

31. クレーンワイヤー全周囲外観検査システムの開発

(株)熊谷組
(株)熊谷組
パシフィックシステム(株)

宮川 克己
○ 三浦 拓也
松崎 伸吾

1. はじめに

建設工事においてクレーン揚重作業は必要不可欠で、あらゆる工種で使用されている。令和3年におけるクレーン等に関する労働災害による死傷者数は、前年と比べると3.5%の増加で、発生業種別では製造業に次ぎ建設業の状況である。また、災害現象別では、ワイヤーロープ切断による災害は無いが揚重物の落下によるものが大きな割合を占めている。¹⁾

落下による災害発生を未然防止する1つとしてクレーンを構成する上で重要なワイヤーロープに着目し、クレーンワイヤーロープ全周囲外観検査システム(以下、本システムという)を開発したので報告する。

2. 開発の目的

クレーン等安全規則及び日本工業規格(JIS)並びに日本クレーン協会などでワイヤーロープの保守・点検基準が定められており、特に作業開始前の日常点検におけるワイヤーロープの外観目視点検はクレーン使用者が実施すべき必須項目である。この目視点検を自動化させ、ワイヤーロープ全周に亘り精度の良い検査を行うことで始業前点検の一端を担い安全性の向上を図ることを目的とする。

3. 外観検査システムの特徴

3.1 システムの概要

本システムは、ワイヤーロープ全周の表面の傷や素線のほつれ等を連続的に外観検査できる装置である。検知部はエリアセンサーカメラ4台を使用して4方向からワイヤーロープ巻下げ中に全周に亘り検出可能とし、良否判定は、教師データを機械学習させて不良部分のAI判定を行うものである。

一般的に現場で使用するクレーンは、導入時新品のワイヤーロープで提供されるため、ワイヤーロープの検査は良品の教師データを使用した判定

を基本としている。

3.2 システム構成

本システムの構成は大きく、ワイヤーロープを検査する撮影ユニットと撮影したデータを収録・良否判定を行う処理ユニット及び判定結果の閲覧と本システムの起動遠隔操作を行う閲覧ユニットの3つのユニットで構成している。クレーン本体は走行移動するため、処理ユニットと閲覧ユニット間は無線伝送を行う。(図-1)

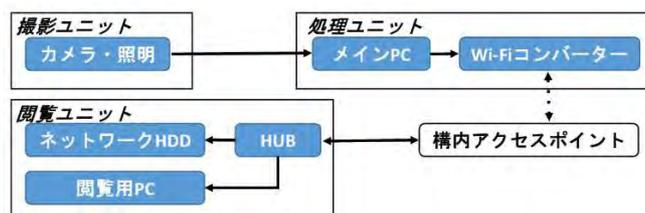


図-1 システム構成

(1) 撮影ユニット

4台のエリアセンサーカメラとリング照明を撮影ユニット内に収め、そこにワイヤーロープを通過させ撮影する。ワイヤーロープは巻き上げ限から計測(撮影)を開始し、巻き下げ限まで連続的に撮影する。センサーの仕様は、BASLER社製エリアスキャンカメラ acA720-290gc

- ① 画素数：横 720Pix 縦 540Pix
- ② 水平/垂直ピクセル：6.9 μm×6.9 μm
- ③ フレームレート：291fps
- ④ モノクロ/カラー：Color

また、撮影の補助としてマルチポジションリング照明を配し被対象物を照射する。

ユニットは、クレーンの固定シーブにアタッチメントでワイヤーロープを挟むように取付け撮像データは有線で処理ユニットへ伝送する。ユニットの小型化を図るため、カメラはワイヤーロープと平行に設置し、ミラーを用いて直角に照準している。ユニットの重量は14kgである。(図-2)

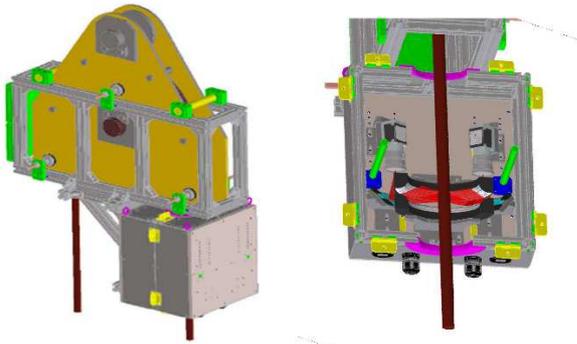


図-2 撮影ユニットの取付とユニット内部イメージ

(2) 処理ユニット

クラブトロリー上に設置した処理ユニット内メイン PC で合否判定処理及び画像をストックする。閲覧ユニットとの伝送のための Wi-Fi コンバーターを搭載し構内 LAN 経由でデータの無線通信を行う。PC の仕様は、組み込み PC

- ① OS: Windows 10
 - ② プロセッサ : Intel Core i7-8700
 - ③ メモリ容量 : 16GB
 - ④ GPU : RTX3080
- (写真-1)



写真-1 メイン PC (左) とユニット設置状況 (右)

(3) 閲覧ユニット

処理ユニットでの良否判定結果を表示させる。また、検査の開始、終了の遠隔操作はこのユニットで行う。過去の履歴閲覧も処理ユニットへアクセスして表示させる。PC の仕様は、MINISFORUM 社製ファンレス小型 PCN40-4/64-W10Pro

- ① OS : Windows 10
 - ② プロセッサ : Intel Celeron N4020
 - ③ メモリ容量 : 4GB
- (写真-2)



写真-2 閲覧ユニット

4. 検査・判定処理

4.1 良否判定手法

撮影画像の良否判定は、良品の教師データで学習させた AI によるアノマリー判定及びヒートマップによる画像処理で異常があれば欠陥（良品外）情報として表示させ、更にその欠陥位置を特定させる。

アノマリー判定（教師なし異常検知）とは、正常画像のみを用いて学習する。テストする際に、正常画像には見られない特徴が検出された場合に異常とみなす判定である。また、アノマリー判定した際に取得できるヒートマップ画像に対し二値化処理を行うことで、すり抜けを防ぎ判定精度の向上を図っている。二値化処理とは、濃淡のある画像をある閾値で白と黒の 2 階調に変換する処理で、特異点の抽出に優れ、画像内で強い変化があれば検出する。(図-3)

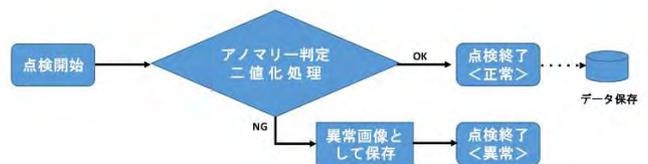


図-3 良否判定処理フロー

4.2 判定結果

撮影画像は、横 720Pix、縦 540Pix の元画像に対して画像中心の最も明るい部分の横 720Pix、縦 2Pix の撮影をする。撮影回数は、クレーンワイヤー巻き下げ定格速度が 13m/min (0.217m/秒) に対し、150µm レンズを使用して 2Pix で 0.3 mm となるため、723fps の速度で撮影して連続的にしている。判定結果は、異常箇所の画像表示と異常距離の表示を行う。異常距離はレーザー距離計による距離計測で、計測開始位置を 0 点とした距離を表す。基本的には異常判定は無い前提なので判定出力結果はブランク表示となる。

4.3 リモートアクセス機能

本システム開発メーカーの遠隔保守と本社での管理を行うため TeamViewer を用いたリモートアクセス機能を設けた。閲覧ユニット経由で、処理ユニットへアクセスし軽微なソフト修正や収録したデータの閲覧が遠隔地より可能となる。

5. 現場導入運用

5.1 クレーン仕様

シールド現場の防音ハウスに架設された天井走行クレーンに設置し、試験運用した。クレーンの仕様は、

- ① 定格荷重：10 t
- ② 揚程：地上 5.7m 地下 19.4m 合計 25.1m
- ③ 巻上速度：13m/min(0.217m/s)
- ④ ワイヤロープ：IWRC 6×Fi (29) B 種 φ20

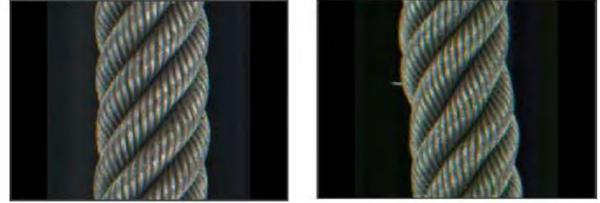
5.2 導入設置

各ユニットの設置後ワイヤロープの画像撮影を行い、撮影された画像を目視で良否判定をし、良品のみの機械学習を行い学習済みデータとした。次に再度ワイヤロープを撮影し、検査判定を行い本システムが正しく作動するかの確認を行った。アノマリー判定では、画像全体に対するスコアが出力され、そのスコアを用いて良否判定を行うので、サンプル画像より閾値を決め判定処理を行った。その結果同じスコア値で良品と良品外が混在するような判定に揺らぎが生じた。(写真-3)これは、アノマリー判定では特異点が小さいためスコア値が低くなる傾向であると考え画像処理を追加することとした。取得した画像をヒートマップ画像として二値化処理を行い、スコアにはほとんど変化が見られなくとも画像内で強い変化があれば検出させる二重の良否判定とした。(写真-4)

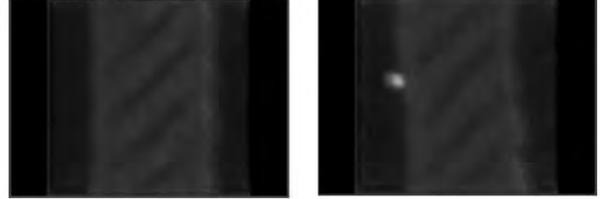
No.	検出日時	種別	スコア
10	2022/08/21 14:29:08	NOK	0.18
11	2022/08/21 14:29:09	OK	0.27
13	2022/08/21 14:29:10	OK	0.33
7	2022/08/21 14:29:08	NOK	0.12
5	2022/08/21 14:29:08	OK	0.27
8	2022/08/21 14:29:09	NOK	0.30

写真-3 本システム設置直後のアノマリー判定結果

【撮影画像】



【ヒートマップ画像】



【ヒートマップ上で大きな変化があった位置】



写真-4 ヒートマップ画像と二値化処理

5.3 試験運用

作業所において、毎日始業前に最上点から立坑下最下点までのワイヤ点検を本システムで運用した。運用していく中で、数件の不具合の発生と改善点が判明した。

(1) 4台のカメラのうち特定の1台のみ異常判定が頻発

1つのカメラだけ、ワイヤ全長に亘り異状判定が表示された。異状判定画像には、ワイヤが画像フレームの中心から両端部にずれた位置で表示された画像も含まれおり、そのため良品外判定となった。原因は、異状を示しているカメラの角度を直角に変更する光学用ミラーの表裏が逆になっており、裏面鏡に堆積した粉塵とガラス厚との関係より乱反射を発生させたためと思われる。また、フレーム中心からのズレは、ワイヤ領域(明)と背景色(暗)との境界が不明瞭となり境界判定が困難になり当該カメラだけ異状判定を頻発したようである。そこで二値化の色調の閾値の調整を行い対処した。

(2) 4台のカメラのうち3台の異状判定が頻発

3台のカメラが、ワイヤ全長に亘り異状判定が表示された。判定画像を吟味すると、画像フレーム端部にワイヤ映像以外の明るい筋が連続して存在しており、そのため良品外判定となった。筋状のもの明確な原因は判明しないが、対策として、ワイヤ領域以外のヒートマップ異状を除外する処理をソフト上で改良し、撮影ユニットの清掃・点検

をした。

(3) ワイヤー異状判定位置の確認方法

当初本システムでは閲覧ユニットでの検査・判定結果画面には、異状判定された画像に対して撮影フレーム数から算出されたワイヤー長を表示させた。(写真-5)

しかし、ワイヤーの測長は検査・判定動作中のみしか行えず、異状判定された箇所を検査完了後に目視確認することができないため、実測で異状位置を確定する必要性が生じた。そこで、別途レーザー距離計を増設して対応した。ワイヤー点検時に連動してレーザー測距を行い、異状判定した際は、異状位置をレーザー距離計よりデータ取得して位置表示するように変更した。これにより本システムで検査・判定後に任意の位置への測距が再現可能となった。また、検査・判定結果画面の上部欄の4台のカメラの表示グラフは異状判定位置を可視化させる目的であるため、フレーム数からの距離表示のままとしている。

レーザー距離計の主な仕様は、

- ① 型式：HOKUYO PGL-050W3
- ② 電源電圧：12～30VDC
- ③ 光源：赤色レーザー（650nm）クラス2
- ④ 検出距離：0.05～50m（反射板無し）

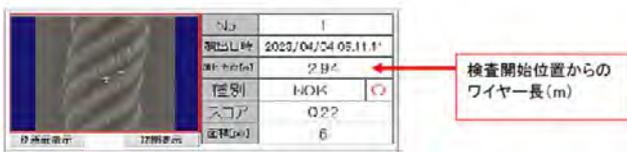


写真-5 異状判定表示

5.4 運用解析

本システムは、2022年6月から試験運用を開始した。初期の不具合等の改善、改良を施し規格外データ発生が収束して以降、ある一定数量（サンプル数140）の異状データの解析を行った。その結果軽微なゴミに対する異状が判定され、異状位置の繰り返しの判定もできており判定の信頼性が概ねあることが確認できた。ただし、画像では確認できない異状判定も散発的に存在し、良否判定の正確度を更に向上させることが課題として残る。(表-1)

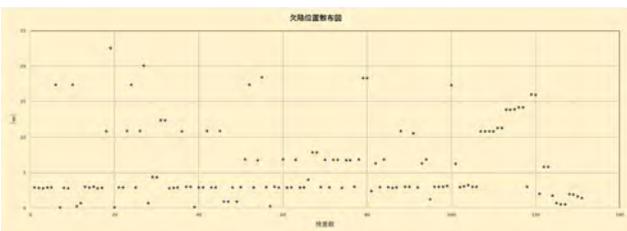


表-1 異状位置の散布図

6. 今後の課題と展開

試験運用を経て本システムの顕在化した課題が主に5項目程判明した。

① 収録データの上書き保存

検査・判定結果は、処理ユニットでデータ収録されるが、PCのメモリ容量を超える場合は上書き保存されるため、長期の現場では適宜メモリ残量を確認する必要がある。

② クレーンワイヤーのロープ径違いの場合

本システムはロープ径φ20mmに対応しているため、径が異なるクレーンの場合は、AIの追加学習をする必要がある。

③ ワイヤードラムから本システム間の検査

試験運用中にワイヤードラム巻取り部でワイヤーの素線切れが判明しワイヤー交換をしたのだが、ワイヤードラムから本システム間は物理的に検査できないので適切な目視点検は欠かすことはできない。

④ 撮影ユニットの小型化

基本的な構造は、今回の試験運用で満足できたが、更なる小型化、軽量化を図っていく。

⑤ レーザー距離計の本システムへの一体化

撮影ユニットにレーザー距離計を収納一体化が理想的であるが、クレーンフックにレーザー光を照射させる機構のため、フック形状により都度対応できるか検討が必要である。

等が今後検討や改良を進める主要な課題として挙げられる。

本システムはクレーン製造会社により形状や配置が種々ある中、固定シーブを利用し、取付けアタッチメントで対応すればあらゆるクレーンワイヤーの全周囲の外観検査が可能となる特徴を有するものである。運用実績を積み重ねれば長大なワイヤーを有するタワークレーンへの利用も視野に入れている。

クレーン作業はあらゆる工種で必要不可欠な毎日使用する作業である。始業前に1回のワイヤー巻上げ下げを行うことで目視では1方向となるワイヤーの全周囲の検査が精度良く短時間で可能となり安全性の向上に貢献できるものである。引き続き判定精度の正確度を高めることを含め本格運用に向け改善を進めていく所存である。

参考資料

- 1) 令和3年におけるクレーン等の災害発生状況 厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課