無人形コイル搬送システム

津久井 孝 史*
Takashi TSUKUI

Key Words: Hot Strip Coil Handling, Yard Layout, Automatic Control, Automated Crane, Coil Transfer Car

1. はじめに

我が国鉄鋼設備の輝かしい近代化の一例として圧延工場の高度の自動化があげられるが、これは圧延主機に関して言えることで、その裏に取り残された一つの大きな課題があった。

圧延工程の前後には、素材や製品を一時的に貯蔵するためのヤードが必ず附随するが、ここでの貯蔵や運搬の形態はほとんど変革がみられなかった。その結果、圧延主機の近代化が一段落した昭和40年代の圧延工場においては、このヤードの中で製品の運搬と管理に携わる要員の比率が工場全体の40~50%に達し、このためにクレーンの無人運転を軸とした製品ヤードの無人化と言う課題が脚光を浴びてきたのである。

鉄鋼界では、既存の製品ヤードの無人化をめどとして、クレーンに関する荷振れ防止、衝突防止、群管理などの技術開発に長期間取り組んできたが、大形重量物の搬送においてはさ細な誤動作が重大な設備破損ひいては圧延作業の長時間停止につながるため、信頼性の点でもう一步自信がもてず、既存ヤードの本格的な無人化を実現するまでにいたっていない。

とは言え、製品ヤードの無人化には際立った開発をしなければならない要素があるわけではなく、単純な物流を前提とした無人形ヤード固有の単純なレイアウトを計画すれば、信頼性の高い無人形ヤードシステムの実現は可能であると考えられていた。

このような歴史と背景の中で迎えた日本鋼管会社京浜製鉄所扇島熱延工場の建設計画に際し、無人形製品ヤード採用の方針が決定され、昭和49年より検討を開始し、6箇月の負荷試運転を経て

昭和54年4月に営業運転の運びとなり、その後順調に稼働を続けている。

2. 熱延工場概要

2.1 全体配置および製造工程 当工場の全体配置を図1に示す。当工場の素材である鋼片（スラブ）はスラブヤードに受け入れられて、鋼種と寸法単位に山積みされる。計算機の作業計画に従って自動的に払い出された鋼片は、加熱炉——粗圧延機——仕上圧延機——ランアウトテーブルを経て製品となりダウンコイルでコイル状に巻き取られる。この段階での製品温度は500~600°Cである。つぎにコイルはチェーンコンベヤ、冷却ヤードクレーンによりコイル冷却ヤードに搬入され1~2日をかけて常温まで冷却される。

つぎにコイルヤード配置を図2に示す。冷却完了したコイルは再び冷却ヤードクレーンにより冷却コイル台車に積み込まれて、スキンパス圧延機、結束ラインなどの精整工程に移送され、それぞれの作業完了後、製品コイル台車によりコイル製品ヤードに搬入される。製品ヤード内のコイルの運搬はいうまでもなく製品ヤードクレーンによって行われる。このヤードでしばらく貯蔵されたコイルは再びコイル出荷台車に積み込まれて最後の工程である出荷ヤードへ到達する。トラックへの積み込みは安全上の見地から有人形のクレーンによって行われる。

当工場の生産能力は月産25万t、時間当たり500tで、1日約700個のコイルが製造される。したがって無人クレーンによる運搬回数はスラブヤードで3500回、コイルヤードで4000回、1日合計7500回にも及ぶ。

表1にコイルに関する諸元を示す。

2.2 システム構成 コイルヤードシステムの

* 日本鋼管会社京浜製鉄所(〒210 川崎市川崎区南渡田町1-1)。

全体構成を図3に示す。最上位にある製鉄所の中央計算機は IBM 3032/3033 で圧延や出荷などの作業計画および作業の進ちょく実績管理をつかさどっている。ヤードプロコンはヤードの在庫管理、作業実績の収集および作業指示を担当する記憶容量の比較的大きい計算機でコア容量は 64 KW, ディスク容量は 6 MW である。なお熱延工場としては以上のほかに、スラブヤード、圧延機および酸洗ライン用のプロコンがそれぞれ装備されている。

ヤードコントローラはヤード内諸設備の有機的

な運行制御を担当し応答速度を主眼とする計算機でコア容量はおのおの 48 KW である。本システムの最大の特徴はヤードに関する計算機を上述のごとく、管理を目的とした計算機と制御を目的とした計算機に二分した点である。

つぎに各設備はそれぞれ固有の計算機またはリレー盤により制御される。各装置は一般的にヤードコントローラを経由してインタロックされているが、一部は各設備間で直接にインタロックされているものもある。

3. コイルヤード概要

3.1 レイアウト コイルヤードは、高温のコイルを冷却するための冷却ヤードと、最終製品を貯蔵するための製品ヤードとで構成されるが、レイアウトの基本構想はいずれも同様である。

1棟の建屋には1台のクレーンがとう載されて

表 1 コイル諸元

幅	600~2 300 mm
板厚	1.6~25 mm
外径	1 000~2 050 mm
内径	610~762 mm
重量	6~36 t

図 1 熱延工場全体配置図

図 2 コイルヤード配置図

いるが、クレーンの衝突や複雑な運行制御を避けるためには、これが理想的なレイアウトである。1棟の寸法は、幅 40 m、長さ約 100 m であるが、幅についてはクレーンの走行方向の剛性を、また長さについては1台のクレーンの運行能率を考慮して決定した。建屋は隣りあって並列に配置されているが、棟数は必要とする貯蔵量および受け払いの運搬能率から決まる。

3.2 搬出入設備 ヤードに対してコイルを搬出入する方法は、冷却ヤードの受け入れがチェーンコンベヤでこれ以外はすべてコイル台車を使用している。これらの運搬設備は建屋を横切って直線的に配置されているので、各棟のコイル運搬の条件は完全に対等であり、単純なシステム構成となっている。

チェーンコンベヤには、棟ごとにコイル受け入れのための装置があり、コイルは行き先指定された棟の受入点に到達すると自動的にコンベヤから抜き出されて、クレーンに引き渡すための特定の位置で待機する。

クレーンに対して無人形製品ヤードのもう一つの主役はコイル運搬台車である。この台車はきわめて小半径の曲線軌条を走行できるため、荷を受け払いする場所が多数存在し、かつ同一直線上にない場合は、運搬設備とシステムが単純化され非常に有利な輸送手段である。軌条はループ状となっていて、曲線部ともどり路線はほとんど建屋のデッドスペースに布設されている。またこの方式は、ある地点で荷役作業が一時的に停滞しても、他の地点ではこれと無関係に台車の運行が可能であり、チェーンコンベヤのような連続一体形の運搬設備と比較すると、荷役効率とシステムの自由度が高い。台車は各棟の定点で停止しコイルの受け払いが行われることは言うまでもない。

3.3 荷役形態 コイルはダウンエンド状（横

おき）で運搬されるためクレーンのつり具としては腕が水平に開閉するコイルリフタが使用されている。

コイルのおき方は地上1段積みで、ころがりを防止するために床の表面にV状のみぞが設けられている。

コイルの幅が表1に示すごとく 600~2300 mm と範囲が広いために、最大幅に合わせてヤード内のすべての番地を設定すると置場効率がきわめて悪化するため、番地は幅に関して大中小の3種類に区分されている。長期的には、大中小の製品構成比率に対応して、大中小の番地の比率も変更する必要がある、ソフト的な操作のみで容易に番地の変更ができるように配慮されている。ただし各棟の大中小に関する番地の構成は同一条件である。

4. クレーン

クレーン諸元を表2に示す。以下に特徴を述べる。

4.1 荷の振れ止め つり具が上限に巻き上げられると、つり具の上部に設置されたガイドポストがクラブ下面に設置された案内筒にはまり込んでつり具の位置が固定される。

本システムでは、つり具が巻上上限に保持されていなければ横行または走行ができないシステムとなっているために、上記のような信頼性の高い機械的な振れ止めの採用が可能となった。

4.2 位置検出装置 横行、走行などの位置検出方法としては、ある基点からの移動量を計測して現在位置を認識する相対番地方式と、各座標が固有の信号を有する絶対番地方式とがあるが、信頼性とシステムの単純化の点でまさる後者を採用している。また停止位置精度を向上させるためには検出単位は極力細かいほうが望ましい。

図 3 コイルヤードのシステム構成

表 2 クレーン諸元

形 式	天井走行形
定格荷重	36 t
スパン	37 500 mm
揚 程	3 780 mm
巻上速度	16/2.5 m/min
走行速度	90/30/4 m/min
横行速度	63/18/3 m/min
走行車輪	八輪（四輪駆動）

以上のような理由から位置検出装置としてはシンクロレゾルバを採用し、最少検出単位は2.5 mm とした。シンクロレゾルバの作動原理について以下に簡単に述べる。

ステータには励磁コイルと検出コイルが巻かれていて、検出コイルの出力電圧には励磁電圧に対してロータの回転角度に比例した位相差が発生する。この位相差を次式のようにデジタル量に変換する。

$$\text{デジタル量}(x) = \frac{128\text{分割}}{360\text{度}} \times \text{回転角}$$

シンクロレゾルバの駆動方法は設備費はやや高価になるが信頼性の点でまさるラックピニオン方式とした。基本的な構造を図4によって説明する。ランウェイガード全長に沿ってIビームが布設されていて、この下面に鋼製のラックが固定されている。このラックとかみあうピニオンを内蔵したトロリがIビームに懸垂しており、トロリはユニバーサル形の連結棒でクレーンに接続され、クレーンとともに走行する。なお、ピニオンはMCナイロン製である。シンクロレゾルバはトロリの振動を絶縁するためにクレーン本体に設置されユニバーサルスピンドルを介して駆動される。このような構成でシンクロレゾルバに発生する振動は平均0.7 g、最大で3 g であり現在までに故障は皆無である。

4.3 電動機制御 電動機はすべて巻線形三相誘導電動機である。一次側に逆並列に接続されたサイリスタを設け、これのゲートの点弧位相を制御して電動機の一次電圧を変えることにより電動機の発生トルクを制御して速度制御を行う。走行および横行の停止方法は、2段階の速度クリープによるもので、クリープ速度は走行が30/4m/min、横行は18/3m/min である。一方、スラブヤード

図4 シンクロレゾルバ駆動装置

クレーンにおいてはサイクルタイムに余裕がないために、位置サーボ方式により速度を直線的に降下させ短時間に停止させている。

停止精度に関する操業実績はコイルヤードクレーンで±20 mm、スラブヤードクレーン（スパン9.5 m）で±7.5 mm である。

4.4 信号伝送 地上指令装置とクレーン間のデータ交信には誘導無線を使用している。伝送速度は2 400 bit/s、伝送方式は全二重、変調方式は周波数変調である。

データ精度を維持するために、地上局と機上局はすべて1対1の対応として伝送システムを単純化し、データ交信はコンテンション方式として誤伝送が発生した場合には異常をすべて地上側で検知可能とするなどの対策を講じた。そのほか、データ内容には、クレーン番号、伝送チェック用のテストデータおよびほかのはん用的な伝送チェック機能をすべて付加することにより、信号の誤伝送は皆無に近い現状である。

クレーンの自動運転のために地上から送られる基本的な指令データは、取りに行くべき荷のある番地、荷を降ろしに行く番地、コイル幅の3種類で、クレーン自身の運行制御や動作の自己診断はすべてクレーンにとう載した計算機が行う。

4.5 合理性判断 クレーンの誤作動は重大な設備破損を誘発するおそれがあるため、クレーンにとう載したマイクロコンピュータの約半分の容量を使用して多項目にわたり合理性の判断を行い誤動作を防止している。以下にその実例を示す。

- 番地の検出値が過大に変化したとき
- 指令を与えたときに、一定時間内に番地検出値の変化がないとき
- 指令を与えてから一定時間内に作業が終了しないとき
- 巻上げ下げ中に走行または横行の番地検出値が変化したとき
- コイル幅の指令値と検出値が大幅に異なるとき

4.6 その他 その他特に配慮した点は、クレーンの斜行を防止するために普通の車輪のほかにサイドローラを設置したこと、サドルとガードの結合を改善して走行方向の剛性を向上させたこと、およびナット類の徹底した回り止めなどである。

また、クレーンにはつり荷の荷重計が設置され

ていて、測定値を地上に伝送し、地上の計算機でつり荷の現物確認を行っている。

5. コイル運搬台車

表3にコイル運搬台車の基本仕様を、図5に台車の走行原理を示し、以下に特徴を述べる。

5.1 機械関係 本機は3.2節で述べたように、脱線や積荷の転倒が発生することなく、きわめて小半径の曲線軌条を安定した走行ができるように設計されている。

車軸は合計2本で、それぞれが独立した軸受フレームに組み込まれていて、この軸受フレームは一般車両の心ざらとは異なる旋回用のころがり軸受を介して台車フレームに結合されている。また軸受フレームの先端にはかじ取り用の案内ローラが設置されていて、主軌条の中央部に布設された案内軌条の案内により、車軸は常に主軌条に直交した状態を保っている。台車の外観を図6に示す。車輪は1個の駆動輪と3個の従動輪より構成され、駆動輪のみ車軸に圧入されほかはころがり軸受を内蔵した車輪となっているため、すべての車輪は独立した回転が可能である。動力伝達の方法は密閉油浴式の4段減速機で、最終段の歯車を車軸に組み込んだつり掛け方式である。

つぎに曲線走行時の安定性についてであるが、実測された横圧は台車の遠心力とほぼ同一の値であり、一般車両でみられるような横圧の要素はな

表3 コイル運搬台車基本仕様

項 目	内 容
形 式	電動自走式
寸 法	長さ 5 200 mm, 幅 2 250 mm
軌 間	1 435 mm
自 重	約 16 t
走 行 速 度	100, 60 m/min (コイル出荷台車)
最少曲率半径	8, 4.5 m (コイル出荷台車)
走 行 装 置	二軸四輪, 軸間距離 2 200 mm
電 源	AC 400 V, 50 Hz, $\phi 3$
主 電 動 機	かご形誘導電動機, 4 極 22 kW×1 台, 15 kW×1 台 (コイル出荷台車)
集 電 方 式	トロリパンタ (主電源), バスダクト (制御系)
速度制御方式	サイリスター一次電圧制御
制 動 方 式	発電ブレーキ, 電磁ブレーキ
停 止 精 度	±50 mm

いことがわかる。したがって、速度 100 m/min, 曲率半径 4.5 m の場合、脱線の安全度を示す脱線係数 (最大横圧÷輪重) は 0.09 となり許容限界 0.8^(注1) よりはるかに低い値である。ちなみに本機をホイールベース 650 mm の通常形の二軸ボギー車で設計すると上記の係数は 1.04 となり脱線の危険が予想される。

また実測の結果、起動抵抗は直線部で 8.0 kg/t, 曲線部で 10 kg/t, 走行抵抗は直線部で 3.5 kg/t, 曲線部で 6.0 kg/t であった。

5.2 電気品および制御関係 電動機の制御装置はすべて台車の軸受フレーム内に設置されていて、動力電源は絶縁トロリバーおよびパンタグラフ式コレクタにより台車に供給される。台車への運行指令または台車の位置、在荷の状態、台車の異常などに関する地上への信号は7~8回線のトロリバスダクトによって伝送される。以上2系統の集電装置は、横振れおよび浮上り防止用ガイ

図5 コイル台車走行原理

図6 コイル台車

(注1) 文献例：大塚，鉄道車両，(昭 32-9)，401，日刊工業新聞社。

ドロラ付きのトロリ台車に取付けられている。トロリ走行用のレールはコイル台車の主軌条と並行に正確に布設され、トロリ台車はユニバーサル形のけん引棒を介してコイル台車と連結されている。

つぎに運行制御の方法について、コイル冷却ヤードを一例に挙げて説明する。ループ全長は約480 mでトロリパスダクトは57 セクションに分割され、セクション長は最大17 m、最小5.4 m、平均8.4 mである。制御地点は基点が1、積荷点が5、荷降ろし点が4、待機ゾーン入口点が1箇所で構成される。走行台車数は当初6台であるが生産量に対応して8台までの増車が可能である。地上の台車コントローラは、各台車の所在地点や積載状況のトラッキングを行うとともにあらゆる運行制御を行う。衝突防止については、安全上の観点からコントローラによるほかに通常のリレー盤を使用して区間閉そく式の制御も行っている。

台車コントローラは、冷却ヤード、製品コイル

ヤード、コイル出荷ヤード用に3基設置されているが、いずれも同一機種で、記憶容量はコアメモリで32 KW、入出力装置数は最大96である。

台車の制御速度は高速と低速の2段階に区分され、低速はいずれのループも5 m/minで定点停止のためのクリーピングあるいは衝突防止のための閉そく減速に使用される。

6. 結 び

本プロジェクトは信頼性に関して、当初非常に大きな危ぐが抱かれたが、立ち上がりは順調でフル生産状態の今日においてもきわめて安定した稼働を続けている。

無人形ヤードの完成により熱延工場全体が初めて、一貫して計算機により管理されることになり、名実ともに近代的な熱延工場が誕生したと言える。

(原稿受付 昭和55年8月15日)

石油代替エネルギー供給目標 50% (その2)

(467 ページより)

設備は次のとおり。

【原子力】 受け入れ設備、搬送設備、ウラン濃縮設備、燃料転換設備、燃料加工設備、原子炉本体、原子炉冷却系統設備、計測制御系統設備、燃料設備、放射線管理設備、廃棄設備、原子炉格納設備、排気筒、発電設備、原水設備、使用済み核燃料再処理設備。

【石炭】 揚炭設備、受け入れ貯炭設備、乾燥、粉碎、混合・給炭設備、搬送設備、燃焼設備、乾留ガス化設備、発電設備、公害防止設備、灰処理関係設備。

【天然ガス】 LNG 基地設備及び付属設備、天然ガス輸送導管、受け入れ・貯蔵設備、搬送設備、燃焼設備、発電設備、保安設備、公害防止設備。

【水力】 貯水、取水、導水設備、発電設備。

【地熱】 地熱生産設備、搬送・貯蔵設備、発電設備、熱利用設備、公害防止設備。

【太陽熱】 ソーラシステム、太陽熱利用温水器。

【廃棄物・廃熱】 受け入れ・貯蔵設備、変換・加工設備、搬送設備、燃焼設備、発電設備、熱利用設備、公害防止設備。

【股部 敏夫】

表 昭和65年度石油代替エネルギーの供給目標
(カッコ内は一次エネルギーに占める比率)

石油代替エネルギーの種類	65年度石油代替エネルギーの供給数量の目標 (単位 万 kJ)	53 年 度 (単位 万 kJ)
石 炭	12 300 35.4% (17.6%)	5 681 50.9% (13.7%)
原 子 力	7 590 21.8% (10.9%)	1 542 13.8% (3.7%)
天 然 ガ ス	7 110 20.4% (10.1%)	1 940 17.4% (4.7%)
水 力	3 190 9.2% (4.6%)	1 941 17.4% (4.7%)
地 熱	730 2.1% (1.0%)	16 0.2% (0%)
その他の石油代替エネルギー	3 850 11.1% (5.5%)	38 0.3% (0.1%)
合 計	石油換算 100.0% 3.5億 kJ (49.7%)	石油換算 100.0% 1.12億 kJ (26.9%)

【備考】 ①石炭の供給数量は1億6350万t(国内炭2000万t含む)で、うち一般炭は6900万t程度、②原子力の供給数量は原発による電気の供給数量で、原発にかかわる施設の出力は5100万kW~5300万kW、年間発電電力量は2920億kW時、③天然ガスの供給数量は輸入天然ガス6350万kJと国内産天然ガス760万kJの合計、④水力供給数量は水力発電による電気の供給数量で、水力発電にかかわる施設の出力は一般水力2600万kW、揚水2700万kWの計5300万kW、年間発電電力量は1230億kW時、⑤地熱の供給数量には地熱利用の火力発電による電気の供給数量が含まれ、当該火力発電にかかわる施設の出力は350万kW、年間発電電力量は245億kW時、⑥その他の石油代替エネルギーは太陽熱(ソーラ、光発電)、石炭液化燃料など。