

5 帯式連続加熱炉の6 帯化

Energy Saving by in Reheating Furnaces Revamping Soaking Zone

下 向 央 修*
Eishu Shimomukai

植 田 憲 治**
Kenji Ueda

伊 藤 康 道***
Yasumichi Ito

武 藤 振一郎****
Shin-ichiro Muto

竹 島 力 男*****
Rikio Takeshima

君 嶋 英 彦*****
Hidehiko Kimishima

Synopsis:

In the four units of 5-zone continuous reheating furnaces at No. 2 Hot Rolling Plant of Chiba Works, all the soaking hearths were replaced with the bottom fireplaces.

The purpose of this revamping was to reduce unit fuel consumption by lowering exhaust gas temperature, and as a result, a 10 percent fuel reduction, or some $(30 \times 10^3 \text{ kcal/t})$, was marked.

Another point worth mentioning is the adoption of the skid shift type aimed at avoiding a possible quality degradation due to enlarged skid marks.

Also, the removal of nose for the axial-flow burner of the bottom firing zone led to an increased furnace efficiency.

All this made it inevitable to change the furnace design into the side-wall burner type, but the use of KS-type burner, a Kawasaki Steel's own development, made it possible to attain an ideal in-furnace widthwise temperature distribution.

1. はじめに

千葉製鉄所第2熱間圧延工場は、昭和38年稼動開始以来順次加熱炉の増設を行ない、昭和42年にブッシャー式5帯炉4基体制を整えて現在に至っている。

加熱炉の操業において燃料原単位の削減は重要な操業課題である。特に第1次オイルショック以降、従来以上にその重要性が認識されており各社とも炉効率の向上、直送圧延、ホットチャージの量的拡大、低温抽出等を積極的に推進し多大の成

果を挙げてきた。今回報告する5帯式加熱炉の6帯化は、これら一連の燃料原単位削減対策の一環として実施されたものである。

均熱炉床を有する加熱炉においては加熱帯出側に達した時点でスラブの昇温を完了し均熱炉床上では専らスラブの長手および厚み方向の均熱化を行なうのが一般的な操炉方法であった。このような炉内ヒートパターンにおいては、加熱帯に最も多くの燃料を投入する結果となり、加熱炉の熱ロスにおいて最も大きな割合を占める排ガス損失熱を少なくする面で不利であった。スラブの装入側に煙道を有する炉では抽出側により多くの燃料を

* 千葉製鉄所熱間圧延部第2熱間圧延課
*** 千葉製鉄所熱間圧延部熱延技術室主任(課長待遇)
***** 千葉製鉄所設備部設備技術室
〔昭和56年3月4日原稿受付〕

** 千葉製鉄所熱間圧延部第2熱間圧延課掛長
**** 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室
***** 技術本部技術調査班班長(部長待遇)

投入することにより、高温燃焼ガスと炉壁およびスラブの熱交換の機会を増やし、より排ガスの持ち去る熱を低減することが可能である。このような観点から 5 帯炉の均熱炉床を撤去し代りに均熱下部燃焼帯を設ける 6 帯式への改造が種々検討の結果決定され、昭和 53 年 12 月から 55 年 6 月の間に全炉に対して実施された。その結果、4 炉とも 6 帯化完了した後、燃料原単位は安定して $300 \times 10^3 \text{kcal/t}$ 以下を推移しており予測を上まわる成果を挙げている。6 帯化による燃料原単位効果は約 $30 \times 10^3 \text{kcal/t}$ である。

2. 設備改造の検討

2-1 炉型の変更案

5 帯式加熱炉における均熱帯の機能は予、加熱帯での昇温時に生じたスラブ内温度ムラすなわちスキッドマークおよび上下面の温度差を軽減することにある。

均熱炉床はその機能および構造上断熱効果をするのみでスラブの昇温には本質的に寄与せず、また均熱帯上部のみに多くの燃料を投入することは上記の機能に矛盾することとなる。したがってスラブの昇温は加熱帯出側で既に完了していなければならず燃焼ガスは十分な熱交換の機会を持たぬまま煙道より排出されていた。

しかし検討の結果、シフトスキッドを採用すれば従来レベルに比較してもスキッドマークを大きくすることなく均熱炉床の撤去が可能であるとの結論を得ることができた。またバーナーについては、軸流式はバーナーを格納するいわゆるノーズ部が低温域を形成し炉内有効熱伝達面積が減ぜられるという欠点を有しているが、他方従来型サイドバーナーにおいては炉幅方向の温度分布が不安定であるという大きな欠点があった。しかし燃料ガス量の変化に応じて火炎長を調整することの可能な KS バーナーの開発によりこの問題点の解決を可能とすることができた。

以上のような観点から、Fig.1 に示す改造炉型各案が提案され、種々比較検討の結果以下の理由で C 案を採用した。

(1) 均熱帯下部燃焼室容量を大きくとれる。

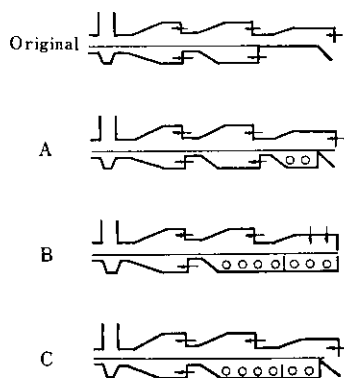


Fig. 1 Profiles of reheating furnace

(2) 改造工事が容易で、したがって工期が短い。

(3) 投資効果が大きい。

2-2 スキッドシフト

近年計算機を主体とした厚み、幅制御方法の発達により、スキッドマークの製品ゲージへの影響は著しく軽減されており、仕上圧延機入側で 50°C を越えるスキッドマークがあっても製品寸法を許容差内に収めることは比較的容易である。しかし加熱、圧延過程における素材温度は製品の材質と密接な関係を持つのでスキッドマークはできるだけ小さいことが望ましい。ゆえに均熱炉床を撤去し新たに均熱帯下部燃焼室を設けるにあたっては従来の均熱炉床機能の代替策が必須とされ、具体的にはホットスキッド化およびスキッドシフトの 2 案が提案された。

この両者について差分伝熱計算を用いて検討した結果、Fig.2 に示すようにスキッドシフトを行わない場合、ホットタイプスキッドを採用してもスキッドマークの増大は避けられず、一方メインスキッド間隔の 4 分の 1 以上のスキッドシフトを行えばセミホットスキッドでも十分均熱炉床以上の均熱効果のあることが判明した。

以上の検討により、改造炉はスキッドシフト方式とし、ライダーについては加熱帯と同様西独コッパース社の特許購入により、セミホットタイプを導入することにした。

しかしプッシャー式大型加熱炉においてはシフトスキッドの前例は少なく、以下に示す配慮を行った。

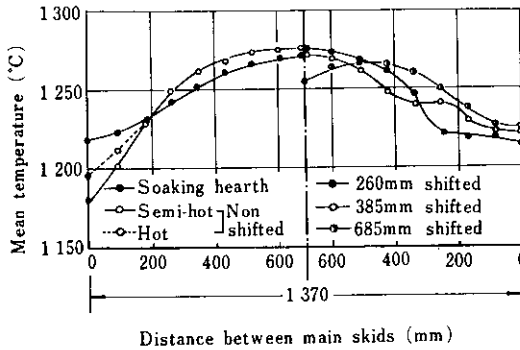


Fig. 2 Temperature distribution of slab between main skids

- (1) プッシャーより受けるスラスト荷重は抽出側のピンで受ける。
- (2) シフトスキッド端部の浮上りはスラブ自重とピン構造により防止する。
- (3) スキッド先端は左右方向に隙を設けスキッド熱変形横方向荷重等に対しある程度の自由度を持たせる。
- (4) 出側垂直基礎は水冷ジャケットで蓄熱を防ぐ。
- (5) 従来スキッドとシフトスキッドには段差を設け、スラブ乗り移りの円滑を期す。

Fig. 3 にシフトスキッドの構造概略図を示す。

2-3 KSバーナー¹⁾

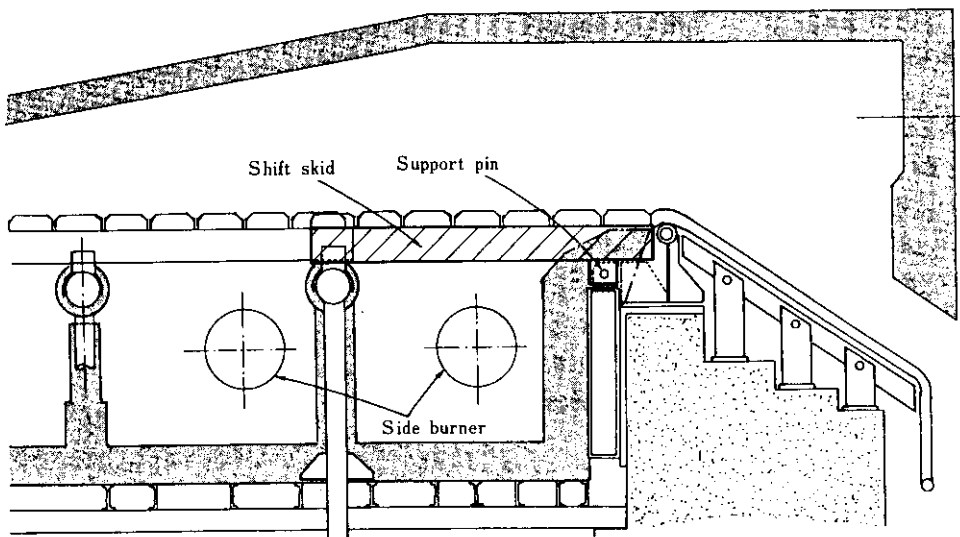


Fig. 3 Structure of shift skid

前述のようにノーズ部の低温域形成を防ぎ、できるだけ大きな燃焼室容量を持たせるためには、均熱帯、加熱帯下部にはサイドバーナーを使用せざるを得ないが、従来型サイドバーナーにおいては炉幅方向温度分布の適正化が困難である。すなわち燃料ガス投入量が変動するとバーナーノズルからの燃料ガスおよび燃焼用空気の吐出速度が変化し火炎長が変化する結果、炉幅方向に均一な炉温を維持することは難しい。

今回採用した KS バーナーは川鉄千葉にて独自に設計開発し、1 ホット 4 号炉、3 分塊均熱炉で既の実績を積んだ高性能バーナーで上記のような欠点を改善しかつ低 NOx 燃焼を可能としている。

構造図を Fig. 4、仕様を Table 1 に示すように KS バーナーの特徴は燃焼ガス流を内外流エアでサンドイッチすることにより、内外エア流量比を調整することにより炉幅方向に任意の火炎長を得ることが可能である。

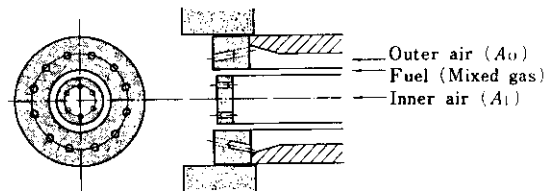


Fig. 4 Design of KS (Kawasaki Sandwich) burner

Table 1 Specification of KS burner

Type	Air 2 flow KS	
	Heating zone	Soaking zone
Capacity (10 ⁶ kcal/h)	350	300
Number of burners	8	4
Kind of fuel	Mixed gas	
Calorific value (kcal/Nm ³)	2 300	
	Fuel	Air
Pressure (mmH ₂ O)	20	200
Temperature (°C)	20	400

3. 操業結果

3-1 ヒートパターンの改善実績

3-1-1 スラブ測温と熱精算結果

昭和53年12月4号炉6帯化以降、約半年に1基の改造を実施し、55年6月2号炉の改造をもって全炉の6帯化を完了した（改造工事は1炉あたり約40日を要した）その結果、燃料原単位は改造炉を加えるごとに低減されたが、全炉6帯化を完了した段階では旧炉と抽出ピッチを合わせる必要がなくなり6帯炉本来のヒートパターン設定が可能となって一段と大幅な低減効果が得られた。

Fig.5 に改造前後の炉内温度分布およびスラブ昇温曲線の実測結果を示すが改造によって理想的な抽出側高負荷型ヒートパターンに改善されていることがわかる。

この結果、Table 2 の熱精算結果に示すように排ガス損失熱が大幅に減少し、改造前後では約70×10³kcal/t の原単位削減が得られている。

3-1-2 加熱帯下部サイドバーナー化の効果

サイドバーナーを採用した理由のひとつは軸流バーナーに必然的なノーズ部の低温域形成の排除にあったことは前述のとおりであるが、改造前後とも下部加、均熱帯間にノーズ部を持つことがなかったため、直接その効果を確認することは難しい。しかしその傍証として Fig.6 を挙げることができる。同図は炉の長手方向に熱伝対を設置してその温度分布を実測した結果であるが、ここに見

られるように加熱帯と予熱帯間のノーズ部の形成する低温域の温度は予熱帯の燃料投入量にほとんど影響されず、しかもその範囲は広い。このことから、加熱帯と均熱帯間にノーズ部があったならば炉改造効果を大きく減じていたであろうことは、容易に推定される。

また、加、均熱帯間の温度制御に独立性を持たせるため代りに仕切壁を設けているが、同図より両帯の温度が仕切壁を境にして明確に区分されていることも明らかである。

3-2 スキッドシフトについて

3-2-1 スキッドマーク低減効果

Fig.7 に RDT（粗ミル出側バー表面温度）チャート例を6帯炉と5帯炉とを比較して示す。

また、6帯炉でスキッドマークをシフトスキッド上滞在時間で整理すると Fig.8 の関係が得られるが、これらから 260～275mm 厚スラブの場合、シフトスキッド上滞在時間 35～45 分が最もスキッドマークが小さい範囲であることが判る。スキッドマークが最低値を示す前は未だ加熱帯以前のスキッドマークが残存している状態であり、以後はシフトスキッドによるスキッドマークが成長していく段階である。ここで加熱帯以前のスキッドマークの削減は均熱帯下部で積極的に加熱を受けるだけ均熱炉床上よりも速い。ゆえにシフトスキッドの採用により均熱炉床以上の均熱効果が得られており、製品々質上好ましい結果となっている。

3-2-2 スキッド温度と応力

スキッドに作用する力としてはスラブ垂直荷重、幅方向スラスト荷重、軸方向スラスト荷重、熱応力等があるが、このうち熱応力が最も大きい。スキッドパイプが損傷した場合操業に与える影響は非常に大きく、かつ温度をはじめとして上記のように予測の難しい要素が多いため余裕を持った設計にしたいが、一方スキッド断面を大きくするとスキッドマークの増大を招く結果となる。ゆえに応力予測計算には特に精力を注いだが、その結果の確認と今後のスキッド断面積縮小の可能性の検討のために、その要所については熱伝対19点、ストレインゲージ12点を取りつけ実測した。結果の

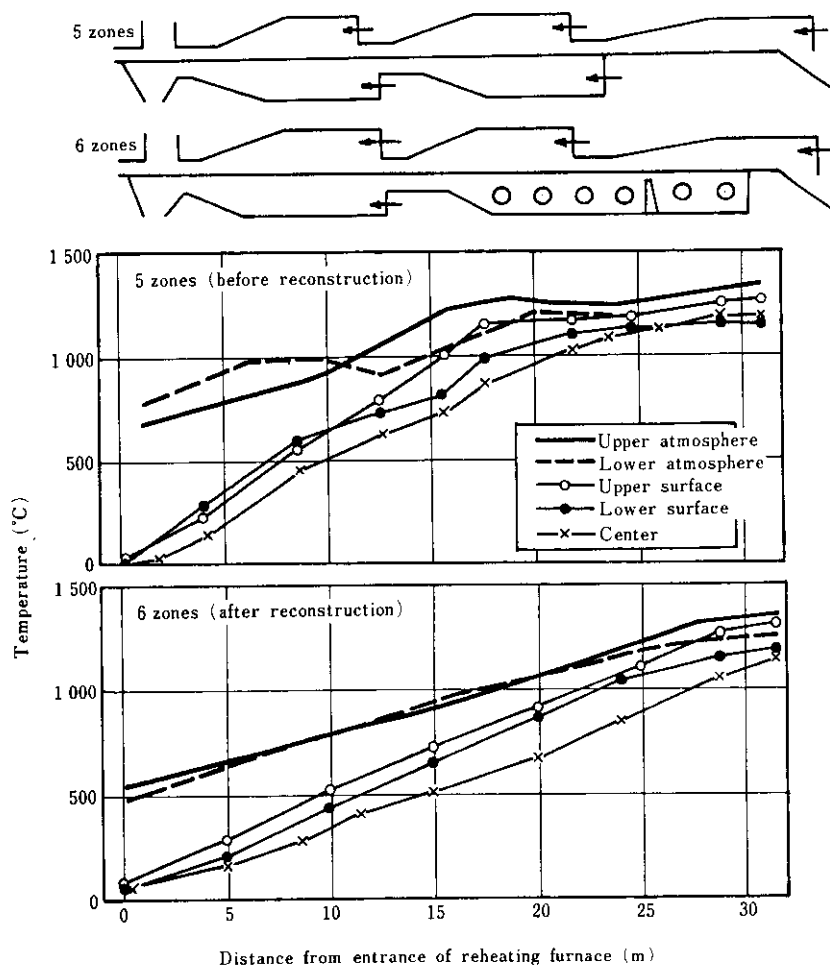


Fig. 5 Heat pattern

Table 2 Heat balance

Heat balance (10^3 kcal/T)		6 zones (Aug. 1980)	5 zones (Dec. 1977)
Input	Combustion heat	325.3	394.9
	Heat of air	41.5	57.9
Total		366.8	452.8
Output	Heat of slab	191.0	198.8
	Heat loss of exhaust gas	129.8	197.1
	Fixed heat loss	46.0	56.9

一例が Fig.9 であるが、この例でも見られるように有限要素法による予測値と実測結果は良い対応

を示しており、設計値が適正であったことを確認した。

3.3 炉幅方向温度分布

Fig.10 に同じ燃料投入量において加熱帯サイドバーナーの内外エア流量比を変化させた場合の炉幅方向炉内温度分布実測値を示す。これらの実測結果から燃料投入量が変化しても、内外エア流量比の調整により常に適切な炉幅方向温度分布の得られることがわかる。

3.4 その他の付加効果

以上の他に、本改造により得られた効果として

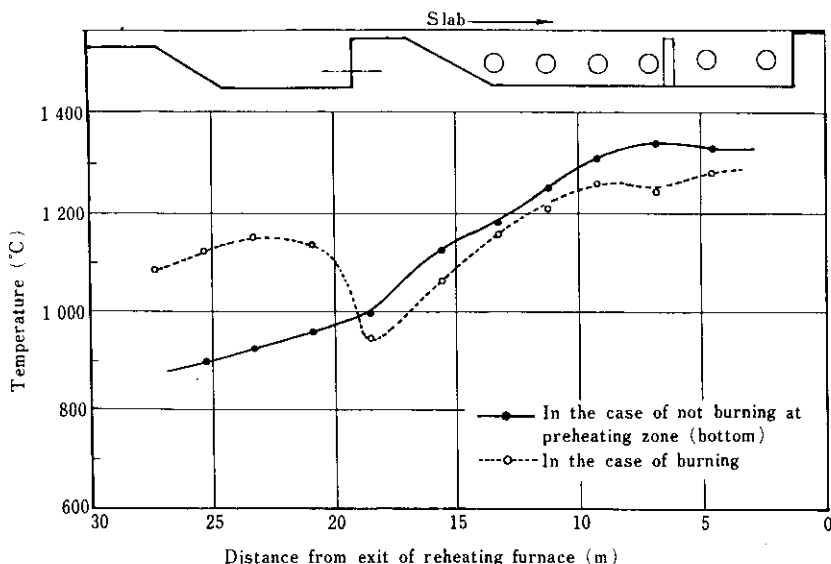


Fig. 6 Actual atmospheric temperature distribution in the furnace

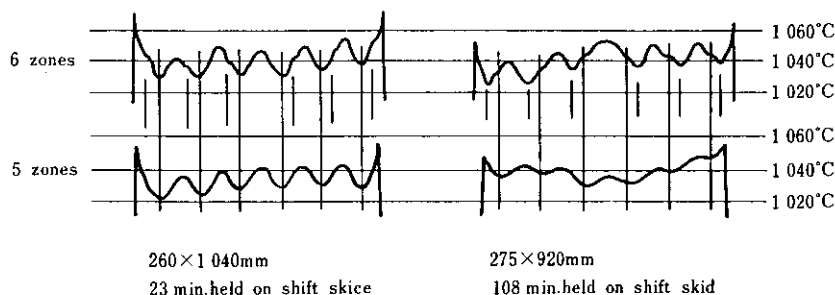


Fig. 7 Examples of RDT (roughing mill delivery temperature) chart

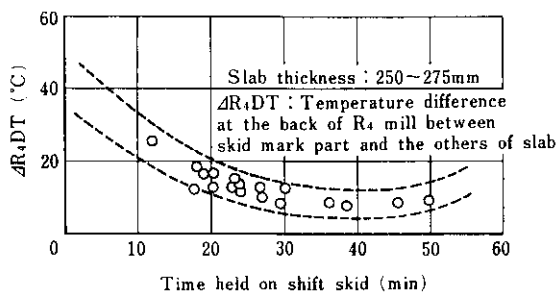


Fig. 8 Relationship between skid mark and time on shift skid

は炉修費の削減、ライン状況への対応性の向上、スケールロスの低減、NO_xの低減等が挙げられる。

5 帯炉の炉修は、従来約 1.5 年の周期で実施してきたが、その制約要因は主に均熱炉床の劣化とレキュペレーターの損傷にあった。6 帯化改造の結果、均熱炉床レンガの張替は不要となり、また炉尻排ガス温度が低下した為レキュペレータ寿命は倍増し、1 回の炉修費用は約 15% 削減され、さらに炉修周期は 2 年間に延長された。均熱帯スキッドライダーの寿命延長が図れば一層の周期延長が可能と考えられる。

加熱炉の抽出ピッチは炉自体の加熱能力と同時に突発休止も含め圧延ライン側の能力に大きく依存している。したがってスラブの過加熱を生ずることなく抽出側燃焼負荷を常に高く維持するため

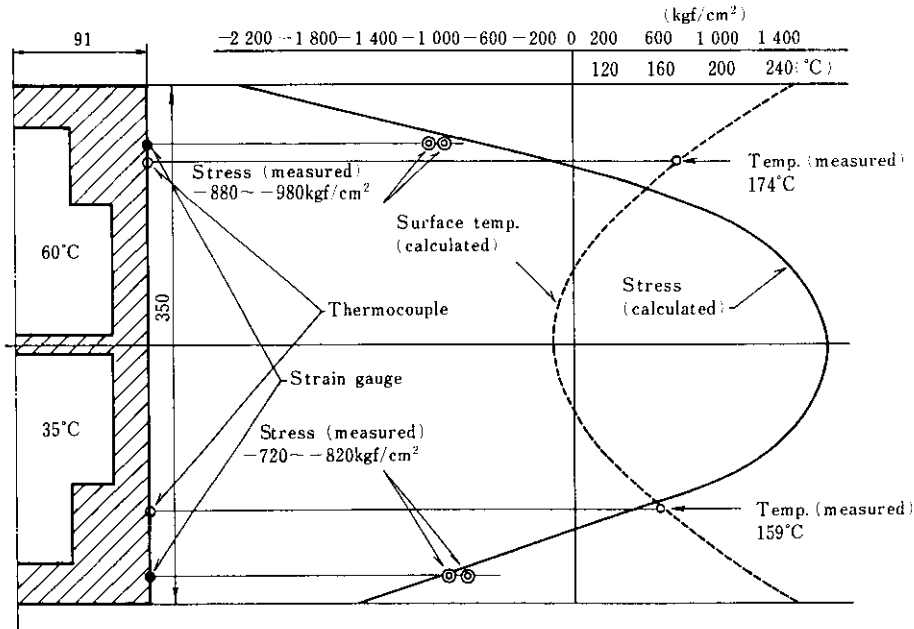


Fig. 9 Comparison of stress distribution in skid (between measured and calculated)

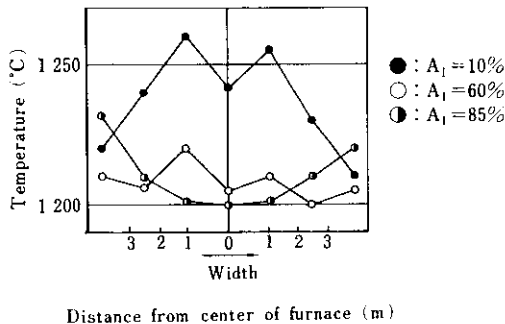


Fig. 10 Actual temperature distribution in width direction

には圧延ラインの状況をフィードバックして操炉に活かすことが重要であるが、均熱炉床を有する炉においては昇熱のコントロールは加熱帯以前で行なわねばならず、機敏な対応が難しかった。しかし6帯炉では抽出ピッチの変動に応じた適切な燃料投入が抽出直前まで可能となり、ライン状況への対応性は格段に向上した。

またこのような効果も含め、6帯炉においてはスラブが高温に保たれる時間が減少した結果、炉内スケールロスの発生量も減少した。実測によれ

ばその量は、スラブ重量の約0.08%にあたる。

さらにNOx排出量についても、低NOxバーナーであるKSバーナーの採用や燃料原単位の削減とあいまって、大幅な低減がなされている。

4. おわりに

以上、千葉製鉄所第2熱間圧延工場の5带式連続加熱炉の6帯化改造工事について、その考え方および操業経過について述べた。近時新たに設計建設される加熱炉においては既に均熱炉床を有する例は少なく、ホットスキッドやウォーキングビームを採用する方式が一般的である。しかし、均熱炉床を有する炉で現在稼動中のものは国内外においても未だ少なくない。このような状況において、旧来の5带式加熱炉を比較的小額の改造費と短期間の工事期間で改造し、かつ最新の加熱炉に十分対抗し得る能力を具備し得た事は意義のあることと思う。

特に、シフトスキッドとKSバーナーの採用により得られた素材の均熱能力は、燃料原単位の削減効果以上に製品々質の向上の面で、特記に値するものと考えている。

最後に、今回の改造にあたって御協力戴いた社 内外の関係者の方々に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤：川崎製鉄技報，10（1978）2・3，83