

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.31 (1999) No.4

完全自動コイル搬送を実現した自動化技術

Automation Techniques for Fully Automated Coil Transport

吉永 茂樹(Shigeki Yoshinaga) 穴吹 善範(Yoshinori Anabuki)

要旨：

川崎製鉄では、1980 年代よりコイル自動搬送設備の建設を始め、現在では、熱間圧延コイル、冷間圧延コイルの工場内搬送の大部分を自動化している。自動化にあたり、人工知能を用いた最適搬送技術、超音波やレーザを用いたコイル 2 重置き防止技術などの技術開発を行い、それらの技術に改良を加えて完全自動搬送システムを実現し、品質面、コスト削減などに大きく寄与している。本報では、川崎製鉄におけるコイル搬送自動化技術の変遷および最新鋭の自動化システムである千葉製鉄所 3 熱仕工場の自動化技術について述べる。

Synopsis：

Kawasaki Steel started the construction of an automatic steel strip coil transportation system in the 1980's. Presently, most of the in-plant transportation of hot-rolled or cold-rolled coils are automated. For establishing the automatic transportation, there were developed various technologies, such as, the optimum handling technology using artificial intelligence, the technology of preventing additional piling of coils on existing coils by using an ultrasonic wave and a laser beam. Through the improvements of these technologies, a full-automated transportation system has been achieved and the system has contributed substantially toward product quality assurance and cost reduction. This paper gives the changes in the automation technology of coil transportation and transition in the automation of No. 3 finishing hot rolling mill, now having the latest automatic system, in Chiba Works.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Automation Techniques for Fully Automated Coil Transport



吉永 茂樹
Shigeki Yoshinaga
千葉製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(主席掛長)



穴吹 善範
Yoshinori Anabuki
水島製鉄所 管理部商
品技術室 主査(課長)

要旨

川崎製鉄では、1980年代よりコイル自動搬送設備の建設を始め、現在では、熱間圧延コイル、冷間圧延コイルの工場内搬送の大部分を自動化している。自動化にあたり、人工知能を用いた最適搬送技術、超音波やレーザを用いたコイル2重置き防止技術などの技術開発を行い、それらの技術に改良を加えて完全自動搬送システムを実現し、品質面、コスト削減などに大きく寄与している。本報では、川崎製鉄におけるコイル搬送自動化技術の変遷および最新鋭の自動化システムである千葉製鉄所3熱仕工場の自動化技術について述べる。

Synopsis:

Kawasaki Steel started the construction of an automatic steel strip coil transportation system in the 1980's. Presently, most of the in-plant transportation of hot-rolled or cold-rolled coils are automated. For establishing the automatic transportation, there were developed various technologies, such as, the optimum handling technology using artificial intelligence, the technology of preventing additional piling of coils on existing coils by using an ultrasonic wave and a laser beam. Through the improvements of these technologies, a full-automated transportation system has been achieved and the system has contributed substantially toward product quality assurance and cost reduction. This paper gives the changes in the automation technology of coil transportation and transition in the automation of No. 3 finishing hot rolling mill, now having the latest automatic system, in Chiba Works.

1 緒言

川崎製鉄では1980年代はじめよりコイル自動搬送設備の建設を行い、さまざまなコイル搬送自動化技術を開発してきた。

代表的な搬送技術は、高温コイルを短ピッチで搬送する熱間圧延コイルの自動搬送技術、搬送ピッチ的には厳しくないがハンドリングギズの防止ニーズと複雑なルート制約のある冷間圧延コイル自動搬送技術である。これらの技術は、ループ台車、シャトル台車、立休倉庫、クレーンなどの搬送手段における「設備単体としての自動化技術」と、最適なコイルハンドリングを行うための各種スケジューリング技術である「システムの搬送技術」の両面を有している。

本報では、当社における搬送設備の変遷、各時期における代表的な自動化技術および千葉製鉄所3熱仕コイル搬送設備で用いられている最新の自動化技術について述べる。

2 当社における自動コイル搬送設備の建設

当社における大規模コイル自動搬送設備の第1号は、1984年から建設を開始した千葉製鉄所第1熱間圧延工場出側のコイル搬送設

備である。この設備は熱間圧延済みコイルの冷却ヤードへの搬送と、次工程である酸洗ラインへの冷却済みコイルの供給を行っている。ループ台車8台、有人クレーン7台他を有し、約2500コイルを管轄する搬送設備である。

その後、Table 1に示すように多くの搬送設備が建設された。その中で、有人クレーンと自動機械との融和を実現した水島製鉄所熱間圧延の熱仕コイルヤード、パレット（コイル置台）ごとコイルを搬送する水島製鉄所 EGL コイルヤード、熱間圧延工場と熱仕工場を統括する千葉製鉄所2熱仕コイルヤードなどが自動化技術の進歩の上で特徴的な建設であった。

3 コイル自動搬送設備の特徴

コイル自動搬送設備は、台車やクレーンなどを用いた自動化機器の集合体である。また、計算機制御システム技術においても、手続き型言語を用いたシステム、人工知能(AI)技術を用いたシステムなどに分類できる。

3.1 搬送設備の特徴

3.1.1 台車

コイル自動搬送設備において使用される台車は大きく分けてループ台車とシャトル台車である。

*平成11年8月13日原稿受付

Table 1 Construction of coil transfer system at Kawasaki Steel

Year	Name of automatic coil transfer system
1980's	Chiba Works No. 1 hot coil yard
	Chiba Works warehouse
	Mizushima Works hot finishing yard
	Mizushima Works EGL coil yard
	Chiba Works No. 2 hot finishing yard
	Mizushima Works 2TA~1, 2AL
	Chiba Works 3CAL coil yard
	Mizushima Works hot finishing yard
	Mizushima Works CGL, 4RC
1990's	Chiba Works No. 1 cold coil works yard
	Mizushima Works electrical steel finishing line
	Chiba Works stainless steel works
	Chiba Works No. 2 CGL coil yard
	Mizushima Works No. 2 CAL yard
	Mizushima Works No. 2 EGL yard
	Chiba Works No. 2 coil finishing yard
	Chiba Works No. 3 hot finishing yard
	Chiba Works No. 2 CAL delivery yard

ループ台車方式は同一軌道内に複数の台車を配することで、搬送系としての単位時間あたりの搬送能力を向上させることが可能である。このため、一定時間に数多くのコイルを搬送する必要のある熱間圧延コイルの搬送設備に多く採用されている。

一方、シャトル台車方式は直線軌道脇に数多くのスキッドを配置することが可能であり、そのスキッドを乗り継ぎポイントや受け渡しポイントとして使用することで、搬送系としてのコイルの入出庫点を多く持つことが可能である。しかし、台車や軌道の設備構成がループ台車方式に比べて複雑となるため、設備信頼性や搬送サイクルタイムの面でループ台車方式よりやや劣る面もある。このため、受け渡しポイントが多い、熱間圧延コイル以外の搬送設備に数多く採用されている。

当初、ループ台車は1段式、シャトル台車は2段式であったが、近年では2段式のループ台車、3段式のシャトル台車なども開発されている。Photo 1 に2段式ループ台車を示す。

3.1.2 クレーン

天井クレーン自動化における重要な技術課題は、ハンドリング対象コイルを確実に検出すること、コイル2重置きを確実に防止すること、およびハンドリング中の振れを防止することである。

(1) ハンドリング対象コイルの検出

自動搬送設備からの搬送や一般の置場からの搬送であれば、コイル位置が事前に決まっているためにコイル有無の検出のみでよい。この検出には、超音波センサや光センサ類が使用されている。一方、キャリアパレットからの受け入れなどコイルの位置が特定できない場合は、画像処理技術などを用いたコイル位置検出（異材検出も兼ねる）を実施している。

(2) 2重置き防止

地番にコイルを置く場合には、その地番が確実に空いていることを確認する必要がある。地番の空検出には、従来は置場に反射板を設置し、クレーンから反射板へ光などを照射してその反射光を検出する方式が用いられていた。本方式では、反射板の定期清掃が必要であったが、最近では、反射板を用いないレーザ方式や超音波方式を開発し採用している。

(3) 振れ止め

巻き上げ時点でガイドポストで固定する方式と、振れ止め制

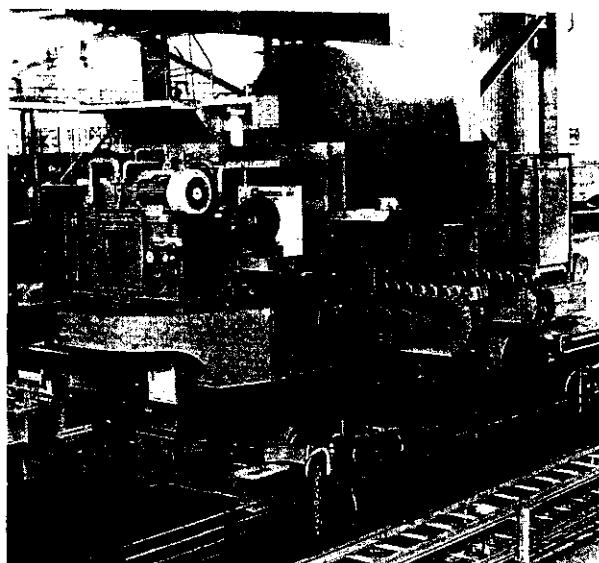


Photo 1 Two stage loop vehicle at Chiba Works No. 3 hot finishing yard

御機能を有するものに分けられる。

3.1.3 その他の設備

その他のコイル搬送設備として、コイル移載機、コンベア、ターナー、立体倉庫におけるスタッカークレーンなどがある。特にコイルのハンドリングを行う立体倉庫スタッカークレーンでは、パレットレス方式の採用が多い。

3.2 計算機制御システムの特徴

3.2.1 搬送設備の制御システム

2段台車や3段台車のように複雑な動作が必要な場合には、搬送設備制御用 PLC (programmable logic controller) を台車上に設置し、与えられた指令を基に自設備を制御する方式が採用される。一方、1段台車のように複雑な動きが必要でない場合は、台車の耐久性を向上させる目的から、搬送設備制御用 PLC を地上に設置し、駆動電圧や周波数をコントロールすることで搬送設備を制御する方式が採用される。さらに、千葉製鉄所3熱仕工場搬送設備ではシステムの信頼性を向上させる目的で、センサを極力省略し保安用シーケンサ（インターロックを専用に監視、制御するシーケンサ）を採用した制御システムが実現されている。

3.2.2 スケジューリング機能を担う計算機システム

搬送制御計算機システムに具備すべき機能として、(1) リアルタイムでの搬送スケジューリング、(2) 大量のコイルデータの保管・ハンドリング、(3) 広範囲をサポートする必要からの高い信頼性などがある。このため、システムは一般的に2重化され、万一のトラブル時にもデータ保護、スケジューリングの継続がなされる構成となっている。さらに、リアルタイムで複雑なスケジューリングを実現するために、AI 技術を採用する場合もある。

ビジネス系計算機と制御用計算機との機能分担上の特徴として、スケジューリングにおける地番管理方法や地番決定方法をあげることができる。当社の搬送設備においては、当初、搬送制御用計算機の能力や信頼性の制約により、地番管理や地番決定をビジネス系計算機で実施していた。近年は、搬送制御用計算機の能力と信頼性の向上により、リアルタイムでの複雑な状況判断に基づく最適スケジューリングに加え、それを実現するための地番管理や地番決定をも搬送制御用計算機に行っている。

4 代表的なコイル自動搬送設備

4.1 水島製鉄所電磁鋼板精整ラインの自動化²⁾

4.1.1 設備概要

電磁鋼板精整ラインの目的は、製品の外観を最終検査して品質保証するとともに、お客様の仕様通りの長さで幅にスリットし、梱包・出荷することである。精整ラインのレイアウトを Fig. 1 に、物流を Fig. 2 に示す。本ラインでは、スリッターラインでスリットされたコイルを、ハンドリング疵防止のため、C フックキャリアを用いて全数ダウンエンド状態で搬送し、搬送のみならず、コイル端面の検査および梱包も全自動で行う。設備的には、以下の特長を有する。

(1) キャリアによる自動搬送

幅 40 mm～500 mm の細幅コイルを、24 台の天井走行型モノレールキャリアで内径吊りすることによって全数ダウンエンド状態で搬送する。これにより、コイル端面にまったく触れることなく搬送が可能になり、搬送時の当て疵発生を完全に防止している。

(2) バーコードリーダによる現品確認

自動バーコードリーダが搬送設備内の要所に設置され、現品とトラッキング情報を照合することにより、異材が搬送されないように検査照合を厳しく実施している。

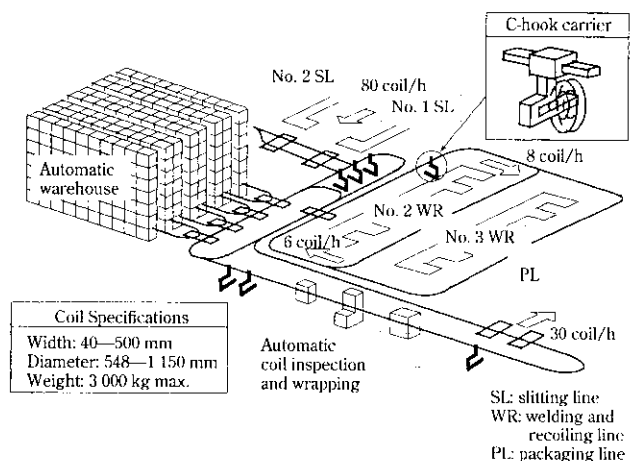


Fig. 1 Layout of Mizushima Works electrical steel finishing line

(3) 検査・紙巻きの自動化

細幅コイル出荷前に、端面検査、紙巻き、バーコード貼付の一連の作業を全自動で行っている。

(4) 全自動倉庫

細幅コイルは棚数 1500 余りの自動立体倉庫にダウンエンド状態のまま格納され、所定のタイミングで必要量を出庫する。

4.1.2 自動搬送制御

精整ラインにおける搬送制御の目的は、24 台のキャリアを駆使して、ライン内の巻き直し設備・梱包設備・立体倉庫がそれぞれの最大能力を発揮できるよう、コイルを遅滞なく搬送することである。具体的な課題としては、渋滞防止制御・デッドロック防止制御・自動倉庫最大効率運転制御などがある。これらの課題をまとめて Fig. 3 に示す。

コイル搬送要求がライン内の複数の場所から同時に発生し、しかもそれらを単線を走行する 24 台のモノレールキャリアで処理するため、搬送制御としては非常に複雑なものとなる。しかも、本設備は新規稼働設備であり、稼働段階で確定した運転方案が期待できない。このため、稼働後の運転方案の追加・変更が予想されたことを踏まえ、本ラインにおける搬送制御は、段階的システム開発が可能でかつ搬送ルールの変更も容易なエキスパートシステムを採用した。

4.1.3 搬送制御システムの構成

自動搬送制御は、オンラインコンピュータ (O/C) から送信されたマクロなコイル搬送命令をプロセスコンピュータ (P/C) のエキスパートシステムが各キャリアに対する具体的な運行命令とし、それを搬送コントローラに逐次送信することにより実行される。搬送キャリアのみならず、端面検査装置・紙巻き装置・ラベル添付装置などの自動化設備もすべて支配下に置くことで、P/C は精整ライン搬送設備全体の自動運転を実現している。

これらの機能分担に基づき、搬送制御システムを構築した。構成を Fig. 4 に示す。特長は以下の通りである。

(1) P/C は (株) 日立製作所製 HIDIC V90/45 で、エキスパートシェルは (株) 日立製作所製 EUREKA II である。また、搬送制御の全ルール数は 310 である。

(2) P/C と下位システムとの入出力用にフロントエンドプロセッサ (FEP) を 2 台設け、送受信処理およびマイクロトラッキングを分担させた。

(3) バックアップおよびシミュレーション用として V90/45 を 1 台設置し、変更した搬送ロジックの確認がライン稼働中にも可能とした。

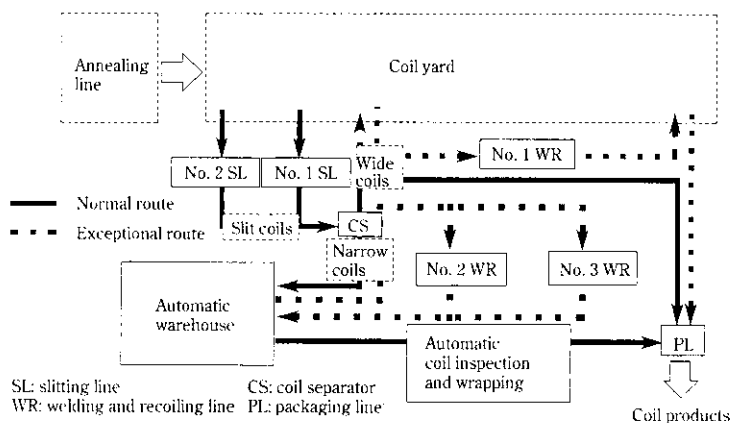
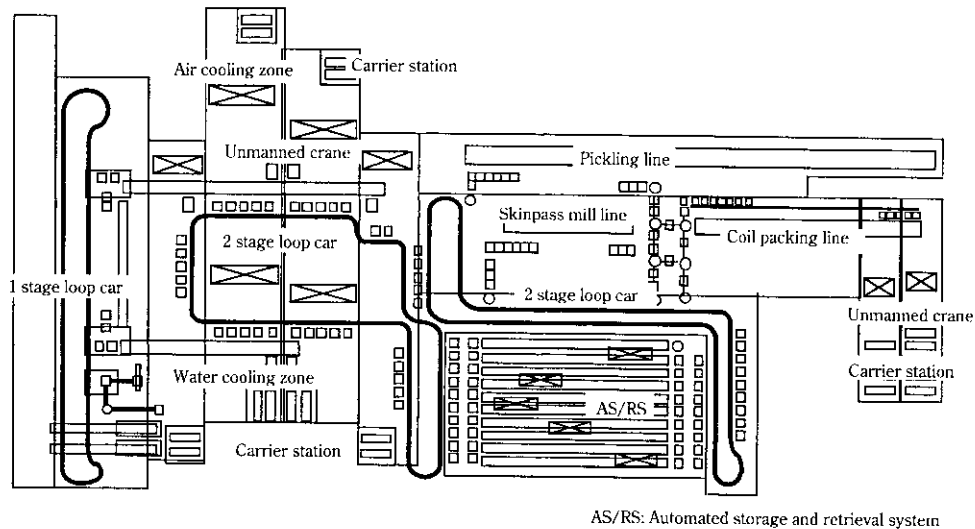


Fig. 2 Material flow of Mizushima Works electrical steel finishing line



AS/RS: Automated storage and retrieval system

Fig. 6 Layout of Chiba Works No. 3 hot finishing yard

Table 2 Specifications for coil storage equipments of No. 3 hot finishing yard

Air cooling zone	1 377 skids
Water cooling zone	474 skids
Automated storage retrieval system	2 080 skids

Table 3 Specifications for coil handling equipments of No. 3 hot finishing yard

Coil yard	Coil transporter	5
	1 stage loop vehicle	7
	Up-end conveyer	1
	Down-end conveyer	2
	Crane	6
	2 stage loop vehicle	7
Automated storage retrieval system	Stacker crane	5
	1 stage shuttle vehicle	19
	Turner	1
Finishing line	2 stage loop vehicle	5
	2 stage shuttle vehicle	1
	1 stage shuttle vehicle	12
	Turner	8
Total		79

Table 4 Division of control functions by computers of No. 3 hot finishing yard system

Central computer	Planning of hot finishing lines Control of quality data
On-line computer	Scheduling of hot finishing lines Processing of coil handling database Scheduling of coil transportation between shops (according to cold tandem mill schedule)
Process computer	Coil tracking Real time scheduling of from-to Scheduling of coil transportation between shops (after coil cooling) Machine state control Coil cooling state control
PLC	Operation of from-to instructions Sending of from-to results Check of relations between from-to instructions and machine state Interlock control Micro tracking Trace back

扱う搬送設備としている。

Table 2 にコイル保管設備の仕様を、Table 3 にコイル搬送設備の仕様を示す。

4.2.3 制御システムの特徴

本搬送システムには、熱間圧延コイル受け入れや熱仕コイル装入などのタイミング制約の強い機器と、冷却済みコイルの配替えなどのタイミング制約の弱い機器が混在する。これらを適切に制御する必要がある。

Table 4 に各計算機の制御分担を示す。ハイアラーキ構成で、O/C～P/C～制御 PLC と 3 階層に分類できる。

(1) O/C

他工場との操業データのやり取り、搬送に関係するマクロ命令を P/C に発行するとともに、各種搬送実績のオーダ的進捗管理を行っている。

(2) P/C

Fig. 7 に P/C システム構成を示す。2 重化された計算機と FPU 群から構成され、全ヤードのコイル情報の管理、トラッキング、搬送命令のスケジューリングを実施している。スケジ

備の特徴を生かしたレイアウト構成がなされている。すなわち、熱間圧延ライン出側にはループ式 1 段台車と台車とのコイル受け渡し用移載機を配置することで、短ピッチで搬出される高温の熱間圧延コイルを安定して搬送することを可能とし、コイルヤードにおいては、各ヤード間の振り分けや搬送のみならず、非常時のバッファとしての使用、および簡易な設備構成で高信頼性を具備したコンベア設備を採用している。ヤード内搬送では、受け取ったコイルの属性に適した置場配置が可能のように、天井式自動クレーンの採用、また、コイルの保管に関しては、省スペースで大量の製品が格納可能な立体倉庫、熱仕系搬送においては、ループ式台車とシャトル式台車の両方の特徴を合わせ持つ 2 段式ループ台車を採用している。さらに、全自動梱包が可能な梱包ライン、梱包後製品の出荷設備まで包含した自動搬送システムとすることで、熱間圧延後の高温コイルから梱包された製品コイルまで、多種多様な特性を有するコイルを

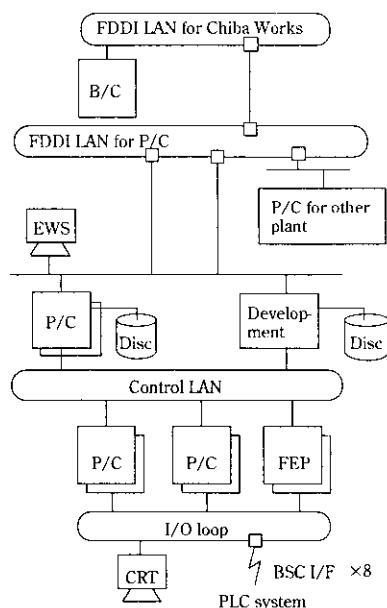


Fig. 7 P/C system of Chiba Works No. 3 hot finishing yard

ューリング機能においては、搬送設備として規模が大きすぎるため、発生するイベント数とレスポンスを検討した結果、AI手法の採用は見送り、手続き型言語で構築した。

また、効率的な自動搬送を行うために、圧延済みコイルの冷却コントロール、他工場送りコイルの輸送命令作成なども実施し、最適な搬送スケジュールを導き出すことに成功した。

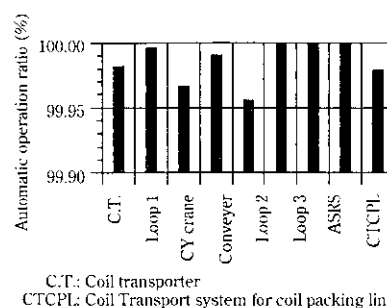


Fig. 8 Automatic operation percentage of Chiba Works No. 3 hot finishing yard

(3) PLC

トラブル時の危機分散および保守性を考慮し、全体で7ループ構成を採用している。衝突防止に専用のPLCを配置し、一般制御用PLCとの2重化構成としている。

4.2.4 自動化の状況

Fig. 8に本システムにおける自動化の水準を示す。いずれの設備も高い自動化率を達成しており、無人搬送を実現した。

5 結 言

当社におけるコイル自動搬送設備建設の歴史とその技術について述べた。これらの技術は、各工場における生産性向上、製品の品質向上、省力などに大きく寄与している。今後とも、新たな自動搬送技術の開発に努めていく。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄(株), 奥村機械製作(株): 特開平 5-105208
- 2) 穴吹善範: 川崎製鉄技報, 23(1991)3, 239
- 3) 駒見祐司, 吉永茂樹, 竹中久雄: 川崎製鉄技報, 28(1996)4, 243