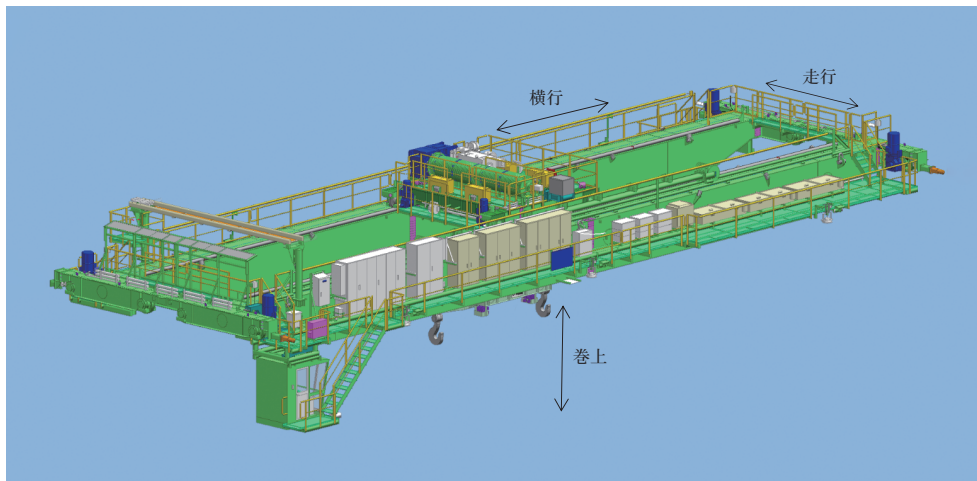


# 天井クレーン自律化に向けた取組み

## The Actions for Autonomic Overhead Cranes

● 藤澤 昇\*  
Noboru FUJISAWA



天井クレーン3Dモデル  
3D model of Overhead crane

天井クレーンの動作は、巻上・横行・走行の3次元の単純な動きが主体である。しかし、機体が大きく、鋼構造のため、駆動装置や制御系統の遅れなどの影響を受けるため、吊り荷を所定の位置に運搬する際、運転員が目視確認しながら手動操作で微小な位置合わせを実施している。

住友重機械搬送システム株式会社では、長年にわたり多業種の顧客にさまざまな用途で使用される天井クレーンを製造し、納入している。近年の少子高齢化による労働人口の減少や、かつての3K(きつい・汚い・危険)職場の敬遠傾向、加えて働き方改革などへの対応としてDX(デジタルトランスフォーメーション)の展開として、現在、天井クレーンの自律化に取り組んでいる。

本報では、天井クレーンの自律化に向けた次の取組みについて述べる。

- ・吊り荷の振れ止め
- ・吊り荷の形状認識
- ・操作環境の改善
- ・クレーンの状態監視

The operation of overhead cranes mainly involves three-dimensional simple movements, which are hoisting, trolley traveling and gantry traveling. However, due to the huge size of the overhead cranes, factors such as the deflection of steel structures, delays in the drive system and control system, affect the precise positioning of the load. Therefore, operators manually perform fine adjustments while visually confirming the goal position of the load. Sumitomo Heavy Industries Material Handling Systems has been manufacturing and delivering overhead cranes for various industries and applications for many years. Recently, in response to the decreasing labor force due to aging population, the avoidance of 3K (kiken, kitanai, kitsui) workplaces, and efforts toward workstyle change, we are working on the autonomous transformation of overhead cranes through digital transformation (DX). In this article, we discuss the following initiatives toward the autonomy of overhead cranes.

- ・ Load swing prevention
- ・ Load shape recognition
- ・ Improvement of operating environment
- ・ Crane condition monitoring

### 1 まえがき

工場内で使用される天井クレーンは、重量物の運搬に必要不可欠な設備であり、万一、故障停止すると工場の操業ラインが止まる可能性がある。天井クレーンを安定して操業ラインで使用するには、故障しないこと、メンテナンスしやすいこと、操作しやすいことが重要となる。

天井クレーンの動作は、巻上・横行・走行の3次元の単純な動きが主体である。しかし、天井クレーン自体の機体が大きい

ことから、車輪つばとレールのガタ、鋼構造のため、ワイヤロープの振れ、駆動装置や制御系統の遅れなどの影響を受けやすく、所定の位置に吊り荷を運搬する際に、運転員が目視確認して手動操作で微小な位置合わせを実施している。

そのなかで、住友重機械搬送システムでは、将来的に天井クレーンを自律化させることを目的として半自動運転、自動運転および遠隔操作に取り組んでいる(2章以後は、半自動運転、自動運転、遠隔操作を総括し「自動運転」と簡略化して記載する)。

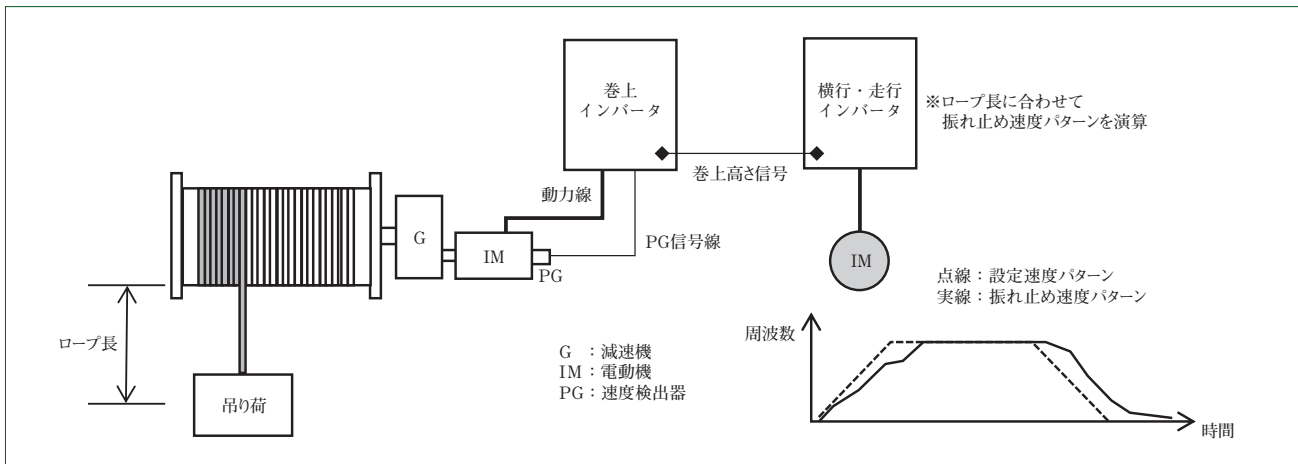


図1 インバータによる振れ止め制御システム構成図  
System configuration for load swing prevention control using inverters

## 2 操作性改善

従来、天井クレーンは運転室内で巻上・横行・走行を個別に手動操作することを基本としてきた。運転員が天井クレーンに乗り込んで手動操作し、操業状況に合わせて吊り荷を所定の位置へ運搬することから、その合間に待機時間が発生している。無線操縦装置を適用する場合においても、運転員が天井クレーンの下まで移動して操作している。その際、運転員は直接の目視確認のほか、運転室内で操作する場合は、天井クレーン上や建屋に設置されたカメラ映像を目視確認しながら安全を確保している。また、天井クレーンの操作は、運転員の経験により吊り荷の玉掛、地切り、運搬中、蔵置、玉外しの各段階で、吊り荷の挙動が大きく変わる。経験のある運転員ほど吊り荷の振れを発生させることなくハンドリングしているが、経験の浅い運転員では操作に慣れるまでに時間が必要である。

これまで住友重機械搬送システムでは、天井クレーンの設計において故障頻度の低減およびメンテナンス性の向上を重要視して取り組んできたが、近年の少子高齢化による労働人口の減少や、かつての3K職場の敬遠傾向、働き方改革などへの対応として、次に挙げる運転員の操作性改善へのニーズの高まりにより、DXを進めようとしている。

- ・オペレータの熟練度を問わない運転アシスト機能の付加
- ・吊り荷の設置状態に合わせた自動運転の実現
- ・省人化、運転員の負担軽減を目的とした遠隔操作の適用
- ・地上での天井クレーンの状態監視

## 3 自動運転に向けた課題と取組み

### 3.1 吊り荷の振れ止め

#### 3.1.1 課題

天井クレーン動作中に吊り荷に振れが発生すると、振れを止めるための操作に時間がかかり、サイクルタイムが悪くなる。吊り荷の大きな振れは、地上設備との干渉を発生させる危険もあることから、天井クレーンを操作する場合、吊り荷の移動と同時に振れの発生を抑える必要がある。運転員は、職人技で振れ止め操作を行っているが、その技量は経験によ

表1 振れ止め制御による振れ量の変化  
Amount of load swing due to anti-swing control

No.	荷重	ロープ長 (m)	振れ止め制御	
			無効	有効
1	なし	2.2	1 (基準)	0.2
2		5.2	6.2	1.3
3		8.2	23	8.5
4	あり	8.2	6.1	4.6
5		9.5	10.9	8.9

<測定条件>

- ・運転 : 走行
- ・運転パターン : 100%速度から0%速度に減速停止
- ・荷重条件 : 20t吊上げ
- ・ロープ長 : 荷重なし ロープ長  
荷重あり ロープ長+玉掛ワイヤ長
- ・残留振れ : ブレーキ停止後の振れ量の最大値  
(条件No.1 振れ止め制御無効を基準)

り個人差が生じる。近年、世代交代が進み、経験の浅い運転員が増加しており、振れ止め操作に慣れるまでに時間がかかることから、運転アシスト機能へのニーズが高まっている。

また、天井クレーンを運転室内や無線操縦装置で操作する場合、吊り荷の振れを目視確認することができるが、天井クレーンから離れた場所で遠隔手動操作を行う場合は、運転員が天井クレーンの動きや吊り荷の振れを直接目視確認できない。このことから、遠隔手動操作に対する実動作の遅れや実動作を撮影したカメラ映像の通信遅れにより、振れ止め操作ができない可能性がある。

#### 3.1.2 取組み

天井クレーンの駆動装置には、主にインバータ制御が採用されている。近年、振れ止め機能を有するインバータが開発され、実用化されている。住友重機械搬送システムでは、インバータメーカーと共同でインバータの振れ止め機能の有効性を検証する試験を実機にて行った。その結果、吊り荷の横行・走行方向の移動中に発生する吊り荷の振れが抑制され、有益な手法であることが確認できた。

運転員の操作に合わせた加速、一定速、減速の設定速度パターンをインバータ内部で振止速度パターンに変換し、その結果に従ってモータを駆動させることで、吊り荷の振れ止め制御を実現した。

図1に、インバータによる振れ止め制御の模式図を示す。表1に、振れ止め制御の有無によって停止時に残る振れ量

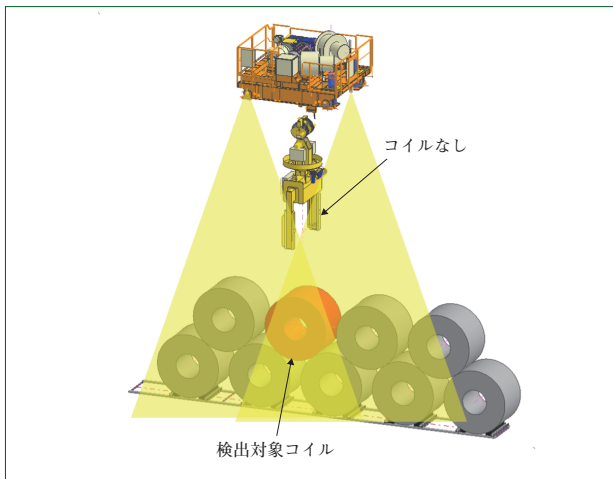


図2 コイル形状認識の機器配置  
Equipment configuration for coil shape recognition

(残留振れ)を計測した結果を示す。インバータの振れ止め機能により残留振れが小さくなっていることが分かる。吊り荷の振れ量は、フックにジャイロセンサを取り付けてその傾向を観測した。ジャイロセンサによる振れ角の検出精度を考慮し、表1の条件No.1の振れ量を基準1とし、各条件の振れ量を割合で算出して結果をまとめた。

結果としては、無負荷時の方に顕著な差が見られた。負荷時はフックに玉掛ワイヤを吊り下げ、さらに玉掛ワイヤでテストウェイトを吊り上げており、単振りではなく2段振りのかたちとなったことから、振れ止め制御の無効時においても振れが発生しづらい状態だったものと考察する。

## 3.2 吊り荷の形状認識

### 3.2.1 課題

従来の天井クレーンの自動運転では、決まった位置に置かれている吊り荷を吊り上げるために決まった位置までフックを移動させ、決まった吊り荷にフックを玉掛けし吊り上げ、目的地まで運搬する動作を行ってきた。その際、安全を確保すべく一連の流れをステップに分け、ステップごとに運転員が実際の吊り荷、もしくはITVカメラの映像を目視確認し、次のステップへの移行の可否を判断して操作を実行してきた。

天井クレーンを自律化させるには、吊り荷の位置をセンシングし、認識した吊り荷の形状および位置に合わせた自動運転が必要である。また、吊り荷の形状に合わせた吊り具を使用する場合には、天井クレーン自体が吊り上げている吊り具の位置と対象となる吊り荷の形状を認識し、お互いの相対位置を合わせて吊り上げることが必要となる。

### 3.2.2 取組み

現在、吊り上げ対象物の形状を検出するセンサとして、LiDARの適用を進めている。2D/3D LiDARを用い、対象となる吊り荷の形状および吊り上げ・蔵置位置を検出することで、自動運転で対象物を吊り上げることに取り組んでいる。

LiDARを用いた場合、検出した点群データのデータ量が多くなると、形状認識の計算処理に時間がかかることから、点群データの制限と条件設定を行い、検出精度の向上および実用化に向けて開発を行っている。

図2に、3D LiDARを用いたコイル形状認識の機器配置を

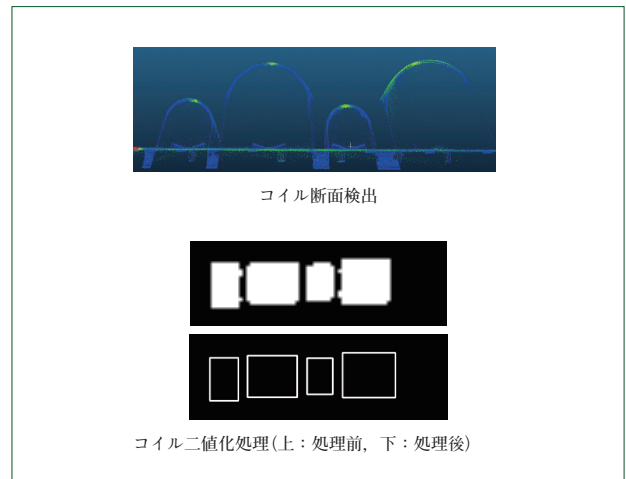


図3 コイル形状認識結果  
Result of coil shape recognition

示す。コイルを吊り上げる専用吊り具を天井クレーンが吊り上げ、吊り具の先でコイルを吊り上げるかたちとなる。

図3に、3D LiDARにより検出された点群データを処理し、コイル端面を検出した結果を示す。コイルの位置座標および形状を検出できることが確認できた。

## 3.3 操作環境の改善

### 3.3.1 課題

天井クレーンを運転室で操作する場合、運転員は閉鎖された空間で長時間イスに座り、上下左右を目視確認しながら運転していることから身体に負担がかかる。また、天井クレーン1台につき運転員1名が必要となり、操業状況により待ち時間が発生する。

近年、運転員のなり手が減少しており、その対策として運転員の操作環境改善へのニーズが高まっている。

### 3.3.2 取組み

住友重機械搬送システムでは、無線通信装置を用い、建屋側操作室と天井クレーンの間でクレーン操作信号、状態信号、映像信号などを送受信し、天井クレーンの遠隔手動操作の実現に取り組んでいる。建屋側操作室から受信したクレーン操作信号に従い、天井クレーン上の制御盤を駆動することで動作させることができる。

遠隔手動操作の実現のためには、映像と状態信号のみで運転員の臨場感および安全を確保することが必要となる。信号や映像を無線通信装置で伝送した場合、必ず遅れ時間が生じるが、実運用上でトータルのサイクルタイムへの影響を抑えて運転員が遠隔操作時に感じる違和感を最小限に抑えるべく開発に取り組んでいる。

図4に、天井クレーンの遠隔操作のシステム構成図を示す。本構成を実現させることにより、運転員の操作環境が改善されるだけでなく、運転員1名で複数台の天井クレーンを操作できるようになり、運転員の減少対策につなげることができる。

## 3.4 クレーンの状態監視

### 3.4.1 課題

天井クレーンに自動運転を適用した場合、運転開始前の日常点検や定期メンテナンス時以外に天井クレーン上に人が乗

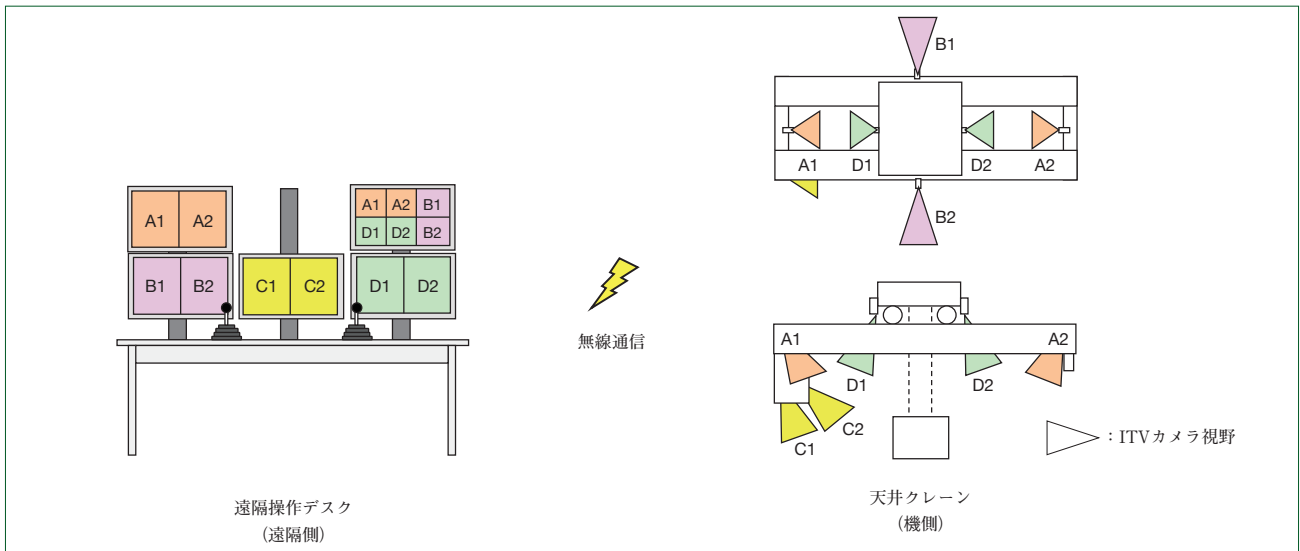


図4 天井クレーン遠隔操作 システム構成  
System configuration of remote control for Overhead crane

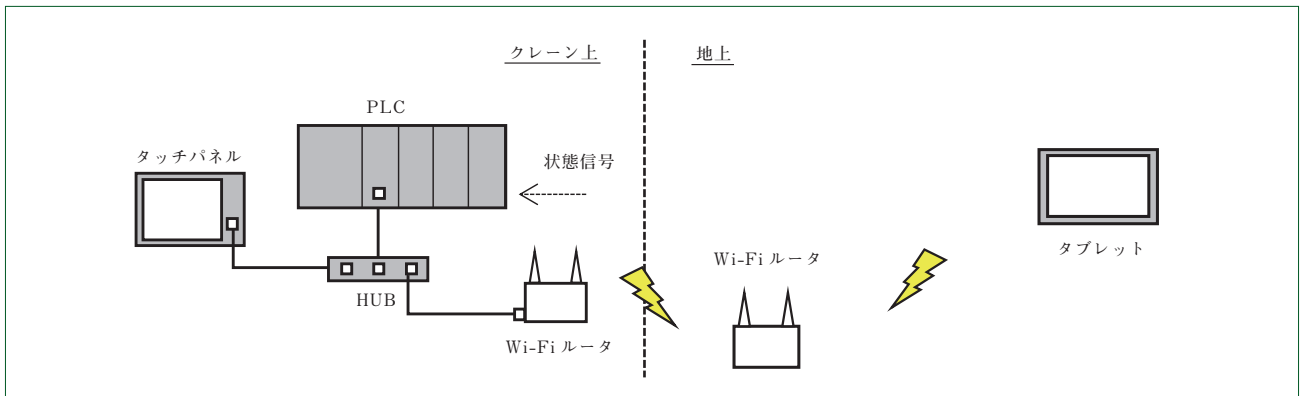


図5 クレーン運転状態表示 システム構成  
System configuration of operation status display for Overhead crane

らないことから、運転中に異常を発見できない可能性がある。また、自動運転中に機器に故障が発生した場合、従来は運転員の五感で感知していた異常に気づけないことが考えられる。故障発生時に天井クレーンを安全に停止させること、停止させた後に故障内容を早期に把握し復旧することが重要となる。

この問題を早期に解決するために必要なのは、天井クレーンから離れた場所に監視システムを置いてクレーンの運転状態を詳細に把握することである。

### 3.4.2 取組み

住友重機械搬送システムでは、従来から天井クレーンの運転室や電気室、制御盤に運転状態や故障情報を確認できるタッチパネルを搭載してきた。現在、天井クレーン上で確認できるタッチパネルと同じ内容をモバイルタブレットに表示させ、地上でも確認できるように機器構成を改善している。図5に、そのシステム構成図を示す。

モバイルタブレットに表示させることにより、天井クレーンに上がることなく地上で常時状態監視を行うことができる。また、故障発生時に故障情報を確認することで天井クレーンに上がる前に準備することができ、天井クレーンと地上との行き来による余計な労力を省くことができるようになる。さ

らに、状態データを蓄積し、駆動装置などの傾向監視を行うことで、故障予兆や予防保全に役立てることができる。

## 4 おわりに

天井クレーンの自律化とは、機械が自律的に対象物を確認して搬送経路を動くことであり、作業員が最低限の指示を行う、いわば完全自動運転と考える。

現在、住友重機械搬送システムでは、運転員からの指令に合わせて天井クレーンが動作する自動運転、もしくは天井クレーンが吊り荷対象を検知し、運転員が安全を確認した後に運転員の手で動作を開始させる自動運転に留まっている。

3章で述べた自動運転に向けた取組みを実用化し、次に示す課題を解決し実機検証をさらに進め、天井クレーンの自律化につなげるべく取組みを加速させたい。

- ・一人の運転員によるクレーン複数台の運転
- ・過酷な環境に設置されるクレーンの遠隔運転
- ・遠隔地での複数工場でのクレーンの集中運転