

News Release

2023年2月6日

株式会社日立プラントメカニクス

価値提供型事業

『スマートクレーン(人検知)』に関する論文が月刊誌『クレーン』1月号に掲載されました
AIを活用して人とつり荷の衝突回避をアシスト

株式会社日立プラントメカニクスは、日立天井クレーンの100年を超える歴史を受け継ぐクレーンメーカーとして、安全・安心を重視した製品を開発しております。

この度、(一社)日本クレーン協会が発行する月刊誌『クレーン』1月号に、価値提供型クレーンの三本柱(クレーン搬送管理システム「CrWCS」※1、遠隔監視、スマートクレーン)のうち、スマートクレーン(人検知)に関する論文が掲載されました。

価値提供型クレーン

項目	No.	メニュー		
クレーン搬送管理システム「CrWCS」	1	自動範囲の拡大	自動範囲の拡大	上位システムと連携し前後工程を含めた搬送自動化
			自動入庫、自動車載	形状認識機能との組み合わせでさらに車載まで自動範囲を拡大
	搬送効率の向上	高速搬送	機械学習によるサイクルタイム短縮	在庫情報のコイル高さを考慮した3D最短搬送による
			サイクルタイム短縮(従来比10%短縮)※2	
遠隔監視システム	2	稼働状況確認		遠隔からクレーンの稼働状況を見える化 ・稼働時間 ・稼働回数 ・異常履歴 ・映像データ ・振動データ ・温度データ
		リモートサポート		弊社からのリモート接続によりトラブル原因の早期究明
スマートクレーン	3	安全・安心	振れ止め	熟練者でなくても安全にクレーンを操作
	4		人検知	人とつり荷の衝突回避アシスト
	5	省エネx ・CO2削減	回生付コンバータ	巻き下げ時や横行・走行減速時の回生エネルギーを再利用
	6		日立スーパートルクリール	必要最小限のトルクを与えるミニマムテンション制御
	7		効率化	軽負荷倍速

※1 : CrWCS は日立プラントメカニクスの登録商標です。

※2 : 当社比(条件により短縮時間は異なります) 3D最短搬送機能は、2023年10月販売開始予定。

日立プラントメカニクスは、これからもクレーン市場のトップカンパニーを目指して、
『“運ぶクレーン” から、“システムで考える空中搬送” へ』
をスローガンに、お客様の搬送作業に付加価値を提供します。

【（一社）日本クレーン協会について】

（一社）日本クレーン協会は、月刊誌『クレーン』やホームページを通じてクレーン等の設計・製造・使用等に関する技術、基準、法令・通達、安全対策、災害事例及び災害統計等を紹介して、クレーン等に係わる技術の向上と安全意識の高揚のための広報活動を行っています。また、ポスターやステッカーを会員事業場や関係方面に配付し、クレーン等による労働災害の防止を徹底するよう呼びかけています。

以上

紹介

スマートクレーン（人検知システム）

川尻 栄作*

1 はじめに

日立プラントメカニクスは、日立天井クレーンの100年を超える歴史を受け継ぐクレーンメーカーとして、安全・安心を重視した製品を開発している。

特に、環境経営を最優先課題の1つとして捉えており、SDGsの持続可能な開発目標として定められている17のゴールに対して、ものづくりとWeb3.0を初めとするデジタル技術を融合した製品・サービスにより図1の8つのゴールに貢献する企業活動に取り組んでいる。

現在、お客様が抱えている社会課題として、

- ①労働災害
- ②生産年齢人口減少
- ③地球温暖化

が挙げられており、これらの課題解決に向けて、表1に記載した

- ①クレーン搬送管理システム「CrWCS」※1
- ②遠隔監視システム
- ③スマートクレーン



図1 日立プラントメカニクスがSDGsに貢献する8つのゴール

表1 価値提供型クレーン

項目	No.	メニュー		
クレーン搬送管理システム「CrWCS」	1	自動範囲の拡大	上位システム連携し前後工程を含めた搬送自動化 形状認識機能との組み合わせでさらに車載まで自動範囲を拡大	
		搬送効率の向上	振れ制御の機械学習によるサイクルタイム短縮 在庫情報のコイル高さを考慮した3D最短搬送によるサイクルタイム短縮（従来比10%短縮）※2	
遠隔監視システム	2	稼働状況確認	遠隔からクレーンの稼働状況を見える化 ・稼働時間 ・稼働回数 ・異常履歴 ・映像データ ・振動データ ・温度データ	
		リモートサポート	HPMからのリモート接続によりトラブル原因の早期究明	
スマートクレーン	3	安全・安心	振れ止め	熟練者でなくても安全にクレーンを操作
	4		人検知	人とつり荷の衝突回避アシスト
	5	省エネ・CO ₂ 削減	回生付コンバータ	巻き下げ時や横行・走行減速時の回生エネルギーを再利用
	6		日立スーパートルクリール	必要最小限のトルクを与えるミニマムテンション制御
7	効率化	軽負荷倍速	センサレスベクトル制御による倍速機能で効率向上	

* Eisaku Kawajiri (株)日立プラントメカニクス 開発推進室 開発グループ GL 主任技師

による価値提供型事業を三本柱として、お客様の搬送作業に付加価値を提供することを目指している。今回の技術論文では、三本柱のうち、スマートクレーンに関する人検知システムについて報告する。

2 天井クレーンの社会的背景

国内における天井クレーンは約13万台が稼働し、オペレーションの現場では、熟練技術者・操作者の減少に起因するクレーン搬送時のつり荷による挟まれ、玉掛不良によるつり荷の落下などが発生しており、クレーンに関連する死亡事故の75%以上^{*3}を占めるなど、その対策が急務となっている。

一方、近年、国内では厚生労働省より労働災害を少しでも減らし安心して健康に働くことができる職場の実現に向けて、第13次労働災害防止計画を策定し、クレーンに対しても本計画の推進、技術革新への対応として信頼性の高い自動制御装置によって、機械等を監視及び制御する安全方策の普及を求められている。また、クレーン作業の熟練技術者が減少しており、技能の伝承や労働力不足も問題になっている。このような背景を踏まえ、2017年7月より人検知システムの開発に着手し、2022年5月に人検知システムを製品化した。

3 人検知システムについて

人検知システムは、天井クレーンの無線操作において、搬送するつり荷が人へ接触することを防止するためのオペレータの運転をサポートする「補助装置」である。人検知システムは、カメラによる人の検知、事前にタッチパネルで入力したつり荷サイズからつり荷と人の位置を把握し、人とつり荷の衝突被害を軽減することを目的としている。人検知システムは、2018年の開発では、天井クレーンに搭載したカメラを用いて作業者の位置を検知するとともに、LiDAR^{*4}を用いて搬送するつり荷の形状を算出し、これらのデータを元に、AIを活用した独自の画像処理技術により、作業者とつり荷までの距離や危険度を自動で判断を行い、巻き上げ運転時に人がつり荷から一定以上離れたことを確認したり、クレーン走行経路上に人を検知したりすると、減速・停止や音声アナ

ウンスを行い、つり荷との衝突事故の防止につなげることをコンセプトに進めていた。しかしながらLiDARをクレーンに搭載し、社内で連続試験を行った結果、1年近くでLiDAR駆動部が故障し、クレーンの環境に耐えうるものが無いことが判明し、製品として保証することが出来ないため、LiDARによるつり荷の形状を認識する方式を諦めて、あらかじめつり荷の最大サイズをタッチパネルで設定する方式に変更し、製品化した。

4 人の認識方法について

人検知システムは、クレーンに取り付けたカメラから作業者を認識する場合、クレーン上から作業者を撮像すると、作業者と特定する特徴量としては、自動車の自動ブレーキシステムのように横からの映像と異なり、特徴量としてヘルメット、肩幅、靴しかなく、機械学習によりヘルメットを可視画像として学習を行った結果、検知率は85%程度であった。

検知できなかった15%は、ヘルメットと同系色の球状のものをヘルメットと誤認識していた。また、可視画像による学習の場合、作業環境が暗いとヘルメットの認識ができず、ヘルメット画像が床の色と同系色や太陽光によりヘルメット画像が白飛びし、床面にヘルメット画像が埋もれてしまい、作業者がつり荷の近くにいた場合でも未検出となりクレーンが止められない課題があった。このため、ヘルメットに何か特徴的なマークを取り付けてマークを作業者として認識することを検討した。また、作業者がしゃがんだり、のけ反ったり、斜めから見た場合などの形状のマークが機械学習として認識しやすいか検証を行った。実証の結果、**図2**のようにヘルメットの上部に十字マークを貼り付け、ヘルメットサイドの周囲に鉢巻を巻いた形がクレーン上から画像を撮影した場合にどの角度から撮影しても特徴的な形状として認識可能であることが判明した。また、もう一つの課題として作業環境が暗い場合でも作業者を認識する必要があった。このため、作業者に貼り付けるマークを再帰反射素材とし、クレーン側のカメラ横に近赤外投光器を取り付けて、**図3**および**図4**のように投光器のON-OFFに合わせて撮影を行

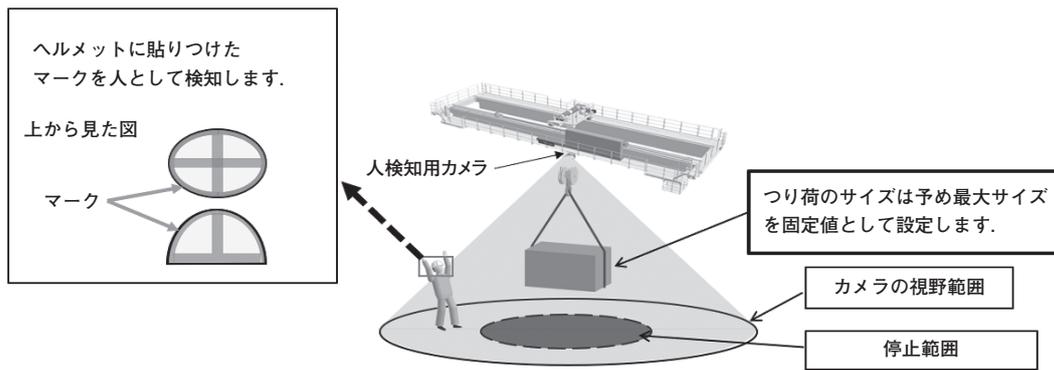


図2 人検知システム概要

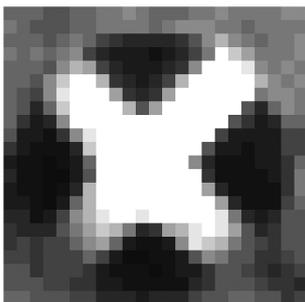


図3 投光器 ON 画像



図4 投光器 OFF 画像



図5 二値化した差分画像

い、図5のように二値化した差分画像を取り出すことで、カメラ視野内からヘルメットのマークのみを抽出し、暗い環境であっても作業者を認識可能とした。

今回、ヘルメットにマークを貼付けるため、新たな課題として、再帰反射テープを貼付けた場合、グレー、赤、黄色等の色がついており、各社のマークや資格証が見えなくなり、実運用として使用が難しいことが課題となった。また、再帰反射テープの反射特性として、カメラから撮影した距離により輝度が低下し、撮影した画像が均一にならない課題があった。そこで、今回は、図6のような半透明の再帰反射テープを開発し、ヘルメットに貼付けた場合でも、図7のようにマークや資格証が見えるようにした。また、反射強度が距離によって影響が出ないように、反射テープ内のガラスビーズ径、反射層の波長帯を見直し、距離によって輝度に影響が出ないようにした。

5 カメラの取付位置について

クレーン上にカメラを取り付ける場合、あらかじめ設定したつり荷の最大サイズから距離を計算し、危険かどうかを判断するため、つり荷からの

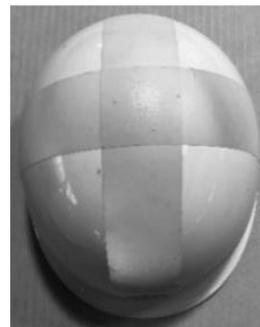


図6 十字マーク



図7 鉢巻状に貼り付け
(再帰反射テープ半透明) (半透明によりマーク認識可)

視野が一定となるクラブ上にカメラと近赤外投光器を各1台設置し、機械学習により予め登録したヘルメットマークの特徴量をもとに人検知を行った。

人検知の結果として、つり荷近くで作業者がつり荷の周りを歩くと、1台のカメラではワイヤロープによりヘルメットマークが遮断されたり、フックによりヘルメットマークが隠れて認識できないことが判明した。このため、人検知をする場合は、カメラをクラブ上に対角に設置し、複数のカメラ映像を、フックを基準とした映像に合成して計算するようにした。クレーンからの映像としては、クレーンの移動方向と作業者の移動方向が

異なる場合があるため、クレーンの移動方向に合わせて画像データをシフトさせることでクレーンの移動方向と作業者の移動方向が異なった場合でも、同一人物としてトラッキング可能とした。

6 安全領域の考え方について

人検知システムでは、システムが人を検知しても安全だと判断する場所を安全領域と定義している。安全領域は、クレーンの動作毎に異なり、例えば図8のように巻上動作の安全領域は、つり荷の端から2m以上離れた場所と定義した。

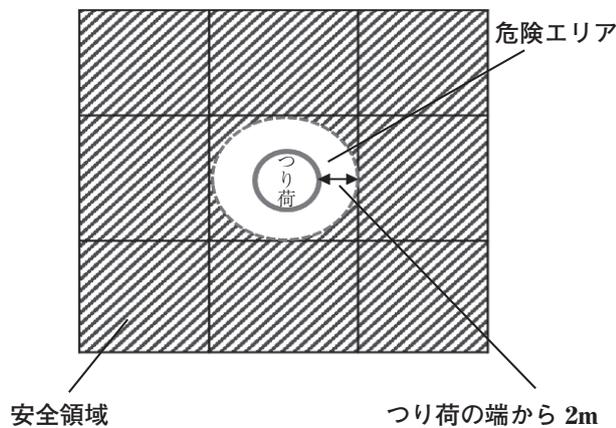


図8 巻上動作の安全領域

なお、人検知システムではつり荷の形状を図9のように、つり荷の中心から一番遠い場所までを半径とする外接円として管理している。半径 r はタッチパネルから入力したつり荷サイズから算出を行い、つり荷が搬送中に回転した場合を考慮した。

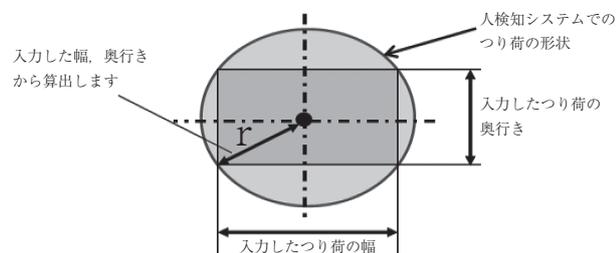


図9 つり荷形状の考え方

次に、人検知システムでは、人を検知可能な範囲を図10のように9つの管理エリアに分けて、各エリアが安全領域か否かを判断している。

例えば、図11のようにシステムは進行方向の前

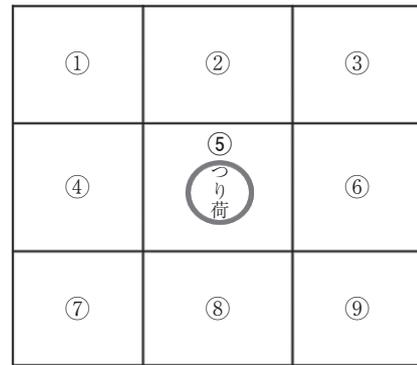


図10 人検知管理エリアの考え方

方に人を検知した場合、図12のように人に危険がおよぶ可能性があるとして判断してクレーンを低速に切り替えてアナウンスを行う。このとき、低速に切り替わるタイミングから振れ止め制御が働き、荷振れを制御することとした。当初人検知システムは、人検知システム単独で検証を実施していたが、クレーン減速時、停止時のつり荷の振れが大きく危険な状態となったため、振れ止め制御と組み合わせることとした。

横行もしくは走行動作の場合、管理エリアは、図12の「①、③、④、⑥、⑦、⑧、⑨、および⑤の一部」が安全領域となる。次に図13のように横

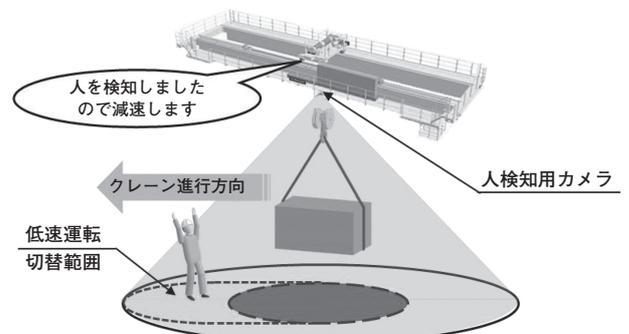


図11 進行方向に人検知

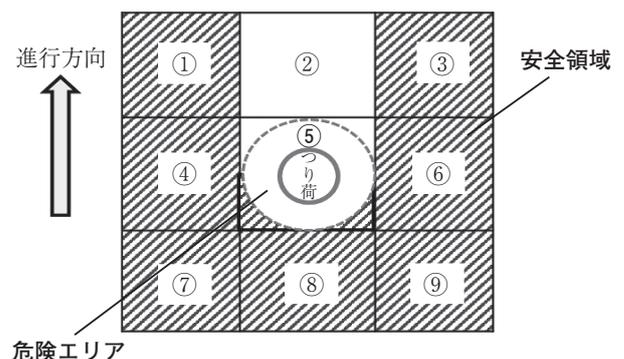


図12 横行もしくは走行エリア安全領域

行と走行が同時操作となった場合の安全エリアの考え方としては、「③、⑥、⑦、⑧、⑨、および⑤の一部」を安全領域とした。これは、横行と走行が同時操作中に途中でどちらかの操作を中止して単独操作となった場合でも、危険エリアをカバーできるようにした。また、図12および図13いずれのパターンも進行方向の後ろ側から人がつり荷に近づいた場合でも人検知し、クレーンを停止可能とした。

7 システム構成について

人検知システムでは、図14のようにモータ、インバータ、リミットの情報を制御するPLC^{*5}制御盤に人検知PLC（ソフト）と振れ止めPLC（ソフト）を組み込んだ制御盤、カメラと近赤外投光

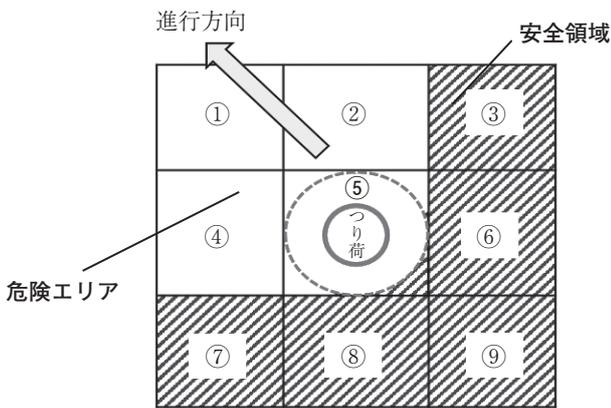


図 13 横行走行同時の安全領域

器の ON-OFF に合わせて画像処理や機械学習を行う PC を組み込んだ人検知制御ユニットから構成している。今回のシステム構成では、カメラをクラブ上に設置して、人とつり荷との位置関係を PLC 側に送るため、この情報の伝達が遅れると、クレーンとしては空走距離の状態となる。例えばクレーンの走行速度が 1 [m/s] の場合に PC から PLC への通知が 1 [s] 遅れると、1m 空走距離となるため、人を検知出来たとしてもつり荷と衝突する状態となる可能性があった。このため、人検知システムでは、人を検知してからクレーンが停止するまでの時間に関して最小となるようにした。

また、通信の関係として、クラブ上の人検知制御ユニットからガード上の PLC 制御盤間の通信は、無線による遅れの影響が不明であったため、有線 LAN による接続とした。今回、人検知システムの検知状態のカメラ画像を録画する場合、人検知システムにおける画像処理の時間に影響が出るため、影響が出ないようにドライブレコーダの映像により確認可能とした。図15にドライブレコーダの映像、図16にカメラ2台の位置情報から AI が検知した人検知画像を示す。また、人検知システムに関する情報は、地上設備側に Wi-fi ルータを設置し、クレーンに上がらなくても人検知システムに関する設定および PLC の内容を安全にモニタリング出来るようにした。

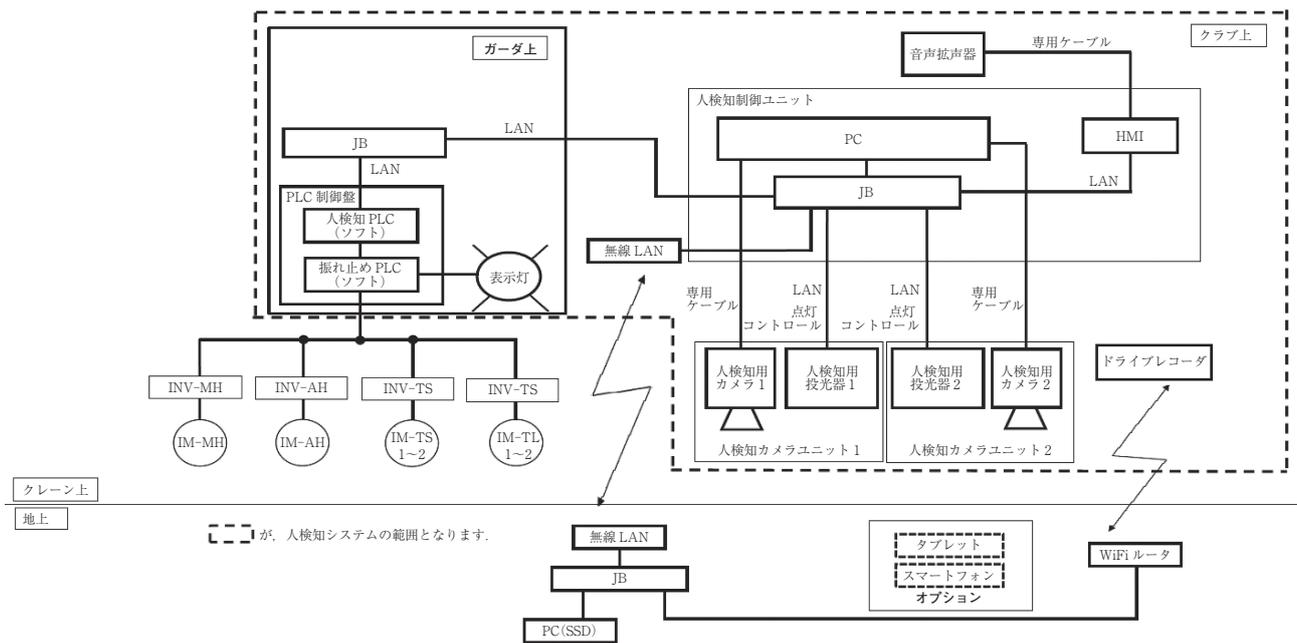


図 14 人検知システム構成図

8 人位置情報消失時の対応について

今回の人検知において、クラブにカメラを取付けた関係で、クラブより大きいつり荷を一定以上巻き上げた段階で人の位置情報が見えなくなったり、**図17**のようにつり荷の下に万一もぐりこんだ場合にカメラにより人検知出来なくなることが課題となっていた。そこで、今回の人検知システムでは、つり荷周辺に警戒領域を設け、その領域内において、人の位置情報が見えなくなった場合は、クレーンを停止してアナウンスをすることとした。

9 保守点検機能について

人検知システムに関する機器は、システムを長年使用すると、故障や汚れが発生し、正常に動作しない可能性が考えられる。このため、毎日始業前点検を実施することを前提としている。機器点検は、クレーン実機にて実施し、点検場所は環境条件を合わせるために外光が入らない同じ位置での点検としている。人検知システムの点検は無線操作者の釦を押すことで、点検開始となり、アナウンスに従い点検釦を押すことで、フックマーク・投光器⇒ヘルメットマーク⇒カメラと順番に点検を行いシステムの健全性の確認を行うようにしている。

10 状態表示について

今回の人検知システムは、音声により状態を通知するようにしているが、環境によっては音声が届かない状況が想定されているため、検知状態の表示用として積層表示灯を使用し、例えば

- ①人検知有効
- ②振れ止め有効
- ③人検知中
- ④点検中
- ⑤機器の異常

等の検知状態を認識出来るようにした。

11 使用条件について

人検知システムは、**表2**に記載している一般的な走行レール高さ、つり荷サイズの使用条件において、適用可能としている。



図15 クレーン上からのドライブレコーダの映像



図16 カメラ2台の位置情報からAIが検知した画像

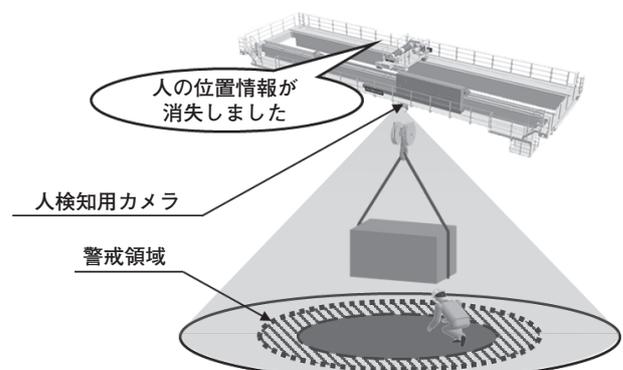


図17 人位置情報消失時の考え方

表2 人検知適応の基本条件

項目	仕様	
走行レール高さ	8～18m	
つり荷対象物	幅, 奥行き	0.5m～5m
	高さ	0.1m～5m
横行, 走行速度	1.1m/s (66m/min) 以下 ^{*6}	
設計基準温湿度	温度0～50℃, 湿度85%以下	
照度	150～3,000lx 以下 ^{*7}	
人検知方式	クレーンに設置したカメラによる人検知(ヘルメットに貼りつけた専用マークを人として認識)。	

12 おわりに

現在、国内における安全・安心に関する取り組みは、自動車業界が進んでおり、各メーカーが独自の安全技術を確認し、自動ブレーキの法制化に向けて進んでいる。今後クレーンについても、同様に人が危険な状態をクレーンが検知した場合に自動的にブレーキがかかり作業者の安全に貢献する仕組みの法制化が求められると考えている。

日立プラントメカニクスは、いままで業界に先駆けて、

- ①自動クレーン
- ②インバータ制御クレーン
- ③つり荷振れ抑制制御付きクレーン

を開発し、業界のトップカンパニーを目指して、お客様の社会課題に貢献してきた。

今後、日立プラントメカニクスは、さまざまなお客様の課題解決に向けて、

- ①クレーン搬送管理システム「CrWCS」
- ②遠隔監視システム
- ③スマートクレーン

を三本柱とした価値提供型事業を展開して、お客様の搬送作業に付加価値を提供することを目指していく。

日本では、政府が掲げる人間中心の超スマート社会 Society 5.0の実現に向けてデジタル化を推進する動きが加速している。あらゆる「モノ」がインターネットに接続する社会では、セキュリティを確保しつつ情報を統合し活用することで、従来の業務個別最適化にとどまらず、業務プロセスを経営までつなげて広く捉えた、全体最適化の実現が期待されている。

こうしたシステムは、サイバー空間とフィジカル空間を融合させた CPS (Cyber Physical System) のアプローチを用いたシステムになると考えられており、具体的な顧客課題解決の取り組みも進められている^{※8}。

この取り組みでは、サイバー空間において顧客から求められる KPI (Key Performance Indicator) を向上させるオペレーションを、AI とシ

ミュレーションを用いて導き出し、フィジカル空間にフィードバックして最適解によるオペレーションを実現する。さらにフィジカル空間で得られたデータを再度サイバー空間に戻し学習することで、常に状況に応じてオペレーション指針を更新する仕組みを実現する。Society 5.0の実現に向けた取り組みの一つとして、日立は、デジタルイノベーションを加速する「Lumada (ルマーダ)」を提供している。

今後、さまざまな顧客との協創を通じて、これらの技術をクレーンと連携するオペレーションの支援に活用し、Lumada のソリューションの一つとして提供することをめざしていく。

- ※1：CrWCS は日立プラントメカニクスの登録商標です。
- ※2：当社比（条件により短縮時間は異なります）
3D 最短搬送機能は、2023年10月販売開始予定。
- ※3：令和元年厚生労働省安全衛生部安全課調べ
- ※4：LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging)：反射光から対象の距離や方向を測定する装置。
- ※5：PLC (Programmable Logic Controller)
- ※6：人検知システムは、天井クレーンの無線操作において搬送するつり荷が人へ接触することを防止するためのオペレータの運転をサポートする補助装置、です。走行レール高さもしくはつり荷サイズにより人に衝突しない最大速度が変更となる場合があります。つり荷サイズは、予め事前に取り決めた最大サイズのつり荷を固定値として、搬送するものとします。
- ※7：本システムは屋内仕様です。天窓等から強い日光が入ると正常に人検知が出来ない可能性があります。

注：記載の仕様、内容、外観は、製品改良により予告なく変更する場合があります。

- ※8：参考文献：寺本やえみ、外：業務現場シミュレーションを用いた強化学習による意思決定支援、シミュレーション、Vol.37, No.4, pp.248-254 (2018.12)