

CAL 入側自動化による無人化

CAL Entry-Side Automation

森 貴雄 MORI Takao JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 制御部 制御技術室 主査

要旨

労働生産性向上を目的として、連続焼鈍ラインの入側運転室の無人化工事を実施した。従来、入側運転室でオペレータが実施していた「入側設備の操作」、「ライン監視」、「トラブル処理」の遠隔実施もしくは自動化が課題であった。まず、出側運転室から入側設備を遠隔操作するために操作盤を増設した。その際、汎用シーケンサを用いて PLC (Programmable Logic Controller) の信号を分岐する手法をとることで、PLC を更新せずに対応できた。また、入側設備状況をネットワークカメラで監視し、出側運転室からモニター監視できるシステムを構築した。さらに、既設設備の不具合の要因を分析し、センサ位置の調整および設備の更新を行うことで手動操作によるトラブル処理が不要となった。これらの対策により入側運転室の無人化操業を実現した。

Abstract:

To improve labor productivity, a project to automate the entry-side control room of a continuous annealing line was implemented. Traditionally, operators in the entry-side control room were responsible for “operating entry-side equipment,” “monitoring the line,” and “handling troubles.” The challenge was to enable these tasks to be performed remotely or to automate them. First, for remote operation, additional control panels were installed to operate the entry-side equipment from the exit-side control room. By using a general-purpose sequencer to branch the PLC signals, it was made possible for our in-house group to handle the system. Next, for line monitoring, a system was set up that allows the entry-side equipment status to be monitored via network cameras, enabling the exit-side control room to monitor the situation on screens. Finally, for trouble handling, the causes of existing issues were analyzed and resolved by adjusting sensor positions and updating equipment. By implementing these measures, unmanned operation of the entry-side control room was achieved.

1. はじめに

少子化およびベテラン層の退職に伴い、製鉄所内のオペレータの労働生産性向上が必要となっている。JFE スチールでは、CGL (Continuous Galvanizing Line) など既存の入側無人ラインのコンセプトを踏襲し、連続焼鈍ライン (Continuous Annealing Line: CAL) の入側無人化工事を実施した。本稿では、入側無人化工事について、技術課題への対応を中心に述べる。

2. 背景

入側運転室の無人化のためには、ライン入側運転室のオペレータが対応していたライン監視業務や各設備の手動操作を、出側運転室からの遠隔実施とするか、もしくは自動化する必要がある。また、通常操業時の業務に加えて、入側設備でトラブルが発生した際には、オペレータによる手動操作や異常処理が発生する。これらのライン監視業務、入側

設備の遠隔操作、トラブル抑止に関して具体的な作業項目をあげ対応策を検討した (表 1)。

まず、入側オペレータが実施していた監視業務には、炉内破断やコイル転倒などの重大なトラブルを防止するための、コイル準備段階における異常コイルの有無の点検がある。また、問題のないコイルはペイオフリールに装入後ウェルダ前まで通板するが、途中で鋼板が引っかからないか目視で通板状態を確認している。

次に、入側の各設備で実施していた手動操作について述べる。コイル準備段階では、異常コイルが見つかった際に、コイル搬送設備の操作盤でコイル差し替え操作を行っている。コイルのペイオフリール装入後は、通板作業で蛇行や板反り等の異常見られる場合に、自動操作から手動操作に切り替え、板の引き戻しおよび再通板作業を実施している。溶接作業では、溶接判定装置で溶接温度異常や電極加圧異常と判断された場合には機側で再溶接操作が必要となる。また、溶接機を継続使用していると電極輪の表面荒れにより溶接不良が発生するため、一定期間ごとにバイト研磨を実施しており、研磨後には電極輪の高さ調整が必要となる。さ

2025 年 3 月 13 日受付

表 1 入側無人化項目

Table 1 Entry-side unmanned items

Item	Previous tasks	After automation
Remote monitoring	Operator's visual check is required ①Coil inspection ②Sheet passage monitoring ③Weld monitoring	①Install a new cradle shear
		②Install new surveillance cameras
Remote operation	Operation from the entry-side control room ①Coil transport equipment ②PLC/DCS equipment	③Install an additional output control panel ⇒Update the weld inspection system (PC98)
		①Install an additional output control panel ⇒Update of the control system (LM7000)
Automatic operation	Welding scrap is manually transported	Install a new automatic end welding scrap conveyor
	Electrode ring grinding and height adjustment ⇒ Manual operation (twice per shift)	Automation of manual operations ⇒ Update of the welding machine control system (MELSEC A)
Trouble prevention	Automatic detection failure of coil leading edge ⇒ Manual operation (15 times per shift)	Improvement in detection accuracy ⇒ Update of the leading edge detector
	Automatic band cutting failure ⇒ Manual intervention (5 times per shift)	Change in band cutting method ⇒ Update of the band remover (MELSEC A)

らに、溶接時に発生する切り板を定期的にスクラップバックへ運搬していた。

最後に、オペレータがトラブル防止のために手動対応している操作を洗い上げたところ、コイル準備段階で実施するバンドリムーバーのカット不良対応（5回/直）およびペイオフフリールへのコイル装入後のコイル口出し時に必要なコイル先端検出異常対応（15回/直）は発生頻度が高く、オペレータ負荷増加の要因となっていた。

3. 監視「遠隔化」

入側設備を出側運転室から遠隔監視するためのシステムを構築した（図1）。

監視対象は、入側コイル通板状況、溶接状況、およびラインへの装入前コイル等である。加えて、コイル No の印字の確認および溶接スクラップ払出しコンベアなどの設備の状態の詳細な把握のため、カメラを設置するニーズが多数あった。また、出側運転室に設置した監視用モニターについても、無人化トライアル期間中に、画面サイズが小さい、画面数が多すぎて瞬時に確認ができないといった課題があ

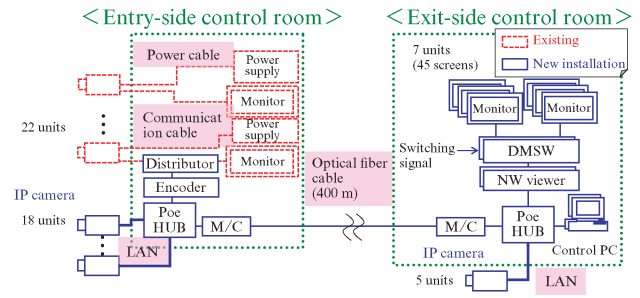


図 1 遠隔監視システム

Fig. 1 Remote monitoring system

がった。これらに対し、以下のとおり対応した。

- ① モニター分割数変更 9分割 ⇒ 4分割
- ② パス切替え信号による画面切替え機能追加
- ③ モニター台数追加
- ④ モニター位置および角度調整

監視する箇所が多いため、見たい時（操業で確認が必要なタイミング）に必要な画像を映し出すことと、見やすい画面配置（ライン進行方向順：ペイオフフリール ⇒ 口出し設備 ⇒ 切断シャー ⇒ 溶接機）にしたことで操業ニーズに対応できた。

遠隔監視システム構築にあたり、従来（アナログ）方式では、通信用の同軸ケーブルをカメラ台数分延線する必要があった。今回の工事では、入側設備を出側運転室で監視するため、長距離にわたりケーブルを延線する必要がある。また、多数のカメラを設置することから工事費用が過大となる問題もあった。そこで、通信用ケーブルを光ケーブル1本に集約できるネットワークカメラ方式を採用した。また、エンコーダーを用いてアナログ信号をデジタル信号に変換することで、既設のアナログカメラの信号をネットワークに取込み、既設アナログカメラを流用できるようにした。さらに、ネットワークカメラを採用することでPoE（Power over Ethernet）給電が可能となり工事量を削減できた。PoEとは、LAN（Local Area Network）ケーブルを使用して、ネットワークから電力を供給できる技術である。ネットワークで用いられるLANケーブルは、8本の絶縁被覆付同線が2本ずつ撚り合わされた構成となっており、データ通信用以外の予備線を使用することで電源を供給できる。なお、機器の選定にあたっては以下を留意する必要がある。

- ① 繋ぎたい機器のポート数
すべてのポートがPoE給電対応ではないHUBもある。
 - ② PoE対応HUBの給電能力
接続機器すべての最大消費電力をまかなえること
 - ③ 給電側（Hub）と受電側（カメラ等）の双方がPoE対応機種であること
- 一方、ネットワークカメラのデメリットである、通信機器異常により複数モニターに影響がでる点に対しては、スタン

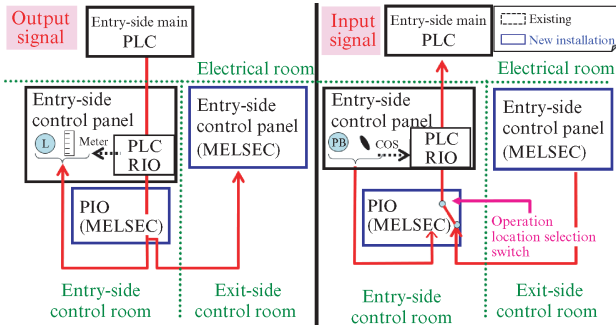


図2 入側設備操作システム
Fig. 2 Entry-side facility operation system

パイを持つことで対応した。また、伝送遅れを懸念して通信機器を2系統準備し通信量を分散化することで、操業に問題ないレベルの通信速度を確保し、システムを構築できた。

4. 操作「遠隔化」

入側設備の操作を出側運転室から行えるよう、入側運転室の各操作盤(PLC (Programmable Logic Controller)・DCS (Distributed Control System)・入側搬送・溶接機等)を出側運転室に増設した。

入側操作盤を出側運転室に増設するにあたり、初めに入側主幹 PLC のバス通信にスロットを追加することを検討したが、空きスロットがなく、またメーカー保守が中止でメーカー対応も不可という状況であった。

次に、入側運転室の RIO (Remote I/O) から多芯ケーブルで出側運転室への延線することを検討したが、入側 RIO の予備 IO 点数が不足していることから断念した。

そこで、汎用シーケンサを用いて信号分岐する手法を検討した。PLC からの出力信号は、入側 RIO と操作盤の間に汎用シーケンサを割り込ませ、出側運転室に設置した運転室操作盤へと信号分岐することとした(図2)。PLC への入力信号は、入側運転室、出側運転室双方の操作盤の信号を汎用シーケンサに取り込み、操作場所選択スイッチで、操作権を持つ操作盤からの信号のみを PLC, RIO に出力するよう設計製作した。これにより PLC の更新および RIO 点数の変更なしで、自社で出側運転室に入側 PLC 操作盤を増設できた。

次に、操作盤増設以外に実施した各種対策について述べる。

従来 4CAL ではコイル搬送設備で入側にコイルを搬送した後、異常コイル(内径垂れ、エッジ亀裂、外周折れ)がないか入側オペレータが目視で点検し、各異常に対し手動操作で処置していた(表2)。

入側無人化にあたり、コイル点検および異常処理を出側運転室のオペレータが実施できるよう設備を改造した。

コイルを入側に搬送する手段としてコイル台車を採用して

表2 コイル点検項目
Table 2 Coil inspection item

	Inner diameter droop	Outer circumference breakage	Edge crack
Visual inspection			
Operational impact	Risk of coil overturning	Unable to pass the sheet	Sheet breakage
Conventional processing	Jig loading	Cutting the folded part	Stop coil loading (Entry side operation)
Remote operation	Inner circumference tip position rotation (Cradle)	Cut the outer circumference of the coil (Shear)	Stop coil loading (Exit side operation)
Overview diagram			

おり、搬送ルートが出側運転室付近を經由していることに着目し、出側運転室近くにコイルを点検できるスキッドを新設した。この点検スキッドに高画質カメラを設置し、出側運転室のモニターで点検できるよう監視システムを構築した。

これにより、入側にコイルを搬送する前に点検を行い、詳細な目視監視が必要になった際には出側運転室のオペレータが対応できるようになった。また、出側運転室付近のオフライン位置にクレイドルシャー設備を新設することにより、外周折れや内径ダレを見つけたコイルをクレーンで抜き取り、出側で異常処置できるようにした。

5. トラブル防止

上述したとおり、既設のコイル先端検出センサの検出率が悪い場合、マグネットコンベアに吸着する位置にコイル先端を APC (Automatic Preset Control) でできずに、空回りするトラブルが頻発していた。この異常を防止するため、コイル準備段階で入側オペレータの手介入が必要な状況であった。具体的には、パイオフリールへのコイル装入前にオペレータがコイル端面にチョークでコイル先端位置をマーキングし、異常が発生するたびに手動操作でコイル先端位置を合わせて操業していた(図3)。

既設設備の不具合である、コイル先端検出センサ未検出による人手作業解消のため、先端検出センサを更新した。センサの選定にあたっては各 CAL で採用している方式を比

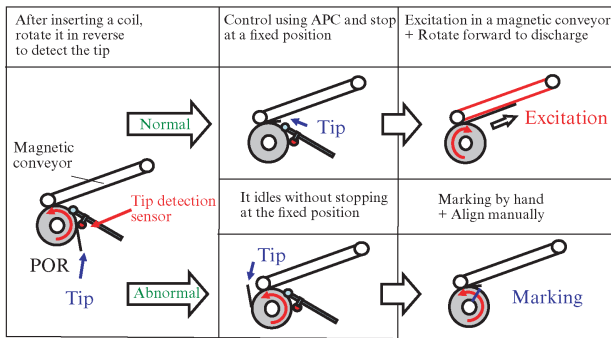


図3 コイル先端検出フロー

Fig. 3 Coil tip detection flow

表3 コイル先端検出センサ比較

Table 3 Comparison of coil tip detection sensors

Schematic diagram			
Measurement method	Photoelectric sensor (PH)	Laser rangefinder	Eddy current sensor
Evaluation	× Warping of the sheet	△ Thin plates cannot be detected	○ Proven track record with other equipment

較検討した。まず、光電センサ (PH) タイプは薄物材を扱うラインでは有効であったが、今回無人化した CAL では板反りが強い材料があるため、先端位置の検出精度が悪いと判断し不採用とした。次に、レーザー距離計は、厚物の検出は良好であったが薄物材で未検出が発生するという状況であった。そこで、同様の板サイズの設備で採用実績のある渦流式タイプで、検出範囲とギャップ間隔が広い先端検出センサを選定して更新した (表3)。

しかし、検出率は向上したものの、一部の薄板材で未検出となり、人手操作解消までには至らなかった。

原因調査のため、センサ出力したコイル先端位置までの距離についてチャートをコイル別に確認したところ、センサ出力に一定の周波数変動が見られた。この変動幅が先端を検出するための閾値よりも大きいことが、閾値調整を繰り返しても未検出、過検出を繰り返す原因であると判明した。これは、センサを取り付けている押さえロールの微小な振動がセンサ出力に重畳しているためとわかった。振動対策として抑えロールの押しつけ圧力を上昇させるなどを試みたが効果はなく、別の方法を検討した。コイル先端口出し時の挙動

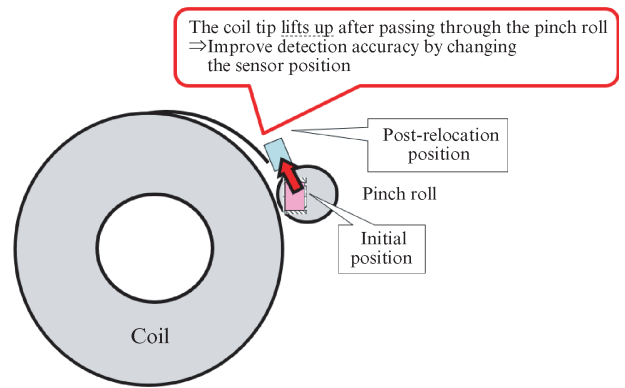


図4 コイル先端未検出対策

Fig. 4 Countermeasures against undetected coil tip

を観察すると、薄物材から厚物材のどの材料であっても、抑えロールを通り過ぎた後、板反りが大きいためコイル先端が浮き上がっている様子がうかがえた。この点に着目し、センサ設置位置を移設することで誤検出を解消し、手動操作をなくすことができた (図4)。

6. おわりに

CAL 入側運転室無人化を目的として「監視」および「操作」の遠隔化、トラブル対応の手動操作解消を実施した。本稿では以下の対策を中心に記述した。

- ① ネットワークカメラ導入による監視遠隔化
- ② 汎用シーケンサによる操作遠隔化
- ③ コイル事前処理を目的とした監視システムの構築およびクレイドルシャー設置
- ④ コイル先端検出センサの設置位置変更に伴う検出率向上による手動操作解消

工事实施にあたっては、機器更新と新機能オンラインタイミングを分離することでリスクを分散し、重大トラブルなく完工した。また、不具合抽出期間およびトライアル期間を経て CAL 入側を完全無人化することで、当初予定どおりの省力化を実現した。

参考文献

- 1) 森貴雄, 井上拓郎, 江草圭二. 4CAL 入側自動化による無人化. 電気学会研究会資料, 産業応用部門のづくり研究会. 2018, MZK18002, p. 5-7.

本稿は、主執筆者が同じく執筆した参考文献 1) の論文の一部表現を変更して転載しております。