

# 管材用丸ビレット連鑄機の建設と操業

## Construction and Operation of Round Billet Caster

塚口友一/Yuichi Tsukaguchi・和歌山製鉄所 製鋼技術室 参事補

森啓之輔/Keinosuke Mori・和歌山製鉄所 制御技術室 参事補

南之園信竹/Nobutake Minaminosono・和歌山製鉄所 機械技術室 参事

白石愛明/Aimei Shiraiishi・和歌山製鉄所 製鋼工場 工場長

佐藤光信/Mitsunobu Sato・和歌山製鉄所 製鋼部 部長

### 要 約

和歌山製鉄所リフレッシュ計画の一環として、新シームレスパイプミルの上工程設備であるNo.1 ラウンドビレット連鑄機がH8年7月に稼働を開始し、順調に生産実績を上げている。

No.1 ラウンドビレット連鑄機は、その設計コンセプトである高品質・低コスト・高能率を具現化すべくいくつかの新技术が織り込まれ、シームレスパイプ素材のアズキャスト化(分塊圧延省略)に成果を発揮している。

### Synopsis

As part of the refreshment investment in Wakayama Steel Works, the No.1 Round Billet Caster started operation in July 1996, supplying as-cast billets for the New Seamless Pipe Mill.

The No.1 Round Billet Caster has been providing high quality and low cost billets with high productivity, benefiting from the new technologies applied.

## 1. 緒 言

和歌山製鉄所リフレッシュ計画の一環として、新シームレスパイプミルの上工程設備である No.1 ラウンドビレット連鑄機(以下ラウンド CC)が H8 年 7 月に稼働を開始し、順調に生産実績を上げている<sup>1)</sup>。スラブ CC を改造した従来のラウンド CC に対し、No.1 ラウンド CC は、数多くの高品質・低コスト・高能率化新技术を織り込み、シームレスパイプ素材のアズキャスト(分塊圧延省略)比率引き上げを可能としている。

本報では高品質・低コスト・高能率をコンセプトに建設されたラウンド CC の設備仕様および操業、品質について述べる。

## 2. 設 備

### 2-1 設計コンセプト

設計コンセプトを第1表に示す。No.1 ラウンド CC は、小断面丸ビレットを高品質に安定して高速鑄造できるよう設計されている。

第1表 設計コンセプト

Table 1 Design concept of RCC

Purpose	Item	Contents
High quality	First solidification	Hydraulic oscillator
		Mold EMS
High productivity	Mold level control	Eddy current sensor
		Stepping cylinder for S/G drive
	Secondary cooling	8m zone of mist spray
	Inclusion reduction	Large tundish
Direct charge to seamless mill	Defect free	Billet reject system by casting conditions

不均一凝固しやすいラウンドビレットの凝固均一化を目的に、鋼種や鑄込条件に応じオシレーションストローク変更が自在な油圧駆動オシレータを採用した。スライディングゲート駆動にはステッピングシリンダを採用、渦流式湯面レベル計と組み合わせ、高速鑄造時の湯面レベル制御精度を向上させた。モールド以降には、8 m のミストスプレーゾーンを設け二次冷却の均一化ならびに強化を図った。また、50 t の大型タンディッシュは非金属介在物の浮上促進に有利である。

非稼働時間を短縮するためにモールド・トップゾーンは、3 ストランド一括で交換できる設備とした。プラズマ式タンディッシュヒータは、鑄込温度降下を補償し、小断面モールド操業を安定化させることを目的に導入している。

更に、欠陥鑄片の流出防止のため鑄込条件による品質判定システムを導入し、シームレスミルへのビレット無検査直送を実現した。

上述の種々の新技術導入により、No.1 ラウンド CC は高品質で低コストのビレットを高能率で生産できる設備となった(第1図)。

2-2 設備的特徴

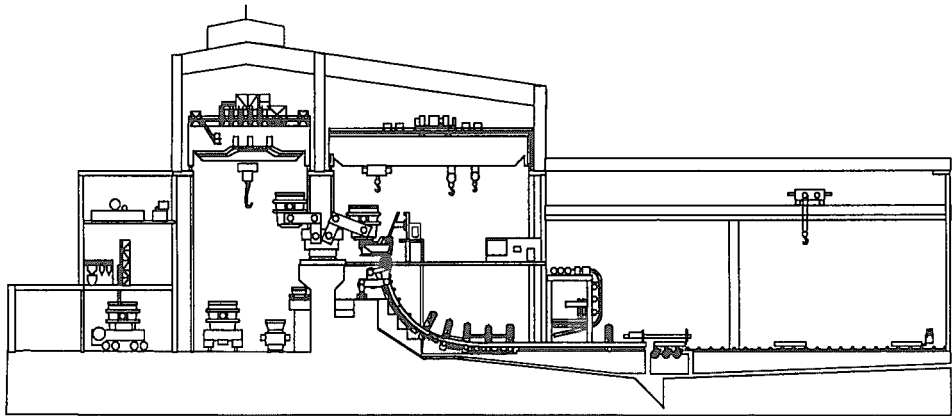
設計コンセプト具現化のため設備仕様を第2表のように決定した。

3. 操業状況

3-1 高能率および高品質対応

3-1-1 オシレーション

オシレーション設備は、鑄造中自由にストロークを変更できる電油アクチュエータ式を採用し、鋼種および鑄造速度に応じた適正なオシレーション条件に調整可能である。ステッピングシリンダ制御は、伝達関数を加味したフィー



第1図 ラウンド CC 設備概観  
Fig.1 General view of RCC

第2表 ラウンド CC 設備仕様  
Table 2 Main specifications of RCC

Item		Specification
Machine type		Curved-multi point bending
Curve radius		10.5m
Number of strands		6
Machine length		41m
Mold size		φ191, φ225, φ310, φ360mm
Dummy bar insert		Bottom
Casting speed		Max. 3.5m/min
Tundish	Capacity	50ton
	Heater	Plasma twin torch
Mold level control	Sensor	Eddy current
	Flow control	Sliding gate with stepping cylinder
Oscillation		Hydraulic oscillator
Secondary cooling	Type	Air-mist spray
	Zone length	8m

ドフォワード制御を主体に、ストロークフィードバック制御を加える手法により、安定したオシレーション波形を得られるものとなった。

#### (1)小径モールド高速鋳造時の亜包晶鋼([C]=0.1%)タテワレ対策

亜包晶鋼は $\delta$ - $\gamma$ 変態量が多いため不均一凝固しやすい。加えて、小径モールド高速鋳造時にはモールド内熱流束が大きいこと、不均一凝固が助長される。不均一凝固に起因するタテワレ対策として、当社ではラウンドCC専用のモールドパウダを自社開発し、モールド内における均一緩冷却化を実現した<sup>2),3),4)</sup>。加えて、オシレーションストロークの短縮を進めた結果、タテワレ疵を完全に抑制することが可能となった(第2図)。オシレーションの下降期にはパウダフィルム内圧力の増大、あるいは肥大したスラグベアの接近により、凝固シェル先端部のモールド接触が悪化する傾向にある。オシレーションのショートストローク化は、シェル先端部のモールド接触を保つ効果を有し、局部的冷却不均一を低減したと考えられる。

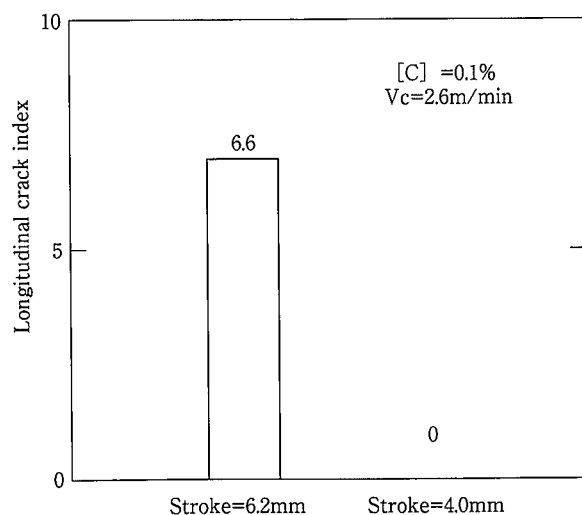
これらタテワレ対策の結果、最小モールド径 $\phi 191$ においては、鋼種にかかわらず3 m/minの高速鋳造が可能となった(第3図)。

#### (2)高炭素鋼([C] $\geq 0.4\%$ )拘束対策

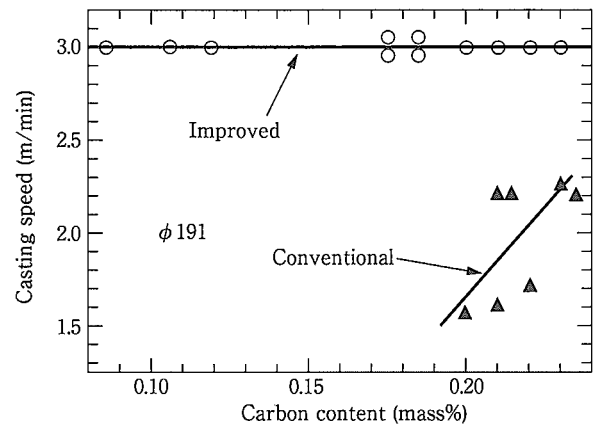
高炭素は凝固収縮量が少ないため潤滑剤である溶融パウダの流入が少なく、鋳造速度上昇時に拘束ブレイクアウトが発生しやすい。高炭素鋼に対してはオシレーションストロークを伸ばすことが、拘束防止に有効であった(第4図)。これは、ロングストローク化によりパウダ流入量・パウダフィルム厚ともに増大した効果と考えられる。

#### (3)表皮下介在物の低減

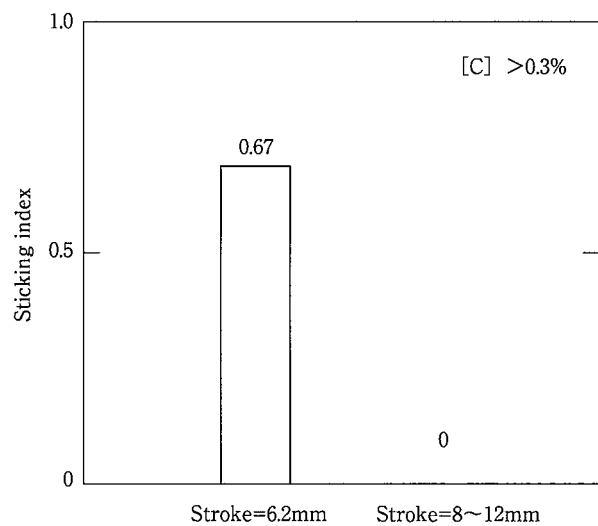
オシレーションストロークは、表皮直下の介在物量に影響を及ぼす(第5図)。これは、凝固シェル先端部の形



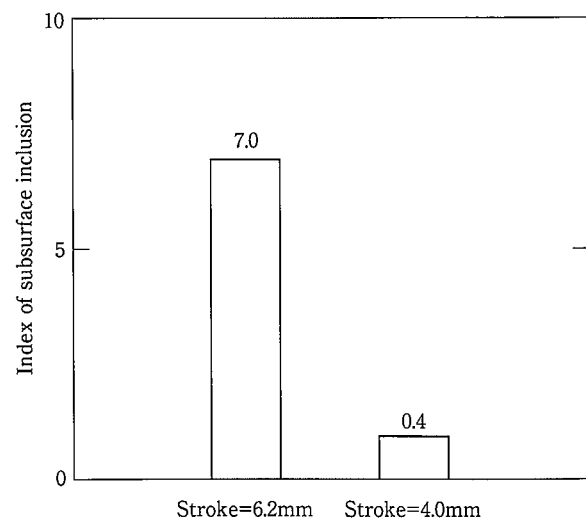
第2図 オシレーションストロークとタテワレ発生率の関係  
Fig.2 Effect of oscillation stroke on longitudinal crack



第3図  $\phi 191$  モールド鋳造速度向上成果  
Fig.3 Effect of improvement on casting speed



第4図 オシレーションストロークと拘束比率の関係  
Fig.4 Effect of oscillation stroke on sticking



第5図 オシレーションストロークと表皮下介在物量の関係  
Fig.5 Effect of oscillation stroke on subsurface inclusion

状がオシレーションの上昇・下降に伴い変化し、凝固シェル近傍での局所的湯面変動を引き起こすことに起因すると考えられる。

表面品質要求レベルの特に高い用途・材質に対しては、ショートストロークオシレーションを適用することにより、湯面を平滑に保ち、表皮下介在物を低減させている。

このように、鑄込材質に応じオシレーション条件を適正に調整することにより、多品種に渡るシームレスパイプ素材を高品質に安定して鑄造することが可能となっている。

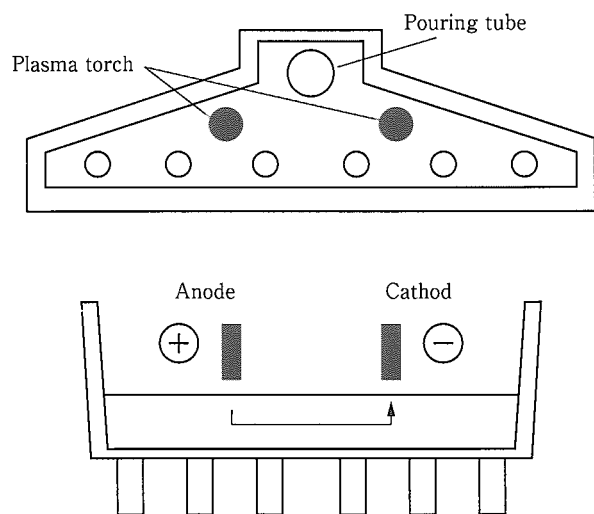
### 3-1-2 タンディッシュプラズマヒータ

ヒータの型式は、ツイン電極方式プラズマヒータ(第6図)である。この方式は、タンディッシュへの対極設備が不要であるためメンテナンスが容易である。

プラズマヒータ投入電力量 400 kW の時、タンディッシュ内温度 10℃ の昇温が可能である(第7図)。トーチ効率は一アーク長 250 mm にて 75% である(第8図)。

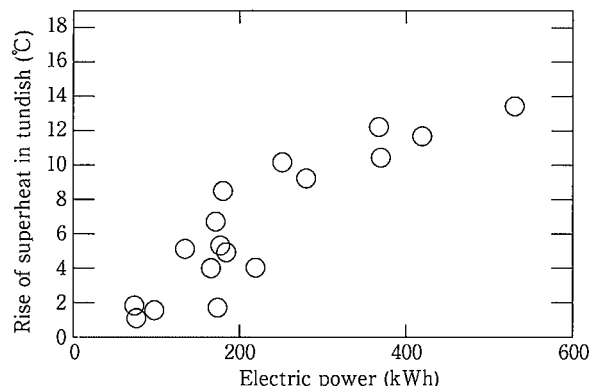
プラズマヒータにより鑄込み末期のタンディッシュ内スーパーヒートの維持が可能となった。典型的なタンディッシュ内温度推移例を第9図に示す。

プラズマヒータの温度補償機能は鑄込トラブル防止に有効であり、ノズルの詰まりやすい小断面モールド操業の安定化に寄与している。



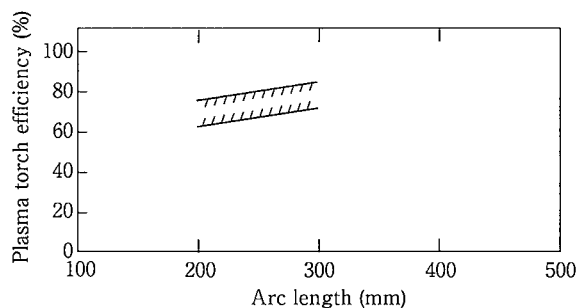
第6図 電極ツイン方式プラズマヒータ

Fig.6 Twin torch plasma heater



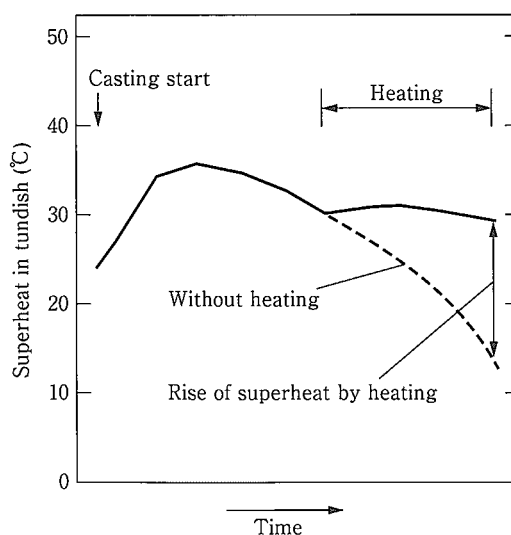
第7図 投入電力量とタンディッシュ内溶鋼温度上昇量の関係

Fig.7 Relationship between electric power and rise of superheat in tundish



第8図 タンディッシュプラズマツイントーチ効率

Fig.8 Efficiency of plasma twin torch



第9図 ヒータ適用時タンディッシュ内スーパーヒート推移

Fig.9 Typical transition of superheat in tundish

## 3-2 自動化および省力化

### 3-2-1 自動化項目

ラウンド CC は全工程において自動化を進め省力を可能としている。第 3 表に主な自動化項目を示す。これらの対策により 6 ストランドマシンでありながら 7 名/シフトを達成している(第 10 図)。

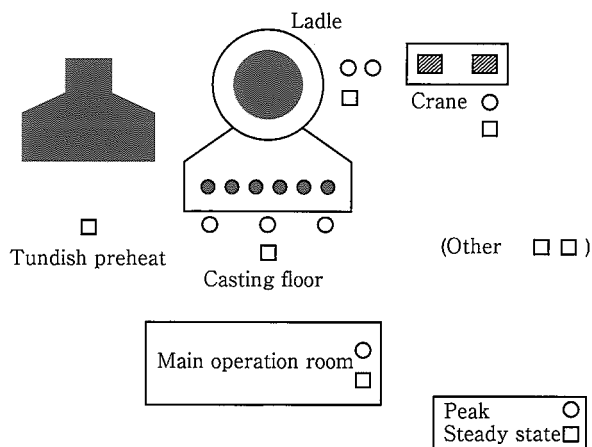
### 3-2-2 オートスタートシステムの開発

ラウンド CC は小径 6 ストランドであるため鑄込スタート作業の難度が高く、当作業の自動化は必要不可欠である。

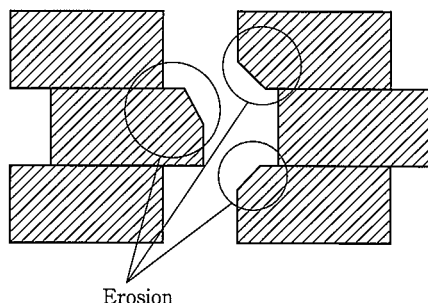
新スライディングゲート使用時には、単純なパターン制御によりオートスタートが可能である。ところが、耐火物コスト低減を目的にスライディングゲートを多数回使用する場合には、摺動面溶損あるいは孔径拡大(第 11 図)状況により溶鋼吐出速度が大きく変動するので(第 12 図)、それに対応したスライディングゲート開度制御が要求される。No.1 ラウンド CC には、モールド埋設熱電対により検知した溶鋼上昇速度をフィードバックし、スライディングゲート開度を補正するシステムを開発し適用した。

第 3 表 自動化および省力化主要項目  
Table 3 Automation of RCC

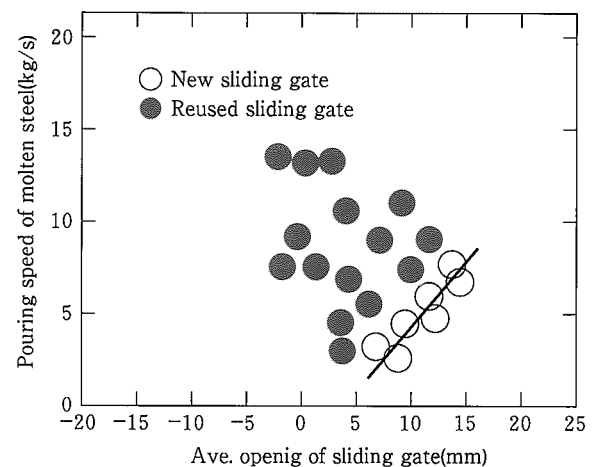
Item		Contents
Automation	Casting start	Automatic casting start with thermo-couples in mold and eddy current sensor
	Casting speed selection	Automatic casting speed selection
	Break out detector	Break out detection system with thermo-couples in mold
Direct charge to seamless pipe mill	Reject system of unqualified billet	Automatic rejection of unqualified billet by casting conditions



第 10 図 要員配置概略図  
Fig.10 Operator disposition



第 11 図 スライディングゲート溶損  
Fig.11 Sliding gate erosion

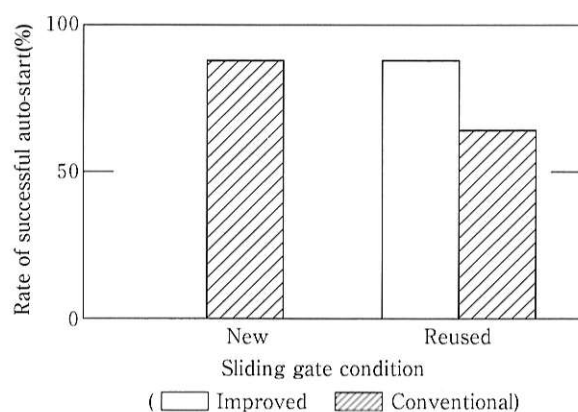


第 12 図 スライディングゲートの状態と溶鋼吐出速度  
Fig.12 Effect of sliding gate reuse on pouring speed fluctuation

第4表 主な品質判定項目

Table 4 Main items for unqualified billet rejection

Casting conditions	Surface quality	Mold level fluctuation
		Heat flux in mold
		Casting speed
	Internal quality	Superheat in tundish
		Secondary cooling spray intensity
		Power of EMS
		Pinchroll pressure
Chemical compositions	Surface quality	[C], [N], [sol. Al], [Nb], [Ti], [Mn], [Si]
	Internal quality	[C], [S], [Ca], [Cr], [B]



第13図 オートスタート成功率

Fig.13 Effect of improved control of sliding gate opening on successful auto-start

その結果、スライディングゲート再使用時にもオートスタート成功率は新スライディングゲート時と同等にまで向上した(第13図)。

### 3-2-3 鑄込条件品質判定

ラウンド CC と直結されるシームレスパイプミルへ無検

査・無手入で供給されるビレットの品質保証を目的に、鑄込条件から品質を判定するシステムを構築した。

判定に用いられる鑄込条件は、モールド内からピンチロールに至る鑄込情報および鋼成分である。判定条件の主なものを第4表に示す。

## 4. 結 言

和歌山製鉄所リフレッシュ計画の一環として、新シームレスパイプミルの上工程設備である No.1 ラウンドビレット連鑄機が建設され、H 8 年 7 月の稼働開始以降、順調に生産実績を上げている。今後は、No.1 ラウンドビレット連鑄機のコセプトである高品質化・低コスト化・高能率化、ならびに、シームレスパイプ用ビレットのアズキャスト化を更に推し進める。



塚口友一/Yuichi Tsukaguchi

和歌山製鉄所  
製鋼技術室 参事補

(問合せ先: 0734(51)1121)

## 参考文献

- 1) 平田ら CAMP-ISIJ Vol.10(1997)-243
- 2) 梅田ら CAMP-ISIJ Vol.7(1994)-302

- 3) 川本ら ISIJ International, Vol.37(1997), No.2, pp.134-139
- 4) 塚口ら CAMP-ISIJ Vol.8(1995)-1013