

# JFE スチール 薄板コイル製品倉庫自動化の取り組み

## Initiatives for Automation of Hot/Cold Rolled Coil Warehouse in JFE steel

山下 徹郎 YAMASHITA Tetsuro JFE スチール 西日本製鉄所 工務部 生産管理技術室 主任部員 (副課長)  
續木 悠介 TSUDUKI Yusuke JFE 物流 スマート物流推進部  
吉田 俊介 YOSHIDA Syunsuke JFE 物流 スマート物流推進部 主任部員 (係長)

### 要旨

JFE スチール西日本製鉄所は、物流の省力化を主目的として、薄板コイル製品倉庫の自動化に取り組んできた。薄板コイル製品倉庫の自動化システムは、オペレーター技能の代替手段にとどまらず、コイル製品ハンドリングの高能率化、出荷能率向上などに寄与している。本稿では倉庫自動化システムへ導入した技術のうち、特にクレーンサイクルタイム短縮、位置認識技術、スケジューラー機能に関する技術を紹介する。

### Abstract:

JFE Steel's West Japan Works has been working to automate the warehouse of hot/cold rolled coil products with the main purpose of saving labor in logistics. The automated system of the warehouse of hot/cold rolled coil products is not only an alternative to operator skills, but also contributes to the high efficiency of coil product handling and the improvement of shipping efficiency. This report introduces technologies introduced in warehouse automation, particularly those related to crane cycle time shortening, position recognition, and scheduler functions.

## 1. はじめに

生産年齢人口の減少を背景として、JFE スチール西日本製鉄所は、物流の省力化を推進している。近年、製鉄所内の多くの出荷系クレーンが稼働年数 40 年を超え、更新時期を迎えている。そこでクレーンの老朽更新に合わせて、クレーン自動化技術を活用し、薄板コイル製品倉庫を自動化してきた。クレーン自動化技術は、2012 年より JFE 物流が主体となり開発を進めてきた技術である。千葉地区では 2 棟、福山地区 8 棟、倉敷地区 1 棟、名古屋物流センター 2 棟の薄板コイル製品自動倉庫が、安定的に稼働している。

薄板コイル製品倉庫とは、薄板コイル製品を出荷するまで保管するための倉庫である。熱延工場、冷延工場などで製造された薄板コイル製品が、製品搬送車両に積載され、製品倉庫に入庫する。倉庫内の受払いおよび配替用に、倉庫に天井クレーンが設置されている。出庫は地区によって異なり、輸出製品の出庫作業に限ると、フォークリフトで製品岸壁まで搬送する方法や、天井クレーンで直接製品岸壁まで搬送する方法などがある。西日本製鉄所倉庫内のコイル製品は、倉庫面積の有効活用を目的に、最大 3 段まで段積みが行われている。段積み基準は製品品質を保証するため、品種、梱包、重量、幅、外径、厚みなどで厳格に定められている。

自動倉庫では新設した自動クレーンおよび自動化システムにより、倉庫内の受払いおよび配替作業のクレーン操作を自動で行っている。本稿では倉庫自動化の中で導入したクレーンサイクルタイム短縮、位置認識技術、スケジューラー機能に関する技術事例を紹介する。

## 2. クレーンサイクルタイム短縮

本章ではクレーン高能率化を目的に、コイル搬送 1 サイクルにかかる時間 (サイクルタイム) を短縮するために導入した技術について説明する。種々の取り組みの結果、福山地区 E9 自動倉庫ではサイクルタイム短縮技術導入により、サイクルタイムがオペレーターによる手動運転に比べ、約 20% 短縮された。

### 2.1 巻上下サイクルタイム短縮

#### 2.1.1 クイックモーションリフター

薄板コイル製品倉庫の天井クレーンの吊具は、コイルリフターを採用している。従来式と新機構のコイルリフターの爪出し機構を図 1 に示す。従来型の爪出し機構は、爪収納が起倒式である。起倒式では、リフターは爪とコイル内径が干渉しない位置まで、巻下げねばならない。リフターは巻下げ完了後、爪が倒れ掴み動作に入る。一方新爪出し機構 (クイックモーションリフター) は、リフター巻下げ途中で爪のリンクが回転する。リンクが回転することで、爪が押し出さ

2022 年 10 月 3 日受付

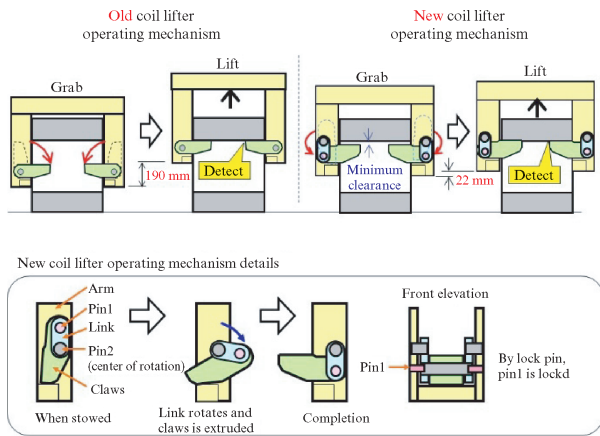


図1 新旧リフター爪出し機構

Fig. 1 New and old coil lifter operating mechanism

れるため、コイル内径上面と爪とのクリアランスが小さくすみ、巻下げ途中で早く掴み動作に入れる。爪出し後は、爪はロックピンで固定される。巻下げの位置決め動作は微速動作（クリープ）であり、巻下げ短縮距離が小さくてもサイクルタイム短縮効果は大きい。実際に新爪出し機構は旧爪出し機構と比較して、1吊り当りのサイクルタイムが約6%短縮した。

### 2.1.2 床面レベル学習

製品倉庫内の床面レベルは、製品重量による沈下や、製品搬送車両や重機の走行による摩耗により、一定ではないケースも存在する。倉敷地区自動倉庫の実測データでは、最高箇所と最低箇所のレベル差が100mm以上あるケースも存在した。従来の自動化システムでは、床面レベルは倉庫内全体が同一レベルという思想であった。そのためリフター巻下げ時のクリープ（微速運転領域）が過剰に発生し、サイクルタイムを延長させているという問題があった。そのリフター巻下げ時のクリープを図2に示す。

空荷巻下げの場合、一定の高さに入ると巻下げ速度の減

速に入り、目標高さに入ると減速を完了する。その後クリープに入り、リフター設置の検出器により穴を検出後、一定値巻下げ、爪掛け動作に入る。設定床面レベルと実際の床面レベルに乖離がある場合、その距離分巻下げクリープが発生し、サイクルタイムが延長される。在荷巻下げ時も同様に、減速完了後からコイル着床までクリープが発生する。巻下げクリープを最少化するには、個々のコイル置場について、適正な床面レベルを定義しなければならない。そこで本自動化システムでは、各置場で床面レベルを保持および学習させる床面レベル学習機能を導入し、個々の床面レベルを巻下げ速度の減速開始高さ計算に活用している。それにより、空荷巻下げ時約2%、在荷巻下時約5%のサイクルタイム短縮を実現した。

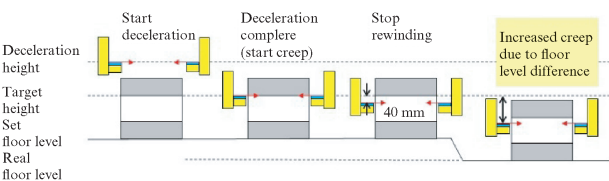
## 2.2 3連動作サイクルタイム短縮

### 2.2.1 最短経路探索ロジック

倉庫天井クレーンで薄板コイル製品を搬送する場合、3連動作（巻き・横行・走行動作）を並行して行い、障害物を回避した最短経路で搬送することがサイクルタイム短縮に有利である。しかし、搬送経路上の障害物である車両やコイル製品は移動するため、状況により最短搬送経路は変化する。加えて搬送中に吊荷が大きく振れてしまうと、落下や衝突の危険性が発生する。そこで上記課題を解決するために、最短経路探索ロジックを導入した。概略を図3に示す。

はじめに搬送元始点と搬送先終点の倉庫内コイル座標(x, y, z)から、動作範囲内の置場マップを作成し、クレーン搬送領域を設定する。次に最短経路算出のために、置場マップを複数のグリッド（格子）で表されるx-z平面へ変換する。各グリッドに対して、クレーンの移動時間に関連する評価値を設定する。評価値はクレーンのX方向速度 $V_x$ 、Z方向速度 $V_z$ から導かれる。グリッド内にコイル製品情報等の障害物がある場合、当該グリッドを障害物座標と判断する。各グリッドの評価値と障害物情報に基づいて、最短となる経

### Unloading rewinding creep



### Loading rewinding creep

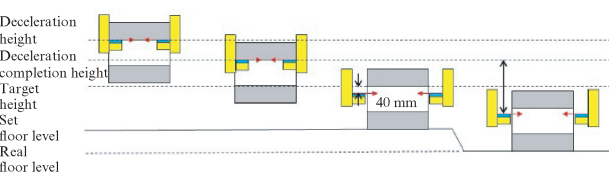


図2 巻下げクリープイメージ

Fig. 2 The image of crane rewinding creep

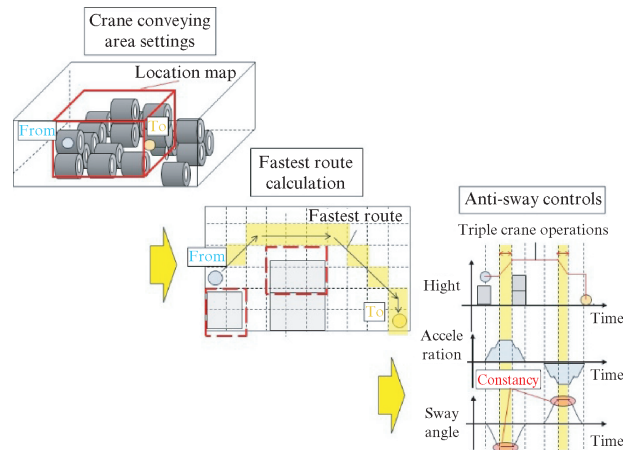


図3 最短経路探索ロジック

Fig. 3 Shortest path search logic in coil conveyance

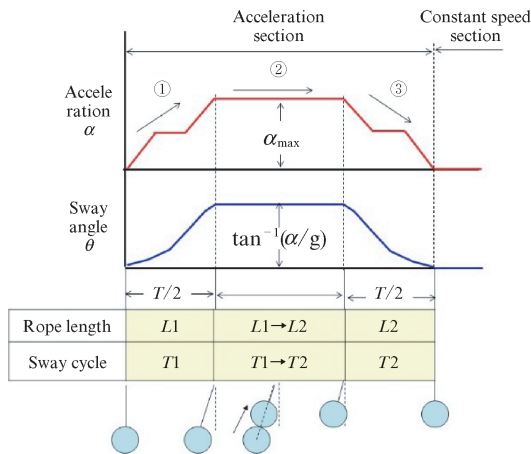


図4 クレーン動作時の振れ止め制御

Fig. 4 Anti-sway control of crane movement

路探索を行う。上記方法により導出された最短経路をもとに、吊荷の振れ止めを考慮し、3連動作パターンを作成する。吊荷の振れ止めについては、次項で述べる。

### 2.2.2 3連動作時の振れ止め技術

クレーン吊荷の振れ止め制御に関しては、機械マスト式振れ止め、振れ角センサを用いたフィードバック (FB) 制御、クレーン速度パターンを利用した振れ止めなどが実用化されている<sup>1)</sup>。3連動作時の振れ止め制御では、速度パターン振れ止めを行っている。3連動作時の振れ止め技術の概要を図4に示す。

速度パターン振れ止めの基本原理は、久山ら<sup>1)</sup>が報告しているとおりで、吊り荷の振れ周期  $T$  (sec) は振り子長 (ロープ長) を  $L$  (m)、重力加速度を  $g$  (m/s<sup>2</sup>) とすると、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。(1)式から振れ周期  $T$  はロープ長  $L$  のみに依存する。この振れ周期  $T$  の整数倍で加減速を行うと、振れ角はゼロとなる。そのため、図4の加速度増減区間①③においては、振れ周期  $T$  による振れ止め制御を行う。

また振れ角  $\theta$  は吊荷の加速度  $\alpha$  (m/s<sup>2</sup>) とすると、

$$\theta = \tan^{-1}(\alpha / g) \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。(2)式から振れ角  $\theta$  は、吊荷の加速度  $\alpha$  のみに依存する。そのため、図4の加速度一定区間②でのみロープ長を変更し、搬送中の障害物を回避できる搬送高さへ調整する。

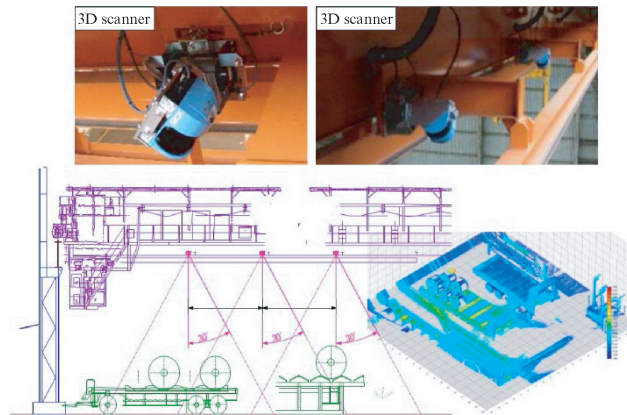


図5 位置認識装置

Fig. 5 Location recognition equipment

## 3. 位置認識技術

### 3.1 位置認識装置

倉庫自動化に際して、車両側は設備改造しておらず、既設の有人車両そのままを流用している。有人車両では倉庫車両間口の規定位置に停車しても、一定の停車位置の誤差は発生する。車両停車位置に誤差が発生すると、車両荷台上の正確なコイル製品座標を捉えられず、コイルリフターとコイル製品の衝突トラブルが発生するおそれがある。そこで車両位置を検出し、車両荷台上のコイル製品位置座標を測定し、補正する位置認識装置<sup>2)</sup>を導入した(図5)。

クレーン主桁に複数台の3次元レーザースキャナーを等間隔で設置した。それにより、車両荷台上のコイル製品およびスキッド (コイル架台) 位置に死角がなくなった。上位システムから受信したコイル製品情報 (幅、外径、個数)、車両情報 (車種、寸法)、車両停止場所、車上コイル積載位置情報のデータをもとに、車両および車両荷台上コイル製品を測定し、車両荷台上のコイル製品の中心座標を演算する。測定時クレーンの巻き・横行・走行位置は、次作業までの動作距離の短縮、測定精度の確保、およびリフターとコイル製品の測定範囲の干渉回避のために、設定場所へ移動することとしている。また3次元レーザースキャナーの視野内に基準反射体を設置することで、クレーン位置の停止位置や傾きを自動補正している。

### 3.2 車両向き自動認識

福山地区 E9 棟自動倉庫の製品搬送車両間口は、車両が通り抜け可能なレイアウトであり(図6)、車両向きが2種類存在する。そのため、車両荷台上のコイル製品位置座標を取得するには、車両向きを認識させる必要がある。車両向きを自動認識させる技術として、福山地区自動倉庫では RFID (Radio Frequency Identification) タグ技術を用いた。福山地区 E9 棟自動倉庫の入出庫間口レイアウトと併せて、RFID

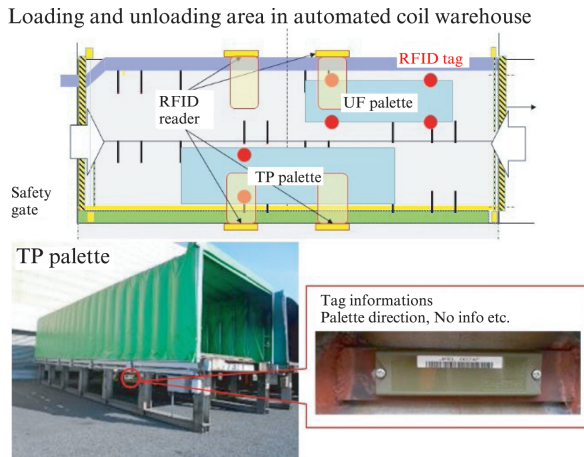


図6 車両向き自動認識 (RFID)

Fig. 6 Automatic recognition of palette direction

タグ技術を用いた設備構成を図6に示す。

パレットと呼ばれる製品搬送架台の脚部に RFID タグを設置し、タグには車両向き情報の他に、車両番号などの情報を付与している。倉庫車両間口に設置した RFID 検出器アンテナで RFID タグを読み取る。読み取った RFID タグ情報を用いて、車両向き情報を取得する。併せて車両番号を使用して上位システムから製品情報を取得することで、コイル製品の自動トラッキングを可能としている。これにより車両運転手が下車する必要がなくなった。またコイル製品のトラッキングに人手を介することがなくなり、コイル製品の識別異常リスクを低下させることもできた。

また車両向きを自動認識するための RFID タグ技術以外の代替技術として、倉敷地区では 3.1 節で説明した位置認識装置を活用している。3次元レーザースキャナーで車両荷台の形状を認識させ、車両向きを認識させている。雨濡れ防止用の幌を有したパレットでは幌形状、幌なしパレットではパレット上に設置した基準球で判別している。ただしこの場合、車両向き以外のコイル製品情報がトラッキングできないため、別手段で車両情報を認識させる必要がある。そこでパレットの脚などに設置したバーコードに車両情報を持たせ、それをハンディースキャナーで読み取ることで、コイル製品情報のトラッキングを可能とした。

### 3.3 車両自動積付け機能

製鉄所構内専用車両に関しては、先述したとおり上位システム情報と位置認識装置の測定データを併用し、車両荷台上のコイル製品座標を取得し、車両の自動荷卸し・積付けを行っている。一方、構外へも搬送可能な汎用トレーラーについては、客先の荷台上的積込み位置の指定や、眼鏡・鉄砲積みのようなコイル製品の方向指示があり、自動荷卸し・積付けが困難であった。またシステム上にさまざまな汎用トレーラーの車両情報（車種、寸法）がなく、車両荷台

上のコイル製品座標を精度良く特定できないという課題もあった。そこで積み卸しする場所の付近に位置決め基準点を設置し、コイル製品の積み付け位置を認識させることで、汎用トレーラーの自動積み付けを実現した。3次元レーザースキャナーの測定データから基準点を自動認識し、その近傍の車両形状を解析することで、車両の寸法が未知であっても確実に測定できる。同時に開発した専用の積み込み運転ロジック（特許出願中）とあわせ、輸送中の荷崩れを起こさない積み付けを自動運転で実現している。上記方法により、汎用セミトレーラーを含めた自動倉庫で取り扱うほぼすべての製品搬送車両で、自動入庫および自動出庫が可能となった。

## 4. スケジューラー機能

### 4.1 スケジューラー機能概要

従来倉庫内の受払いは、船積み計画および倉庫計画のもとに、管制室の作業者が判断してきた。また配替は、出荷作業の直前にクレーン運転手を実施してきた。倉庫自動化にあたっては、上位システムに作業者が入力した船積み計画、倉庫計画、車両到着情報のもとに、クレーンの作業指示を与えるスケジューラー機能を構築した<sup>3)</sup>。スケジューラー機能を図7に示す。スケジューラー機能は作業指示スケジューラーと配替スケジューラーで作業指示情報を構築する。作業指示スケジューラーの役割は、設定する優先順に基づき自動クレーンの実施作業（対象コイル製品の出入庫指示）を決定することにある。また優先順設定は、システム端末で任意に切り替えられる。実施可能な指示がない場合、配替を実施する。次節では特に配替スケジューラーについて記述する。

### 4.2 配替スケジューラー機能

配替スケジューラー機能の役割は、配替の対象コイル製品と移動先を決定することである。配替スケジューラーの機能の一つとして、置場整理機能がある。置場整理機能とは、

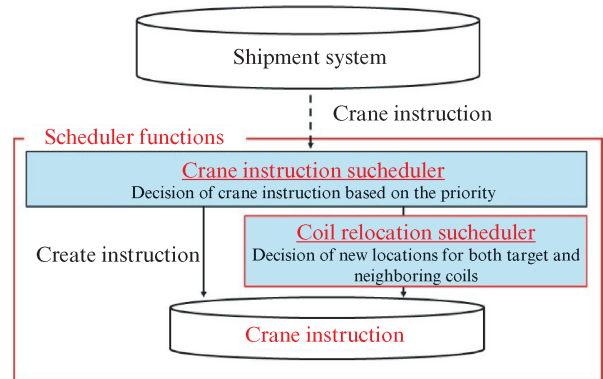


図7 スケジューラー機能

Fig. 7 Coil relocation scheduler

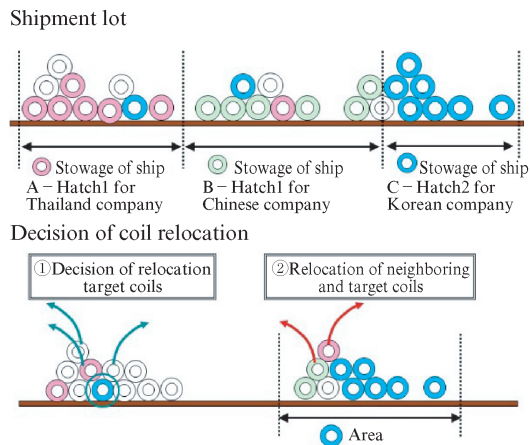


図8 事前配替機能の特徴

Fig. 8 Feature of coil relocation preparing for shipment

置場の受け入れ可能なコイル架台を増やす機能である。置場内の2段目、3段目へ段積み可能なコイル製品を抽出し、配替を行う。実行タイミングは、他の優先順位が高い作業がない場合、倉庫内の受け入れ可能なコイル架台が少ない場合である。また出荷予定が近いコイル製品の上には、同一出荷ロットコイル製品以外のコイル製品を段積しない。置場整理を実施することにより、コイル製品配置を都度最適化し、倉庫置場能力を最大化している。

配替スケジューラーの他の機能として、事前配替機能がある。事前配替機能とは、同一出荷ロット（船出荷の場合は、船の同一ハッチ）のコイル製品を置場内にまとめておく機能である。同一出荷ロットのコイル製品は、置場内の特定エリアに固まっていて、かつ別出荷ロットのコイル製品が上に段積みされていない方が良い。なぜなら無関係な別出荷ロットのコイル製品が上に段積みされていた場合、ハネ作業と呼ばれる、コイル製品をよけて別の置場へ移動させる作業が発生するからである。輸出船出荷の場合ハネ作業が多くなると、出荷能率の低下、特に船積荷役時間の増加にもつ

ながる。事前配替機能の特徴を図8に示す。事前配替機能では、出荷ロット単位毎に倉庫内に自動でエリアを設定する。図8の例では、タイ向け、中国向け、韓国向けコイル製品のエリアを出荷ロット単位で自動生成する。エリアを生成した後に当該向け先エリアの製品を集約する。韓国向けコイルを例にすると、他のエリアに配置されていた韓国向けコイル製品を掘り出し、韓国向け製品エリアへ配替する。また韓国向けエリア内に他のタイ向けコイル製品があった場合、タイ向けコイル製品を他エリアに配替する。このようにしてエリア内に存在する当該出荷ロットを自動的に最適化することで、入出庫作業の効率向上および無人化を実現した。

## 5. おわりに

本稿ではJFEスチール西日本製鉄所の薄板コイル製品倉庫自動化への取り組み技術について記載してきた。JFEグループ製品倉庫自動化の取り組みは、千葉地区S-8自動クレーンを皮切りに、福山地区、倉敷地区へ水平展開し、都度技術的な改善を進めてきた。導入の成果として福山地区では既に輸出黒皮コイル製品の90%以上が自動倉庫で受払いされている。また倉敷地区でも大幅なクレーン稼働時間向上のみならず、当初想定していた自動倉庫受払い比率を達成している。今後も福山地区、倉敷地区および流通基地で薄板倉庫の自動化推進を計画しているが、自動倉庫内の安全化対策、同一倉庫内複数クレーン制御など、地区の操業事情に合わせて自動化技術をレベルアップしていく。

### 参考文献

- 1) 久山修司, 山口収. 天井クレーン自動化における技術課題とその解決方法. システム/制御/情報. 2020, vo.64, no.5, p 171-176.
- 2) JFE物流. コイル商品倉庫の自動化. JFE技報. 2015, no.35, p. 82-83.
- 3) JFEスチール. “コイル製品倉庫用スマート運用自動クレーンの全社展開を開始～作業スケジュール・製品配置の最適化による出荷能率向上を実現～”. JFEスチールニュースリリース, 2020-11-04. <https://www.jfe-steel.co.jp/release/2020/11/201104.html>, (参照 2022-09-06).