

西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場のレール高品質対応

Installation Work to Increase Rail Steel Quality

石川 啓史 ISHIKAWA Hiroshi JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）条鋼部 条鋼技術室長（課長）
中野 貞則 NAKANO Sadanori JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）条鋼部 条鋼技術室 主任部員（副部長）
小林 一貴 KOBAYASHI Kazutaka JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）条鋼部 条鋼技術室 主任部員（課長）
【現 鋼材商品技術部 形鋼室 主任部員】

要旨

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場では鉄道用レールを製造しており、製造開始以降、高耐久性を有するレールの商品開発や高品質なレールを製造するための設備工事を実施してきた。現在でも、鉄道輸送は搬送効率の良い輸送手段として多くの需要が見込まれる。レールは敷設後長期間にわたり使用されるため、品質面の要求が厳しい。JFE スチールでは、今般、より高品質のレールを製造するための設備工事を実施したので、その概要について紹介する。

Abstract:

Rails used for railways are manufactured at Shapes plant in Fukuyama of JFE Steel West Japan Works. Since the start of production, high-performance rails have been developed and various kinds of equipment for manufacturing high-quality rails have been constructed. Today, railway transportation is expected to be in great demand as a highly efficient means of transportation. Since rails are used for a long period of time after installation, higher quality rails are required. In this paper, outline of Shapes plant, constructions until now and new installation works for manufacturing high-quality rails are introduced.

1. はじめに

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場（以下、福山地区形鋼工場）では、不等辺不等厚山形鋼（NAB）、等辺山形鋼などの一般形鋼、H 形鋼、鋼矢板、フォークリフト用のマストレール、および鉄道用のレールを製造している。鉄道用のレールは、国内の旅客鉄道向け、海外の重貨物鉄道向けなど、使用目的に合わせた形状や材質のレールを製造している。

現在でも、地球環境保全や輸送効率向上の観点から、鉄道輸送は搬送効率の良い輸送手段として多くの需要が見込まれる。一方で、鉄道輸送を支えるレールの使用環境はますます過酷化し、より高品質なレールが求められている。JFE スチールでは、これまで、商品開発や設備工事により高品質化ニーズに対応してきた。

本報では、今般高品質化のために実施した、新たな設備工事について紹介する。

2. 福山地区形鋼工場概要¹⁾

2.1 製造品種とサイズ

福山地区形鋼工場は、1972 年 3 月に稼働を開始し、当初

は比較的中小型サイズの形鋼を製造していた。その後、品種拡大・品種集約を重ね、また 2003 年のミル統合に伴い他地区より品種移管されたことにより、現在では表 1 に示す 10 品種を製造する多品種製造工場となっている。

2.2 設備概要とレイアウト

図 1 に福山地区形鋼工場のレイアウトを示す。加熱炉、粗圧延機・第 1 中間圧延機・第 2 中間圧延機・仕上圧延機、

表 1 製造品種とサイズ

Table 1 Product shapes and dimensions

Kind		Size
Hbeams	Hbeams	100×100～500×200
	Lining plate	200×200
	Striped H-shaped steel	150×150, 200×200
	Steel sheet piling	JFESP [®] -2, 3, 4 KSP [®] -3
General sections	Bulb plate	180×9.5～250×12
	Angle	175×175～250×250
	Trapezoidal angle	200×90～450×125
	Parallel flange channel	400×130
	Heavy rail	37 Kg～141 lbs
	Mast of forklift	1 Ton type OUTER&INNER rail 6 Ton type OUTER&INNER rail

2021 年 2 月 25 日受付

熱間鋸断機を配置し、表1に示す製品サイズを圧延している。熱処理レールに限り、圧延後、レール頭部全断面熱処理設備で熱処理を実施している。ローラー矯正機以降は精整ラインとなり、形鋼とレールではラインが分離するレイアウトとなっている。レールの精整ラインは、50 m長さのロングレールまで製造可能な設備配置となっている。形鋼の精整ラインは、ショット・プライマー仕様に短納期で対応するため、ショットブラスト・プライマー塗装設備をオフラインに併設している。

2.3 設備工事

福山地区形鋼工場では、これまでに大きくわけて3段階の大規模な設備工事を実施してきた。2003年には、ミル統合に伴い、圧延サイズ拡大およびH形鋼増産対応を目的として、主要設備の強度アップを実施した。続いて2004年から2006年にかけて、老朽更新と自動化を中心としたリフレッシュⅠ期工事を実施した。また、2007年から2009年にかけて、オフライン精整の能力向上を目的としたリフレッシュⅡ期工事を実施した。

その結果、圧延能率が112 t/hrまで23%向上し、増産に対応できるようになった。さらに加熱炉から形鋼のオフライン精整までの多岐にわたる省力化を進めた結果、労働生産性も向上した。

3. レールの品質と製造設備工事

3.1 レールの品質と検査

福山地区形鋼工場では、前述のとおり、これまでさまざまな設備工事を実施してきた。レールの製造に関しても、生産性や品質向上を目的とした設備工事を同様に実施してきた。その結果、近年では、波状変形対応が必要なレールの製造が可能となり、また、海外の重貨物鉄道で使用される究極の微細パーライト組織を有する高耐久熱処理レール（Super pearlite Type 3 (SP3) レール、写真1）を開発した

ことにより2019年に大河内記念技術賞を受賞した。

ここからは、レールに要求される品質およびレールの製造設備に関する設備工事について紹介する。

近年、鉄道輸送は、世界的規模でも、効率的大容量輸送の有効な手段として利用されている。現在もインドやアジアなど海外では高速鉄道などの建設が計画されており、レールの需要も見込まれる。レールは使用される環境により要求される品質が異なるため、それぞれに対応した製造方法および検査方法とする必要がある。また、鉄道の高速化や保守・管理の効率化の観点から、品質面において、特に下記に示す項目について、従来より品質の高いレールが要求されている。

- 1) 寸法・形状・波状変形（平坦度）
- 2) 外観疵・内質欠陥疵
- 3) 材質・形状の均一性

3.1.1 寸法、形状、波状変形

レールの断面の寸法、および全長の曲りなどの形状は、通常の形鋼製品と同様に、各国の規格やお客様との協議により決定する。レールの形状における特徴的な項目の一つとして波状変形がある。波状変形とは、レールの長手方向に



写真1 製造後のレール

Photo 1 Rails after production

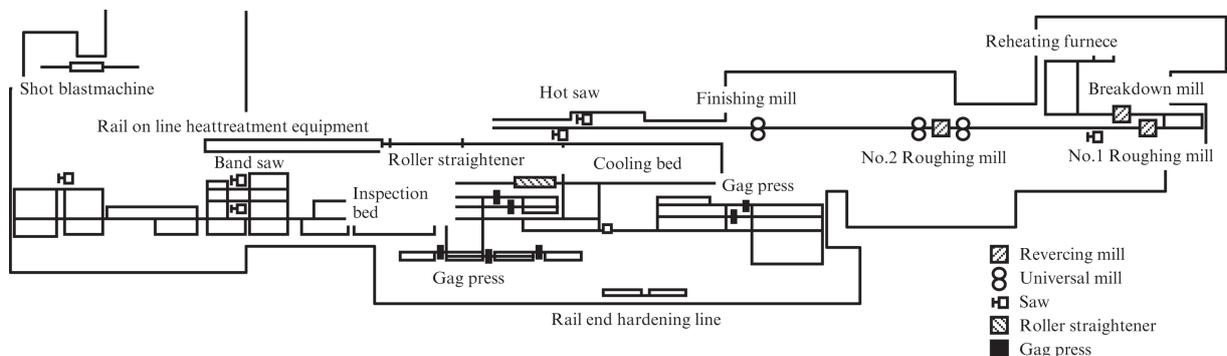


図1 西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場レイアウト

Fig. 1 Layout of Shape Mill at Fukuyama Area

対して周期的に存在する凹凸のことであり、平坦度とも言われる。波状変形は、高速鉄道における走行安定性、乗り心地向上を目的としており、専用の測定装置を用いて検査している。

3.1.2 外観疵、内質欠陥疵

寸法、形状と同様に重要な項目として、外観疵、内質欠陥がある。レールは製造された形状のまま敷設されるため、レールに外観疵や内質欠陥疵が存在すると、使用寿命が短くなり、レールのメンテナンスコストの増加や輸送効率の低下につながる。レールは長期間にわたり旅客や貨物を安全に輸送できる状態でなければならぬことから、形鋼工場では製造する全てのレールについて、外観疵の検査、内質欠陥疵の検査を実施している。

3.1.3 材質・形状の均一性

材質や形状の均一性も重要な項目である。レールの全長にわたり材質・形状の均一性は重要であり、製造条件の管理や厳しい検査を実施している。

3.2 レールの設備工事

表2に2000年代までに実施したレール製造に関する設備工事を示す。製造開始当初は、圧延した状態のままの普通レール（JIS E 1101）とレールの端部だけに熱処理を施し、レール継目部の耐疲労損傷性向上を目的とした端部熱処理レール（JIS E 1123）を製造していた。

1980年代には、耐摩耗性や耐疲労損傷性の向上を目的として、レール頭部全長にわたり熱処理できる設備を設置し、オフライン熱処理レールの製造を可能とし、産業の発展に大きく貢献したことで1987年に大河内記念生産賞を受賞した。1990年代には、レールを熱間圧延後、オンラインで熱処理が可能な設備（オンライン熱処理設備）を導入した。オンライン熱処理設備の導入により、更に耐摩耗性、耐疲労損傷性を向上させた高効率、かつ高品質なレールの製造が可能となった。

表2 レールに関する主な設備工事の経緯
Table 2 History of equipment installation work

Year	Contents of construction
1972	Start of rail manufacturing
1982	Off-line heat treatment facility started operation
1987	Okochi Memorial Production Award (Off-line heat treatment)
1991	Completion of rail on-line heat treatment facility construction
1999	Reinforcement of rail on-line heat treatment facilities
2002	Introduction of rail vertical axis straightening machine

4. レールの高品質対応工事

前述のとおり、これまでも多くの設備工事を行いレールの品質や生産性を向上させてきた。今般、今後も安定供給でできる生産能力を維持し、またこれまで以上に高品質のレールを提供するため、新たな設備工事を実施した。以下、主な工事内容について紹介する。

- 1) 波状変形測定装置の設置
- 2) 疵検査装置の導入
- 3) 熱処理設備の更新

4.1 波状変形測定装置

4.1.1 装置導入の目的

2018年に、高速鉄道用レール製造対応のため、写真2に示す波状変形測定装置を増設した。列車が高速走行する場合、レールの頭頂部に周期的な波状変形があると列車の荷重変動（輪重変動）が大きくなり走行安定性に影響する。また、列車の揺れが大きくなり、乗り心地も低下する。このため波状変形の寸法限界値が、さまざまな規格や仕様で定められている。

このような波状変形対応が必要なレールの対象量は今後とも増加する見込みであり、既設の測定装置だけでは、製造工期が延長する可能性があった。そのため、波状変形測定装置をレール精整ラインに増設することにより、生産性を向上させた。

4.1.2 装置概要

波状変形測定装置は、複数のレーザ変位計による変位測定からレール長手方向の波状の振幅を推定する方式で、センサー間隔影響の除去を行うなどのロジックにより高精度測定を実現している。本装置は、材料が平行移動した場合や斜行した場合でも、変位計センサーが追従する構造としている。さらに、レール端部の自重たわみが測定に影響しないよう、搬送テーブルのローラー間隔を適正值に変更している。



写真2 波状変形測定装置

Photo 2 Flatness measurement device

付帯機能としてレールの自動搬送、測定、判定の自動化機能を備えた。作業者の誤入力防止のための製品情報読み取り自動化、測定結果の自動入力および校正操作の半自動化も実現した。

4.1.3 効果

本装置を増設した結果、測定作業が円滑になり、波状変形対応が必要なレールの生産性が向上した。また、設備を自動化したことにより、オペレーターの負荷も軽減した。

4.2 表面疵検査装置の導入

4.2.1 装置導入の目的

海外向けには、これまで貨物鉄道向けの高耐摩耗・高耐疲労損傷を有するレールを製造しており、アメリカの鉄道規格（American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association, AREMA）が主体であった。近年、アジア向けなどのレール需要が高まってきたことから、インド規格（IRS）、欧州規格（EN）、オーストラリア規格（AS）など、多様なレール規格も対象となった。これらの規格では、自動での外観疵の検査が規定されていることが多い。この要求に対応するため、2014年に表面疵検査装置を導入した（写真3）。検査方法としては、渦流探傷法（ECT: Eddy Current Testing）を採用した。



写真3 渦流探傷（ECT）装置の外観
Photo 3 Appearance of ECT equipment

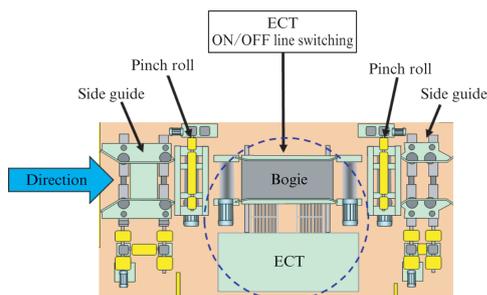


図2 ECT装置の配置
Fig. 2 Layout of ECT equipment

4.2.2 装置概要

表面疵の探傷部位はレールの頭部と足裏とし、表面疵の検出を最適化するため、図2に示す構造とした。

レールの形状に細かく対応するため、4つの探傷ユニット（頭頂部1、頭頂部2、頭側部、足裏部）構成とし、固定プローブと回転プローブの複合により長手、断面方向の疵が探傷できるようにした。くい機構および材料検出センサーによりレールに追従する機能を有している。レールのサイズ替えも自動化しており、オペレーターの負荷も軽減した。

4.2.3 効果

本装置の導入により、自動での外観疵の検査を規定している規格に適合したレールの製造が可能となったことから、インド、オーストラリア、東南アジア向けのレールを受注し、製造できるようになった。

4.3 熱処理設備の更新

4.3.1 熱処理設備更新の目的

旅客鉄道の曲線部や海外の貨物鉄道で使用されるレールには、レールの特性として耐摩耗性や耐疲労損傷性が求められるため、熱間圧延後オンラインで熱処理が施された熱処理レールが使用されている。特に、海外の貨物鉄道では、輸送効率向上の観点から、1車両あたりの積載重量の増加および1編成あたりの連結車両数の増加により、レールの使用環境が過酷化している。そのため、よりいっそう耐摩耗性や耐疲労損傷性を向上させたレールが求められている。これらの特性にはレールの硬度が大きく関与しており、一般的に高硬度化することで特性が向上する。当社では、これまで成分最適化やオンライン熱処理条件最適化による品質改善を実施してきたが、現状以上に品質を高めるには下記の課題があった。

1) 冷却開始温度の上昇

レールを更に高硬度化するためには、冷却開始温度の上昇が必要であったが、従来の熱処理レールは、熱間圧延後、製品長さに切断し熱処理設備に搬送する必要があるため、冷却開始温度を上昇させることが困難であった。

2) 全長における品質均一性向上

前述のとおり、熱処理開始前に切断する必要があるため、切断したレール1本ごとに温度ばらつきが発生し、熱処理条件による品質の均一性の確保が困難であった。

これらの課題を解決し高品質のレールを製造するため、2015年に新熱処理設備を導入した（写真4）。

4.3.2 装置概要

新熱処理設備は、上記の課題を解決するため、熱間圧延されたままの長さで熱処理可能な設備とし、また、全長の温度傾向の把握および冷却ヘッダー毎の圧力調整制御により、レール長さ方向に均一に冷却できる設備とした。熱処理方法はエアによりレールを緩衝冷却する方式とした。



写真4 オンライン熱処理設備の外観

Photo 4 Appearance of online heat treatment equipment

(1) 冷却開始温度の上昇対応

熱間圧延後の熱間鋸断時の切断時間を削減することで、冷却開始温度を上昇させた。

具体的な対応として、圧延時の長さのまま熱処理設備に搬送させるため、切断、搬送設備の改造工事を実施した。また、熱処理設備に取り込むレールの長さが従来よりも長くなるため、熱処理設備全体の構造も変更する必要があり、搬送装置、取込み装置、および熱処理時の熱収縮によるレールの変形を考慮した拘束装置などの設備工事を実施した。

(2) 全長における品質均一性向上対応

熱間圧延されたままの状態での熱処理を行うことにより、熱間鋸断による温度低下とばらつきを低減できたが、圧延時に生じた温度ばらつきに関しては課題が残った。この課題を解決するため、全長にわたり品質を均一にする制御装置を付加した。制御装置の概要を以下に述べる。

レールの形状は、一般形鋼などに比べ、断面の厚みは厚くまた断面形状は複雑な曲線の組み合わせのため、熱処理の制御が難しい。レールの熱処理も、一般的な鋼材同様、冷却前後および冷却中の温度状態を把握し、最適な冷却条件で冷却する必要がある。今回これらを達成するため、次のような制御方法とした。

① レール表面を長手方向に沿って連続的に測温する温度計で全長の温度 (T_a) を測定する。測定に関し、圧延後のレールを熱処理設備に搬送中、ライン上に設置した1つの温度計でレールの全長長手方向の温度を連続測定する装置を設置した。

② 次に、複数個の機内温度計を冷却設備内部に設置し、冷却直前の温度 ($P_1 \sim P_n$) を測定し、測定された温度を用いて温度分布を補正 (T_b) する演算制御を導入した (図3)。

この演算制御の特徴は、熱処理条件に重要な冷却直前の温度を測定し、かつ長手全長の温度分布を短時間、かつ効率的に把握できる点にある。この制御により、従来よりも正確な冷却開始温度の把握が可能となった。

③ 最後に、ヘッダー毎の冷却条件を決定するための代表温度 ($T_1 \sim T_n$) を基に、各温度に最適な冷却条件を選定

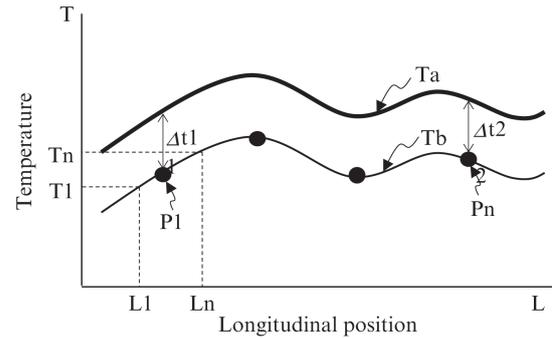
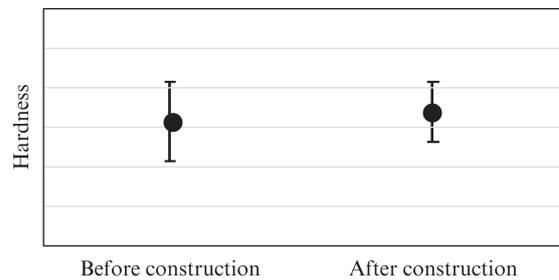


図3 熱処理設備における温度制御の模式図

Fig. 3 Schematic illustration of cooling control in heat treatment equipment



Before construction After construction

図4 レールの硬度のばらつき

Fig. 4 Hardness variation of rails

することにより熱処理を実施する。

レールの長手方向の温度を正確、かつ効率的に補正することにより、温度のばらつきがある状態でも最適な熱処理条件でレール全長を冷却することが可能となった。

4.3.3 効果

今回、新熱処理設備を導入した結果、高硬度、かつ長手方向の硬度ばらつきが小さいレールの製造が可能となった。

2009年に新たな成分設計と熱処理条件の最適化により、前述したSP3レールを開発²⁻⁴⁾している。SP3レールは2019年に大河内記念技術賞を受賞した。

今回の設備工事により、SP3レールのみならず、他のレールの冷却にもこの技術の導入することで、長手方向の硬度ばらつきを25%改善することができた (図4)。

レールの高品質対応工事として、波状変形測定装置の増設、表面疵検査装置の導入、および熱処理設備の更新を実施した。これによりレール品質の向上および安定した生産が可能となり、SP3レールをはじめとする、国内、海外向けレールの生産性が向上した。

5. おわりに

今回の工事により、高品質レールの製造が可能となった。

① 波状変形測定装置の設置により、波状変形対応レールの生産性が向上した。

- ② 疵検査装置の導入により、製造可能な規格を拡大した。
- ③ 熱処理設備の更新により、長手方向の硬度の均一性が向上した。

今後も、レールおよび形鋼製品の品質向上を進めお客様にご満足いただくため、技術改善および設備工事を進める所存である。

参考文献

- 1) 高橋英樹, 青木秀未. JFE スチール西日本製鉄所(倉敷地区・福山地区) 形鋼工場の概要. JFE 技報. 2010, no. 26, p. 4-10.
- 2) 木村達己, 竹正峰康, 本庄稔. 高軸重用高耐久パーライトレール SP3 の開発. JFE 技報. 2010, no. 26, p. 11-16.
- 3) 本庄稔. JFE スチールにおけるレールの製造工程およびレールの技術

革新. 新線路. 2019, no. 7, p. 38-40.

- 4) Kimura, T.; Honjo, M.; Mitao, S.; Takemasa, M.; Matsuoka, R. Development of SP3 rail with high wear resistance and rolling contact fatigue resistance for heavy haul railways. 10th International Heavy Haul Association Conference. 2013, p. 51-56.



石川 啓史



中野 貞則



小林 一貴