

(解説)

## 上工程集約に伴う加古川製鉄所第2分塊工場の増強

### Expansion of No.2 Bloom Mill of Kakogawa Works Associated with Consolidation of Upstream Operations at Kakogawa and Kobe Works



多比良知秀\*1  
Tomohide TAIRA



酒井英典\*1  
Hidenori SAKAI



片伯部陽一\*1  
Yoichi KATAKABE



亀崎将海\*1  
Masami KAMEZAKI



畑端 徹\*1  
Toru HATABATA

In November 2017, a decision was made to shut down the upstream operations (from blast furnace to continuous casters) of the Kobe Works and to consolidate these operations at the Kakogawa Works. Prior to the consolidation, the capacity of the No.2 Bloom Mill at the Kakogawa Works was enhanced to establish the system for supplying billets to the wire rod mill and the bar mill in the Kobe Works. The enhancement involved adding furnaces, revamping the continuous billet mill, and expanding the cooling tables and billet yard. These facilities were launched in January 2017 and have been operating smoothly since then.

まえがき = 当社条鋼製品の国内における生産体制は、神戸製鉄所にある第7線材工場、棒鋼工場、および加古川製鉄所にある第8線材工場の2拠点3工場体制となっている。また、鋼片の供給体制として従来、神戸製鉄所の2工場へは主に同製鉄所内の第3分塊工場から供給し、一部の品種の鋼片は加古川製鉄所第2分塊工場から供給してきた。

神戸製鉄所の上工程を休止して加古川製鉄所に集約することが2017年に決定されたことに伴い、上記3工場に供給するほぼすべての鋼片を加古川製鉄所第2分塊工場(以下、第2分塊工場という)で製造することとなった。このため、第2分塊工場の増強工事を行い、分塊・生産能力を従来の月産15万tから28万tへ増強させた。

本稿では、このような第2分塊工場の生産能力を向上させるために実施した設備増強工事の特徴と概要を述べる。

## 1. 第2分塊工場増強の概要

### 1.1 基本構想

増強以前の第2分塊工場では、第2号連続铸造機(以下、2CCという)の铸片を分塊圧延し、155mm角の鋼片を製造していた。主要設備としては、連続式加熱炉1基、分塊圧延機2機、3スタンドからなる連続鋼片圧延機のほか、ホットスカーフ、冷却床や集材テーブルなどの鋼片精整設備であった。

加古川製鉄所への上工程集約に伴い、それまで神戸製鉄所で製造していた条鋼用の鋼片の製造を加古川製鉄所に移管することが必要となった。しかしながら、加古川

製鉄所の既存2CCの铸造量だけでは、移管による生産量の増加に対応できない。このため、加古川製鉄所に第6号連続铸造機(以下、6CCという)を新設することを決定した。また、6CC铸片の断面サイズは、従来と同じ製鋼・分塊の製造条件でつくことを目的として、神戸製鉄所で稼働していた連続铸造機と同じ断面サイズに合わせて製造することに決定した。2CC、6CCそれぞれの铸片の断面サイズを表1に示す。

分塊工程における生産量増量への対応方針としては、新たな分塊工場を増設するのではなく、既存の第2分塊工場の設備を活用して増強することとした。

### 1.2 増強に向けた課題

第2分塊工場の生産能力の向上について、以下の観点で設備増強・圧延方法の改善を実施した。

- (1) 6CC铸片を加熱するための加熱炉の新設
- (2) 断面寸法が異なる2CC铸片と6CC铸片を既存の圧延ラインを活用して高い生産性(従来の1.8倍)かつ断面寸法の変更に伴う段取り替えを要することなく圧延できる方法の確立
- (3) 圧延ラインと連動した精整能力の増強

表1 铸片サイズ  
Table 1 Size of bloom

	Section size (t x w mm)	Max. weight (kg)
No.2 continuous caster	380 x 630	20,000
No.6 continuous caster	300 x 430	13,400

\*1 鉄鋼事業部門 加古川製鉄所 線材部

### 1.3 能力向上対策

増強後の第2分塊工場のレイアウトを図1に示す。

#### (1) 加熱炉の新設

6CC 鋳片用の加熱炉を既設加熱炉に隣接して新設し、2炉1圧延ラインのレイアウトとし、2CC/6CCを1チャージごとに交互に抽出する方式をとった。しかしながら、2CCおよび6CCの二つの連続機操業の都合上、既設加熱炉と新加熱炉の鋳片受け入れタイミングを調整することができない。また、両加熱炉からの鋳片抽出タイミングが重なると同時に抽出できないため、抽出待ちが発生して生産性の低下につながる。そこで、新加熱炉の加熱能力を既存加熱炉より30%向上させて余力を持つことにより、加熱速度を調整して抽出タイミングが重ならない設計とした。

また、新加熱炉から抽出された鋳片は、既存の搬送ラインに合流させるための移載機を新たに設置した。二つのラインが合流後、圧延ラインへの搬送能力を高めるため、従来の台車を使用した搬送方式から旋回式ローラテーブル+搬送テーブル+旋回式ローラテーブルを使った搬送方式へ変更した。

#### (2) 段取り替えすることなく2種の鋳片サイズを交互に、かつ高生産性で圧延できる方式の確立

図2は、増強前の2CC鋳片圧延における各圧延機の生産性を指数化して（圧延ボトムネックなる第2分塊圧延機を生産性を100とした。目標とする生産指標は180である。）示したグラフである。設備増強前は3台すべての圧延機が生産性を目標を下回っていた。そこで、投資金額を極力抑えるため、次の観点で生産性を上げる工夫をした。

- ①最も生産性が低い第2分塊圧延機のパス数を削減して圧延時間を短縮させた。
- ②後段の連続鋼片圧延機のスタンド台数を3台から6台に増設してすることにより、第2分塊圧延機のパス数が減った分を吸収させた。さらに、連続鋼片圧延機そのものの生産性を高めるため、仕上げ圧延速度を増大させる改造を行った。
- ③第1分塊圧延機では、
  - a) 2CC鋳片と6CC鋳片の第1分塊圧延機出側の放出角寸法を同じにする、
  - b) 生産能力の律速となっている2CC鋳片の分塊において、パス1回あたりの減面率を上げることによって総パス数を削減する、
  - c) 断面形状の異なる2CC鋳片と6CC鋳片を同じロールで圧延を行う圧延方式を検討する、
  - d) a)～c)によって表面品質を悪化させない、というコンセプトでパススケジュールおよびロールカリバの設計を行った。図3に増強前後のパススケジュールの概要を示す。

設計には技術開発本部の協力のもと、圧延中の鋳片の倒れや表面きずのリスクについてFEM解析によって形状や圧縮ひずみを評価し、問題ないことを確認した。

以上の取り組みにより、すべての圧延機において生産性の目標を達成した。増強前後の各圧延機を生産性を指数化した結果を図4に示す。すべてが目標指標の180を超える生産性を得ることができた。なお、6CCと2CCの鋳片で生産性指数が異なるのは鋳片単質の差による。

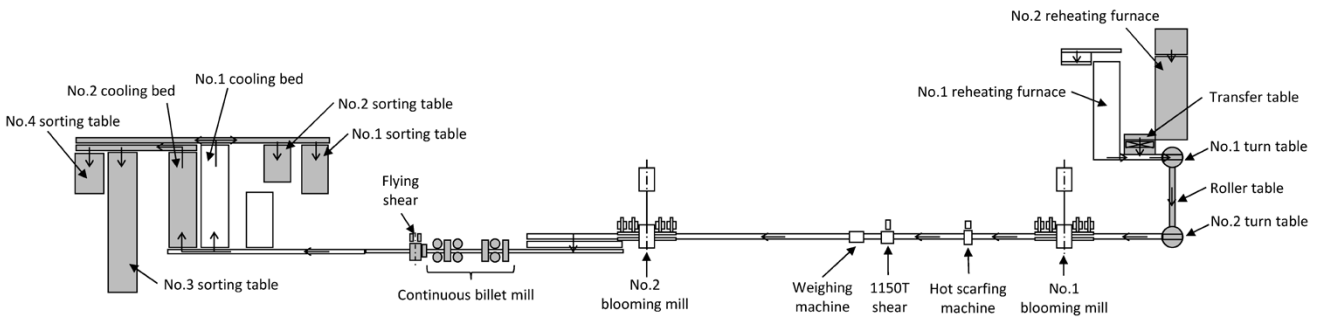


図1 増強後の第2分塊工場のレイアウト  
Fig. 1 Layout of No. 2 blooming mill line after revamping

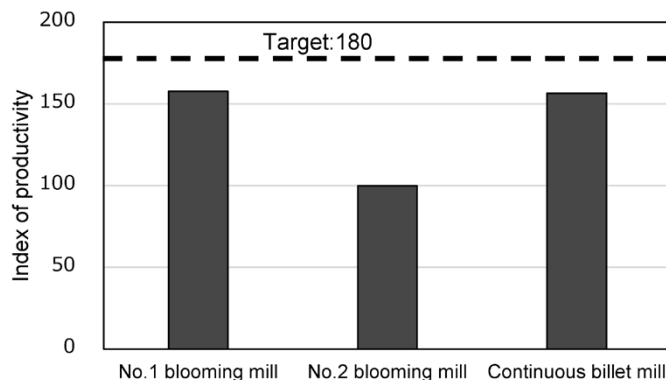


図2 増強前の生産性の比較  
Fig. 2 Productivity of rolling mill before revamping

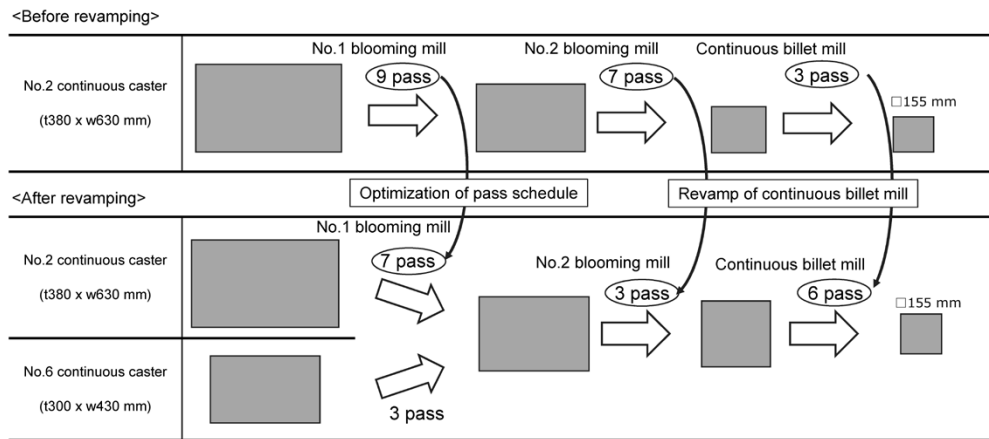


図3 増強前後のパススケジュールの概要  
Fig. 3 Outline of pass schedules before and after revamping

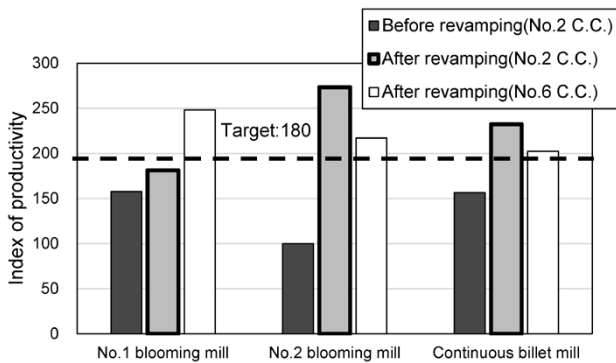


図4 増強前後における生産性の比較  
Fig. 4 Comparison of productivity between before and after revamping

### (3) 精整設備の能力向上

精整設備の能力向上策として、既存の冷却床の隣に新冷却床および冷却後の鋼片を払い出すための集材装置を増設した(図1)。また、分塊圧延後の鋼片は、加古川製鉄所内向け出荷に加えて、神戸製鉄所の2工場において使用する全量の出荷を可能とした。従来の加古川製鉄所内向け出荷材は、集材テーブルから次工程である鋼片加工工場へクレーンを使用して直接搬送する。また神戸製鉄所向けの出荷材は、集材テーブルから専用パレットに積載後、搬送用キャリアカーにて第2分塊工場に隣接して新設した鋼片ヤード(2.5節参照)へ搬送する方式とした。

このように物流ルートを完全に分割することにより、物流負荷を分散してスムーズな鋼片物流を実現した。

## 2. 増強した設備の概要と特長

### 2.1 新加熱炉

新加熱炉の設備仕様および燃焼系システムをそれぞれ表2および図5に示す。新加熱炉の特長は、軸流および側面のすべてのバーナに低NO<sub>x</sub>リジネレーティブバーナ(以下、リジネバーナという)を採用することによって環境負荷および燃料原単位の低減を図ったことである。これに加えて、排熱回収ボイラおよびホットクーリングシステムの二つのボイラを採用したことにより、最大限の省エネが考慮されている点も新加熱炉の特長である。

従来のリジネバーナを軸流バーナに採用すると炉幅方向の温度が変動し、ブルーム長手方向の温度制御が難しいという問題があった。新加熱炉では均熱帯上部の軸流バーナにセミセルフリジネバーナを採用することにより、通常のバーナと同様の炉幅方向の温度制御を可能としている。セミセルフリジネバーナは1台のバーナに二つの蓄熱体を併設している。片側で蓄熱を行いつつ、もう片側で燃焼を行うことにより、交番燃焼でありながら常時燃焼できるバーナである。

オールリジネバーナ炉では一般的に、吸引しきれない一部の排ガスは高温のまま煙道から大気放散される。通常のバーナ炉では、レキュペレータを用いて燃焼空気

表2 新加熱炉の設備仕様  
Table 2 Specifications of new reheating furnace

Item	Specification
Furnace type	Walking beam type
Furnace dimensions (mm)	Effective hearth length : 54,600 Inside refractory width : 14,100
Bloom size (mm)	height : 300 width : 430 length : 8,000 - 13,400
Fuel	MIX gas
Heating capacity	380 t/h
Burner configuraion	No1 Heating zone : Side fired regenerative burner No2 Heating zone : Side fired regenerative burner No3 Heating zone : Side fired regenerative burner Soaking zone : Axial fired regenerative burner (upper zone) Side fired regenerative burner (lower zone)
Heat recovery system	All regenerative burners Exhaust heat recovery boiler Hot-Cooling system (skid boiler)

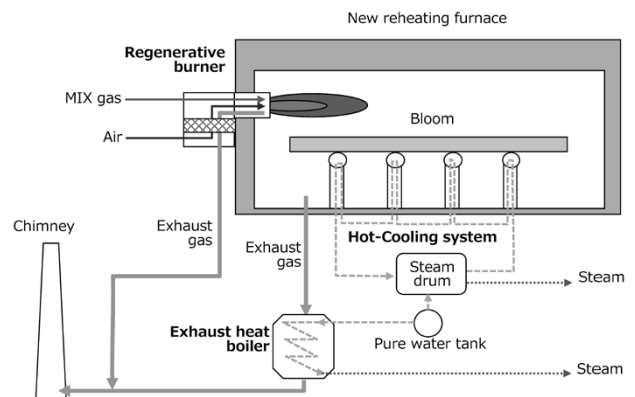


図5 新加熱炉の燃焼系システム  
Fig. 5 Combustion system of new reheating furnace

の予熱を行うことによって煙道での排ガスの熱回収を行う。その一方でオールリジェネバーナ炉では、蓄熱体において燃焼空気が炉内温度に近い高温となるため、予熱による熱回収効果が低い。したがって、新加熱炉では煙道に排熱回収ボイラを設置することにより、吸引しきれない一部の排ガスの含有熱を蒸気として回収する構造とした。

スキッド冷却にはホットクーリングシステム（スキッドボイラ）を採用した。スキッド冷却水は通常、炉内通水時に熱交換されて温度が上昇した後、空冷や水冷などによってすべて損失熱となる。ホットクーリングシステムはスキッド冷却水を蒸気化することによって熱回収を可能にする仕組みである。

ソフト面では、加熱炉内の鑄片温度をリアルタイムにシミュレーションする加熱炉Level・2システムを導入した。これにより、オペレータの技量に左右されることなく、鑄片の焼き過ぎや焼き不足を防ぎ、省エネおよび品質の安定化を実現している。

これらの取り組みにより、新加熱炉は既設加熱炉と比較して10%以上の省エネを実現している。

## 2.2 連続鋼片圧延機

増強更新した新連続圧延機の設備仕様を表3、外観を図6に示す。新連続圧延機の特長は以下のとおりである。

- (1) 生産性向上策として、鋼片の仕上げ圧延時の圧延速度を従来の1.8倍に高速化させるため、モータ出力を向上させると同時に定格回転数を増大させた。

- (2) 第2分塊圧延機の放出寸法のアップに対応するため、スタンドを3台増設して6台とした。圧延機は奇数番号スタンドを水平式、偶数番号スタンドを垂直式として交互に配列した。パススケジュールは菱一角としている。
- (3) スタンドの増設によるロール組み替え、カリバ替えの調整時間の増加を抑制するため、
  - a) 水平スタンドのロール組み替えは、オフラインにセットしたロールと自動入れ替えできる装置を導入した。
  - b) 出側ガイドは油圧シリンダで固定する方式を採用した。
  - c) ロール隙圧下機構に油圧式ローディングシリンダを採用し、遠隔操作によるロール隙変更を可能とした。
- (4) ロール折損事故による復旧時間を短縮するため、圧延荷重を測定し、ミスロールなどで過大な荷重が発生した場合にはロールを自動開放させることによって折損事故の発生防止を可能とした。
- (5) 鋼片の表面品質を改善するため、圧延ロールの材質はすべてダクタイルを採用した。
- (6) 連続鋼片圧延機の直後にあるフライングシヤについても、圧延速度向上に対応するためモータ出力を増強した。また、段取り時間短縮のため、フライングシヤのバイトは2カリバを有し、設備が駆動してパスラインをシフトさせる機構を採用した。

表3 新連続鋼片圧延機の設備仕様  
Table 3 Specifications of new continuous billet mill

Stand No.	Type	Roll		Motor		Gear Ratio Torque	
		Diameter × Length mm	Material	kW	rpm	t-m	
1H	H	1,100 × 1,500	Ductile Cast Iron	3,400	1,000 / 1,200	1 / 74.8	248
2V	V	1,085 × 1,300	Ductile Cast Iron	3,400	1,000 / 1,200	1 / 60.3	200
3H	H	990 × 1,300	Ductile Cast Iron	3,400	1,000 / 1,300	1 / 47.7	159
4V	V	940 × 1,300	Ductile Cast Iron	3,400	1,000 / 1,400	1 / 38.9	129
5H	H	890 × 1,300	Ductile Cast Iron	3,400	1,000 / 1,400	1 / 30.4	101
6V	V	890 × 1,300	Ductile Cast Iron	3,400	1,000 / 1,500	1 / 26.8	89.4



図6 新連続鋼片圧延機  
Fig. 6 New continuous billet mill

## 2.3 精整設備

精整設備の主な仕様を表4に示す。冷却床は、既設と同様の回転式冷却床を1基新設した。集材装置は既設の2基を撤去し、4基を新設した。

分塊圧延ラインから搬送されてきた鋼片は、1鋼片単位で第1冷却床と第2冷却床へ交互に取り込まれ、出側まで搬送される。鋼片はさらに、ランアウトローラテーブルにて2本単位で第1から第4の集材装置に搬送され、最大8本単位で集材される。1鋼片単位で2基の冷却床に交互に取り込むことにより、分塊圧延ラインの生産性を落とすことなく、従来と同等の冷却能力を確保した。

集材装置への振り分けは、冷却床上のトラッキング情報を基に自動で行っている。さらに、既設の集材装置はドッグ付きチェーンコンベヤ方式であったが、表面きずの低減を目的にトッププレート付きチェーンコンベヤ方式を採用した。

## 2.4 現品表示装置

鋼片の現品表示は従来、熱間マーキングで行っていた。これを耐熱タグによる表示に変更するため、耐熱タグ貼付装置を導入した。鋼片に貼り付けた耐熱タグを図7に示す。

耐熱タグの採用によって従来と比較して耐候性が向上し、屋外での鋼片の長期保管が可能となった。

さらに耐熱タグには、番・ロットNo.・鋼片No.・QRコードを表示している。このQRコードをスキャナで読み取ることによって現品を容易に確認できることから、置場での鋼片1本トラッキングを実現した。

表4 更新後の冷却床および集材装置の設備仕様

Table 4 Specifications of cooling bed and new sorting table after installation

Apparatus	Item	Specification
Cooling Bed	Type	Rake
	Length (mm)	
	No.1	39,745
	No.2	37,825
	Width (mm)	12,500
	Numbers of Rake	
	No.1	158
No.2	152	
Sorting Table	Type	Chain conveyor with top plate
	Length (mm)	
	No.1	16,750
	No.2	11,750
	No.3	55,110
	No.4	15,500
	Width (mm)	12,500
	Number of positions	
	No.1	10
	No.2	7
	No.3	27
No.4	8	



図7 鋼片に貼付したQRコード耐熱タグ  
Fig. 7 Heat-resistant tag with QR code on billet

表5 ビレットヤードの設備仕様  
Table 5 Specifications of billet storage

Storage capacity (t)	70,000
Shipments (t/ mo.)	140,000
Number of cranes	3

## 2.5 出荷用鋼片置場

神戸製鉄所向けに出荷する鋼片が増加するため、出荷まで一時保管する置場（鋼片ヤード）を新設した。鋼片ヤードの仕様を表5に示す。

2分塊工場で製造した神戸製鉄所向け鋼片は、クレーンでパレットに積み込まれ、その後キャリアで鋼片ヤードへと運搬される。前節で述べたように、鋼片ヤードでは鋼片を1本単位でトラッキングしており、出荷指示に従い必要な鋼片を払い出すことが可能である。

## 3. 立ち上げ状況

2014年から設備増強工事に着手し、2015年7月に鋼片ヤードの新設、2016年10月に鋼片精整設備の増設、同年11月に新加熱炉の新設、2017年1月に連続鋼片圧延機を増強更新した。これらの設備は順調に稼働し、生産能力は従来の1.8倍とする目標を達成した。品質についても従来の品質と変わらないことを確認した。

新設備がいずれも順調に立ち上がり、目標どおりの生産能力・品質が確認されたことを受け、2017年11月に神戸製鉄所の上工程設備を休止させた。現在はすべての品種を加古川製鉄所に集約して生産している。

むすび = 第2分塊工場の新加熱炉、新連続鋼片圧延機、新精整設備はいずれも順調に稼働している。これらの設備の能力を最大限に活用し、鋼片品質のさらなる向上と、加古川・神戸の両製鉄所の圧延工場へ鋼片を安定して供給できる体制を維持できるよう努めていく。