202	男	山口 健一	27	180	80	180	80	180	80
203	女	石川 理恵	23	160	55	160	55	160	55
204	男	木村 浩二	29	185	85	185	85	185	85
205	女	藤田 美穂	21	155	50	155	50	155	50
206	男	佐々木 隆太	26	178	72	178	72	178	72
207	女	山崎 千尋	24	165	60	165	60	165	60
208	男	中島 大輔	28	182	82	182	82	182	82
209	女	小川 由美	20	152	48	152	48	152	48
210	男	伊藤 隆夫	30	190	90	190	90	190	90
211	女	清水 愛子	25	162	58	162	58	162	58
212	男	山口 健一	27	180	80	180	80	180	80
213	女	石川 理恵	23	160	55	160	55	160	55
214	男	木村 浩二	29	185	85	185	85	185	85
215	女	藤田 美穂	21	155	50	155	50	155	50
216	男	佐々木 隆太	26	178	72	178	72	178	72
217	女	山崎 千尋	24	165	60	165	60	165	60
218	男	中島 大輔	28	182	82	182	82	182	82
219	女	小川 由美	20	152	48	152	48	152	48
220	男	伊藤 隆夫	30	190	90	190	90	190	90
221	女	清水 愛子	25	162	58	162	58	162	58
222	男	山口 健一	27	180	80	180	80	180	80
223	女	石川 理恵	23	160	55	160	55	160	55
224	男	木村 浩二	29	185	85	185	85	185	85
225	女	藤田 美穂	21	155	50	155	50	155	50
226	男	佐々木 隆太	26	178	72	178	72	178	72

データ集観

データ集観とデータ集観の比較とデータ集観

データ集観

データ集観

図18 データ表示画面

現在の時間
18:01:06

危険状態データベースシステム

作図: 2024/12/19 15:52:30

ID	日時	天気	気温	湿度	風速	カメラ名	画像取得	伝送データ	備考
634	2024-12-19 15:52:30	Clouds	11.8°C	64%	1020Pa	4.63m/s	カメラ1	A:検知	入力値: [] 更新
633	2024-12-19 15:52:30	Clouds	11.8°C	64%	1020Pa	4.63m/s	カメラ1	A:検知	入力値: [] 更新
632	2024-12-19 15:52:49	Clouds	11.8°C	64%	1020Pa	4.63m/s	カメラ1	A:検知	入力値: [] 更新
631	2024-12-19 15:53:47	Clouds	11.8°C	64%	1020Pa	4.63m/s	カメラ1	A:検知	入力値: [] 更新
630	2024-12-19 15:51:32	Clouds	11.8°C	64%	1020Pa	4.63m/s	カメラ1	A:検知	入力値: [] 更新
629	2024-12-19	Clouds	11.8°C	64%	1020Pa	4.63m/s	カメラ1	A:検知	入力値: [] 更新

図19 データ表示画面

4. 完成発表会の開催

2025年1月24日、西田氏の企画により太平洋運輸本社において完成発表会を開催した。発表会は、午前と午後の2回実施し、午前の部には日本製鉄株式会社（以下、「日本製鉄」と言う。）から3名の方が出席し、午後の部には日鉄スラグ製品株式会社（以下、「日鉄スラグ製品」と言う。）から2名の方が出席した。

日本製鉄への発表会と意見交換会の様子を図20、21に、日鉄スラグ製品との様子を図22、23に示す。出席者の方からは、「学生が短期間で開発したもののだが、製品として良くできている。」「ベンチャー企業が開発したものと同じくらい、きちんと作られている。」「システム全体の統一感がある。」と評価をいただいた。また、「学生とワゴンの両方が同時に移動したときも、接近を検知できるのか。」「ワゴンが奥から手前まで斜めに移動したときも、検知できるのか。」といった接近検知システムの検知能力を確認する質問や、「実際のヤードでシステムを動かすときの改善点は。」「バックホーのバケットの動きなども認識することはできるのか。」といった実用に向けた質問も寄せられた。



図20 日本製鉄への発表会の様子



図21 日本製鉄との意見交換会の様子



図22 日鉄スラグ製品への発表会の様子



図23 日鉄スラグ製品との意見交換会の様子

5. おわりに

安全管理のDXを目的に、4つのシステムが連携する作業員と重機の接近警報システムを開発した。学生たちは、動画配信、AI物体検出、タッチパネルマイコン、Webアプリなど新たな技術を習得し、システムの開発後、内外に向け発表した。

発表会后、西田氏から、「接近警報システムは、自動車の運転支援システムと同様に性能が人命や法律と密接に関わるため、現在、各社が研究中である。一方で、AIであれば、主観や立場にとらわれず客観的に危険状態を検出できるため、公平な安全指導ができる」と話を伺った。

本システムが安全な労働環境の構築に貢献し、労働災害の減少に寄与することを期待する。