

小倉 No.3 ブルーム連続铸造設備の操業と品質

Start-up of No.3 Bloom Continuous Caster Operations at Kokura Works

木村和成/Kazushige Kimura・小倉製鉄所 銑鋼部 部長

三島健士/Tateshi Mishima・小倉製鉄所 銑鋼部 製鋼工場 参事

田村 明/Akira Tamura・小倉製鉄所 銑鋼部 製鋼工場 参事補

亀子伸二/Shinji Kameko・小倉製鉄所 設備部 設備技術室 参事

平野正一/Masakazu Hirano・小倉製鉄所 設備部 電気計装技術室 参事

丸田陽一/Yoichi Maruta・小倉製鉄所 技術部 条鋼技術室 参事

山中章裕/Akihiro Yamanaka・総合技術研究所 製鋼プロセス研究部 主任研究員

岡村一男/Kazuo Okamura・総合技術研究所 機械システム研究部 主任研究員

要 約

条鋼製品の品質に対する顧客要求の厳格化、および連続铸造能力の増強に対応するため、新鋭2ストランドブルーム連続機(No.3CC)の操業を開始した。

この連続機は、条鋼製品の高品質化に加え、高生産性も考慮している。高品質化のために、大型タンディッシュ、誘導加熱方式のタンディッシュヒータ、高精度湯面レベル制御システム、新開発モデルに基づく垂直曲げ型マシンプロフィール等を導入した。さらに自動化設備として、レードルクレーン操作やブルーム鑄片切断・搬出等を導入し、これにより4名での操業が可能である。

1995年6月にNo.3CCは操業を開始し、以来順調に稼働している。

Synopsis

A new two-strand bloom continuous caster (No.3CC) has started operation at Kokura Works in order to meet today's more stringent quality requirements for bar & wire rod products and to increase continuous casting capacity.

This caster is mainly designed in consideration of the quality of special grades of bar & wire rod for the automobile industries, and also of higher productivity. For quality, we introduced a large-volume tundish, an induction tundish heater, a high accuracy steel level control system in the mold, a vertical-bending machine profile, the design of which is based on a newly developed model, and so on. In addition, automation was introduced into many elements of this caster, including, for example, ladle-crane operation and bloom cutting & handling. Consequently, this caster requires only four operators.

Operation of No.3CC started in June 1995, and it has been working well since start-up.

1. 緒 言

近年ますます高度化するユーザーニーズへの対応、および造塊材の連続铸造化による高品質化を主目的として、当社小倉製鉄所に新鋭ブルーム連続機(No.3CC)を建設した。

本CCは、高級条鋼製品の高品質対応に加え、高生産性等も考慮して最新鋭の設備技術を導入している。品質向上対策としては、大容量タンディッシュ、誘導加熱方式のタンディッシュヒータ、高精度モールド溶鋼湯面レベル制御

システム、当社独自開発モデル¹⁾に基づく垂直曲げ型マシンプロフィールを採用した。また、省力対応として、レードルクレーンやブルーム鑄片の切断・搬出等の自動化設備の導入により、少人数のオペレータでの操業を可能とした。

2. 設備概要

第1図にNo.3CCの配置図を示す。No.3CCは旧造塊建屋を流用し、No.2CCと並行して建設した。No.3CCへの溶鋼運搬は、専用トラバースとレードルクレーンにより

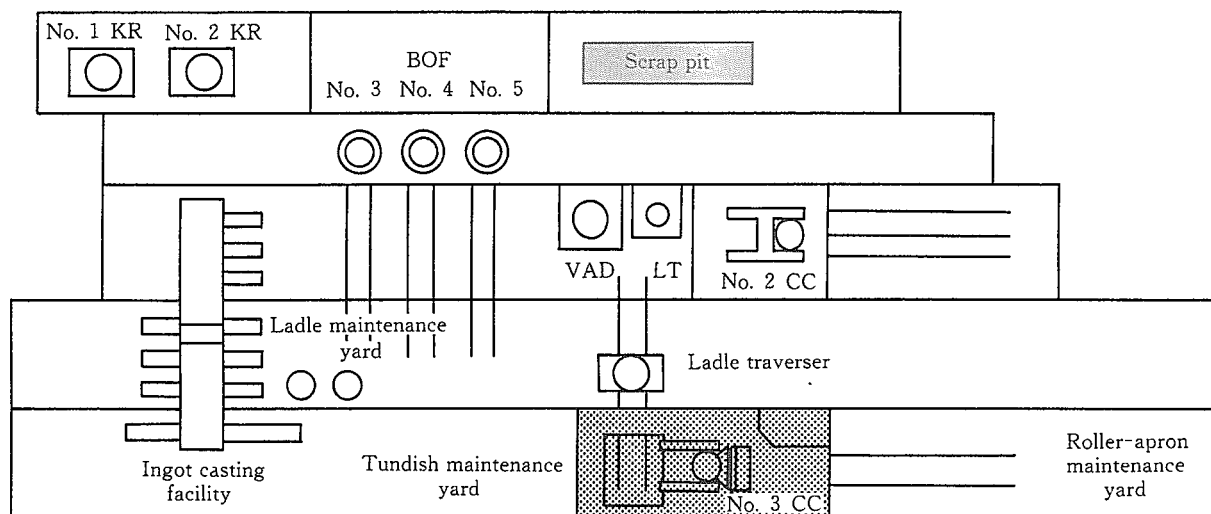
技術報文

地上から24mの铸造床へ搬上する。この取鍋運搬作業は、すべて自動運転となっている。

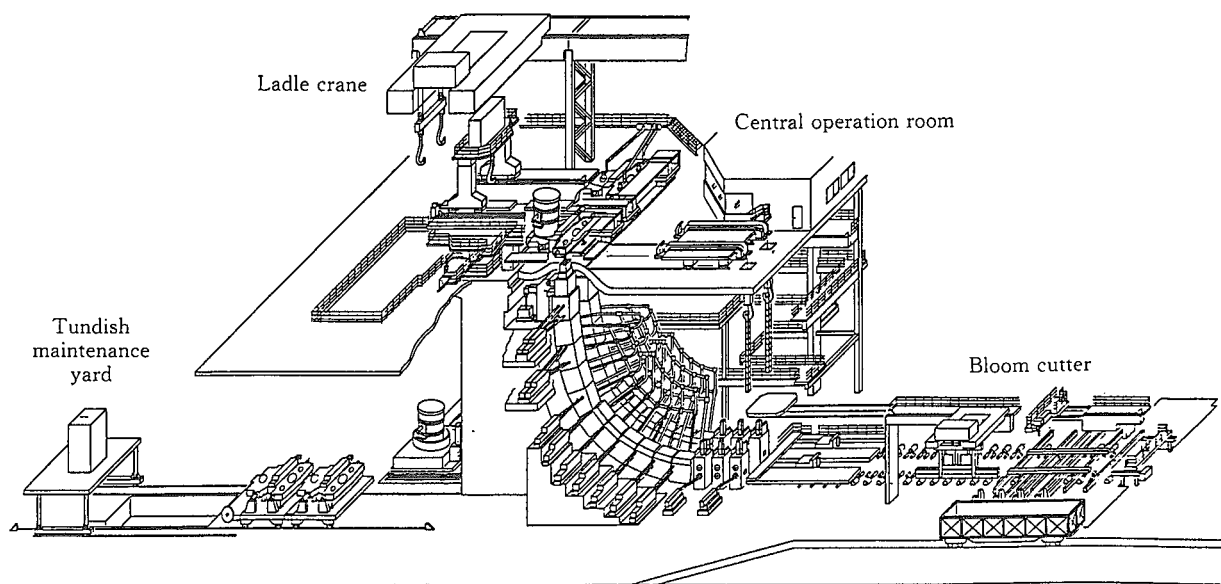
第1表に No.3CC の主仕様を、第2図に概要図を示す。No.3CC は当社独自開発モデルに基づく垂直曲げ型のマシンプロフィールを採用し、垂直部長さ2.2m、機長36.5mを有する。生産能力は月間約50 000トンである。

第1表 No.3CC基本設備仕様
Table 1 Specifications of No.3CC

Ladle capacity	70t
Machine type	SUMITOMO Vertical-bending
No. of strand	2
Dummy-bar	Top-insert type
Tundish capacity	27t
EMS	Mold-EMS
Bloom width	400mm
Bloom thickness	300mm
Length of vertical strand	2.2m
Curvature radius	110-51-31-21-15.2m
Machine length	36.5m
Casting speed	Maximum 1.0m/min



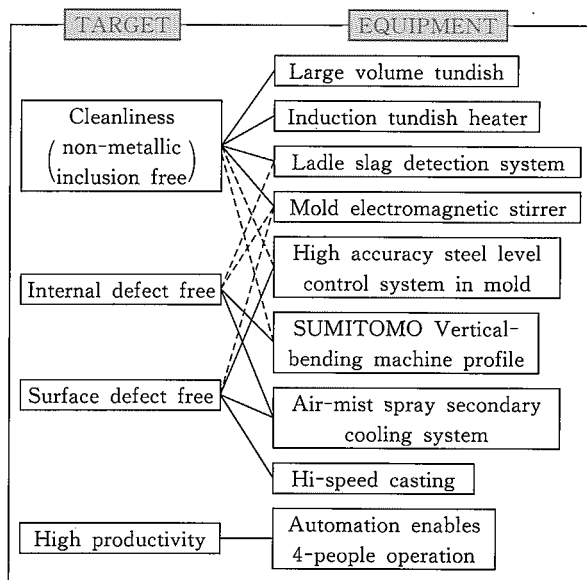
第1図 No.3CC 配置図
Fig.1 Layout of No.3CC in steelmaking plant



第2図 No.3CC 概念図
Fig.2 Schematic view of No.3CC

3. 主要設備と鑄片品質

第3図に No.3CC の設計コンセプトを示す。以下に No.3CC を特徴づける設備について概説する。



第3図 No.3CC 設計コンセプト
Fig.3 Concept of No.3CC

3-1 住友式垂直曲げ型マシンプロフィール

No.3CC の基本仕様を決定するにあたり、非金属介在物の集積の回避、およびブルーム鑄片の内部割れの防止の両面から検討を進めた。

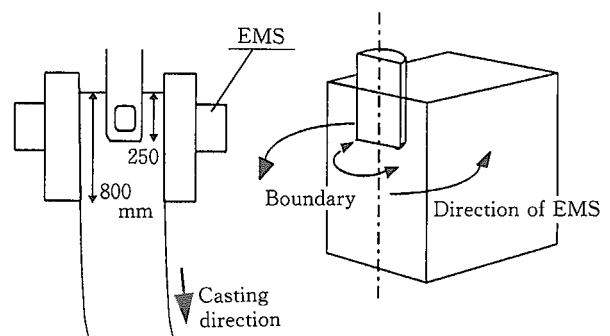
- まず、ユーザー加工段階で割れ・表面疵の発生要因のひとつに挙げられる介在物の集積に関して、ブルーム鑄片内の介在物集積状態を計算機シミュレーションにより事前調査した。第4図に計算条件を、第5図にブルーム鑄片内の介在物集積状況の計算結果を示す。
- 溶鋼からの浮上・除去が容易と考えられる一方で、鋼材中に存在した場合は影響があると考えられる比較的大型の介在物（たとえば、直径 $100\mu\text{m}$ ）の例では、湾曲型マシンの場合は、湾曲半径が大きい場合でも、ブルーム鑄片天面側に大型介在物が集積する。それに対して、モールド部から2.5mの垂直部を有する垂直曲げ型マシンでは、介在物の集積は見られない。このことから介在物の集積防止に対する、垂直部の効果が明らかとなった。
- 一方で、垂直曲げ型マシンにおいては、ベンディング歪に起因する表層近傍の内部割れが、棒鋼製品等では問題となることがある。この内部割れを鑄片の凝固段階で完全に防止するために、当社独自開発の歪積算モデルにより定量的な評価を行なった。歪積算モデルは、内部割れ

の原因となる歪みが、凝固の進行にともなって凝固シェル界面の固液共存相内の抗張力出現温度(ZST)～延性出現温度(ZDT)間の温度範囲に加わる歪(応力歪・バールジグ歪等)の積算で評価できることを示している。この歪積算モデルに基づいて積算歪をコントロールすることにより、内部割れ発生を防止することができる。なお、鑄片内部の積算歪は下記の式の歪を考慮している。

$$[\text{積算歪}] = (\text{曲げ歪}) + (\text{熱応力歪}) + (\text{バールジグ歪})$$

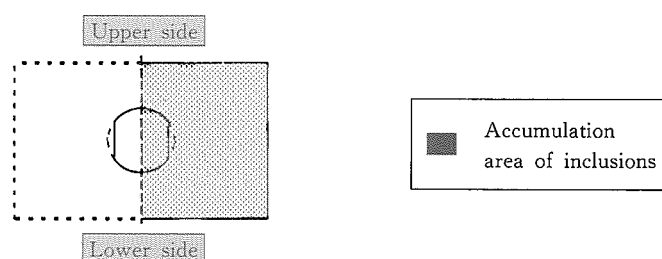
以上の結果から、No.3CC には、垂直部を有する住友式垂直曲げ型マシンプロフィールを採用した。第6図²⁾に鑄片内部の積算歪を示す。本マシンプロフィールにおいては、5カ所のベンディングポイントを最適位置に分散して配置し、積算歪を内部割れの臨界歪以下とした。これにより、割れ感受性が高い当所の主要製品である高炭素鋼材においても内部割れが防止できる。第7図に No.3CC で鑄造を行った高炭素鋼の鑄片縦断面マクロエッチプリントの一例を示すが、 0.75m/min の鑄造速度においても、鑄片表層近傍に内部欠陥は発生していないことがわかる。

Type	① Curvature type	② Curvature type	③ V-B Type
Size	Curvature radius : 13m	Curvature radius : 18m	Vertical length : 2.5m Curvature radius : 15m
Casting speed	① 1.2m/min, ② 0.9m/min, ③ 0.7m/min		
Superheat	35℃		
Nozzle depth	250mm		
EMS	Applied		

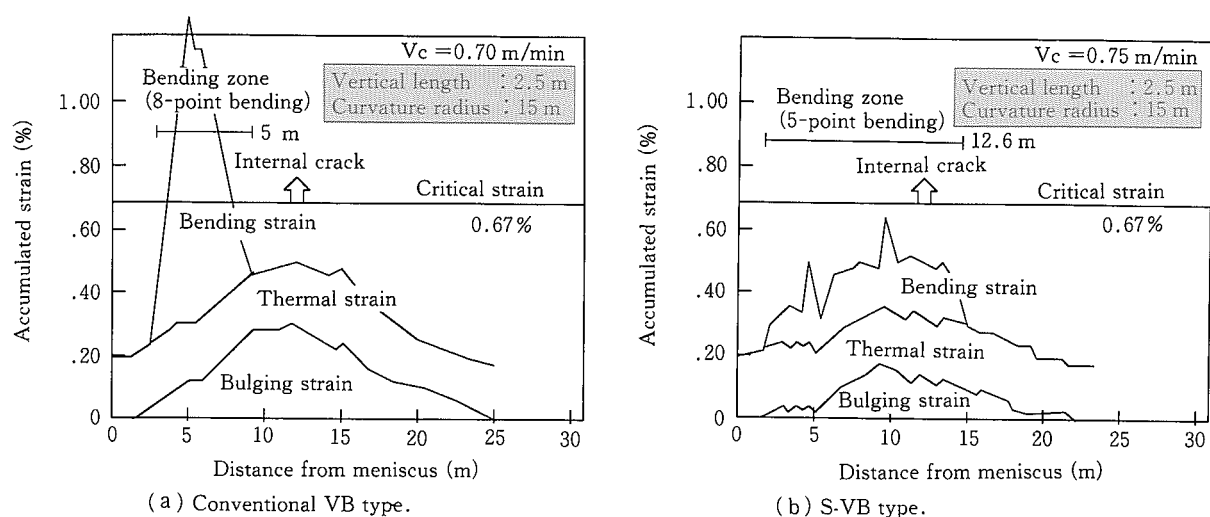


第4図 介在物集積位置計算条件
Fig.4 Calculation condition of inclusions

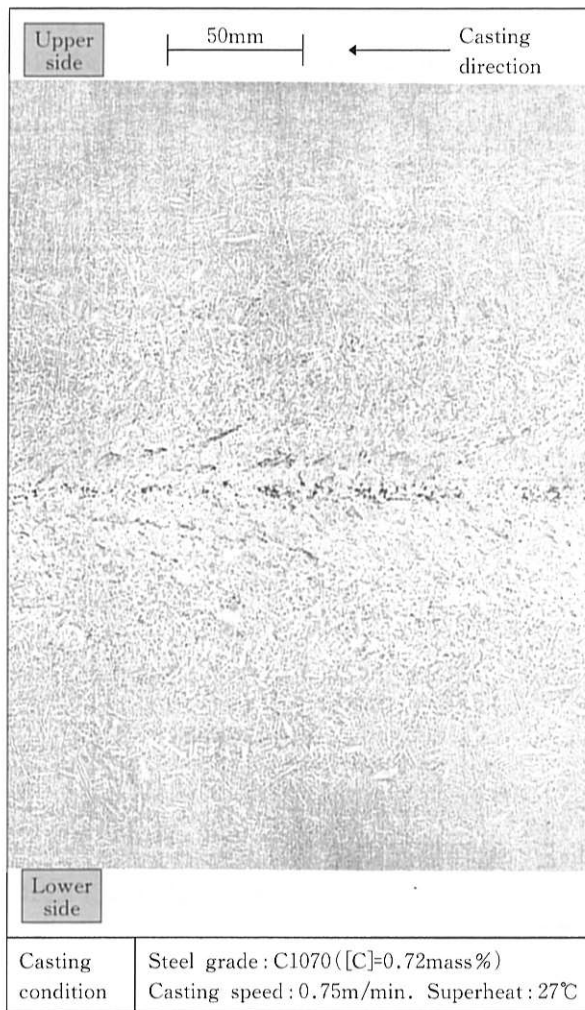
Casting speed	① Curvature type (Curvature radius:13m)	② Curvature type (Curvature radius:18m)	③ Vertical bending type (Vertical:2.5m, Curvature radius:15m)
1.2m/min			
0.9m/min			
0.7m/min			



第5図 ブルーム鑄片内の介在物集積状況
Fig.5 Accumulation of inclusions in bloom



第6図 ブルーム鑄片内の歪積算状況
Fig.6 Accumulated strain inside bloom
(Steel grade : C1070)

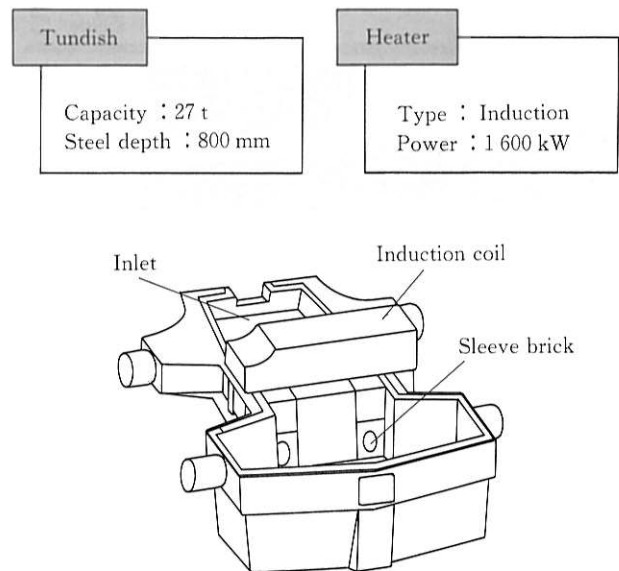


第7図 鑄片マクロエッチプリント (縦断)
Fig.7 Macro-etch print of bloom (Longitudinal section)

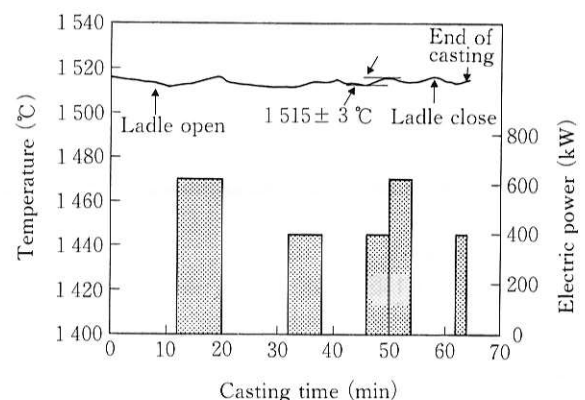
3-2 誘導加熱方式タンディッシュヒータ

本CCには、鑄造時の溶鋼温度の安定化および製品の高清浄化を目的に、誘導加熱方式のタンディッシュヒータを導入した。第8図にその概要を示す。第9図に示すように、適正な電力を印加することにより鑄造中の溶鋼温度を±3°Cの精度で安定に保つことができる。

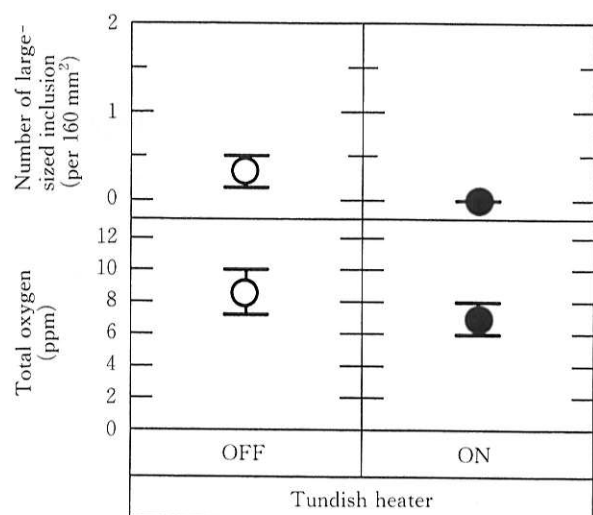
さらに、大容量タンディッシュとの相乗効果で、効果的な介在物の除去が可能であるため、製品の高清浄化につながる。第10図にタンディッシュヒータによる高品質化の効果を示すが、タンディッシュヒータの適用により、製品の清浄性が向上することがわかる。これはスリーブ煉瓦を通過した溶鋼の上昇流、およびスリーブ煉瓦内を通過する溶鋼に働くピンチ力の効果と考えられる。第11図にタンディッシュ内の溶鋼流動解析結果を、第12図³⁾にピンチ力の効果の概念図を示す。スリーブ煉瓦を通過した溶鋼は温度差により上昇流を生じ、介在物の浮上を促進する。また、ピンチ力は溶鋼加熱時にスリーブ煉瓦内溶鋼にはたらく磁場により発生し、介在物をスリーブ煉瓦壁面まで泳動させ、壁面に付着させる効果を有すると考えられる。



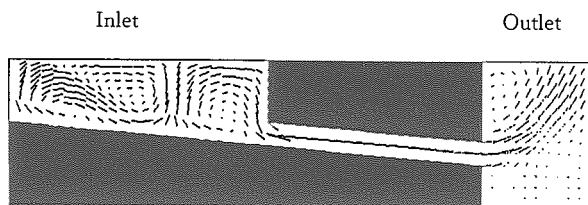
第8図 誘導加熱方式タンディッシュヒータ
Fig.8 Outline of induction tundish heater



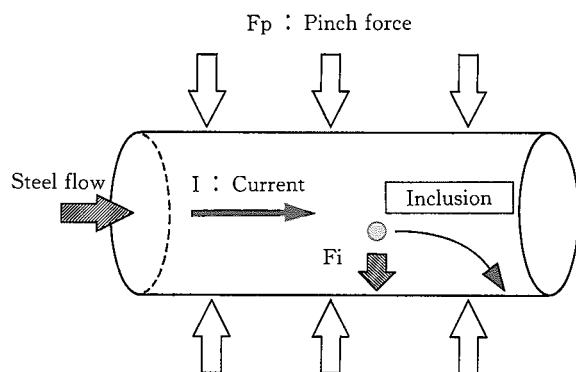
第9図 タンディッシュ内の溶鋼温度推移
Fig.9 Change in steel temperature in tundish



第10図 製品の清浄度 (Si-Al キルド鋼)
Fig.10 Cleanliness of product
(Silicon-aluminum killed steel)



第11図 タンディッシュ内の溶鋼流動解析
Fig.11 Schematic steel flow in tundish



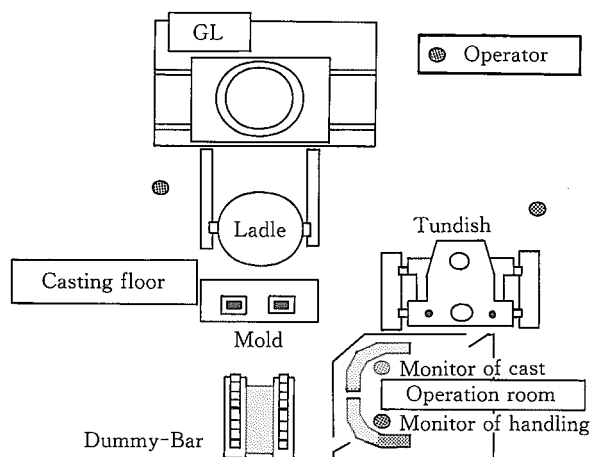
第12図 ピンチ効果の概念
Fig.12 Concept of pinch force effect

4. 操 業

4-1 自動化

No.3CCでは第13図に示すように、各種の自動化設備、および集中操作・監視システムの導入により、レードルク

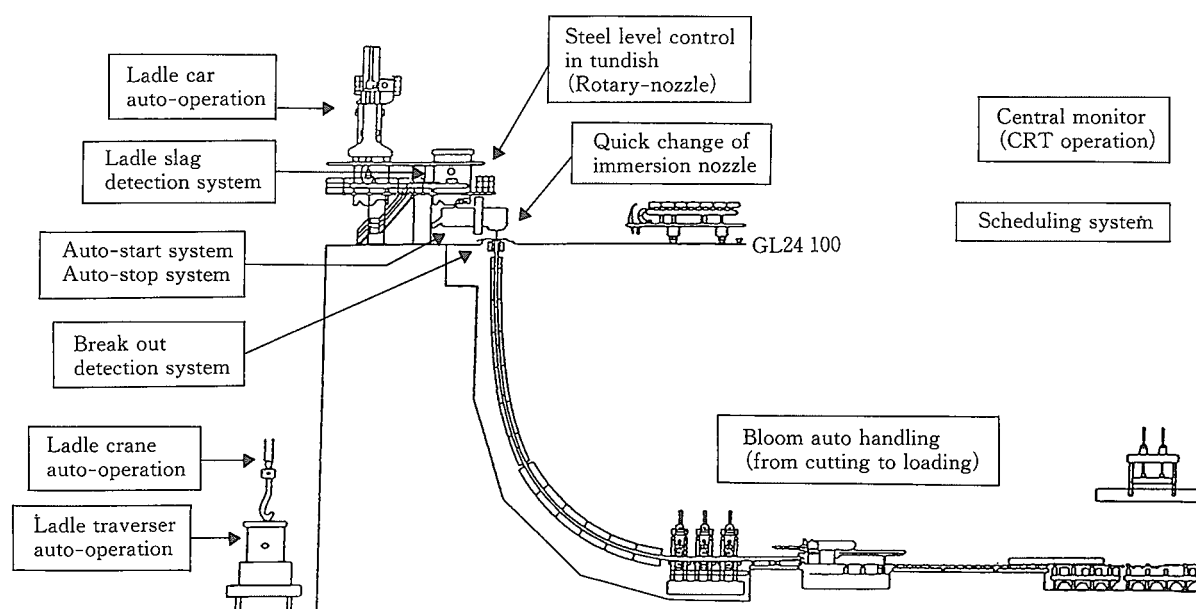
レーン操作を含めた鋳造作業が、4名のオペレータにより可能となった。第14図に鋳造床におけるオペレータ配置を示す。



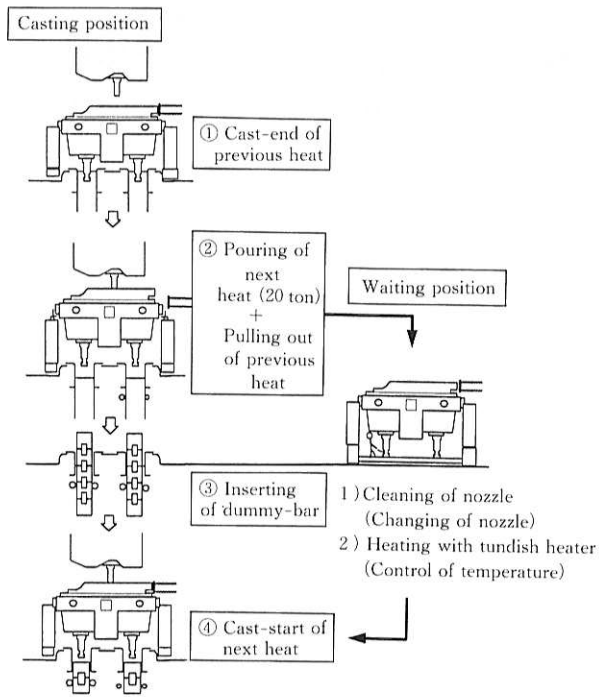
第14図 No.3CC オペレータ配置
Fig.14 Disposition of operators

4-2 異鋼種連々鋳

第15図に操業の一例として異鋼種連々鋳 (KDC) における作業工程を示す。No.3CCでは、タンディッシュヒータを適用することで、KDC作業時間中の溶鋼温度も維持しており、操業・品質の安定化に寄与している。



第13図 No.3CC における自動化設備
Fig.13 Automatic equipment in No.3CC

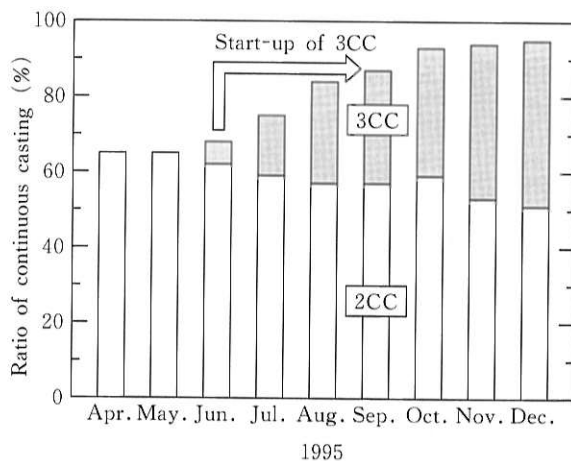


第15図 異鋼種連々鑄概要

Fig.15 Operation process of heats-connection between different grades of steel (KDC)

4-3 連続鑄造比率

第16図に当所製鋼工場における連続鑄造量比率の推移を示す。No.3CCの稼働により、製鋼工場の連続鑄造比率は1995年末で94%に達した。



第16図 連続鑄造比率推移

Fig.16 Change in caster production

5. 結 言

1995年6月に操業を開始した当所新鋭ブルーム連鑄機は、立上り後順調に稼働し、連続鑄造比率の向上に寄与している。また、各種品質向上対策設備により、製品品質向上にも効果を挙げている。



三島健士/Tateshi Mishima

小倉製鉄所 銑鋼部 製鋼工場
参事

(問合せ先: 093(561)8016)

参考文献

- 1) 山中ら; la Revue de Metallurgy-CIT, p.623, 6, 1992
- 2) 山中章裕; Camp-ISIJ Vol. 7, 1994, p.186
- 3) 谷口ら; 鉄と鋼, Vol. 80, 1994, p.24