

# 西日本製鉄所（倉敷地区）形鋼工場 能力増強工事

## Renovation for Production Improvement of West Japan Works (Kurashiki) Shapes Plant

上山 恭平 KAMIYAMA Kyohei JFE スチール 西日本製鉄所（倉敷地区）条鋼部 形鋼工場長（課長）  
鳥越 祥宏 TORIGOE Yoshihiro JFE スチール 西日本製鉄所（倉敷地区）制御部 制御技術室 主任部員（係長）  
泉山 拓也 IZUMIYAMA Takuya JFE スチール 西日本製鉄所（倉敷地区）設備部 開発・設計室

### 要旨

JFE スチール西日本製鉄所（倉敷地区）形鋼工場は、稼働年数が50年近くの設備を多く有しており、至近は老朽化に起因したトラブルが発生していた。今後も底堅い建材需要が見込まれることから、この需要に対応するため、倉敷地区形鋼工場では、2017年度よりリフレッシュ工事を計画実行した。リフレッシュ工事では、劣化が進行した設備の更新（加熱炉等）および建材の大型化に対応した設備増強（高加圧能力を有するプレス機など）を行い、稼働安定化に努めた。

本稿では、リフレッシュ工事で実行した加熱炉更新工事および精整ラインの増強工事について概説する。

### Abstract:

JFE Steel West Japan Works (Kurashiki) shapes plant has many facilities that have been in operation for nearly 50 years, and recently there have been problems due to aging. Demand for building materials will continue to be firm, and in order to capture this demand, the Kurashiki District Shapes Plant planned and started renovation for production improvement from FY 2017. In the refreshment work, we worked to stabilize the operation by renewing the equipment that had deteriorated (e.g., heating furnace) and strengthening the equipment (e.g., press machine with high capacity) in response to the increase in size of building materials. This paper outlines the heating furnace renewal work and the finishing line reinforcement work carried out in the renovation for production improvement.

## 1. はじめに

JFE スチール西日本製鉄所（倉敷地区）形鋼工場（以下、倉敷地区形鋼工場）では、H形鋼と鋼矢板を製造している。H形鋼は主に建築材として使用されており、高度成長期からバブル経済期に建設した建築物の建替需要が長期的に出現し、東京五輪後も継続需要が見込まれる。（建築物の推定寿命は40～50年程度）。また建築物の大型化、大スパン化により、鋼材の高強度化、大断面化の要求が高まる見込みである。鋼矢板も今後、建設後50年以上経過したインフラが急増することで、更新（新設）と維持（改修）により、現状と同程度のインフラ投資が長期的に継続する見込みである。鋼矢板は施工効率化ニーズから大断面材（ハット形）へのシフトが進展していくと考えられる。

倉敷地区形鋼工場は、稼働年数が50年近い設備を多く有しているため、至近は老朽化に起因した長時間トラブルが発生しており、前述の需要に対応出来ない状況が続いていた。そこで、倉敷地区形鋼工場では、2017年度より、稼働安定化を目的にリフレッシュ工事を計画実行した。リフレッ

シュ工事では、老朽化が進み長時間トラブルの原因となる設備（加熱炉、圧延ミル設備、冷却水配管やロールルショップ）の更新のみならず、建材の大型化に伴い顕在化した精整ライン（プレス、手入れ等）の能力不足を解消すべく、精整ラインの能力増強工事も併せて実行した。

## 2. 加熱炉更新工事

### 2.1 更新概要

倉敷地区形鋼工場の加熱炉は、稼働後48年が経過しており、ウォーキングビームのフレームの腐食減肉、亀裂といった、故障時に長時間休止に繋がる部位の劣化が進行している。倉敷地区形鋼工場のウォーキングビームは、設計剛性が低く（ウォーキングビームの初期タイプ）、2017年時点で設計寿命を超過し、さらにフレーム減肉により剛性が低下していることから、繰り返し亀裂補修を行っていた（写真1）。

また加熱炉冷却水に起因したスキッド配管の閉塞、配管水漏れおよび炉体劣化に伴う耐火物落下、赤熱といった長時間トラブルも発生しており、これらのトラブルにより加熱炉本体、周辺設備を損傷/劣化させる悪循環に陥っていた（写真1）。

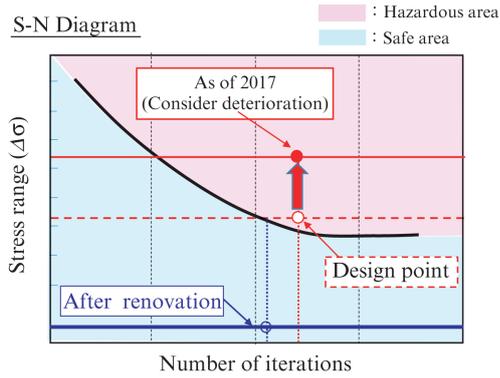


図1 ウォーキングビーム応力線図

Fig. 1 S-N diagram of WB



写真1 加熱炉トラブル事例

Photo 1 Trouble of reheating furnace

加熱炉のトラブルは、長時間休止によるデリバリートラブルを発生させるのみならず、水漏れ、炉体劣化等により燃焼効率が悪化することで加熱炉原単位へ影響を及ぼしていた。倉敷地区形鋼工場では、これまで繰り返し補修を行ってきたが、抜本的な対策として加熱炉の更新を計画、実行した。

新加熱炉は、今後見込まれる鋼材の大型化に対応するため、炉長さ約45m、炉幅13mとし、既設炉に対して約40%容積を拡張した。また、燃焼効率の良いリジネバーナーを全帯に配置し、形鋼圧延の操業形態や素材を考慮し燃焼制御することで、運転コストと二酸化炭素排出量の従来比10%削減を計画した（図2）。

工事にあたっては、稼働中の#2加熱炉で生産を継続しながら休止中の#1加熱炉を更新することとし、さらに搬送設備等の付帯設備を流用することで、工事期間中の生産停止期間を最小化した。新加熱炉稼働後は#2加熱炉を休止する方針とし、2019年4月より更新工事を開始した。本工事では、3Dモデルを活用した周辺設備との干渉チェック、施工計画を反映した炉体設計、炉体上での重機使用を想定した強度設計により、短工期での工事完工を図った（図3、写真2）。また既設の加熱炉の配管系統（Mガス、エア等）が複雑だったため、新加熱炉では作業動線を考慮した配管、通路設計を行うことで、稼働後の作業性改善を図った。

工事は計画通り完工し、試運転後JIS認証を取得し2020年2月末に稼働した（写真3）。その後も大きなトラブルも

	Conventional reheating furnace	New reheating furnace
Refrunace width	11.1 m	13.4 m (+ 21%)
Refrunace length	37.7 m	44.7 m (+ 18%)
Type of burner	Axial flow burner	Regeneration burner

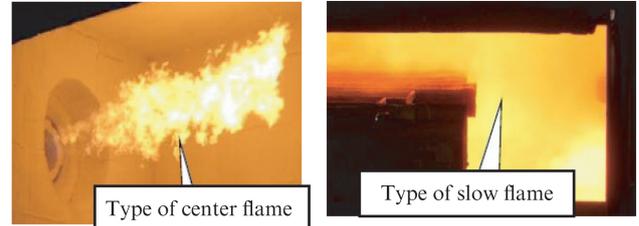


図2 新加熱炉の設備/バーナー仕様

Fig. 2 Specification of new reheating furnace

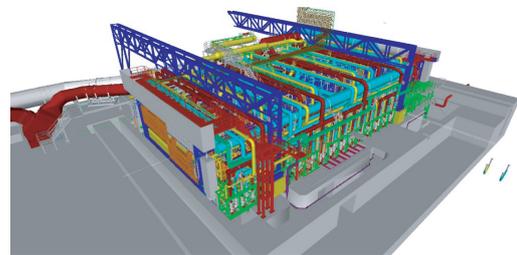


図3 新加熱炉の設計

Fig.3 Design of new reheating furnace



写真2 工事状況

Photo 2 Construction status



写真3 新加熱炉外観

Photo 3 Appearance of new reheating furnace

なく稼働しており、形鋼工場の安定稼働に大きく貢献している。

## 2.2 更新に伴うシステム刷新

今回の加熱炉更新工事に合わせて、燃焼制御、搬送制御

Conventional reheating furnace



New reheating furnace



写真4 運転室外観  
Photo 4 Pulpit layout

のシステムを刷新した。システムは、前回の刷新から20年以上経過しており、制御部品の劣化が顕在化していた。また、既設の操作用品は操作方法が複雑で、多くの作業を手動操作に頼っており、また操作デスク、各種システム監視盤、モニターがオペレーターの作業動線を考慮して配置されていないことで、監視業務の負担も大きかった。そこで今回のシステム刷新に合わせて搬送制御の自動化を推進し、トラッキングの強化（先尾端トラッキングの導入）、定置停止精度改善、設備保護および操業トラブル抑止のためのI/L強化、QA作業（素材の識別作業）の自動化、簡便化を実施するとともに、オペレーターの作業動線に応じて操作デスク、監視モニター、各システムの監視盤を配置することにより、監視業務の円滑化、簡便化を図った（写真4）。

燃焼制御については、自動制御を改善し、燃焼安全PLC（Programmable Logic Controller）およびガスナビゲーションシステムを導入した。

燃焼安全PLCの導入によりバーナーの点火、消火、操業時における燃焼及び設備監視の改善を図った。またガスナビゲーションシステムの導入により、加熱炉立上げ・立下げ時の「ガス抜き」・「ガス通し」作業のリスク低減を図った。「ガス抜き」・「ガス通し」作業は、年に数回と少ないこと、多数の弁操作を順番通りに行う必要があること、作業の進捗状況の把握が困難であることから、熟練のオペレーターに頼る作業であった。そこで新加熱炉では、工業用燃焼炉の安全通則に準じた「ガス抜き」・「ガス通し」作業に必要な設備を設置し、作業手順と進捗及び設備状態把握を同時に行う「ガス抜き」・「ガス通し」専用のナビゲーションシステムを導入することで、複雑化した作業を簡便化、迅速化した（図4）。



図4 ガスナビゲーションシステム  
Fig. 4 Gas navigation system

### 2.3 加熱炉冷却水環水所新設

従来、倉敷地区形鋼工場の加熱炉冷却水はミル環水（直接水）を使用していた。倉敷地区形鋼工場のミル環水は薬剤投入による水質の調整が難しく、貯水池への補給水により水分調整は行うものの腐食性を示していた。また、冷却水の腐食試験では、試験期間2日目で腐食が開始してしまう状況であった（図5）。

倉敷地区形鋼工場では、2013年以降、配管の腐食亀裂による水漏れや断水（酸化鉄詰まりによる管内閉塞）など、加熱炉冷却水トラブルが発生していた。原因を調査した結果、スキッドの閉塞物は酸化鉄、酸化カルシウムが中心であることから、加熱炉冷却水が腐食性のため、スキッドポストの配管腐食が進行しトラブルが発生したと推定した（写真5）。

従来の冷却水のフローでは改善が見込めないため、トラブルを抑止するためには、冷却水の水質調整（管理）が必要と判断した。そこで、加熱炉専用の環水所を設置し、水質調整（薬品注入）することで冷却水の腐食性を防ぎ、



Ryznar stability index	9.5
Corrosion rate (mm/Y)	0.20
Addition of anticorrosive agent	×

図5 冷却水の腐食状況

Fig. 5 Corrosiveness of cooling water



写真5 腐食性冷却水によるトラブル事例

Photo 5 Cases of trouble caused by corrosive cooling water



写真6 環水所外観

Photo 6 Appearance of water treatment equipment

表1 冷却水の腐食試験

Table 1 Cooling water corrosion test

	Convention water	New water	Supply water
Corrosion rate	104	0.71	1.25
Appearance of after Pickling			
Evaluation	Not endure	Endure	Endure

冷却水の水質起因で発生する加熱炉トラブルの防止を図った。新設の環水所は、容積は約 400 m<sup>3</sup>、加熱炉への冷却水送水能力は最大で 750 m<sup>3</sup>/h、冷却塔を 2 台有しており夏場でも水温を 30℃以下に制御可能である。水質調整は、導電率、SS、PH を常時監視することで自動制御（調整）し、月 1 回のオフライン試験で詳細なデータを傾向監視している（写真 6）。

2019 年 6 月より工事を開始し、加熱炉更新の立ち上げと同期して新環水所を立ち上げた。立ち上げ後、大きなトラブルも発生しておらず、水質制御（導電率、SS、PH）、水温制御およびオフラインの腐食試験の結果も良好である（表 1）。

加熱炉本体更新、環水所設置により、従来の繰り返しトラブルに対する抜本的な対策を講じることができた。また燃焼効率の改善も合わせて実施でき、計画通り、運転コストおよび二酸化炭素排出量の 10%削減を実現できた。

### 3. 形鋼工場精整ライン増強工事

#### 3.1 精整ライン増強工事概要

形鋼工場の精整ラインは、鋼材の大型化に伴い慢性的な処理能力不足となっており、生産のボトルネックとなるケースが散発していた。精整ラインには、鋼材の曲がり反りを矯正するプレスラインと疵修正を行う手入れラインがあり、特にプレスラインの能力が逼迫していた。そこで、生産のボト

ルネックを解消するため精整ラインの増設を決定した。新プレスラインは、鋼材の大型化に備え、国内最大級の加圧能力を有した仕様とした。精整ヤードは、圧延ラインからの受け・配置替え・ラインへの給材・出荷など製品の移動にクレーンを使うケースが多く、クレーン稼働率は 90% 近くになる。増設するラインでは、クレーン負荷を上げないことを目的として、テーブル搬送で給材できる設備レイアウトとした（図 6）。

従来のプレスラインでは、ライン上に運転室が配置されオペレーターが目視と ITV で製品を確認しつつ矯正作業を行い、必要に応じてライン内での測定作業を実施していた。新プレスラインでは、固定式および可動式のカメラを複数設置しライン外の運転室から監視、操作、外観検査を行うことで、矯正作業の作業性改善と安全化を図った（写真 7）。

また、従来のプレスラインは、操作用品が多く自動化が進んでいなかったため、熟練したオペレーターでないと矯正作業が困難であり、また矯正作業の技能習得にも時間を要した。新プレスラインでは、矯正作業の自動化を進めることで操作用品を減らした。また、給材、払い出し作業を自動化し作業性を改善することで、オペレーターの技能によらず、

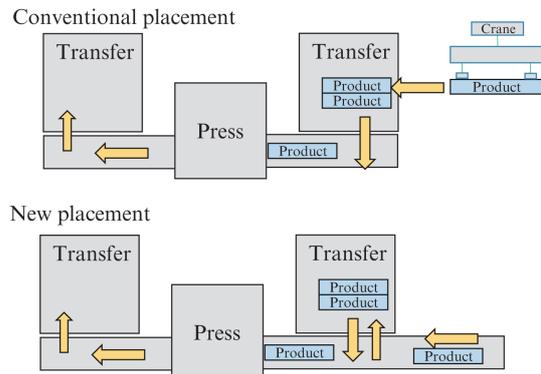


図6 精整ラインの給材方法

Fig. 6 Equipment layout of the finishing line



写真7 運転室外観

Photo 7 Pulpit layout

経験の浅いオペレーターでも矯正作業ができるようにした（写真8）。

また受金を可動式にして矯正時の曲率を変更可能とすることで、従来の矯正作業の課題であった材料先端で発生する局部曲がりにも対応し、様々な曲げ/反りの矯正作業の改善を図った（写真9）。

さらに、生産性改善のために付帯業務の効率化を図った。従来のプレスラインでは、オペレーターがITVを介して製品のバーコードを読み取ることで製品情報を取得し、それに応じて作業を行っていた。新プレスラインでは、この作業を自動化し、入側テーブルに読み取り装置を設置して、自動でバーコードを読み込み製品情報を取得することで、人手作業を削減し生産性の向上を図った（図7）。

精整ラインの工事は2019年3月より開始し、操業中の工事にもかかわらず綿密な工程調整により計画通り完工し、試運転後JIS認証を取得し、2019年12月末に稼働した。その後大きなトラブルもなく稼働できており、また、給材、払い出し作業、設備位置変更操作、付帯作業の自動化により、新プレスラインの処理能力は、立ち上げ当初と比較して50%程度向上した。引き続き自動化を推進し、形鋼工場精整処理能力の一層の向上に努めたい（写真10）。

### 3.2 疵発生の改善

形鋼工場の精整ラインは、鋼材の取り扱いによる疵が発生しやすい。従来から、プレスラインでの矯正作業中に散発的に疵が発生しており、矯正作業中の疵発生を抑止する目的で様々な改善を行ってきた。最も疵が付きやすい作業として、矯正作業中の製品の転回作業がある。従来のプレスラインはL字形の転回機で、鋼材の側面を支持できない状態で転回作業を行うため、鋼材を転倒させ疵を付けてしまうケースがあった。また設備幅が狭いことから、大型の鋼材を転回する際には、疵の発生を抑止するため、設備（ガイド等）との干渉を回避するよう転回動作中に水平移動を行う必要があった。そこで新プレスラインでは、左右独立の転回装置を採用することにより、左右両側から鋼材にタッチし、底面と側面の2面を支持した状態で転回出来るようにした。また設備幅を拡幅することにより、転回作業中の設備干渉を防止し、扱い疵の発生を抑止した（写真11）。

新プレスラインの矯正荷重を国内最大級に増強したことから、フランジ凹み・ウェブ座屈など面圧に起因した品質不良を防ぐ必要がある。そのために、まず、受金、当金などの受圧部の接触面積を大きくする、テーパ角を大きくするなど、面圧を下げる改善を行った。また、受金を首振り構造にすることで、水平荷重に対する逃がし構造とした。さらに



写真8 操作機器  
Photo 8 Operation desk

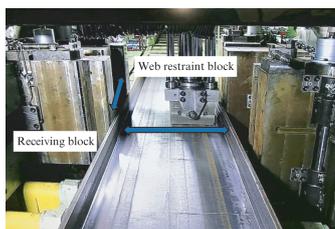


写真9 設備外観  
Photo 9 Equipment appearance



写真10 新プレスライン外観  
Photo 10 New press line

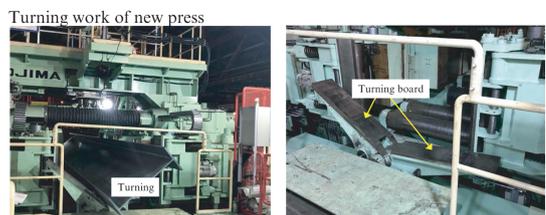


写真11 転回装置  
Photo 11 Turning device



図7 自動読み取り装置  
Fig. 7 Automatic reading equipment

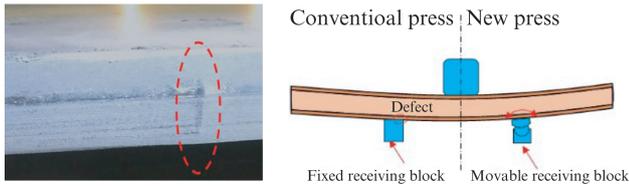


図8 受圧面で発生する疵と対策

Fig. 8 Defects on pressure receiving part and countermeasures



写真12 押し疵防止パージ

Photo 12 Scratch prevention purge

ウェブクランプを可動式とすることで、適切な位置でクランプできるようにした。以上のとおり、大きな矯正荷重が加わった場合でもウェブが座屈しない対策を講じた（図8）。

鋼材下面で発生する押し疵は、曲がり矯正時の座屈防止のためウェブ面を支持している下ウェブ押えにスケールが堆積することが原因である。スケールの堆積を抑制するため、新プレスラインではエア圧を強化し常時噴射することにより、スケールの堆積を抑制し疵の発生を抑制した（写真12）。

従来のプレスラインでは、矯正完了後、矯正作業中に発

生した疵により追加工程が発生し手入れラインの能力を阻害することにより、精整ライン全体の処理能力を低下させていた。新プレスラインの設置による能力向上と併せて、従来発生していた作業中の扱い疵を抑制できたことにより、精整ラインでの矯正、手入時間の短縮が図れ、ヤード内の滞留を抑制することで形鋼工場能力改善に大きく寄与した。

#### 4. おわりに

本稿では、2017年度より実行した倉敷形鋼工場リフレッシュ工場の加熱炉更新工事および精整ライン増強工事について概説した。いずれも計画通りの工程で工事を完工、稼働後も大きなトラブルもなく順調に稼働している。リフレッシュ工事では前述の工事以外に圧延ミル付帯設備および配管の劣化更新、オフライン設備の更新工事も実行しており、計画したすべての工事が2020年末に完工し、倉敷形鋼工場の安定稼働に大きく寄与している。

当社は、引き続き、お客様のご要望に応え続けられるよう、安定稼働の継続に努める所存である。



上山 恭平



鳥越 祥宏



泉山 拓也