

技術資料

呉製鉄所第二連铸設備の垂直曲げ化と改善効果

村松利紀\* 田中英樹\* 若林利幸\*\* 野口 計\*\*\*  
安井 潔\*\*\*\* 田中和成\*\*\*\*\*

Operation and Effects of reconstructed No.2CC at Kure Works

Toshinori Muramatsu, Hideki Tanaka, Toshiyuki Wakabayashi, Kei Noguchi, Kiyoshi Yasui, Kazunari Tanaka

Synopsis :

No.2 continuous slab caster (No.2CC) at Kure Works was started up in 1982. Since then, it has been operated continuously with tundish (TD) exchange operation except periodical maintenance once a week and has achieved high productivity.

To answer the request for improving internal qualities of slabs, No.2CC was reconstructed in November 2003. Within 17 days after start-up, it reached to the same performance including productivity as the former bending type continuous caster. And now, the renewal of No.2CC has resulted in higher productivity and better slab qualities.

1. 緒言

呉製鉄所第二連続铸造設備（以降2CC）は、铸片の無手入れ化、高温出片を志向した連続铸造設備として、2熱延工場（以降2HOT）と直結させて、1982年に操業を開始した<sup>1)</sup>。

2CCは湾曲型連铸機という特徴を活かし、週1度の定修以外には、タンディッシュ（以降TD）交換を行いながら連々铸を行う体制（ノン・ストップ・キャストイング：NSC）としていた<sup>2)</sup>。しかし、近年の高品質化ニーズに対して湾曲型連铸機は、その構造上、介在物の浮上除去には不利である。その対策のため、铸造速度を制限するなど、生産性を阻害する場合が生じていた。

従来から湾曲型連铸機を垂直曲げ型に改造することにより、それらの問題は解決できることが知られている<sup>3)</sup>。しかし、2CCを垂直曲げ型に改造するためには、2CCの特徴であるNSCを維持し、また、当社における高能率連铸機が2CCのみであるという背景から、生産への影響を極小化するために、最短工期での改造ならびに、立ち上げ後には生産量の早期回復が必須の条件であった。

そのような背景の下、2003年11月に垂直曲げ化改造を実施した。

今回、垂直曲げ化改造後、約2週間で改造前の生産体制に復帰した立ち上げ操業概要と、垂直曲げ化による品質改善効果について報告する。

2. 2製鋼工場の生産概要

図1に生産フローを示す。1製鋼工場は小ロットおよび特殊鋼製造を主体とした工場であるのに対し、2製鋼工場は脱硫-転炉-RH-CCからなるシンプルなプロセスを特徴とした、普通鋼量産工場である。図2に2製鋼工場における生産鋼種構成を示す。2製鋼工場では、低炭素鋼の比率が約7割、極低炭素鋼の比率が約1割である。これらの鋼種は、近年の介在物起因欠陥の厳格化により、铸造速度をはじめとした各種制約を設けざるを得ない状況にあった。

図3に2CC-2HOTにおける熱冷片比率を示す。2製鋼工場は2熱延工場と直結した工場であり、出片したスラブを直接加熱炉に装入する操業（以降ダイレクト・ホット・チャージ・ローリング：DHCR）比率は約40%と、エネルギーコスト削減に寄与している。すなわち、垂直曲

\*製鋼技術チーム 主任部員 \*\*製鋼技術チーム 主任部員（現 製鋼課） \*\*\*製鋼部 主任部員（現 製鋼課長）  
\*\*\*\*製鋼技術チーム チームリーダー（現 製鋼部長） \*\*\*\*\*製鋼部 部長（現 東方金属株）

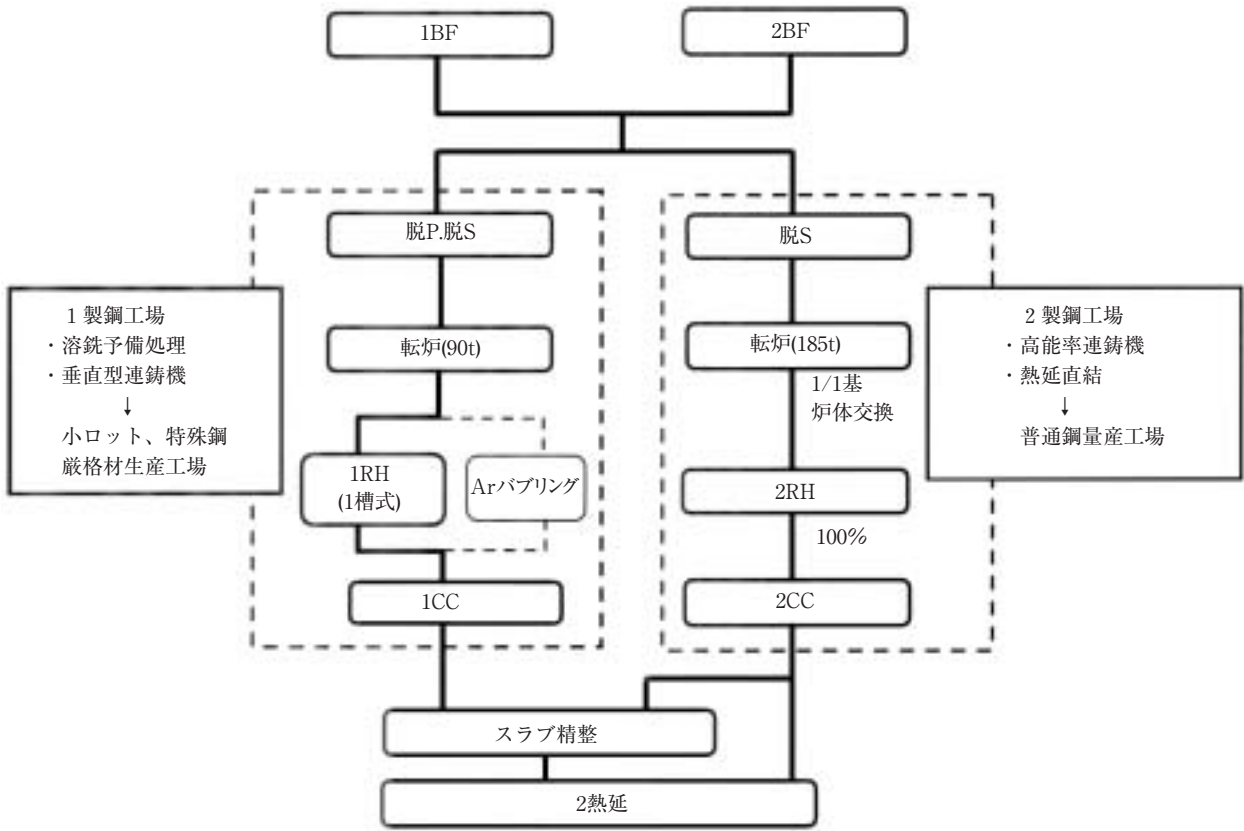


図1 生産フロー  
Fig. 1 Production Flow.

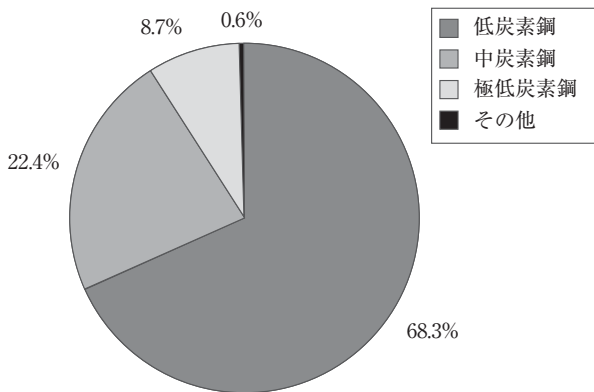


図2 鋼種構成比率  
Fig. 2 Product Mix of No.2CC.

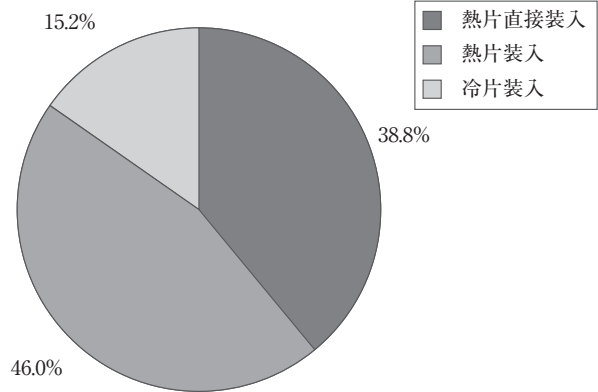


図3 2CC出片材熱冷比率  
Fig. 3 Slab Charging Ratio of No.2CC.

げ化工事による2製鋼工場の操業休止は、DHCR操業不可による製造コストの増加や、普通鋼生産量の減少に直結する。このような背景から、2CCの垂直曲げ化改造は極力短期間で行い、改造後は生産量の早期確保が必要であった。

### 3. 垂直曲げ化設備概要

図4に垂直曲げ化の考え方と、表1に改造前後の連続鑄造設備概要を示す。垂直部の長さは、最大鑄造量を勘案し、2.5mとした。垂直部の確保に関しては、改造工期

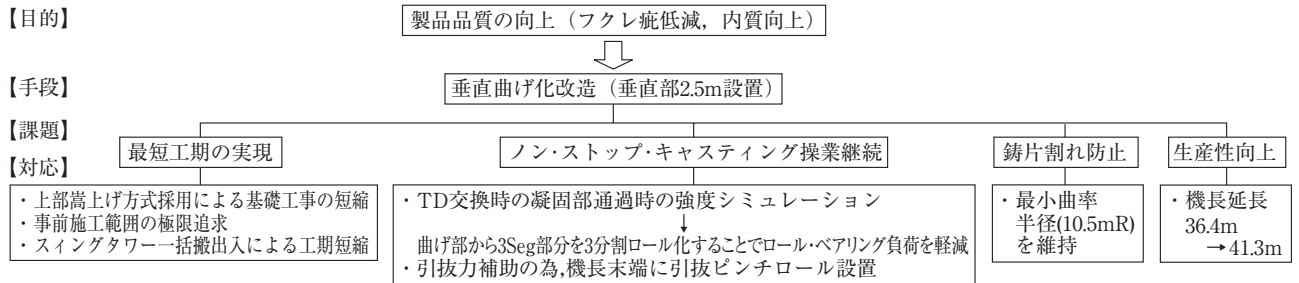


図4 垂直曲げ化改造の考え方  
Fig. 4 Intentions of reconstruction for Vertical Bending Type.

および曲げ戻しの際に発生する全歪量の観点から铸床嵩上げ方式を採用し、最小曲率半径を湾曲型と同等とした。矯正点についても湾曲型と同等の4点とした。

2CCではNSC操作を行うため、TD交換を行う必要がある。TD交換の際には、TD交換前後の铸片接続部は強冷却されているため、上部の曲げにより、冷却された铸片接続部がロールやベアリングに大きな負荷を及ぼす。そのため、ロール折損やベアリング破損防止を目的として、一部に3分割ロールを採用した。更に、引抜き補助のため、機長末端に引抜きピンチロールを設置した。

湾曲型の場合、溶鋼中を浮上した介在物が凝固シエル上面に捕捉され、集積帯を形成しやすい。その介在物が製品での欠陥原因となり、問題となる場合があった。その対策として、铸造速度を制約することで介在物の浮上

除去を促進する必要があった。垂直曲げ型とすることにより、それらの制約を緩和できることから、铸造速度の高速化に対応するため、ロールセグメント（以降seg）を2基追加し、機長を36.4mから41.3mに延長した。

その他、本改造にあわせ、老朽化した電気・計装・計算機（EIC）の制御装置一式を更新した。

#### 4. 改造後の操業概要

##### 4.1 立ち上げ概要

改造後は、まず、一般的な低炭素鋼からスラブ及びコイルの品質確認を行った。また、同時に全面更新をしたEICについても、合わせてホットランでの機能確認を行

表1 設備概要  
Table 1 Specifications of No.2CC

| 項目       | 既設        | 改造                      | 備考               |                            |                 |
|----------|-----------|-------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|
| 主仕様      | ヒートサイズ    | 185t                    | 同左               |                            |                 |
|          | 型式        | 湾曲型                     | 垂直曲げ型            |                            |                 |
|          | スラブサイズ    | 250×800~1325            | 同左               |                            |                 |
|          | 垂直部長さ     | —                       | 2,500mm          |                            |                 |
|          | 機長        | 36,435mm                | 41,277mm         |                            |                 |
|          | 最小曲げ半径    | 10,500mm                | 同左               |                            |                 |
| 主要機器     | スイングタワー   | 4点曲げ戻し                  | 5点曲げ-4点曲げ戻し      |                            |                 |
|          | TDカー      | 水平方式                    | 平行リンク方式(更新)      | レール運搬スペース確保のため更新           |                 |
|          | QC        | 走行台車方式                  | 同左(既設流用)         |                            |                 |
|          |           | MD                      | 電磁ブレーキ搭載         | 同左(部分改造)                   | 銅板・MD支持フレーム等を改造 |
|          |           | SR/BU                   | SR(1本ロール・非水冷)    | BU(3分割ロール・水冷)              |                 |
|          |           | 振動装置                    | ローラガイド方式         | 板バネガイド方式                   | 機構簡素化による整備性向上   |
|          | SEG.0     | なし                      | 3分割ロール           | 矯正反力増加に伴う                  |                 |
|          | SEG.1~3   | 1本ロール                   | 3分割ロール(更新)       | ロール・軸受強度アップ対応              |                 |
| SEG.4~16 | 1本ロール     | 同左(既設流用)                |                  |                            |                 |
| SEG.17   | なし        | 新設                      |                  |                            |                 |
| 引抜きスタンド  | なし        | 新設                      | 非定常引抜き時の対応       |                            |                 |
| 機械付帯     | ユーティリティ   | —                       | 水・空気供給装置増強       | ロール給水ポンプ・気水用コンプレッサー等       |                 |
|          | 操業床機器     | —                       | 嵩上操業床機器移設・他      | TD予熱バーナ・TD测温装置・等           |                 |
|          | 整備用天井クレーン | —                       | 110tCr増強,32tCr新設 |                            |                 |
| EIC      |           |                         | <全面更新:EIC統合>     | <特徴>                       |                 |
|          | PLC       | H04-E.H04-M.P500(1式/ST) | ・PLC(1式/ST)      | ①運転室機器集約化                  |                 |
|          | DCS       | T-245(1式)               | ・DCS(1式/ST)      | ②MMI統合化                    |                 |
|          | プロコン      | H-80-E(2式)              | ・プロコン(2式)        |                            |                 |
| 土建       |           | H-08-L(1式)              |                  |                            |                 |
|          | 操業床嵩上げ    | FL11,250mm              | 嵩上床(FL13871mm)   | 操業床嵩上げ面積1247m <sup>2</sup> |                 |

った。生産量については、改造後の立ち上げから casting 量を徐々に拡大させた。

立ち上げ後の生産量推移を図5に示す。改造立ち上げ後5日目でDHCR操業を回復させた。16日目からTD交換を継続実施し、NSC操業を再開させた。17日目からは従来の生産レベルまで到達させるという「垂直立ち上げ」を完遂できた。

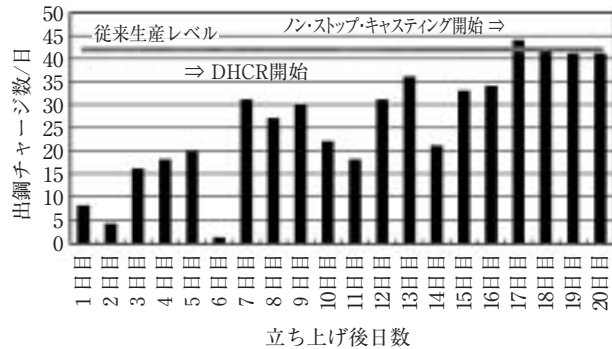


図5 出鋼チャージ数推移  
Fig. 5 Development of Production.

#### 4.2 TD交換方法の確立

垂直曲げ型連铸機において、TD交換を安定的に行う上での懸念点は、ロール折損をはじめとした設備トラブルの懸念と、TD交換時に発生する鑄片の継目部からの漏鋼である。

前者の対策としては、前述したようにQCスタンド及び0~3segのロールに3分割ロールを採用し、また、ベアリングは高荷重対応ベアリングを採用した。

後者については、当初は意図的にTD交換前後での溶鋼濁混ざりを生じさせ、漏鋼トラブルなくTD交換を可能とした。しかしながらこの方法では、TD交換前後の鋼種が異なる場合は成分混ざりが生じるため、その部位の切捨て量が多くなり、歩留ロスが生じる。そこで、TD交換方法の改善を図った。

湾曲型では、TD交換前後の接続治具を、その継目位置に装入していた(図6)が、垂直曲げ型では、治具装入部からの漏鋼を懸念し、湾曲型で使用していた接続治具の装入を行わないこととした。その代替として、新たに垂直曲げ型連铸機における成分混ざり防止治具を製作し、それをTD交換時に装入することで、成分混ざりを湾曲型と同レベルとすることができた。その結果、歩留ロスを増やすことなく、湾曲型と同じように垂直曲げ型においてもTD交換を可能とした。

以上の対策によりロール折損等の設備異常もなく、連々鑄を湾曲型と同レベルとすることができた。ダミー

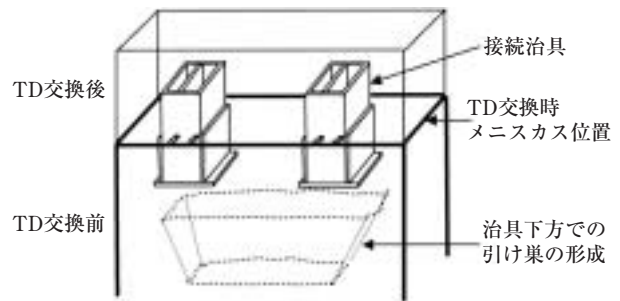


図6 湾曲型でのTD交換治具  
Fig. 6 Schematic Sequence Blocks of Bending Type.

バー(以降DB)当りの連々鑄数(チャージ数/ダミーバー:CH/DB)の推移を図7に示す。

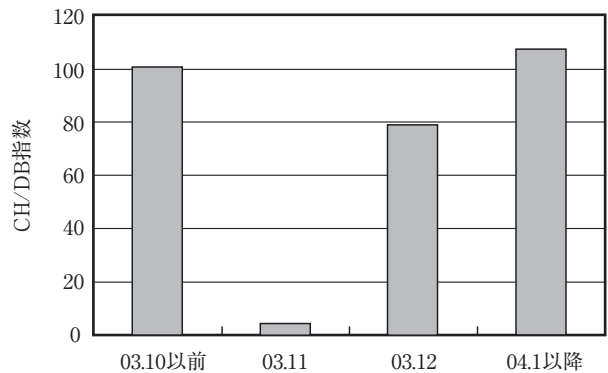


図7 ダミーバーあたり連々鑄数の推移  
Fig. 7 Change of Sequence Charges per Dummy Bar.

#### 4.3 周期的湯面変動対策

通常、ロール間において凝固シェルは常にバルジングしている。鑄片の体積は変化しないため、それによる湯面変動は生じない。しかし、何らかの要因で凝固シェルの特定の箇所に低温部があると、この部分が膨張(収縮)した形状を維持して、次のロール部で押し込まれることになり、鑄片の体積が変化するため、湯面変動の要因となる。これは非定常バルジング<sup>4)</sup>と呼ばれ、周期的湯面変動<sup>5)</sup>となって現れる。

非定常バルジングによる周期的湯面変動対策として、0~3segに順次ロール不等間隔segを導入した。その導入効果を図8に示す。最終的にロール不等間隔segを導入した場合は、導入しない場合に対して、約40%の湯面レベル変動低減効果が認められた。

5. 品質改善効果

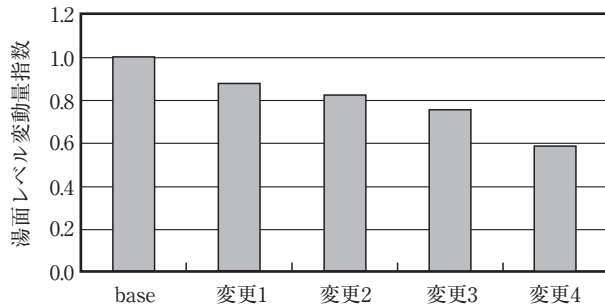


図8 低炭素鋼における湯面レベル変動量  
Fig. 8 Improvement of Bath Level Fluctuation for Low carbon steel.

5.1 品質評価方法

スラブ段階での垂直曲げ化による改善効果については、サルファプリントで認められる点欠陥であるブラックスポット個数にて評価した。図9に示すように、巾50mmのそれぞれの箇所を、スラブ表層から深さ方向に10mmごとに80mmの位置まで個数の測定を行った。また、コイルでの評価は、内質を当製鉄所連続酸洗工程での超音波板波探傷検査(UST)にて行った。表面に関しては目視検査とした。

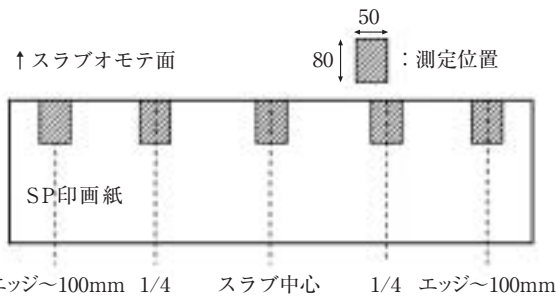


図9 铸片内ブラックスポット測定位置 (C断面)  
Fig. 9 Measurement Positions of Black-Spots in Continuous casting slab (unit : mm).

表2 低炭素鋼における改造前後の铸造条件  
Table 2 Casting conditions for Low carbon steel of before and after reconstruction

|        | 湾曲型              | 垂直曲げ型            |
|--------|------------------|------------------|
| 铸造巾    | 800~1325mm       |                  |
| 最高铸造速度 | 1.70m/min        | 1.90m/min        |
| 铸造量    | 2.7~3.5t/min/str | 3.0~3.8t/min/str |

5.2 低炭素鋼品質改善効果

表2に改造前後の铸造条件を示す。垂直曲げ化改造後は、铸造速度上限を1.70m/minから1.90m/minとした。

ブラックスポット個数比較を図10に示す。垂直曲げ化改造により、ブラックスポット個数の減少と、集積帯位置が湾曲型より約20mm程度深い位置に移行していることが確認できた。また、垂直曲げ化改造後では、铸造速度を1.80m/min, 1.90m/minと向上させても、それらの傾向は同様であった。結果として、铸造速度を向上させた条件でのブラックスポット総数は、従来の約1/4まで低減させることができた。

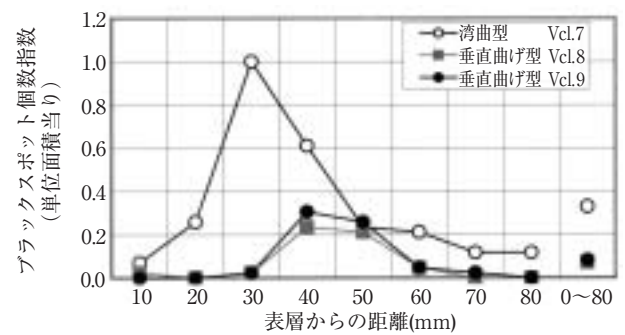


図10 ブラックスポット比較  
Fig.10 Change of Black-Spots in Continuous casting slabs (Low carbon steel).

図11に垂直曲げ化改造前後のUST検査結果を示す。湾曲型では、単位時間あたりの铸造量(以降スループット)が増加するとともに、UST検知数が増加する傾向が認められていたが、垂直曲げ型では、検知数が1/10と大幅低減し、かつ、スループットによるUST検知数の影響が小さくなっている。

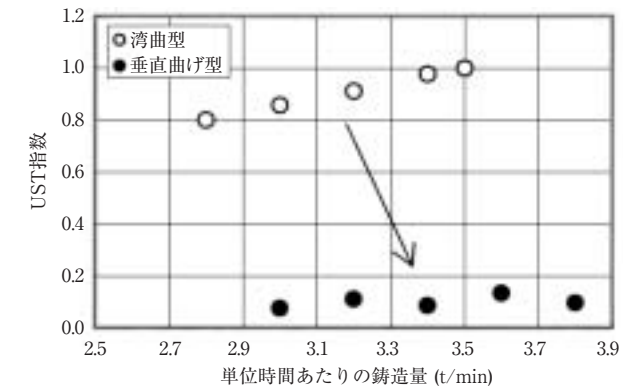


図11 改造前後の铸造量とUST検査結果  
Fig.11 Relation between index of UST defect and Throughput (Low carbon steel).

図12に垂直曲げ化前後のコイル表面欠陥（ヘゲ疵）検査結果を示す。ヘゲ疵の原因となる介在物の捕捉位置は、通常、集積帯よりもスラブ表層側であることを確認している。改造後ではヘゲ疵が約40%低減するという効果が得られた。これは、ヘゲ疵に至る介在物の捕捉位置が、垂直曲げ化による介在物の捕捉低減効果の少ない位置であることから、鑄造速度向上による鑄型内溶鋼流速のアップに伴うウォッシング効果が、表面欠陥低減に大きく寄与したと考える。

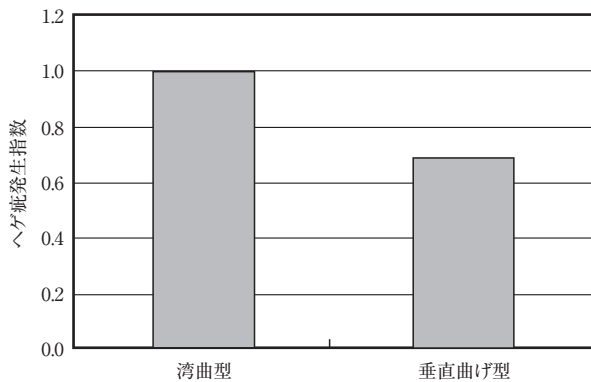


図12 改造前後のヘゲ疵発生状況  
Fig.12 Change of index of Surface defect before and after reconstruction (Low carbon steel).

### 5.3 極低炭素鋼品質改善効果と連々鑄数向上

湾曲型では、特に極低炭素鋼においては、フクレ疵が発生しやすく、従来から各種対策がとられてきた。

フクレ疵は集積帯に捕捉される介在物やアルミナを含んだArガス気泡が原因であり、ノズル閉塞抑制のために吹き込んであるArガス量やスループットとの関係が

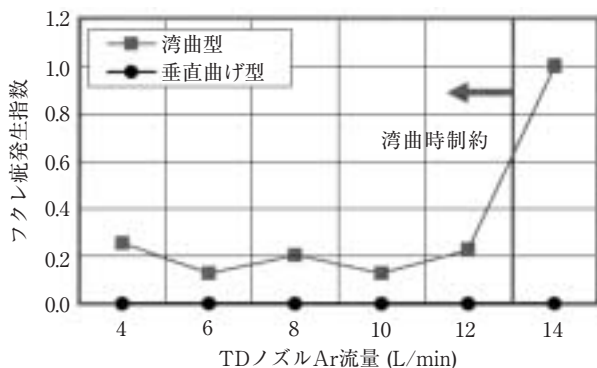


図13 フクレ疵とAr流量  
Fig.13 Relation between index of Surface defect and Ar gas Flow rate (Ultra low carbon steel).

認められている<sup>6)</sup>。湾曲型ではスループットやTDノズルAr流量を抑制する必要があったため、鑄造能率の低下や連々鑄数の低下といった問題があった。

図13にTDノズルAr流量とフクレ疵の関係を示す。垂直曲げ型にすることにより、フクレ疵はほぼ皆無となり、TDノズルAr流量との関係は認められない。

また、スループットとフクレ疵の関係を図14に示す。

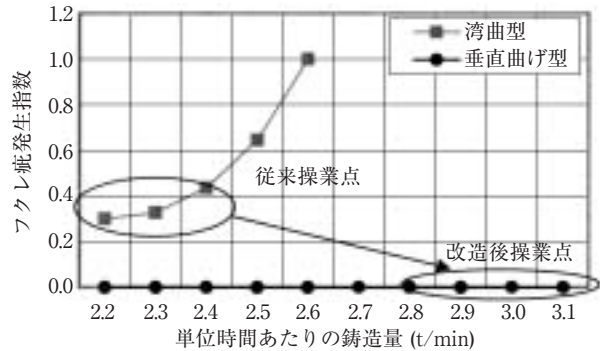


図14 フクレ疵と鑄造量  
Fig.14 Relation between index of Surface defect and Throughput (Ultra low carbon steel).

従来はスループットとともにフクレ疵の発生は顕著であったが、垂直曲げ型ではフクレ疵の発生は皆無となり、スループットとの関係は認められなくなった。その結果、従来実施していたTDノズルAr流量の規制を解除することができた。また、それにより、ノズル閉塞を軽減することから、TDあたりの最大連々鑄数を6チャージ（以降CH）から9CHに拡大した。最高鑄造速度に関しても、1.40m/minから1.60m/minに向上させた。それらの結果を表3に示す。

表3 極低炭素鋼における改造前後の鑄造条件

Table 3 Casting conditions for Ultra low carbon steel of before and after reconstruction

|           | 湾曲型              | 垂直曲げ型            |
|-----------|------------------|------------------|
| 鑄造巾       | 800~1325mm       |                  |
| 最高鑄造速度    | 1.40m/min        | 1.60m/min        |
| 鑄造量       | 2.2~2.4t/min/str | 2.8~3.1t/min/str |
| TDあたり連々鑄数 | 最大6CH            | 最大9CH            |

ヘゲ疵発生状況を図15に示す。極低炭素鋼においても、ヘゲ疵低減効果が認められた。これは、低炭素鋼と同様に、鑄造速度向上によるウォッシング効果が寄与し

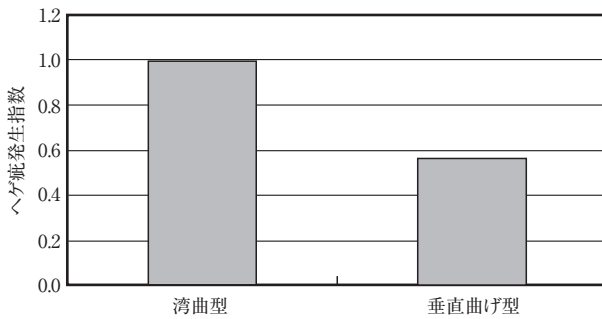


図15 改造前後のヘゲ疵発生状況(極低炭素鋼)  
 Fig.15 Change of index of Coil Surface defect before and after reconstruction (Ultra low carbon steel).

ているものとする。

## 6. 結 言

近年の品質厳格化対応のためには、垂直曲げ化が有効であることが知られている。2CCを湾曲型から垂直曲げ型に改造するためには、当社唯一の普通鋼量産工場であることやTD交換を行う必要があることから、改造の工期短縮および改造後の生産量の早期回復、垂直曲げ化後のTD交換の実施といった点が必須の条件であった。

それらの条件のもと、改造工事を行った。その結果、従来水準の生産量には立ち上げ後17日目から復帰できた。また、TD交換についても設備及び操業トラブルなく実施できている。

更に、介在物起因欠陥については、UST欠陥やフレキスを大幅に低減することができ、その結果、鑄造速度向上や、極低炭素鋼における連々鑄数の拡大を行うことができた。また、ヘゲ疵については、鑄造速度向上により低減させるという効果も享受できた。

今後は、更なる高品質化および高能率化を目指し各種改善を積み重ねて行く所存である。

### 参考文献

- 1) 品川裕明, 俵 正憲, 殿村一男, 小林能治, 宮川保重, 荒木茂昭: 日新製鋼技報, 48 (1983), 61
- 2) 野口 計, 池田純治, 栗原健郎, 栗田俊哉, 石川秀一, 竹岡正夫: 日新製鋼技報, 68 (1993), 104
- 3) 例えば, 中村寛治, 石飛精助, 高瀬 勝, 射出由雄, 三隅秀幸, 三吉野育人: 材料とプロセス, 4 (1991), 1290
- 4) 例えば, 北田 宏, 川本正幸, 村上敏彦: 材料とプロセス, 17 (2004), 854
- 5) 例えば, 加藤朝彦, 石井健司, 小平悟史, 久保田 淳, 堤 康一: 材料とプロセス, 17 (2004), 853
- 6) 野口 計, 壺井 孝, 竹岡正夫, 栗原健郎, 八島幸雄: 材料とプロセス, 4 (1991), 1194