

廃棄物処理機械を対象とした基本安全技術の検討

清水 尚 憲*1 梅 崎 重 夫*1 濱 島 京 子*2

第三次産業の中でも重篤な労働災害が発生している廃棄物処理工場の多くは、様々な廃棄物処理用の機械が複合的に組み合わされた統合生産システム（IMS: Integrated Manufacturing System）のライン構成となっている。このような統合生産システムでは、様々な保護装置を利用して作業者の安全を確保しているが、中には許容できないリスクが残存している現場もあり、そのことが原因となる労働災害も数多く発生している。本研究では、統合生産システムの広大領域内で複数の作業者が作業を行う際のリスクに対して、筆者らが考案した支援的保護装置を利用したリスク低減戦略を提案する。具体的には、RFタグと画像処理装置（カメラ）を併用した支援的保護装置の有効性を検証するとともに、実際の作業現場において当該システムを適用した場合の利便性や操作性についても検討を行う。

キーワード: 廃棄物処理機械, 統合生産システム, 支援的保護装置, RFタグ, 画像処理システム

1 はじめに

廃棄物処理工場では、梱包プレス、粉碎・混合機、コンベヤー、搬送機械などの様々な廃棄物処理機械が有機的に結合されて統合生産システム(IMS: Integrated Manufacturing System)を構成している。

このようなシステムでは、後述するように機械の設計・製造者が本質的安全設計方針や安全防護物（ガードまたは安全装置）の適用によって作業者の安全を確保するのが基本である¹⁾。しかし、現実には、後述する危険点近接作業や複数作業者が広大領域内で行う作業などが存在するために、許容できないリスクが残存するシステムも数多く認められる。

そこで、機械の設計・製造者によっては適切なリスク低減が図れないときに機械の使用者が行うリスク低減策として、筆者らが支援的保護システムと呼ぶ方策を提案した。本研究では、廃棄物処理工場に設置された統合生産システム（IMS）を対象に、RF タグと画像処理装置（カメラ）を併用した支援的保護システムの開発と有効性評価について概説する。

2 支援的保護システムの要件

1) 支援的保護システムの基本的な考え方・位置づけ

近年、作業者のヒューマンエラーや意図的な不安全行動、及び作業マニュアルの形骸化に起因して、重篤度の高い労働災害が多発している。また、従来から行われてきた“人の注意力に依存する対策”の限界があることも確かである。

このため、厚生労働省では、人の注意力に依存しない方策として、ISO12100 を始めとする機械安全国際規格の活用を進めてきた。具体的には、2001年にISO12100と実質同一の“機械の包括的な安全基準に関する指針”（以下「包括指針」と呼ぶ）を制定した。また、2005年に労働安全衛生法第28条の2を制定し、リスクアセスメント及びリスク低減措置の実施を努力義務として定めた。

これらは、“機械の使用者が行う人の注意力に依存する

対策”から、“機械の設計・製造者が行う未然防止策”への戦略転換を目的とする。図1に、これらに共通する基本戦略を示す。この戦略は一般にスリー・ステップ・メソッドと呼ばれるもので、機械の設計・製造者が行うリスク低減策の優先順位を示している。この方策は、空間分離（危険源と作業者とを物理的に分離する）または時間分離（危険源が稼働している時は作業者を稼働範囲に近づけず、作業者が危険源に近づいた時は、危険源の稼働を停止させる）による安全確保を基本としている。このため、危険な稼働部を動かしながら作業者が近接した位置で作業を行う危険点近接作業や、非正常作業（運転確認・調整、加工、トラブル処理、保守・点検・修理、清掃・除去等）については、ほとんどが残存リスクとして使用者側に対応が委ねられている。

このため、使用者側では、これらの残存リスクに対して、作業手順の見直し、教育・訓練の強化、追加的安全防護物の適用、保護具の使用などによって適切なリスク低減が図れるように努力を行っている。しかし、これらの残存リスクの中には、適切に教育・訓練された作業者の注意力が前提となる作業形態によってかろうじて安全レベルを維持している作業も多く見受けられる。すなわち、このときのリスク低減策は、主として不確定性の高い人の注意力に依存することになり、そのことを原因と

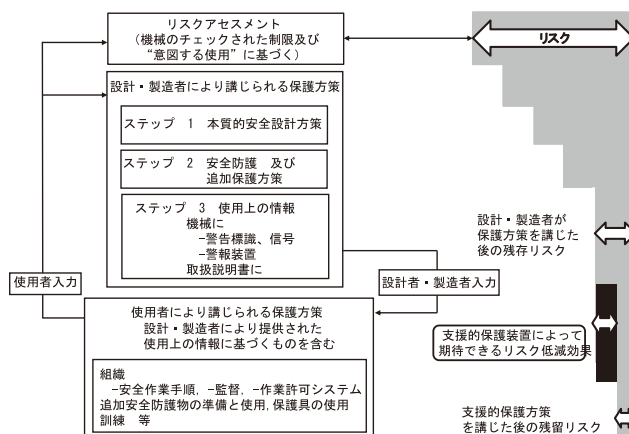


図1 設計・製造者と使用者によるリスク低減のプロセスと優先順位

*1 (独)労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ

*2 (独)労働安全衛生総合研究所 電気安全研究グループ

する労働災害も数多く発生している。

本研究では、これらの現状を踏まえて、機械の使用者が行う人の注意力に依存する方策を何らかの設備的な対策に置き換えることが可能か検討を行った。このときに利用されるのが“支援的保護システム”である。これは機械の設計・製造者によっては適切なリスク低減が図れないときに機械の使用者が行うリスク低減策を担うシステムであり、フェールセーフ構造を持たないために作業員に対する教育・訓練や管理とともに使用されるシステムと定義される。なお、支援的保護システムの使用は比較的リスクの低い作業を機械の使用者が行う場合に限られる。これに対し、リスクの高い作業に対しては機械の設計・製造者側で対策を再検討することを基本とする。

2) ヒューマンエラーと支援的保護システムの適用範囲

図2は、労働災害の原因となるヒューマンエラーと違反を分類したものである。

ここで、保護装置とは、図1に示すステップ2の安全防護物（ガードまたは安全装置）に該当する。これに対し、支援的保護システムとは、使用者が現場で行う保護方策のうち、作業の実行段階でのヒューマンエラー等（スリップとラプスに相当するが、残存リスクの大きさによってはミスイクも含む）による危険側誤りの発生確率を可能な限り減少させるシステムで、教育・訓練と安全管理との併用が不可欠である。

図2のヒューマンエラーのうち、「ミスイク」を防ぐには作業実行前の教育の徹底による適切な知識の習得が不可欠である。また、「意図的な不安全行動」を防ぐには、作業開始前の教育の徹底とともに適切な作業管理体制の確立が基本となる。ただし、この2種類のエラーを発生させるためには作業員の明らかな実行の意思が必要となる。このため、注意力を維持しないと発生するか分からないヒューマンエラーとは大きく異なっている。そこで、これら実行の意思を伴わないと発生しないエラーに対して、作業の実行段階で発生する“意図しない行為”として「スリップ」と「ラプス」がある。これらは、行動の実行段階で発生する記憶や、注意力に関するエラーであり、作業員の明らかな実行の意思がなくとも常に発生する可能性がある。そのため、「スリップ」や「ラプス」に関するエラーを発生させないように、作業員は常に努力をして安全な作業状態を維持し続けなければならない。

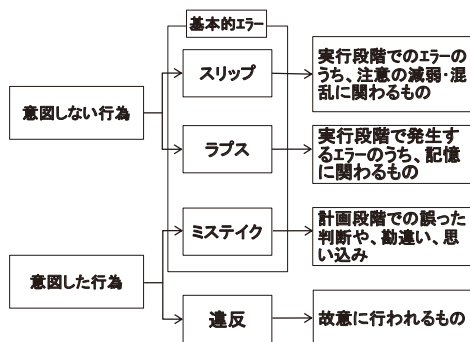


図2 ヒューマンエラーと違反の分類

ない。このとき、人間特性を前提とすれば、人の行動は極めて不確実性が高く、危険側へ遷移する割合も高くなる。そのため、万一、エラーが発生した場合にも作業員に危害をおよぼさないようにするための支援的保護システムを併用し、危険側へ遷移する割合を大幅に低減させる必要がある。

図3は、残存リスクに対して機械の使用者が行っている人の注意力のみに依存するリスク低減策と、支援的保護システムを適用した場合のリスク低減策の効果の違いを示したものである。従来は、残存リスクの大きさに関係なく人の注意力のみに依存した対策を採用していたために、どのリスクレベルでも作業の安全性を確保する際の不確実性は大きくなっている。このため、残存するリスクレベルが高いほど、エラーが発生した場合の労働災害の重篤度は高くなる。これに対して、支援的保護システムを適用したリスク低減策では、残存リスクのレベルによって、人の注意力のみに依存するレベル、人の注意力と支援的保護システムを併用するレベル、及びリスク低減策の見直しを機械の設計・製造者に委ねるレベルに分類される。これら3段階のレベルは、残存リスクのレベルに応じて、適切な支援的保護システムが適用できるように工夫している（例えば、リスクの低いものは画像処理装置だけを使用するが、リスクが比較的高いものはRFタグと画像処理装置を併用するなど）。

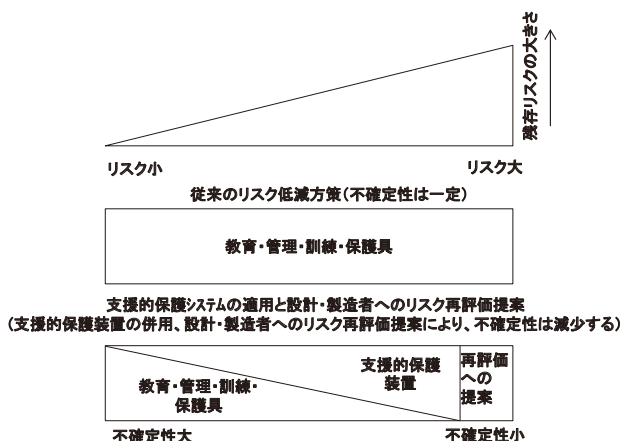


図3 支援的保護システムの適用を考慮した使用者が行うリスク低減方策

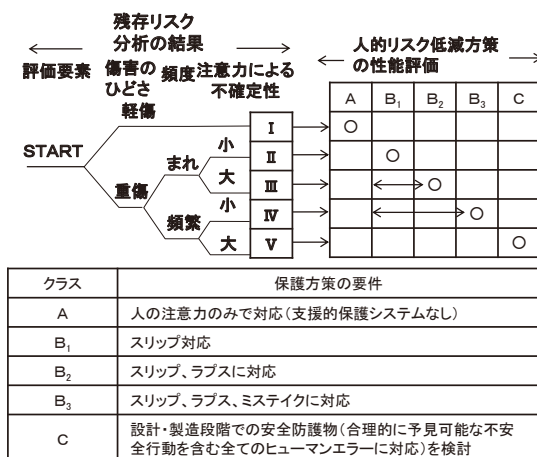


図4 リスクグラフを用いた支援的保護システムのクラス選択法の一例

図4は、支援的保護システムのクラス選択を行うための手法の一例である。ここでは「障害のひどさ」、「災害発生の頻度」、「人の注意力による不確定性」の各リスク要素について分析した結果を5段階に分類し、それぞれのレベルにとって人的リスク低減策の性能を5段階にクラス分けしている。ここで、支援的保護システムを併用するクラスは図4に示すB₁からB₃となる。このとき、残存リスクの小さいクラスAは、従来どおり人の注意力のみで対応し、残存リスクの大きいクラスCについては、機械の設計・製造者の側で再度リスク再見積を行う提案としている。また、支援的保護システムの適用条件は、国際安全規格や指針で提案されているリスク分析と、リスク低減策の優先順位に沿って、設計・製造者による適切なリスク低減、使用者による残存リスクを対象とした適切な安全管理が行われていることが前提となるため、すでに検討された適切な保護方策にかわるものではないことに留意されたい。

3) 支援的保護システムに関する国際標準化への展開

国際安全規格 ISO12100 のリスク低減プロセスでは、設計・製造者が適切にリスク評価・低減を行い、残存するリスクを使用者に情報提供することで終了している。しかし、労働災害は、これら設計・製造者から提供される残存リスク情報が不適切（または不十分）なために発生することがある。設計・製造者と使用者が適切にリスク配分を行うためには、それぞれのリスク受容特性を考慮する必要があるが、国際安全規格 ISO12100 にはこの概念は十分検討されていない。したがって、労働災害防止戦略を構築するには、設計・製造者からのリスク低減プロセスの流れを明確にするだけでなく、使用者側のヒューマンエラー等を考慮した安全管理評価と、そこで残存するリスクに対して、設計・製造者側へフィードバックする流れを明確にする必要がある。

また、ISO12100 が単体の機械類の安全性を対象としているのに対して、複数の機械類を組み合わせた統合生産システム (IMS) の安全性を対象とした国際安全規格として 2007 年に ISO11161 (統合生産システム) が公表されている。この規格では、複数の機械類と作業者が関わる一連の作業 (非定常作業を含む) に対するタスクゾーン (作業領域) を対象としたリスク低減が基本となっているが、ここでのリスク低減プロセスは、ISO12100 が基本となっており、設計・製造者と使用者の間に、システムインテグレーション機能 (トータルリスクマネジメント機能) を設置することを重要視している点が特徴となっている。今日のように多種・多様化のニーズに対応した製品を製造するためには、単体の機械だけでは対応できず、それぞれの機械を組み合わせた IMS への需要はますます増えていくことが予想されている。そこで適切なシステムインテグレーションを行うためには、使用者側が従来のように、設計・製造者からのリスク低減の提案を受容するのではなく、使用者側のリスク低減に関する要求事項を含めた適切なリスク分散を行うための評価方法の導入と、それらのリスクに対して、適切なリスク低

減方策が提案できる能力が求められる。本稿で提案する支援的保護システムの導入は、人間特性を考慮したヒューマンエラーと不安全行動を前提とした使用者側からのリスク低減方策の提案であり、従来のように「人の注意力のみに依存する」管理手法に比べて危険側へ遷移する割合を大幅に低減させることができる手法として、今後、廃棄物処理工場などの IMS を対象とした国際安全規格 ISO11161 に対しても追加提案が可能と考える。

3 廃棄物処理工場を対象とした支援的保護システムの安全性検証

1) 実証実験の検証要件と実験項目

廃棄物処理工場を対象とした作業の基本的な安全条件として「人が危険な機械と接触する可能性のあるエリア内にいる場合は機械を起動しない」がある。しかし、現実には作業者が機械の可動部を停止させることなく、機械の可動部に接近した状態で行う運転確認・調整、加工、トラブル処理、保守・点検・修理、清掃・除去などの危険点近接作業が存在しており、広大領域内に入る作業者の管理が重要となる。具体的には、1) 作業領域にいる人の存在確認、2) 対象となる機械の作業ごとに適切な作業者が従事しているかの確認である。これらの課題を検証するために表1に示す項目についての実証実験を行った。なお、実験した項目は下記の通りである。

- (1) RFID, およびステレオカメラによる危険エリアへの入退出検知及び人の特定
- (2) (1)を検証するために常時観察記録を行う
- (3) (2)を補助するためのネットワークカメラを設置し、記録との照合を行う

また、本現場検証におけるデータ抽出条件として以下を設定した。

- (4) 危険エリアへの入退出の抽出は、出入り口の途中で引き返すなどを除く、明らかに進入または退出した場合のみとする。
- (5) また、設定した出入り口から進入し、その他の出入り口から退出した場合は除き、設定した出入り口を通過し進入した場合のみを抽出する。

2) 検証実験用統合生産ラインのシステム構成

今回の実証実験場所として協力を得たA社の統合生産ラインのレイアウトを図5に示す。

表1 実証実験での検証要件

支援的保護システムの要件の検証			
検証すべき要件項目	確認事項	検出手段1	検出手段2
入場検知	危険エリアへの入場	RFID(LF)、カメラ	
退場検知	危険エリアからの退場	RFID(LF)、カメラ	
人(資格)の特定	資格データ登録、情報量	RFID、超音波	
場所(存在)の特定	存在箇所の検知、精度	RFID(アクティブ)、超音波	
エリアの特定	エリアの設定、精度	RFID(LF、アクティブ)、超音波	
高さの特定	立つ、座る、寝る等	超音波	
死角エリアでの特定	死角エリアでの検知	RFID(アクティブ)	
動作状態の特定	動く、止まる等	RFID(震動・加速度センサ付)	
時間の特定	変化点、継続	RFID(LF、アクティブ)、超音波	
機械の状態検知	動作、停止、待機等	センサ	コントローラ
危険度の判定	危険源との距離特定	RFID(アクティブ)、超音波	コントローラ
警告出力(表示・音声等)	装置出力	ソフト(RFID、超音波)、カメラ	コントローラ
機械の緊急停止出力	装置出力のフィードバック	セーフティコントローラ	コントローラ
機械の復帰条件	安全確認後	RFID(存在検知結果)	コントローラ
機械の復帰指示出力	安全確認結果	セーフティコントローラ	コントローラ
異常時の処理	故障、エラー、意図的行動		コントローラ
現場環境での耐性	EMC、雰囲気、放射の影響	RFID、LF、カメラ	コントローラ
行動ログ	装置の出力履歴	RFID、超音波、カメラ	コントローラ

本現場は一般的な廃棄物処理工場でも使用されている梱包プレスと搬送用機械のレイアウトが類似している自動車体用の大型プレス機が数台並んだ箇所で、複数の作業者が広大な作業エリアにて作業を行っている現場である。今回の実証実験は1号プレス機と2号プレス機間のエリアXにて行なった。なお、プレスされるワークは、1号プレス機から2号プレス機へロボット(1R, 2R)にて搬送され、さらに3号プレス機、4号プレス機へと順に送られていく作業形態になっている。

本プレスラインへの出入りは、図5に示したA~Fの6箇所から可能である。

A: Low Frequency アンテナ(以下LFアンテナと呼ぶ)やステレオカメラを設置した実験対象のドア(セーフティプラグ有)

B: 現場の作業者が出入りするドア(セーフティプラグ有)

C: 主に金型交換時に入出入りするドア(セーフティプラグ有)

D: 2号プレス機と3号プレス機の横を行き来できるスペース(ライトカーテン有)

E: 1号プレス機内で人が行き来できる箇所(ライトカーテン有)

F: 2号プレス機内で人が行き来できる箇所(ライトカーテン有)

また、この統合生産ラインにおける実験用機材設置レイアウトを図6に示す。本統合生産ラインへの人の出入りは、図5のA~Fの6箇所から可能であるため、本来は全ての箇所にRFタグとステレオカメラ等とを組み合

わせた実験用機材(ゲートシステム)を設置して、そこを通過する人を全て検知する形で実証実験を行なうことが望ましい。しかし、現場の実態として、ゲートシステムをすべての箇所に設置することは物理的に難しい。例えば、Cのドアは金型交換のために天井クレーンが移動するためにゲートの設置は不可能であった。また、EやFのプレス機へのゲート設置は機構的にできなかった。そのため、Aのドア部にゲートを設置して、このゲートを出入りする人の特定と人数カウントをすることにした(今回の現場では、Aのドア部からの入退出が頻繁に行われるということから、本実証においては一か所の設置で

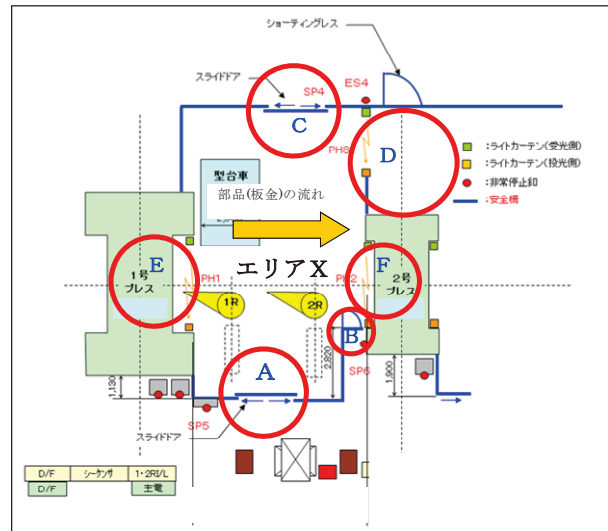


図5 A社の統合生産ラインのレイアウト

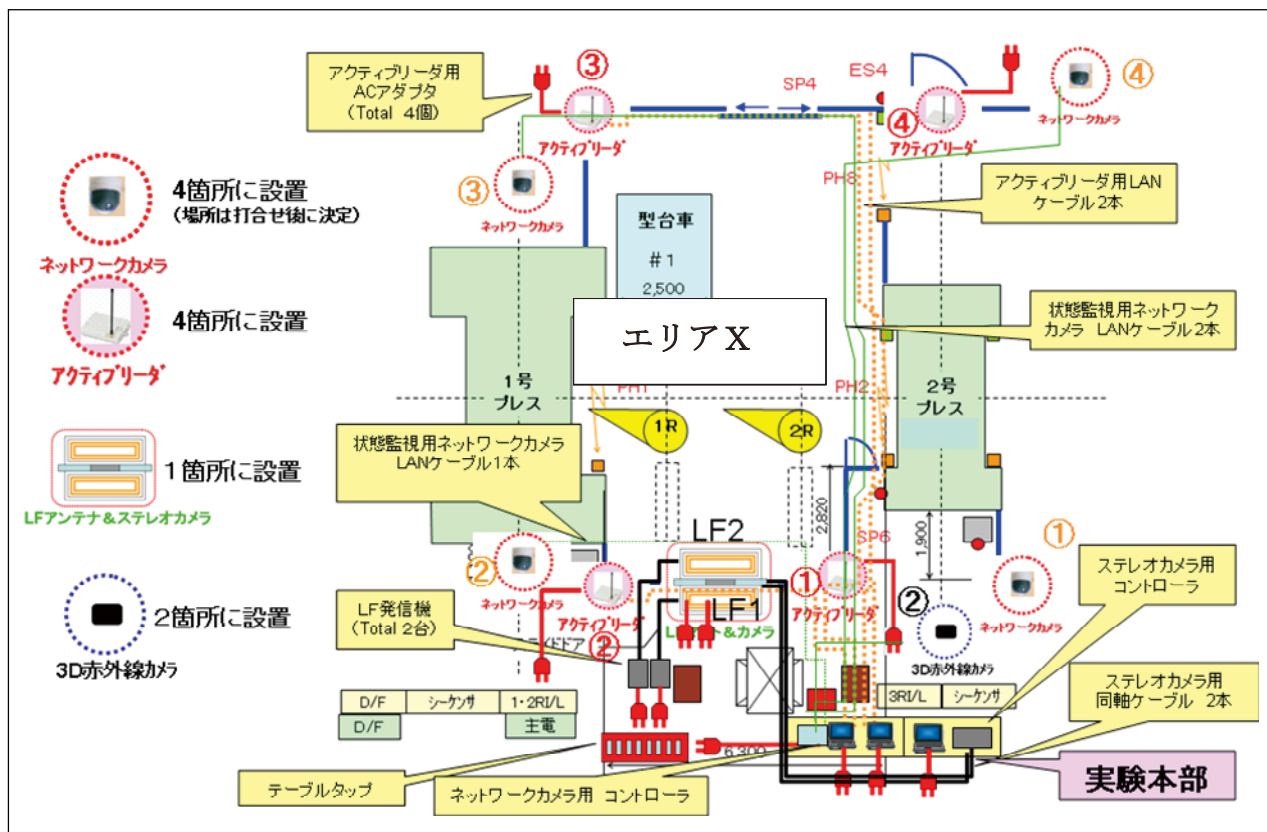


図6 実験用機材設置のレイアウト

十分と考えた)。なお、RFID に関しては、各 RF タグから返送される受信レベルを測定することで、エリア X を始めとするプレスラインでの人の存在箇所を特定できる可能性があるためエリア X の各コーナー 4 箇所にアクティブリーダを設置することにした。

また、本実証実験結果を検証するには、プレスラインの設備稼働状態やエリア X における実際の人の存在や動きを正確に把握しておかなければならない。そのために、プレスラインの稼働状態とエリア X 内の人の状態を記録できるように常時その状態を記録し、さらにネットワークカメラ等をゲート、およびコーナー 4 箇所に設置して、実験時間内の映像データを収録した。

図 6 の右下部にはデスクを配置して実験用の本部とし、データ収集用の PC や必要機材を置いて、データの記録等もこの本部にて行なった。

(1) A のドア部に設置した入退出用ゲート

(a) 入退出用ゲートの概要

図 7 に A のドア部に設置した入退出用ゲートイメージの正面図を、図 8 に上側から見た図を示す。

A のドア部の高さは約 2m であり、幅も約 2m となっている。その部分に入退出用ゲートを設置するために、図に示すような専用治具を製作してそこに LF アンテナを 2 台、ステレオカメラ、および参考データ収集のための共連れ検知用カメラと 3D 赤外線カメラを各 1 台設置した。LF アンテナは当初、180cm×50cm の大きさで準備したが、ゲート内に装備されているロボット (R1, R2) のアームとワークの可動範囲が想定よりも広いため、LF アンテナと物理的に干渉することが設置当日に判明し、急遽、現場で LF アンテナの形状を 200cm×20cm に変更することにした。図 9 は実際の現場に設置した入退出用ゲートである。

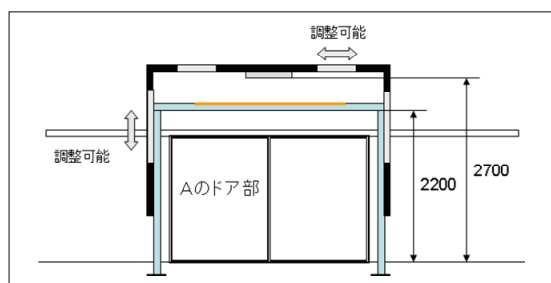


図 7 A ドア部に設置したゲートのイメージ(正面側)

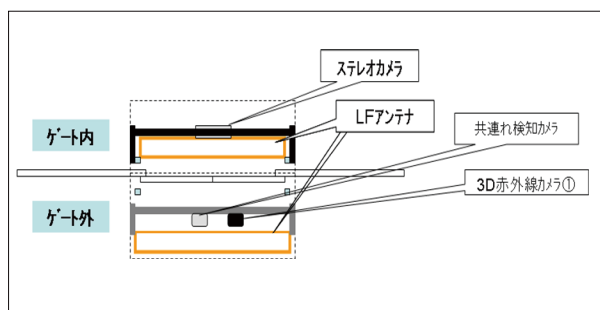


図 8 A ドア部に設置したゲートのイメージ(上面側)

(b) LF アンテナとステレオカメラの接続

入退出用ゲートに設置した LF アンテナ 2 台は床に置いた専用の各 LF 発信機とケーブル接続し、今回の実証実験現場の状態や運用イメージを踏まえて、LF アンテナと RF タグとの交信距離を決定する感度調整を事前に実施した。ただし、この時点では運用される一般的な状態をイメージした上での調整であり、RF タグの所持の仕方等のパターンを数多くシミュレーションした状態での調整ではない。そのため、実証実験を行いながら、万一、交信状態に課題が発生した場合には、その都度、感度調整内容を見直すことにした。図 10 で囲んだひも状のケーブルが、実際の現場に設置した LF アンテナである。

一方、ステレオカメラは、図 11 に示したように、ゲートに調整可能な専用ポールとパイプを設け、それに固定する形で装着した。なお、ステレオカメラは同軸ケーブルで専用コントローラと接続し、ゲートの下を通過する人の入場情報と退出情報をリアルタイムに出力し、最終的にはそのログデータを上位の PC に格納する。

また、図 12 にはゲート関連の主要装着機器の接続イメージ図を示す。なお、図 11 に示した共連れ検知用カメラ

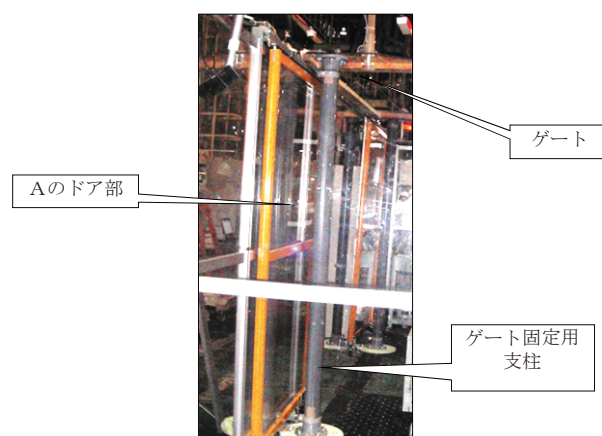


図 9 現場に設置した入室用ゲート

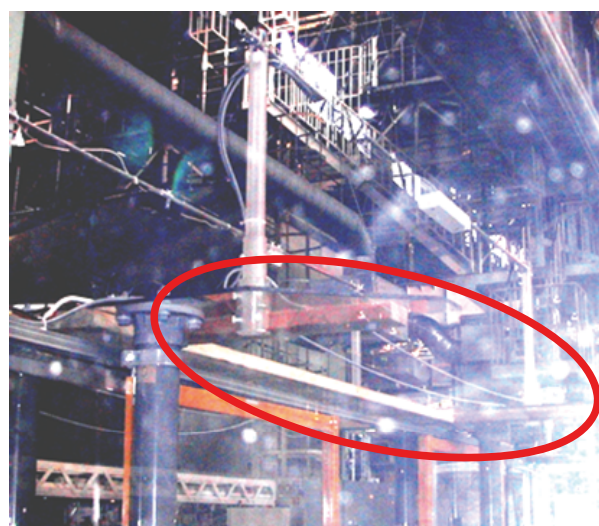


図 10 ゲートに設置した LF アンテナ

と3D赤外線カメラは今回の実証実験を補完する目的で参考に設置したものである。

(c) アクティブリーダ

① アクティブリーダの概要

アクティブリーダは個人が所持するRFタグから無線で発せられるID情報(タグID, LFアンテナ通過情報, バッテリー残量情報等)を受信するもので, RFタグからの電波を受信した際に前述のID情報以外に受信電波の電界強度(RSSI値)等を付加して上位のPCにデータを送信する。

①-1 タグID

個々のRFタグが有する固有IDで, RFタグの識別, つまり個人を特定するために必須となる情報。今回の実証実験では, タグIDがNo.00006075~No.00006092の18個のRFタグをA社の現場関連メンバに配布し, 携行を依頼した。

①-2 LFアンテナ情報

LFアンテナの受信領域を通過した際にRFタグが発信する情報で, 過去に通過したLFアンテナNo.の履歴と直近に通過したLFアンテナNo.の情報を合わせてアクティブリーダに送信する仕組みになっている。このLFアンテナ情報を確認することで, RFタグを所持していた人が, どのLFアンテナから次のLFアンテナ側に移動したかの確認が可能である。例えば, LFアンテナ1→LFアンテナ2という情報をアクティブリーダが受信した場合は, RFタグを所持している人がLFアンテナ1の下を通り, LFアンテナ2の下に移動してエリアXに入場した, ということを判断できる。

なお, アクティブリーダがRFタグから受信した情報を上位のPCに送信した時刻がPC側のソフトで受信データと共に記録される。

①-3 バッテリー残量情報

RFタグに搭載しているバッテリーの状態を示す情報を3段階でアクティブリーダに送信する。

①-4 受信電波の電界強度(RSSI値)

RFタグからの情報をアクティブリーダが受信した際の受信電波の強度を数値化したもの。基本的にこの数値が高いとRFタグの場所がアクティブリーダに近いことになるが, 中間に電波を遮るような障害物が存在するとこの数値が小さくなるので, 一概に距離とRSSI値とが相関関係にあるとは言えない。

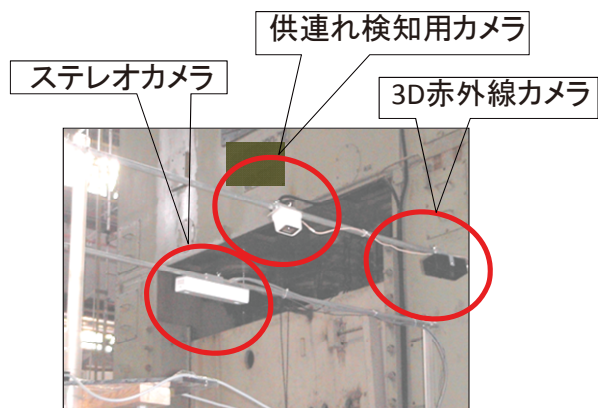


図11 ゲートに設置した各種カメラ

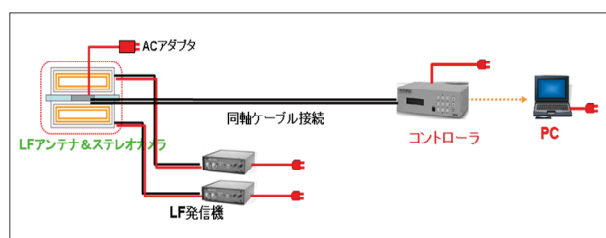


図12 ゲート関連の主要機器の接続イメージ

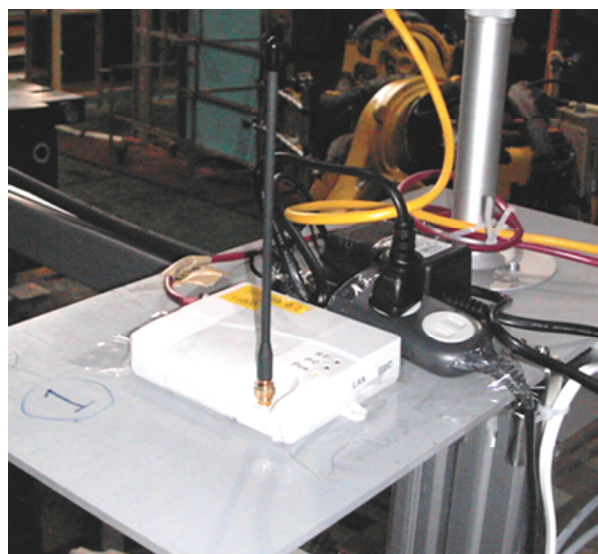


図13 現場に設置したアクティブリーダ

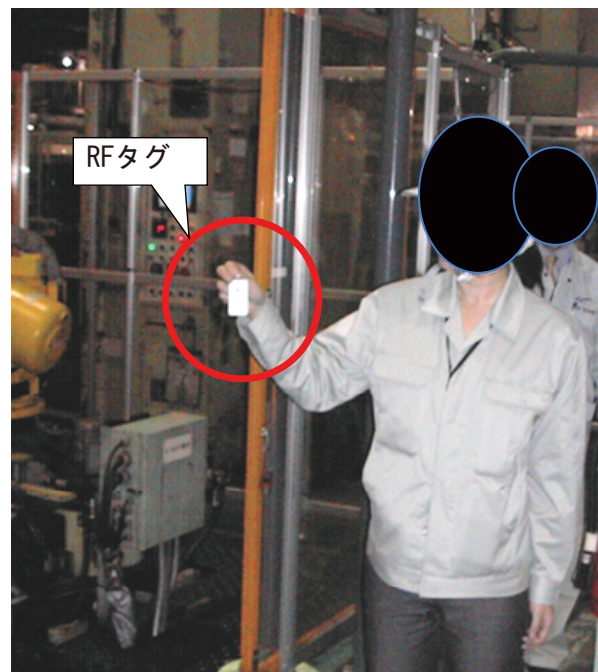


図14 ゲート部にかざしたRFタグ

(d) アクティブリーダの設置

今回の実証実験では、図6に示すようにエリアXの各コーナー合計4箇所にアクティブリーダを配置した。図13に現場に配置したアクティブリーダを示す。

なお、事前テスト時にゲート部でRFタグを持った人の写真を図14に示すが、実際の実証実験においては、作業着のポケットにRFタグを入れて携行した。前述の通り、RFタグはLFアンテナの下を通過した際にLFアンテナの番号を内蔵したメモリに記憶し、タグID情報等と共に以前に通過したLFアンテナ番号と直近に通過したLFアンテナ番号情報をアクティブリーダに送信する。なお、LFアンテナを通過した等のイベントが発生した場合には、その直後にアクティブリーダに対して通過情報を送信する仕組みであるが、イベントが発生していない場合にもRFタグ内で設定したタイマーによって約5分間隔でアクティブリーダに対して、自分の現在の状態を示す情報を送信する。これは定時送信と呼ばれRFタグの正常性確認を行う上でも必要な機能である。

次に4箇所に設置したアクティブリーダをLANケーブルでHUBを介して本部のPCに接続し、PC上の専用ソフトでアクティブリーダがRFタグから受信した全データを記録した。図15にアクティブリーダ関連の接続イメージを示す。

(e) ネットワークカメラ

① ネットワークカメラ設置の必要性

今回の実証実験は、現場での手書きのデータ記録、RFIDによるゲート部Aのドア部での入退出記録と存在検知記録、およびステレオカメラによるゲート部での入退出者の検知と人数カウントを行う。しかし、1日8時間以上、そして4日間にも渡る現場の様子を間違いなく人が記録することは難しい。また、実証実験終了後にRFIDやステレオカメラの記録データを分析や検証するためには、実際の現場の状況がどうであったかを確認する手段が必要となると想定し、実験システムを補完する目的でネットワークカメラを4台設置することにした。

なお、ネットワークカメラで現場を4方向からみた1日分の映像データを4日間分記録するが、コントローラのハードディスク容量も限られるため、検証する際に支障をきたさないレベルの1秒間隔で映像記録を撮ることにした。

② ネットワークカメラの設置

ネットワークカメラは、図6に示したようにエリアXのコーナー4箇所に設置し、おおよそ対角線を中心としたエリアの映像を記録した。

図16は現場に設置したネットワークカメラである。

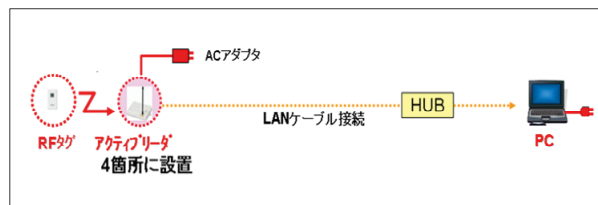


図15 アクティブリーダ関連機器の接続イメージ

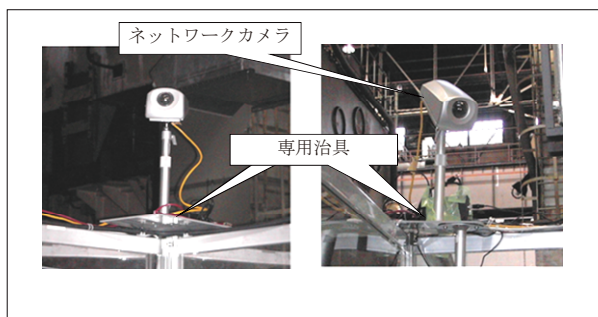


図16 現場に設置したネットワークカメラ



図17 ネットワークカメラ関連機器の接続イメージ

表2 支援的保護システムの要件検証項目

No.	検証すべき要件項目	確認事項	検証方法
1	入場検知	危険エリアへの入場	RFタグ所有者がゲートを通過する時、RFIDのデータとカメラの画像データを照合して、入退場したことを検証する
2	退場検知	危険エリアからの退場	
3	人(資格、能力、権限)の特定	登録資格と実作業内容	RFタグ内の登録資格データと実際の現場での作業(行動)と機械の動きをVTRにて検証する
4	エリアの特定	特定エリアでの存在検知	RFタグ所有者がゲート内外いずれに存在しているかを検証する
5	死角内での特定	死角エリアでの存在検知	目視による存在検知不可箇所でのRFタグ所有者の存在検知
6	動作の特定	人の動作、静止状態の検知	RFタグ(震動・加速度センサ付)からの受信データによる検証
7	時間の特定	変化点、継続	RFタグからの受信データ、ステレオカメラからのデータによる検証
8	現場設備の状態検知	動作、停止、待機等	表示機器の状態とRFタグからの受信データとの照合による検証
9	現場環境での耐性	実験機器のEMC、雰囲気、放射の影響	実現場内における設備の各状態(動作・停止)での実験機器の動作状態の検証

また、設置にあたっては、アクティブリーダと同時に設置ができる写真に示すような専用の治具を準備した。

図 17 にネットワークカメラ関係の接続イメージを示す。なお、ネットワークカメラは支援的保護装置の一部ではなく、あくまでも実証実験のデータ確認用の補助機器である。

4 実証実験での検証項目と検証内容

1) 検証項目

本実証実験の計画時に策定した支援的保護装置の要件を表 2 に示す。

なお、No. 6 の動作状態の判定については、今回の現場

の状況や作業スタイルから考えて、データの蓄積が難しいと判断して検証を中止した。

2) 検証内容

図 18 に今回の実証実験で計画した検証内容を示す。本実証実験は前項の支援的保護装置としての要件検証をこの図で示すような形で行なうように計画した。

3) 実証実験に使用した IT 機器の仕様

(1) RF タグの仕様

今回の実証実験に使用した RF タグ (アクティブ機能とパッシブ機能内蔵の複合タグ) の外観イメージを図 19 に、主な仕様を表 3 に示す。

また、今回使用した RF タグの主な特徴は、アク

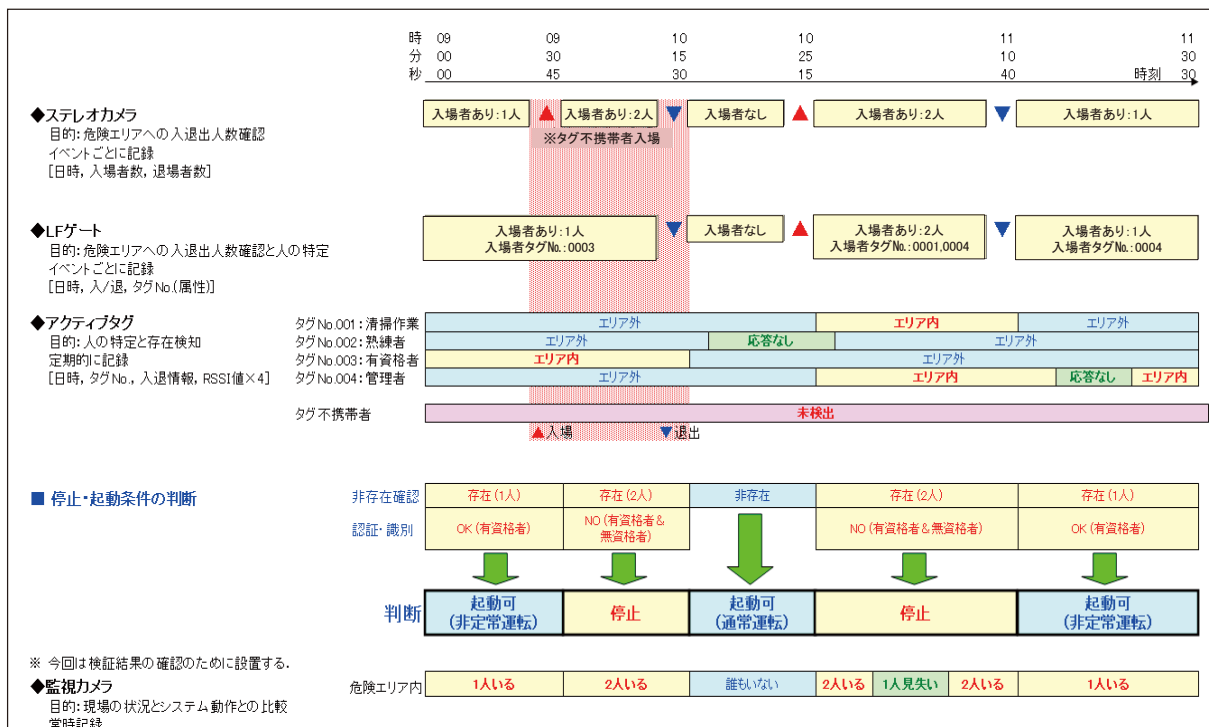


図 18 検証実験における検証内容



図 19 検証実験に用いた RF タグ

表 3 検証実験に用いた RF タグの主な仕様

無線部(アクティブ機能部分)		ハードウェア部	
適合規格	ARIB STD-T67	電源	リチウム電池(CR2032)1個
送信周波数	426MHz 帯	電池寿命	3年以上(1回/10分送信)
通信方式	単向方式	温度条件	-10~+50℃
空中線電力	1mW	外形寸法	65×36×9.5(mm)
交信距離	見通し 50m	重量	約20g(電池含む)
交信速度	4800bps		

表 4 検証実験に用いた LF 発信機の主な仕様

通信方法	電磁誘導
周波数	125kHz 帯
電磁結合到達距離	最大5.0m(ボリュームにて可変可能)
アンテナ	巻き線コイル型
電源	AC100V
外形寸法	200×200cm
重量	約0.5kg(ケーブル除く)

ティブ機能とパッシブ機能の両方を有する複合型で、アクティブタグとしての発信距離は約 50m、パッシブタグとしての発信距離は数 m である。

アクティブタグは自ら電波を発信するために電池を内蔵しており、その電力を使ってアクティブリーダにデータを送信する。また、RF タグとしての純粋な機能の他に振動センサや押しボタンスイッチ機能を搭載しているが、今回の実証実験においてはこれらの機能は使用しなかった。

本実験に使用した RF タグの主な特徴について、図 20 に示す。

(2) LF アンテナと LF 発信機の仕様

図 21 に今回、使用した LF アンテナと LF 発信機（パッシブタグ機能）の外観イメージを示す。実験現場には床面へのマットの設置が困難だったために、コイル線を頭上に這わせた形の LF アンテナとなった。

本実験に使用した LF 発信機の主な仕様を表 4 に示す。

- アクティブタグ機能
 - 特定小電力 (426MHz 1mW)
 - 発信距離 見通し 50m 以上
 - 小型・薄型・軽量 (65×36×9.5mm 約 20g)
 - リチウムボタン電池 (CR2032) 1個 交換可能
 - 電池寿命約 3年 (1回/20分送信)
 - 4つの送信方法 (それぞれ設定変更可能)
 - ① 定時送信機能 (1回/3秒～24時間)
 - ② LF 受信回路内蔵 (125kHz の近距離通信)
 - ③ 振動センサ (動いていることを検知)
 - ④ 押しボタンスイッチ
- パッシブ機能
 - LF アンテナ (2ch) に対応
 - ① 2つの LFID を記録 (通過方向が分かる)
 - ② アンテナ通過 RF 送信回数 (1～4回)
 - ③ アンテナ通過 RF 送信間隔 (5秒±50%)
 - ④ LED・ブザー ON/OFF 設定
 - ⑤ 同一 LFID マスク機能

図 20 検証実験に用いた RF タグの主な特徴



図 21 検証実験に用いた LF アンテナと LF 発信機

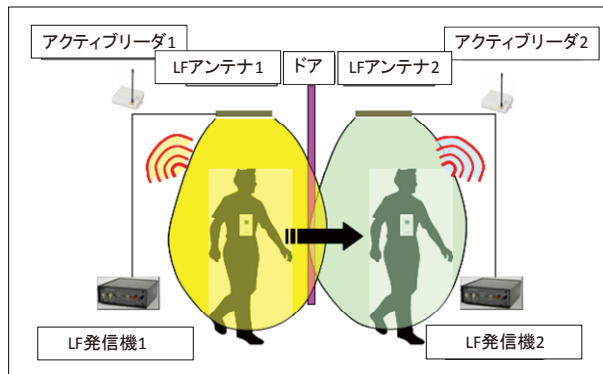


図 22 LF アンテナの動作概要

次に、パッシブタイプ機能を有する LF アンテナ 2 台を活用した場合の基本的な動作概要を図 22 に示す。図に示すように、LF アンテナを 2 台使用することによって各々のアンテナを通過した順序、つまり人の移動方向を認識することができる。例えば、LF アンテナ 1 を RF タグが通過したという情報を RF タグが内蔵のメモリに一度格納し、その LF アンテナ 1 の通過情報をアクティブ機能でアクティブリーダ 1, 2 に送信する。次に LF アンテナ 2 を通過した際に LF アンテナ 2 通過の情報をアクティブリーダ 1, 2 に送信することによって、上位システム側での LF アンテナ 1 から LF アンテナ 2 の方向に通過したという履歴の把握ができるのである。

(3) アクティブリーダの仕様

図 23 に本実験で使用したアクティブリーダの外観を示す。また、アクティブリーダの主な仕様を表 5 に示す。本アクティブリーダは、電波法上は特定小電力無線局に



図 23 検証実験に用いたアクティブリーダ

表 5 検証実験に用いたアクティブリーダの主な仕様

適合規格	ARIB STD-T67	電源	DC4.0V ACアダプタ付属
受信周波数	426MHz 帯	消費電流	MAX300mA
受信変調速度	4800bps	温度条件	-10～+50°C
アンテナ	ホイップアンテナ	外形寸法	110×90×25(mm) アンテナ除く
インタフェース	RS232C イーサネット	重量	約140g (ACアダプタ除く)



図 24 検証実験に用いたステレオカメラ

表 6 検証実験に用いたステレオカメラの主な仕様

外形寸法・重量	300×40×70 (mm) 突起部除く、約0.7kg
映像出力	BNCコネクタ×2ch (ケーブル長5C-2Cで100mまで)
電源・消費電力	DC12V～DC24±5%、約5W
環境条件	使用環境: 屋外で粉じんや塩害がなく、直射日光が当たらない場所 温度: 0°C～40°C、湿度: 20%～80% (結露なきこと)

該当し、その使用にあたってはユーザの免許開局申請は不要であるため、今回の実証実験時にも制約事項は無かった。ただし、スタッククレーン用のリモコンに近い周波数帯だったため、事前に電波干渉がないかを理論的に検証した結果、相互に影響を及ぼすことはないと判断し、実証実験に臨んだ。

(4)ステレオカメラユニットの仕様

ステレオカメラユニットは、撮影部のステレオカメラと画像、データ処理を行なうコントローラで構成される。今回の実証実験においては、ゲート上部にステレオカメラを設置して、ゲートを出入りする人の認識と人数カウントを行なった。

図 24 に本実験でゲートに設置したステレオカメラの外観を、表 5 にその仕様を示す。

図 25 に本実験でゲートに設置したステレオカメラユニット用コントローラの外観を示す。また、表 6 にステレオカメラユニット用コントローラの仕様を示す。

(5)ネットワークカメラの仕様

ネットワークカメラは、Ethernet 接続可能な IP カメラで、現場の映像を広範囲に記録することができる。今回の実証実験は、基本的に RFID とステレオカメラを活用したものであるが、検証時に現場の実際の状態とこれらの記録データとの照合が必要だと判断し、システムを補完する目的でネットワークカメラを設置することにした。



図 25 検証実験に用いたステレオカメラユニット用コントローラ



図 25 検証実験で用いたネットワークカメラ

表 7 検証実験で用いたネットワークカメラの主な仕様

外形寸法・重量	117×102×217 (mm)、約1kg
有効画素数	約500万画素
画角	水平約170° 垂直127°
レンズ、焦点	F2.0 f=1.96mm 固定アイリス IR-CUT コーティング 固定
通信プロトコル	TCP/IP、UDP/IP、HTTP、ARP、IPv4、DHCP、DNS、NTP
外部 I/F	イーサネット1系統、又はNTSC1系統
電源・消費電力	PoE(IEEE802.3a準拠)、又はDC12V
環境条件	温度：-10°～+45°C、湿度：30%～90%（結露なきこと）

た。図 26 に本実験でゲートに設置したネットワークカメラの外観を、また表 7 に主な仕様を示す。なお、本ネットワークカメラの特長は、180 度の広角映像が撮れることやひずみ補正機能によってより鮮明な画像を取り込むことができることである。

4)実証実験の結果

(1)実証実験を行った設備の稼働状況

段取り、教示などで装置が停止している状態から、稼働状態に移行する時の人検知状況について確認した。

実証実験期間中のすべての稼働開始時について危険エリア内に人が存在することはなく、その時のステレオカメラ及び RFID が滞在者ありと判定することはなかった。

(2)入退出検知

入退出の実態把握は、目視による記録とネットワークカメラ映像から、エリア X への入退出を確認し、ステレオカメラ及び LF アンテナを設置した A のドア部からの入退出(いつ、だれ、作業)を抽出した。抽出は、出入り口の途中で引き返すなどを除いて、明らかに進入または退出した場合のみとした。また、A のドア部から進入し、その他の出入り口から退出した場合は、進入のみを抽出した。そのため、進入人数と退出人数には差がある。

次に、抽出した入退出データに対して、ステレオカメラ映像およびステレオカメラログから、ステレオカメラが正しく入退出を検知していたかを確認した。検知の正否は、実際の進入または退出に対して、入場者数カウントまたは退場者数カウントが正しくカウントアップしているか否かで判定した。

さらに、抽出した入退出データに対して、RFID ログから、RFID が正しく入退出を検知していたかを確認した。検知の正否は、人の特定も考慮して、入退出者が携行している RF タグのタグ ID が発信した履歴に基づき RF タグが LF アンテナに反応して発信する「ゲート送信」の内容に含まれる LF アンテナ反応履歴が、「エリア X 外のアンテナ (LF1) に反応」→「エリア X 内のアンテナ (LF2) に反応」の順であれば進入、逆に「LF2 に反応」→「LF1 に反応」の順であれば退出と判定した。

実証実験 4 日間 (8.5 時間×4 日=34 時間) の進入者数はのべ 95 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 79 回で、整合率は 83.2%であった。進入した RF タグ携行者はのべ 90 人で、RFID が正しく検知した回数は 82 回、整合率は 91.1%とであった。一方、退出者数はのべ 93 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 66 回で、整合率は 71.0%であった。退出した RF タグ携行者はのべ 88 人で、RFID が正しく検知した回数は 77 回、整合率は 87.5%であった。

実験日によって整合率に差があるのは、照度条件などによるステレオカメラの誤検知、タグ携行方法の違い(タグの傾きなど)による RFID 誤検知などが原因と考えられる。誤検知の内容については各日の検出結果の項に記載する。

抽出した入退出データについて、危険側誤検知の発生回数を確認した。危険側誤検知は、危険エリア内に人が

存在しているにもかかわらず、存在していないと判定してしまう場合であり、入退出検知については下記のケースがある。

- ・ 進入したのに、進入を検知しない。
- ・ 退出していないのに、退出を検知した。(退出検知人数が実際より多いも含む)

ステレオカメラが危険側誤検知した回数、RFID が危険側誤検知した回数を計数した結果を示す。

ステレオカメラの危険側誤検知回数

- ・ 進入したのに、進入を検知しない：14回
- ・ 退出していないのに、退出を検知した：33回

RFID の危険側誤検知回数

- ・ 進入したのに、進入を検知しない：8回
- ・ 退出していないのに、退出を検知した：3回

さらに、ステレオカメラが危険側誤検知したと同時に、RFID も危険側誤検知した回数を計数した。

ステレオカメラおよび RFID がともに危険側誤検知した回数

- ・ 進入したのに、進入を検知しない：0回
- ・ 退出していないのに、退出を検知した：0回

今回の実証実験中に、ステレオカメラと RFID が同時に危険側誤検知となったケースはなかった。

(3) 存在検知

エリア X 内存在の実態把握は、目視による記録とネットワークカメラ映像から、A のドア部からエリア X へ進入し、A のドア部から退出した場合を抽出し、進入から退出までの間を滞在時間とした。抽出は、出入り口の途中で引き返すなどを除いた、(目視による記録とネットワークカメラ映像で捉えた) 明らかに進入または退出した場合のみとした。

抽出した滞在時間にたいして、RFID ログから、RFID が正しく滞在を検知していたかを確認した。検知の正否

(a) 入退出検知の結果

進入	実態 人	ステレオカメラ		RFID	
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率
総数	24	24	100%	23	100%
Tag ID	6075	2	100%	2	100%
	6076	16	100%	16	100%
	6079	5	100%	5	100%
	No Tag	1	100%		

退出	実態 人	ステレオカメラ		RFID	
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率
総数	24	24	100%	23	100%
Tag ID	6075	3	100%	3	100%
	6076	15	100%	15	100%
	6079	5	100%	5	100%
	No Tag	1	100%	1	100%

(b) 存在検知の結果

滞在時間	実態	RFID		柵内定時送信		滞在中
		整合回数	整合率	整合回数	交信抜け	
総計	0:23:29	0:23:26	106.1%	4	なし	
Tag ID	6075	0:01:51	103.6%	0	なし	
	6076	0:17:55	105.1%	3	なし	
	6079	0:02:19	115.8%	1	なし	
	No Tag	0:01:24				

図 27 1 日目の検証結果

は、人の特定も考慮して、滞在者が携行している RF タグのタグ ID が発信した履歴について、抽出した滞在時間中の発信に受信漏れがなく、発信した内容に含まれる LF アンテナ反応履歴が、「エリア X 外のアンテナ(LF1)に反応」→「エリア X 内のアンテナ(LF2)に反応」の順であれば、滞在を正しく検知したと判定した。

実証実験 4 日間(8.5 時間×4 日=34 時間)のエリア X 滞在時間はのべ 1 時間 42 分 48 秒、RFID による滞在時間は 1 時間 18 分 41 秒で整合率は 76.5% となった。また、滞在中の「ゲート送信」および定期的に RF タグが発信する「定時送信」に受信できない場合はなく、実滞在中の特定もできていた。エリア X 内からの発信を受信できないケースはなかった。

滞在時間の差異は、入退出が検知できなかった場合のみであり、誤検知に起因するものであり、それはタグ携行方法の違い(タグの傾きなど)による RFID 誤検知などが原因と考えられる。

(4) 実験日ごとのデータ

以下に各日毎の結果を示す。

(a) 1 日目の結果

図 27 に 1 日目の入退出検知及び存在検知の集計結果を示す。

1 日目は、4 名が出入り口(A)から入退出した。進入者数はのべ 24 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 24 回で整合率 100% であった。RF タグ携帯者はのべ 23 人が進入し、RFID が正しく検知した回数は 23 回で整合率 100% であった。一方、退出者数はのべ 24 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 24 回で整合率 100% であった。RF タグ携帯者はのべ 23 人が退出し、RFID が正しく検知した回数は 23 回で整合率 100% であった。滞在時間はのべ 23 分 29 秒で、RFID による滞在時間は 23 分 26 秒で整合率は 100%、滞在中の通信抜けは発生しなかった。

1 日目は、入退出、存在ともに誤検知なく、正しく実態を検知出来ていた。

(a) 入退出検知の結果

進入	実態 人	ステレオカメラ		RFID	
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率
総数	19	15	78.9%	15	88.2%
Tag ID	6076	13	76.9%	13	100.0%
	6079	2	50.0%	0	0.0%
	6086	2	100.0%	2	100.0%
	No Tag	2	100.0%		

退出	実態 人	ステレオカメラ		RFID	
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率
総数	13	17	89.5%	17	100.0%
Tag ID	6076	13	92.3%	13	100.0%
	6079	2	50.0%	2	100.0%
	6086	2	100.0%	2	100.0%
	No Tag	2	100.0%		

(b) 存在検知の結果

滞在時間	実態	RFID		柵内定時送信		滞在中
		整合回数	整合率	整合回数	交信抜け	
総計	0:31:19	0:27:11	98.4%	0	なし	
Tag ID	6076	0:17:35	100.1%	0	なし	
	6079	0:01:08	22.1%	0	なし	
	6086	0:08:54	104.9%	0	なし	
	No Tag	0:03:42				

図 28 2 日目の検証結果

(b)2 日目の結果

図 28 に 2 日目の入退出検知及び存在検知の集計結果を示す。

2 日目は、4 名が出入り口 (A) から入退出した。進入者数はのべ 19 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 15 回で整合率 78.9%であった。RF タグ携帯者はのべ 17 人が進入し、RFID が正しく検知した回数は 15 回で整合率 88.2%であった。一方、退出者数はのべ 19 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 17 回で整合率 89.5%であった。RF タグ携帯者はのべ 17 人が退出し、RFID が正しく検知した回数は 17 回で整合率 100%であった。滞在時間はのべ 31 分 19 秒で、RFID による滞在時間は 27 分 11 秒で整合率は 98.4%、滞在中の通信抜けは発生しなかった。

ステレオカメラによる入退出の誤検知が 7 回発生した。このうち 2 回は、荷物(搬送ロボット用ハンド)を持っての入退出のため、荷物を人と誤検知し、入退出者数を多くカウントした。残りの 5 回は出入り口付近に日差しが入り、天井走行クレーンの通過に伴う照度変化により検知してしまい、入退出者数を多くカウントした。

RFID による進入誤検知は 2 回発生した。特定の RF タグ(TagID6079)のみで発生しているため、タグの携帯方法や出入り口の通過方法により LF アンテナに反応しなかったものと思われる。そのため、入退出者数が少なくカウントされた。これに伴い、滞在時間の整合率が下がっている。

(c)3 日目の結果

図 29 に 3 日目の入退出検知及び存在検知の集計結果を示す。

3 日目は、4 名が出入り口 (A) から入退出した。進入者数はのべ 28 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 19 回で整合率 67.9%であった。RF タグ携帯者はのべ 27 人が進入し、RFID が正しく検知した回数は 25 回で整合率 92.6%であった。一方、退出者数はのべ 27

(a) 入退出検知の結果

進入	実態 人	ステレオカメラ		RFID		
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率	
総数	28	19	67.9%	25	92.6%	
Tag ID	6076	20	13	65.0%	19	95.0%
	6079	5	4	80.0%	4	80.0%
	6086	2	1	50.0%	2	100.0%
	No Tag	1	1	100.0%		

退出	実態 人	ステレオカメラ		RFID		
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率	
総数	27	11	40.7%	21	80.8%	
Tag ID	6076	19	6	31.6%	17	89.5%
	6079	5	3	60.0%	2	40.0%
	6086	2	1	50.0%	2	100.0%
	No Tag	1	1	100.0%		

(b) 存在検知の結果

滞在時間	実態	RFID		滞在時間	滞在時間
		RFID	整合率		
総計	0:24:14	0:13:57	60.2%	4	なし
Tag ID	6076	0:15:16	83.7%	3	なし
	6079	0:07:19	8.0%	1	なし
	6086	0:00:36	97.2%	0	なし
	No Tag	0:01:03			

図 29 3 日目の検証結果

人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 11 回で整合率 40.7%であった。RF タグ携帯者はのべ 26 人が退出し、RFID が正しく検知した回数は 21 回で整合率 80.8%であった。滞在時間はのべ 24 分 14 秒で、RFID による滞在時間は 13 分 57 秒で整合率は 60.2%、滞在中の通信抜けは発生しなかった。

ステレオカメラによる入退出の誤検知が 25 回発生した。このうち 3 回は、荷物(ハンド)を持っての入退出のため、荷物を人と誤検知し、入退出者数を多くカウントした。5 回は出入り口付近に日差しが入り、天井走行クレーンの通過に伴う照度変化により構造物を検知してしまい、入退出者数を多くカウントした。残りの 17 回は、人の移動経路がステレオカメラの入退場検知ラインを通過していないための不検知であった。なお、誤検出が頻発したため 11 時頃にステレオカメラの検知設定を見直した。RFID による進入誤検知は 7 回発生した。このうち 2 回は特定の RF タグ(TagID6076)で一時期のみ発生しているため、タグの携帯方法や出入り口の通過方法により LF アンテナに反応しなかったものと思われる。そのため、入退出者数が少なくカウントされた。残りの 5 回はエリア内でエリア外の LF アンテナに反応するなどの意図しない場所での LF アンテナへの反応により、入退出者数が多くカウントされたケースで、複数の RF タグで連続的に発生していることから、LF アンテナの感応領域設定が不正であると考えられる。これに伴い、滞在時間の整合率が下がっている。

(d)4 日目の結果

図 30 に 4 日目の入退出検知及び存在検知の集計結果を示す。

4 日は、5 名が出入り口 (A) から入退出した。進入者数はのべ 24 人、これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は 21 回で整合率 87.5%であった。RF タグ携帯者はのべ 23 人が進入し、RFID が正しく検知した回数は 19 回で整合率 82.6%であった。一方、退出者数はのべ 23 人、

(a) 入退出検知の結果

進入	実態 人	ステレオカメラ		RFID		
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率	
総数	24	21	87.5%	19	82.6%	
Tag ID	6075	2	2	100.0%	2	100.0%
	6076	15	12	80.0%	12	80.0%
	6078	2	2	100.0%	2	100.0%
	6079	4	4	100.0%	3	75.5%
	No Tag	1	1	100.0%		

退出	実態 人	ステレオカメラ		RFID		
		整合回数(回)	整合率	整合回数(回)	整合率	
総数	23	14	60.9%	16	72.2%	
Tag ID	6075	2	2	100.0%	2	100.0%
	6076	14	9	64.3%	10	71.4%
	6078	2	1	50.0%	2	100.0%
	6079	4	2	50.0%	2	50.0%
	No Tag	1	0	0.0%		

(b) 存在検知の結果

滞在時間	実態	RFID		滞在時間	滞在時間
		RFID	整合率		
総計	0:23:46	0:14:07	59.6%	3	なし
Tag ID	6075	0:00:53	124.5%	1	なし
	6076	0:20:37	54.2%	2	なし
	6078	0:00:16	68.7%	0	なし
	6079	0:01:54	86.8%	0	
	No Tag	0:00:06			

図 30 4 日目の検証結果

これに対するステレオカメラが正しく検知した回数は14回で整合率60.9%であった。RFタグ携帯者のはのべ22人が退出し、RFIDが正しく検知した回数は16回で整合率72.7%であった。滞在時間はのべ23分46秒で、RFIDによる滞在時間は14分07秒で整合率は59.6%、滞在中の通信抜けは発生しなかった。

ステレオカメラによる入退出の誤検知が12回発生した。このうち2回は、荷物(ハンド)を持っての入退出のため、荷物を人と誤検知し、入退出者数を多くカウントした。残りの10回は、人の移動経路がステレオカメラの入退場検知ラインを通過していないための不検知であった。

RFIDによる進入誤検知が9回発生した。これはエリア内でエリア外のLFアンテナに反応するなどの意図しない場所でのLFアンテナへの反応により、入退出者数が多くカウントされたケースで、複数のRFタグで連続的に発生していることから、LFアンテナの感応領域設定が不正であると考えられる。誤検知が頻発したため、11:00頃にLFアンテナの感度再調整を行い、それ以後は誤検知が発生しなかった。これに伴い、滞在時間の整合率が下がっている。

(5)実証実験の結果における課題と対策

(1)現場適用で危惧された項目の結果

(a)現場設置

実際の製造現場への適用のため、検証に使用する機器は後付けとなり、設置場所が制限されることになった。

ステレオカメラについては、一次元方向の人の動きを検知する機器でありながら、二次元的な人の動きがある場所に設置せざるを得なかった。この結果、入退出の不検知が発生した。

LFアンテナについては、現場床面が金属であり、作業者の安全も考慮すると、LFアンテナを床に設置することができなかった。また、出入り口の間口が約2mと広がったため、既存のLFアンテナは使用できず、新たに幅の広いLFアンテナを作成し設置した。また、現場ロボットの可動範囲との干渉から、昨年度に確認したLFアンテナ間隔や金属との距離を十分確保せずに設置しなくてはならなかった。これらの設置状態のため、意図しない場所でのLFアンテナへの反応などが起きてしまった。

アクティブリーダ(アンテナ)は、エリアの四隅に設置することができたが、配線場所に制限が多く、数十メートルの配線となり、一部は現場作業者の邪魔になる部分があった。

(b)現場の電磁環境

実際の製造現場では、プレス機、ロボット、天井クレーンなどが稼働しており、それらを操作する無線、連絡用の無線機、機器から発生する電磁波、電源ノイズなどの影響が危惧されたが、ステレオカメラ、RFIDともに電氣的なノイズによる誤動作や性能低下は見られなかった。

(c)温湿度、振動、照度などの環境

ステレオカメラは、周囲照度変化による誤検知が見られた。そのほかにオイルミストや煙、振動などの影響も

危惧されていたが、今回の現場では誤動作や誤検出は発生しなかった。

RFIDについては、現場環境による誤動作、誤検知および性能低下は見られなかった。

(d)RFタグの携帯方法、ばらつき

予備実験より、LFアンテナ検知にはRFタグに強い指向性があることが確認されていたため、タグ携帯方法によっては検知できないことが危惧されていた。

今回の実験では、タグ携帯方法を一定になるように依頼したが、実際にはポケットの中で傾いたり、マグネットと一緒に携帯されたりしたために、LFアンテナを検知しないことが発生した。

RFタグ特性のばらつきについては、エリアへの出入りが特定の人(特定のRFタグ)に偏っていたため、影響は確認できなかった。

(e)RFID未検知領域

実際の現場では、アクティブリーダがRFタグ信号を検知できない場所がある可能性が危惧されていた。

今回の実証実験では危険エリア内からのRFタグ信号の取りこぼしはなかったが、送信間隔が5分と長かったためエリア内での交信回数が少なく、十分な検証ができなかった。

(f)応答性

今回の現場では、作業者が出入り口から進入し、危険源(ロボットやプレス機の稼働部位)に到達するまでに一秒程度であった。

入退出検知により危険源への接近を知らせるためには、高速な応答が必須であると思われる。

5 おわりに

本研究では、使用者側で講じられるリスク低減方策のあり方について検討を行い、人の注意力のみに依存するにはリスクが高い危険源・危険状態に対しての設計・製造者へのリスク再評価への提案と支援的保護システムという新しい概念を使った安全管理体制を提案した。

また、今回の実証実験ではカメラとRFタグを同時に用いる事により、異種冗長化による支援的保護システムの妥当性を確認した結果、同時に危険側の誤動作に至った件数は0件であった。

この結果により、今回の実証実験で使用した支援的保護システムは、対象となるリスクを低減する事に必要な要求レベルを達成できる可能性があると考えられる。例えば、支援的保護システムが検知した情報を、一般の制御シス

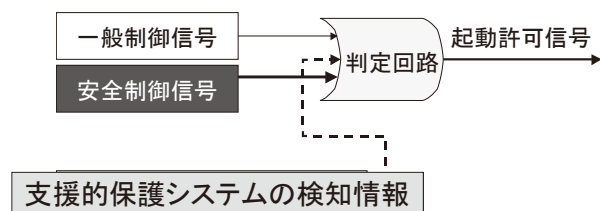


図31 支援的保護システムの活用イメージ

テム及び安全制御システムの補助情報として利用するときの1例として、入退出の検知情報を制御システム全体の起動許可条件の補助情報として利用することを想定する(図31)。このとき、支援的保護システムの情報は起動条件を補助する情報となるために、危険側の誤動作に至らないことが理想とされる。

この想定に対し、今回の実証結果で支援的保護システムの一部である画像処理装置及びRFタグで個別に危険側の誤動作が発生した場合でも、同時に危険側の誤動作が発生しない限り安全側に判断される結果が得られた。

これにより、今回の実証試験で支援的保護システムの有効を検証できたと考える。

ただし、今回の実証試験では限られた時間での検証であったために、得られたデータの信頼性を向上させるためには長期間での実証試験が望まれる。

また、今回の検証では危険側故障に注目しているが、実際に支援的保護システムを導入した場合は、安全側故障の発生確率についても検証が必要と考えられる。なぜなら、安全側故障であっても、その誤動作の確率があまりにも高いときは、支援的保護システムを導入後の生産性が低いものとなり、現場判断で支援的保護システムの無効化が行われる可能性が高くなると考えられるためである。

今後は、廃棄物処理機械を対象に支援的保護システムが現場導入できるレベルとしての安全側故障の発生確率についても仮説設定と検証が必要と考える。支援的保護システムはあくまでも保護装置とは一線を画するものであり、支援的保護システムとして誤動作に対する信頼性及び構成システムの要求事項の定義について、今後検証及び議論を行うことが望まれる。また現在、支援的保護システムについては、実現場での検証データを蓄積するとともに、JIS化やISO11161への国際規格提案作業を進めている。

文 献

- 1) ISO12100 (JIS B 9700) 機械類の安全性について一設計のための基本概念、一般原則
- 2) S.Shimizu,S.Umezaki,K.Hamajima, Study of Ensuring Workers Safety for Multiple Workers - A Proposal of an Access Control System Using RFID and Image Recognition Technologies-SIAS2010
- 3) N.Murata,S.Shimizu,K.Hamajima,H.Ikeda,Feasibility Study on a Renge Image Camera Applied as a Human Presence Sensing Device for A Human-machine collaboration, SIAS2010
- 4) 清水尚憲, 梅崎重夫, 危険点近接作業における人と物体の識別を目的とした保護装置の開発, 2009 日本土木学会安全問題研究論文集 (CDROM)
- 5) S.Shimizu,S.Umezaki,Proposal of Supporting Protective Device Using IT Technology,APSS2011
- 6) 清水尚憲,梅崎重夫,福田隆文(2012),統合生産システムを対象とした保護方策の検討〜EFID とステレオカメラを利用した支援的保護装置の提案〜安全工学シンポジウム講演予稿集,pp492-495
- 7) 清水尚憲(2012),話題の追跡 RFID とステレオカメラの安全分野への応用と標準化に向けた活動事例,自動認識,Vol25,No.8,pp36-40