クレーンAI監視システム　WIT 3rdEYEの開発

表　佑樹 [1]

[1] 本社　技術部　技術研究所　ICTシステム運用グループ

クレーン作業時における災害を防ぐことを目的に，クレーンAI監視システム（WIT 3rdEYE）を開発した．WIT 3rdEYEは，AI（人工知能）を用いた画像認識により，吊荷の外形と作業員をリアルタイムで検知して両者の離隔距離の監視を行い，安全離隔距離を下回ると警報を発するシステムである．警戒範囲は，AIが吊荷の形状と寸法に応じて必要かつ十分な範囲を動的に設定できる点が大きな特徴である．また，合図者に装着した腕時計型デバイスによりクレーン作業可否の指示ができ，合図者と操縦者の認識の齟齬を防ぐことができる．本稿では，WIT 3rdEYEの概要，吊荷の検出方法，実証実験の結果，現場運用について報告する．

キーワード: AI，人工知能，吊荷外形，クレーンカメラ，画像認識

1.　はじめに

クレーン作業時に発生する主な事故のうち，「吊荷の落下による災害」，「吊荷との衝突による災害」を防ぐためにクレーンAI監視システム(以下，WIT 3rd EYEと略す)を開発した．WIT 3rd EYEは，AI(人工知能)を用いた画像認識により，吊荷の外形と作業員をリアルタイムで検知して両者の離隔距離の監視を行い，安全離隔距離を下回ると警報を発するシステムである．警戒範囲は，予め設定された固定範囲ではなく，AIが吊荷の形状と寸法に応じて必要かつ十分な範囲を動的に設定できる点が特徴的である．実際の動作としては，動的に設定された警戒範囲に作業員が入ると，クレーン操縦席に設置したモニターに警報を表示するとともに，作業員に対しては，装着した腕時計型デバイスが振動することで警報を知らせる．さらに，合図者に対しては，手信号に加え合図者専用の腕時計型デバイス(以下，合図者用デバイスと略す)を介して，作業開始と停止を伝達するシステムを導入している．これにより，合図者と操縦者の認識の齟齬を防ぐことができる．これらの機能を活用することによって，クレーン作業時の事故を予防できる．本稿では，WIT 3rdEYEの概要，吊荷の検出方法，実証実験の結果，現場運用について報告する．

2.　WIT 3 rdEYEの概要

(1) 既住のシステムとの比較

当社とエコモット（株）で共同開発した既往のシステムであるAI クレーンカメラ人物検知システム「SCAI ウォッチャー」[1]とWIT 3rd EYEの概要図を図-1と図-2に示す．

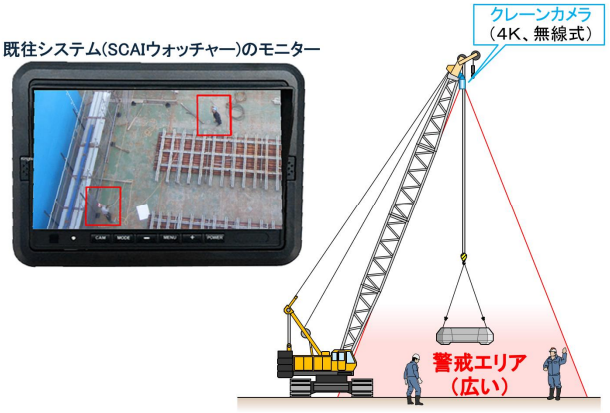


図-1　既往のシステム(SCAIウォッチャー)[1]



図-2　新規開発のシステム(WIT 3rd EYE)

既往のシステムとWIT 3rd EYEの比較を**表-1**に示す．既往のシステムでは，吊荷の大きさや形状に関わらず警戒範囲が固定され，比較的小さな吊荷の場合は，警戒範囲が広く設定されてしまうため，警報が頻繁に発報されるという問題が生じる．また，合図者ではない作業員が，十分な安全確認を行わずにクレーン運転手へ指示を出すことで，事故が発生するリスクが高くなる．これらの課題を解決するために，WIT 3rd EYEでは，クレーンカメラで撮影した画像をAIを用いた画像解析により認識した吊荷の外形から必要十分な警戒範囲を動的に設定することで，適切に警報を発報するようにした．また，合図者用デバイスを使用することで，合図者からクレーン運転手に作業可否の指示を正確かつ確実に伝達できるようにした．

表-1　クレーン作業安全監視システムの比較

比較内容	WIT 3rdEYE	SCAI ウォッチャー
AIで検知する対象	作業員＋吊荷の外形	作業員
警戒範囲の設定方法	動的に設定（AI画像解析）	固定値
警報システム（クレーン運転手）	背景色が赤に変わる	赤枠表示＋警告音
警報システム（作業員）	腕時計型デバイスが振動する	無し
合図者からの指示	デバイス通信＋手信号	手信号
カメラ接続方法	無線・有線対応	無線・有線対応

(2) 使用機器

WIT 3rd EYEの使用機器を**図-3**に示す．Edge PCは，クレーン安全監視システムのプログラムがセットアップされているAI解析マシンである．内部にはNvidia社のJetson AGX Orin 32 GB（200TOPS）が組み込まれており，高速なAI解析が可能である．腕時計型デバイスは，作業員が警戒範囲に立ち入った時に，すべてのデバイスが振動で警報を伝える．腕時計型デバイスの内1台が，合図者専用のデバイスとなっており，送受信機に作業開始と停止の信号を発信することができる．モニターは，タッチパネル式の小型ディスプレイである．屋外の環境でも視認性に優れ，耐熱・耐寒といった面でも性能が高く，現場での利用に適している．



図-3　WIT 3rd EYE使用機器

WIT 3rd EYEに使用するカメラを**図-4**に示す．カメラは，解像度 4K（3840×2160），フレーム数 20 fps，映像信号方式は，LAN（デジタル）であり，カメラ映像の通信は，無線と有線どちらでも可能である．寸法 φ71 × 67 mmであり，重さ 285gとコンパクトなものを使用しており，様々なクレーンのブームトップに艤装が可能である．



図-4　WIT 3 rd EYE使用機器（無線式カメラ）

(3) 運用方法

WIT 3rd EYEは，**図-5**のようにモニターの背景色によって，作業状況と監視状態をクレーン運転手へ視覚的に伝達する．システム起動時は，背景色が【青】で表示され，合図者が，合図者用デバイスで，作業開始ボタンを押すことで，背景色が【緑】になる．クレーン運転手は，背景色が【緑】の場合のみクレーン操作を行い，背景色が【黄】または【赤】になった場合は，クレーン操作を停止する．合図者は，作業員が吊荷から完全に離れ，周囲の安全を確認したのち，通常の手による合図に加えて，合図者用デバイスの作業開始ボタンを押すことで，クレーン運転手へ作業開始の指示をする．合図者は，吊荷移動中に危険を検知したら，合図者用デバイスの作業停止ボタンを押す．作業員は，腕時計型デバイスが振動したら自分の周囲を確認し，吊荷の直下から離れる．

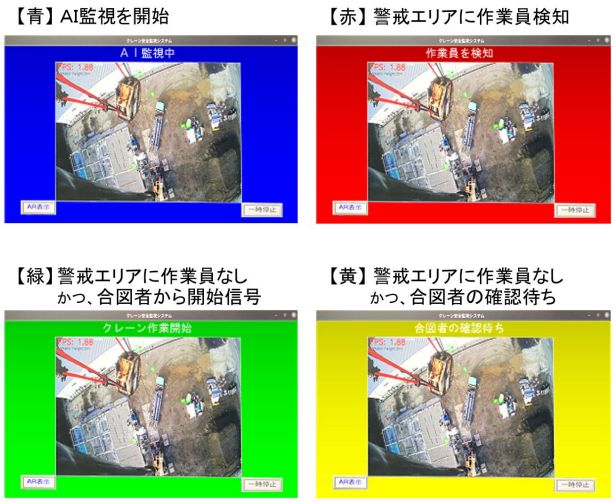


図-5　モニター背景色の意味

クレーン運転手が監視するモニターの表示内容を**表-2**と**図-6**に示す. 各項目はAIが認識し, 色別で表示する. 警戒エリアについては, 職長が設定する. 設定方法は, 2つある. 1つ目は, 吊荷の外形から任意の離隔(単位:m)で設定する方法で, 2つ目は, フックからの任意の半径(単位:m)で設定する方法である. AIの解析範囲は, 現場の状況に応じて任意に設定が可能である. 具体的には, 画角の一部の領域を切り取り, その領域に限定して, 高解像度で解析を行うことができる. これは, ブームの位置(カメラ高さ)が高く, 表示範囲が広くなりすぎて, 検知がうまく行かない場合に使用する.

表-2　AI監視項目

監視項目	表示色
作業員(安全な位置)	緑
作業員(警戒エリア侵入)	赤
ワイヤー	紫
クレーンのフック	青
吊荷の外形	濃い紫
警戒エリア	赤
AI解析範囲	白

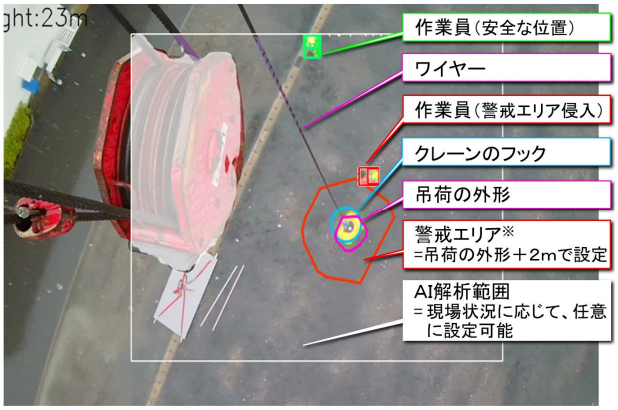


図-6　モニターの表示内容

3.　吊荷外形の検出方法

吊荷の形状は多岐にわたり, 全ての吊荷について学習させるのは現実的ではない. このため, WIT 3rd EYEでは**図-7**に示す方法で吊荷の形状を検出するようにした.

1)　まず事前に, クレーンのワイヤーとフックの形状をAIに学習させる. ワイヤーは細長く, カメラの画角内でほぼ一定の位置にあたるため, 認識が容易である. フックは形状が数種類に限られるので, 事前学習が容易である.

2)　運用中は, 検出範囲をワイヤー延長線上付近に限定して, ワイヤーを認識させることで吊荷の検出精度が向上する.

3)　吊荷の検出は, ワイヤーとフックを検出したのち, フックの周りで, 色調や明度が同等の範囲を吊荷と認識するため, どんな形状であっても外形を正しく検出できる. なお, 色調や明度の閾値はAIに事前学習をさせている.

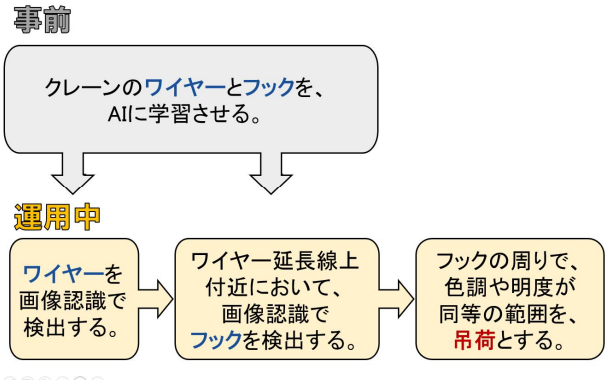


図-7　吊荷外形の検出方法

4.　実証実験

開発したWIT 3rd EYEのAI検出精度の確認を目的に実証実験を行った. 具体的には, クレーンのブームトップに設置したカメラで, 吊荷の種類, カメラの高さ, 作業員の位置を変えることで, 様々なケースを撮影する. その映像をWIT 3rd EYEで解析を行い, 適正に「吊荷の外形」, 「作業員」を検出できるのか確認する.

(1)　実証実験①

吊荷形状の検出精度を確認するために, 吊荷の種類とカメラの高さを変え, 8つのパターンで撮影を行い, 検出精度を確認した. 撮影した8つのパターンを**表-3**に示す.

検証結果の一例として, Case-4, Case-5, Case-7の結果を**図-8**, **図-9**, **図-10**に示す. 赤色で網掛けした範囲が, WIT 3rd EYEで認識した吊荷の領域である. 吊荷の種類を変え, 色や形に変化を加えても, ほぼ正確に認識できることを確認した. また, カメラ高さを10 mから20 mに変化させた場合でも全ての吊荷を認識できることを確認した. ただし, 吊荷と地面に置かれた物体が重なり, 人間の目でも上空からの識別が難しい状況下では, AIが吊荷の形状を誤認識するケースが見られた. しかし, 吊荷が巻き上げられることで, 重なっていた地面に置かれた物体と離れると, 吊荷の外形を正確に認識できた.

表-3　WIT 3rd EYE使用機器

カメラの高さ	吊荷の種類			
	コンクリートブロック	フォークパレッド（黒）	束ねた木材	鋼材
10m	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
20m	Case-5	Case-6	Case-7	Case-8



図-8　Case-4（鋼材）



図-9 Case-5（コンクリートブロック）



図-10　Case-7（束ねた木材）

次にカメラの高さを10 mと20 mで撮影し，作業員の検出精度を確認した．結果の一例を図-11と図-12に示す．なお，実証実験では，システム内部で取得した画像であるため，実際の運用画面と表示内容が異なり，黄色で枠囲いした範囲が，WIT 3rd EYEで認識した作業員である．ブームを伸ばし，カメラの高さを変更して表示範囲を広くした場合でも，この実験では，作業員を正確に認識することを確認した．

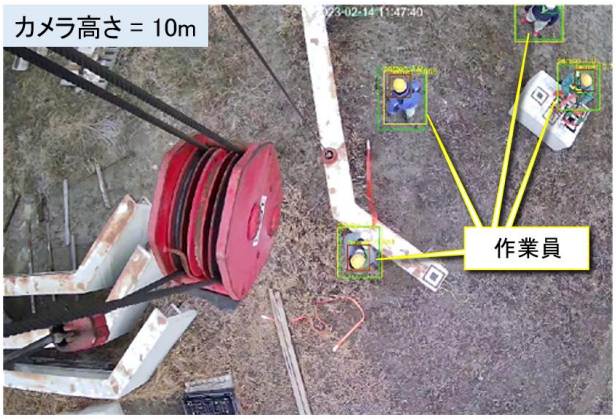


図-11　カメラ高さ10 m（作業員）

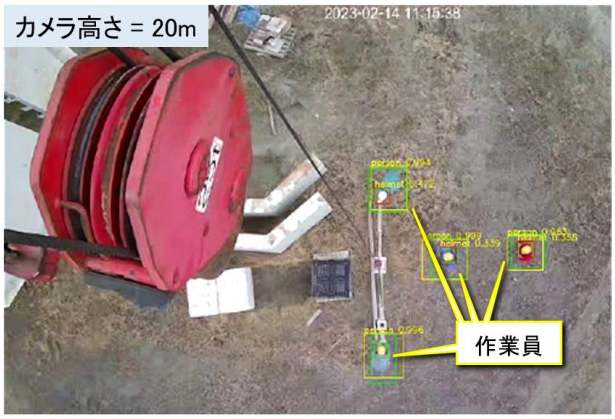


図-12　カメラ高さ20 m（作業員）

(2)　実証実験②

実施工現場において，WIT 3rd EYEの検出精度の確認を行った．ただし，本現場では，WIT 3rd EYE仕様のカメラを取付けることを試みたが，作業スペースの制約によって，クレーンのブームを倒すことができず，取り付けることができなかった．そのため，クレーンに取付けられていた既設カメラで撮影した映像を持ち帰り，事後解析を行うことで，WIT 3rd EYEの精度検証を行った．なお，WIT 3rd EYEはシステムの仕様上，吊荷の外形認識はリアルタイムで入力される映像でしか認識できない．このため，吊荷が適正に認識できるかの判断は，吊荷の中心（＝クレーンのフック）が認識できていることで行うこととした．カメラの高さについては，開発仕様の2倍以上の高さの50 mとした．

事後解析の一例を図-13と図-14に示す．青色の円で囲われた範囲が，WIT 3rd EYEで認識したフックであり，赤枠で囲

われた範囲が，作業員である．解析結果では，カメラの高さが，50 mと不利な条件であったが，フックを認識することができた．作業員については，全て検知したが，図-14のように作業員ではないものも作業員と誤認識した．「カラーコーン」や「丸まった物体」など，白っぽい丸い形状が画像内にあるとそれを時折り作業員と誤認することがあった．

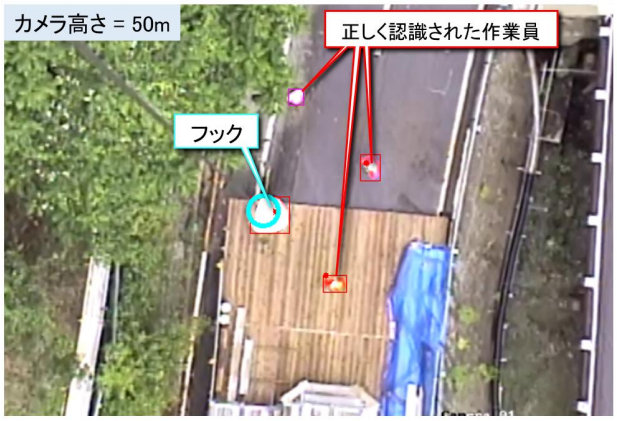


図-13　カメラ高さ50 m（正しく認識）

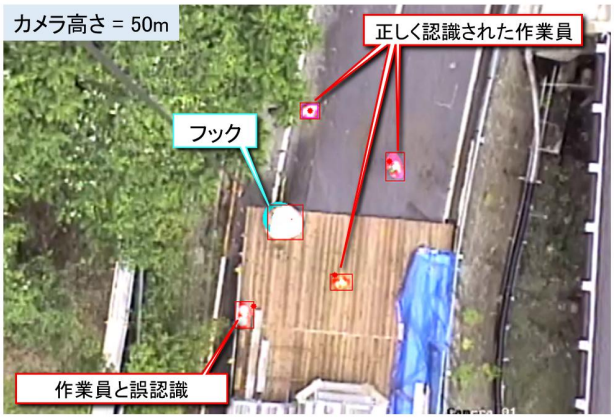


図-14　カメラ高さ50 m（誤認識）

いることがわかる．これにより，大型土のう，上部ブロック，被覆ブロックなど様々な吊荷のクレーン作業でも適切に警報を発報できた．また，図-16 の腕時計デバイスと従来の手信号での合図を組み合わせることにより，合図者とクレーンの運転手との認識の齟齬を防ぐことができた．これらのことから，クレーン災害なく工事を終えることができた．

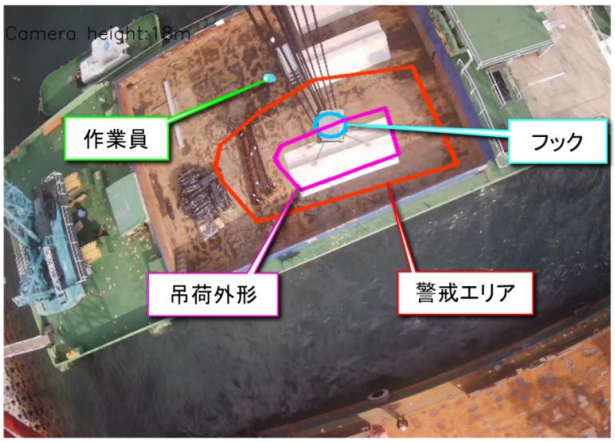


図-15　WIT 3rd EYE現場運用状況（モニター）



図-16　WIT 3rd EYE現場運用状況（腕時計デバイス）

5.　現場運用例（港湾工事）

(1)　運用目的

運用現場(港湾工事)は，クレーン作業時に，大型土のう，上部ブロック，被覆ブロックなど様々な吊荷を扱う現場であり，クレーン作業が多く，作業員と吊荷との接近頻度が高いため，「吊荷の落下による災害」，「吊荷との衝突による災害」のリスクが考えられた．そのため，WIT 3rd EYE を運用して，クレーン作業における災害の防止を行った．

(2)　運用結果

港湾工事現場における運用中の状況を図-15 と図-16 に示す．図-15 より，作業員，フック，吊荷の外形が正しく認識され，吊荷の外形に合わせた動的な警戒エリアが設定されて

6.　おわりに

WIT 3rdEYE を運用することによって，クレーン運転手と合図者による目視確認に加えて，AI を用いた上空からの監視(＝第3の視点)を行うことで，クレーン災害の防止効果の向上が期待できる．合図者の確認機能を組み込むことによって，クレーン作業時の安全確認手順が規定化されるため，合図伝達ミスによるクレーン災害の防止効果がさらに高まると考えている．今後も WIT 3rd EYE を使用した現場で撮影された画像を用いて，AI の追加学習を行い，検出精度をさらに向上させる予定である．

参考文献

1) 国土交通省　新技術情報提供システム（NETIS）：AI クレーンカメラ人物検知システム「SCAI ウォッチャー」，NETIS 登録番号 KT-240065-A