
高品質・高生産性連続鋳造のための新設備技術

New Process Technology for High-quality and High-productivity Continuous Casting

安川 登(Noboru Yasukawa) 松川 敏胤(Toshitane Matukawa) 市原 晃(Akira Ichihara)

要旨：

川崎製鉄では、千葉製鉄所と水島製鉄所において相次いでスラブ連続鋳造機を建設した。建設にあたっては、両連鋳機ともに高品質・高生産性・省資源を主目的とし、これらを達成するために当社で長年培ってきた設備技術を基本に、新しい技術も積極的に開発・導入した。マシンプロフィールの最適設計により表面品質・内部品質ともに優れたスラブの鋳造および生産性の向上を、タンディッシュのホットリサイクルおよび機器の長寿命化技術により省資源と省エネルギーを、溶鋼供給設備からスラブ搬出設備にいたる各種の自動機器により操業要員の削減を実現した。また、ホットストリップミルへのスラブ搬送にあたっては、搬送台車をはじめとする自動化機器により高温スラブの迅速かつ安定供給を達成することができた。

Synopsis：

Kawasaki Steel recently constructed two new slab continuous casters. In order to realize the concept of high quality, high productivity, reduction of resources and energy consumption, newly developed equipment were introduced based on the process technologies that had been accumulated in Kawasaki Steel for a long time. The new features of the casters are as follows; (1) High quality and high productivity by adequate design of machine profile, (2) Reduction of resources and energy consumption by tundish hot recycle system and the latest equipment technology, (3) High productivity by automated operation, (4) Quick and steady hot slabs supply to hot strip mill by new delivery system.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

New Process Technology for High-quality and High-productivity Continuous Casting



安川 登

Noboru Yasukawa
エンジニアリング事業
本部 環境エンジニア
リング部 主査(部長
補)



松川 敏胤

Toshitane Matsukawa
千葉製鉄所 プロセス
開発部開発設計室 主
査(課長)



市原 晃

Akira Ichihara
川鉄マシンナリー(株) 千
葉事業所プラント建
設部長

要旨

川崎製鉄では、千葉製鉄所と水島製鉄所において相次いでスラブ連続鋳造機を建設した。建設にあたっては、両連鋳機ともに高品質・高生産性・省資源を主目的とし、これらを達成するために当社で長年培ってきた設備技術を基本に、新しい技術も積極的に開発・導入した。マシンプロフィールの最適設計により表面品質・内部品質ともに優れたスラブの鋳造および生産性の向上を、タンディッシュのホットリサイクルおよび機器の長寿命化技術により省資源と省エネルギーを、溶鋼供給設備からスラブ搬出設備にいたる各種の自動機器により操業要員の削減を実現した。また、ホットストリップミルへのスラブ搬送にあたっては、搬送台車をはじめとする自動化機器により高温スラブの迅速かつ安定供給を達成することができた。

Synopsis:

Kawasaki Steel recently constructed two new slab continuous casters. In order to realize the concept of high quality, high productivity, reduction of resources and energy consumption, newly developed equipment were introduced based on the process technologies that had been accumulated in Kawasaki Steel for a long time. The new features of the casters are as follows; (1) High quality and high productivity by adequate design of machine profile, (2) Reduction of resources and energy consumption by tundish hot recycle system and the latest equipment technology, (3) High productivity by automated operation, (4) Quick and steady hot slabs supply to hot strip mill by new delivery system.

1 緒 言

1971年に千葉製鉄所と水島製鉄所にスラブ連鋳機が導入され、千葉製鉄所では1981年の第3連鋳機を最後に、水島製鉄所では1976年の第6連鋳機を最後に、しばらくの間新しい連鋳機の建設はなかった。導入以来、設備がスラブ品質に及ぼす影響を解明し、これらの連鋳機にさまざまな改善を施してきた。また、製品の品質保証のため設備の信頼性向上とメンテナンス性の向上をはかってきた。しかし、最近の品質・納期等の要求に既存連鋳機の改造ではもはや十分に応えることが難しくなってきた。そこで、これまでに培ってきた設備技術をいかし、さらに新たな技術を開発して品質・設備信頼性・作業性に優れた連鋳機を両製鉄所に建設した¹⁾。また、千葉と水島の新連鋳機で鋳造される鋼種の違いを考慮してそれぞれに最適となるよう設計した。

本報では、これらの特徴的な設備技術について述べる。

2 連鋳機設計の考え方と導入設備

連鋳機の建設にあたっては、高生産性・高品質の達成、省資源・省エネルギー、連鋳機からホットストリップミルへのスラブ物流の

簡素化が主要な目的となる。当社が最近建設した千葉製鉄所第4連続鋳造機(以下千葉4CCという)と水島製鉄所第4連続鋳造機(以下水島4CCという)においては、鋳造鋼種が前者はステンレス鋼と高炭素鋼、後者は低炭素鋼と中炭素鋼と異なるもののスラブ連鋳設備としての基本コンセプトは同一であり、それを実現するために種々の設備を開発・導入した。建設のコンセプトと導入した設備をFig.1に示す。

これらのうち新たに開発・導入した設備を以下に示す。

(1) タンディッシュから排出した残鋼用ポットの全自動ハンドリング装置

(2) ベアリング潤滑へのオイルエア設備の全面採用

(3) 自己操舵式高速スラブ搬送台車

一方、従来の技術をさらに発展させて適用した設備を以下に示す。

(1) マシンプロフィール最適設計によるロール設備

(2) モールド交換作業の遠隔操作対応設備

(3) レードル周辺機器の集中操作対応設備

設備の検討にあたっては、建設のコンセプトを設備のコンセプトに展開して設計指針とした。たとえば、鋳床機器の自動化にあたっては、「必要なものが必要な時にモールド(またはレードル)にアプローチできる設備レイアウトの達成」という目標を設定し設備を設計した。

*平成8年2月19日原稿受付

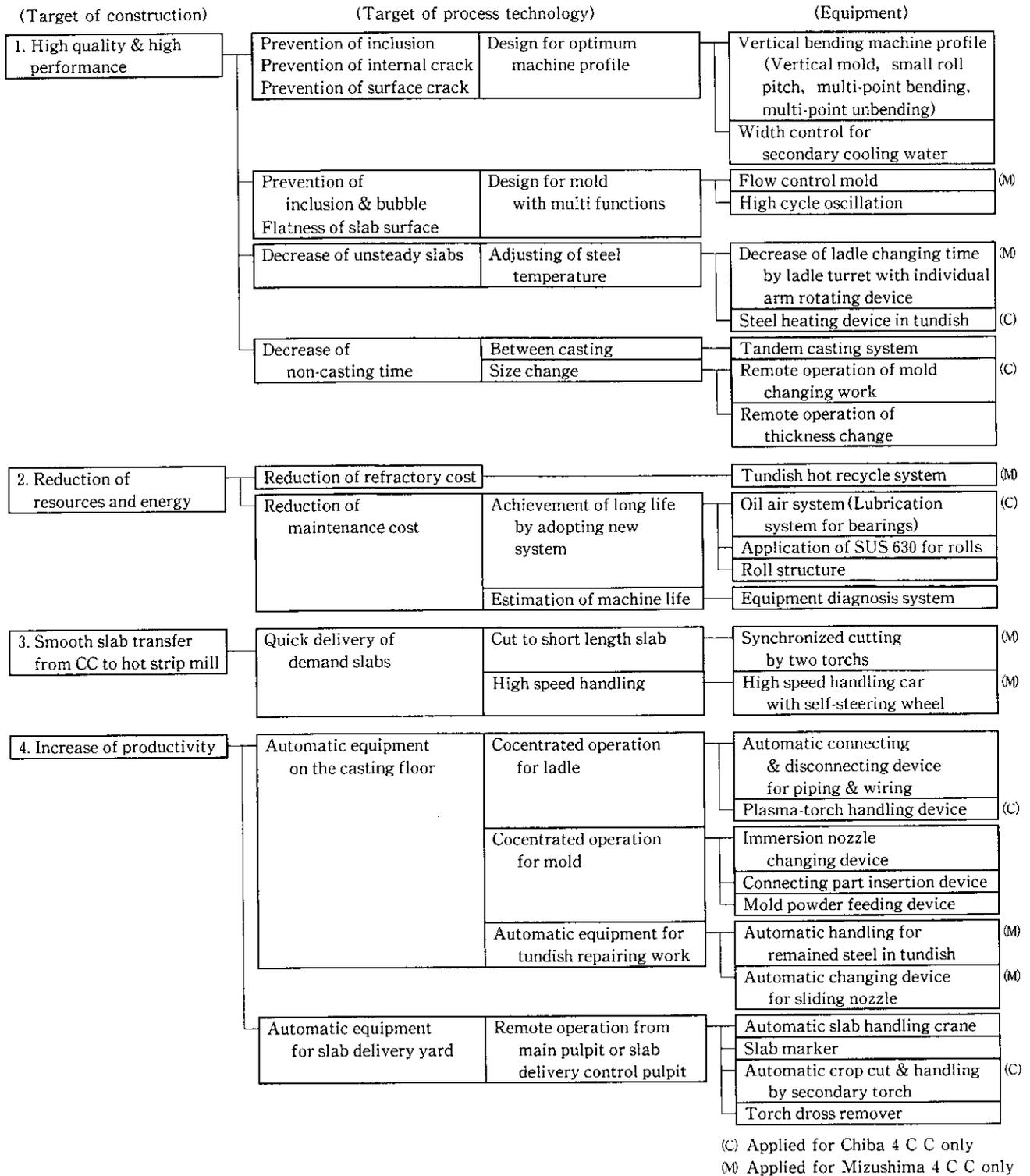


Fig. 1 Construction concept and equipment technology

3 開発・導入された設備

3.1 スラブ連続機におけるマシンプロフィール

3.1.1 マシンプロフィールの設計思想

非金属介在物と気泡の浮上分離を容易にするためスルーポットに
応じて 2.5~3.0 m の垂直部を有する未凝固曲げ型を採用した。さら

に、高温で表面割れと内部割れのない鑄片を製造でき、同時にロー
ルやベアリング等の設備の長寿命化と高信頼性を達成するため Fig.
2 に示す設計手順にしたがってマシンプロフィールを決定した。

まず、各鋼種ごとに目標速度で鋳造する際の鑄片温度を、2 次元
前進差分法による凝固シミュレーションプログラムを用いて解析し
た^{5,6)}。このプログラムでは、表面境界条件がスプレー直接冷却域、
間接冷却域、ロール冷却および放冷域に分けて構成されており、補
正係数を使うことなく精度よく鑄片温度を推定できる。次に、内部

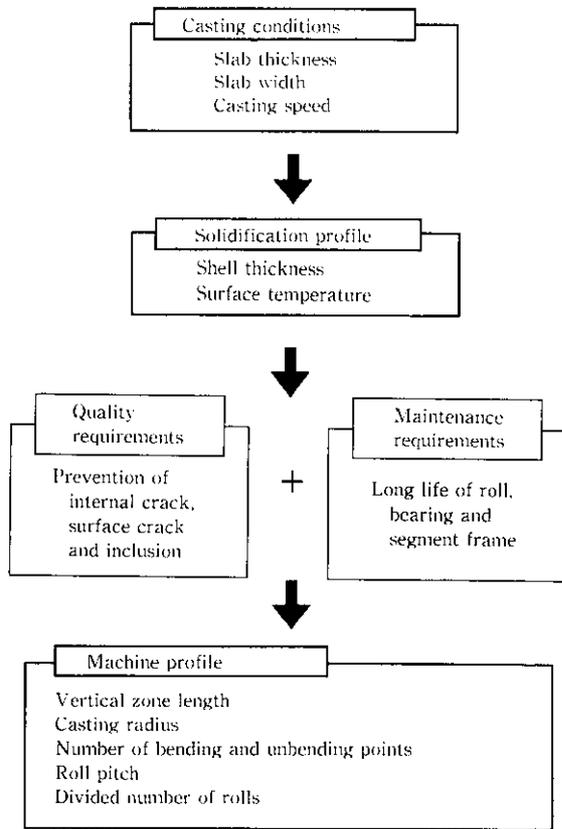


Fig. 2 Design flow of machine profile

割れの防止のためバルジング、曲げ矯正およびミスアライメントによって凝固界面に発生する歪みの総和が当社の知見の限界歪み以内になるように曲げ矯正点数、湾曲半径、ロールピッチの満たすべき条件を求めた。なお、許容限界歪みは、鋼種ごとに求められており、凝固の進行に伴って徐々に減少する値をとる。

ロールピッチは、狭ければ狭いほど、ミスアライメントによる歪みは大きくなるものの歪みの総和は小さくなり品質的に有利となる。一方、ロールピッチが広くなると静鉄圧による負荷の増大に比較してロールとベアリングの強度アップの方が大きくロールの長寿命化

にとって有利となる。そこで、両方の条件を満足するようロールピッチとロール幅方向分割数を決定した。

3.1.2 水島4CCのマシンプロフィール

水島4CCに採用したロールピッチを Fig. 3 に示す。ロールピッチの上限は、低炭素鋼を 2.5 m/min、中炭素鋼を 1.8 m/min で鋳造するために品質上満足すべき値から決定される。また、ロールピッチの下限は、スラブ幅 1900 mm のもとで、千鳥配置 2 分割ロールのロールとベアリングが強度上満足すべき値から決定される。ロールを幅方向 3 分割にすれば、さらにロールピッチを狭くすることが可能であるが、コストの増加とロールのアライメント管理がより複雑な作業を伴う欠点を考慮し、2 分割方式を採用した。さらに、非定常バルジングによる湯面変動防止を考慮して、矯正点までのセグメントは同一ロールピッチを最大 2 セグメントまでとした。

以下、機械的要因から決まるロールピッチの決定方法について少し詳しく述べる。

ロールは通常ネック部が機械的強度の最弱部位となり、作用頻度を考慮し鋳片のトップとボトムが通過する時の負荷に基いて設計される。この条件から決まるロールピッチを Fig. 4 に示した。メニスカスからの距離に応じて限界ロールピッチが大きくなるのは下流の方が鋳片温度が低くロール間を通過するときの反力が大きくなるた

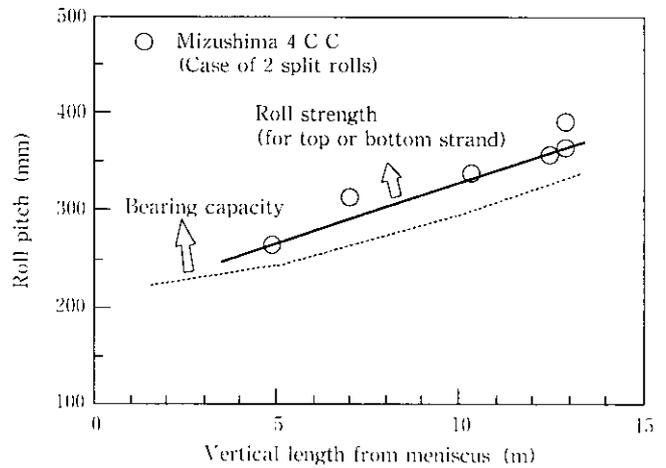


Fig. 4 Roll pitch required by machine life

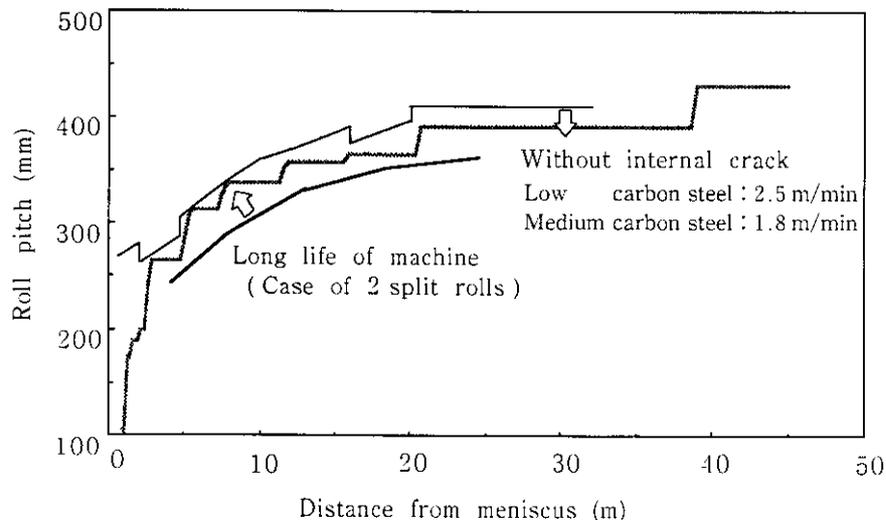


Fig. 3 Roll pitch of Mizushima 4CC

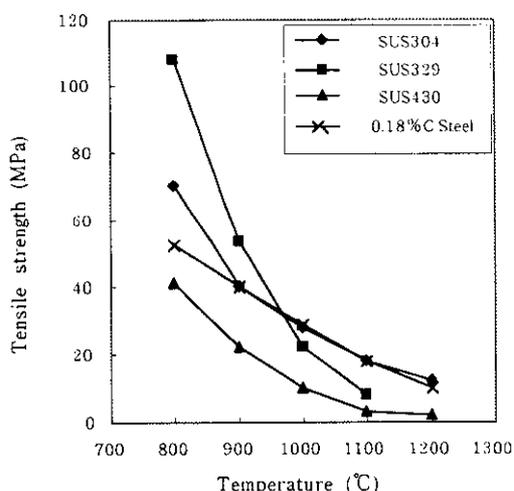


Fig. 5 Temperature dependence of tensile strength for steel grade (Strain rate: 10^{-4} /sec)

めである。また、ベアリングの寿命よりロールピッチが満たすべき範囲を Fig. 4 に合わせて示した。なお、Fig. 4 の結果は、ロールネット径はロール径の 0.5、2 次冷却ノズル設置のためロール間隔は 30 mm と仮定して計算したものであり、実際には最適化処理をして Fig. 3 に示すよう決定した。

以上の考え方によってマシンプロフィールを決定した水島 4 C C では、高速鋳造においても品質上問題なく、また設備の長寿命化も達成している。

3.1.3 千葉 4 C C のマシンプロフィール

千葉 4 C C においては、第 4 製鋼工場で精錬されるステンレス鋼・高炭素鋼だけでなく、隣接する第 3 製鋼工場で精錬される低炭素鋼・極低炭素鋼も鋳造可能なようにマシンプロフィールを設計した。すなわち高温強度の低い鋼種から高い鋼種までを鋳造対象としている。Fig. 5 に千葉 4 C C で鋳造する鋼種の代表的な高温強度を示す。SUS 304 においては鋳片温度 900°C で 20 MPa、SUS 329 においては

55 MPa と広範囲にわたっている。高温強度の低い鋼種に対してはバルジングによる歪みを極力抑止すべく小径ロールしたがって小ロールピッチをを採用する必要がある、一方高温強度の高い鋼種に対しては非定常部がマシン内を通過する時にロールに作用する荷重に耐えうようできる限り大径のロールを採用しなければならない。このような相反する条件を満足するよう前述の設計手順に従ってマシンプロフィールを決定した。

3.2 全自動タンディッシュホットリサイクル設備

水島 4 C C は、タンディッシュ (以下 T/D と記す) 耐火物の使用量削減のために、鋳造後に T/D を 90°傾転させて残鋼を排出し、再び鋳造に使用するホットリサイクル方式を採用した⁹⁾。本プロセスでは以下の 2 設備を開発・導入した。

- (1) 鋳造床において、スライディングノズル (以下 S/N と記す) の耐火物を迅速に自動で交換する設備
- (2) T/D より排出された残鋼を凝固させた後、搬送トラックまで自動で搬出する設備

S/N 耐火物のオンライン交換は、以下の手順で、他方の T/D が鋳造期間中の 30 min 以内に完了できる。

- (1) T/D から浸漬ノズルをはずす。
- (2) T/D を傾転し、残鋼滓を排出する。
- (3) S/N ノズルを酸素で洗浄する。
- (4) S/N 耐火物を交換する。
- (5) T/D を水平にもどして、浸漬ノズルをセットする。

なお、S/N は交換に有利なよう新規に開発したものであり順調に稼動している。

本プロセスは Fig. 6 に示すように鋳造床に T/D 傾転台車と S/N 耐火物交換装置を配置し、残鋼を受けるポットの昇降装置、そのポットを荷台横まで移送する台車、さらにポットを傾動して荷台に残鋼を排出する装置によって構成される。残鋼を受けるポットは、凝固性能と長寿命化に加えて既存のスラグ用ダンプカーで搬送出来るよう設計した。残鋼搬出装置は完全自動操作が達成されているため、操作室からは ITV による監視だけを行っている。

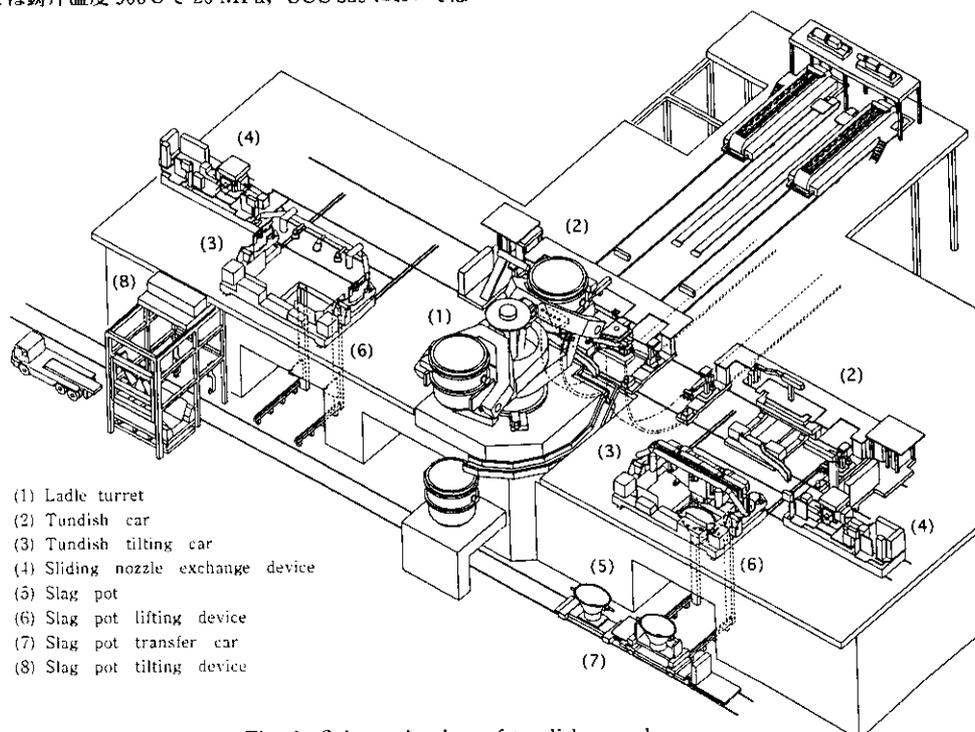


Fig. 6 Schematic view of tundish recycle process

Procedure	Time [min]		Automation
1, Mold cover open	1		○
2, Disconnect mold tightening device	1		○
3, Disconnect pipe & wire connecting device	1.5		○
4, Set crane hunger for used mold	3		
5, Remove used mold (by No.1 crane)	7		
6, Set new mold (by No.2 crane)	9		
7, Remove hunger for new mold	1		
8, Fasten pipe & wire connecting device	1.5		○
9, Fasten mold tightening device	1		○
10, Mold cover close	1		○
Total time	19		

Fig. 7 Time table for mold changing

3.3 迅速サイズ替え技術

千葉4CCにおいては高炭素鋼の鋳造厚みが260mm、ステンレス鋼の鋳造厚みが200mmと異なるため、それぞれの鋼種の鋳造チャンスにあわせてモールドの厚みを変更しなければならない。モールドの厚みを変更する手段としてモールドを交換する方式とオンラインで短片を交換する方式がある。通常モールドを交換するためには、モールドカバーの着脱、油圧・グリースなどの配管の着脱、動力線・信号線などの配線の着脱、モールドのフレームへの締結など付帯作業に多くの時間を必要としてきた。一方、オンラインで短片を交換する方式は、まだ技術が確立されておらず、鋳床上の作業が残ること、機構が複雑になること、短片交換時の精度の確保に時間を要することなど不確定な要素が懸念された。方式の決定にあたっては両方式を比較検討した結果、付属作業を自動化することにより19minで交換作業がおこなえることが明らかになりモールド交換方式を採用した。Fig. 7にクレーンを2台使用する場合のモールド交換作業のタイムチャートを示す。本方式の採用によりオペレーターの作業負担が軽減しかつ短片交換方式と同等のサイズ替え時間を達成することができた。

3.4 スラブ連続鋳機におけるロール構造

3.4.1 ロール構造の考え方

水島4CCでは、ロール分割数はロール強度の問題から2分割を採用した。分割ロールでは特に中央部軸受が重荷重および水やスケールの悪環境下で使用されるため従来から比較的短寿命である場合が多い。そこで今回はロール径で決まる制約スペース内で特に中央軸受の長寿命化をはかった⁹⁾。

連続鋳機のロール軸受には次の機能が要求される。

- (1) 高荷重、極低速条件での耐久性
- (2) 水、スケール侵入防止性能
- (3) ロールのたわみに対する調芯性とロール熱膨張吸収機能
- (4) 軸受の十分な冷却

そこで、軸受選定に当り負荷容量については以下の点を条件とした。

- (1) 静鉄圧相当荷重に対する軸受静負荷容量比で4.5以上
- (2) 非定常スラブ温度を600℃として矯正反力に対する軸受静負荷容量比を1以上

また自由側軸受を球面座付円筒コロ軸受とし、ロールの熱膨張ならびにスラブの蛇行によるスラスト荷重の吸収を容易にした。軸受幅は中央軸受によるスラブ不支持部がロールピッチを超えない範囲で可能な限り広幅を採用した。軸受の配置は駆動ロールはスラブ左右のトルクバランスから中央分割とし、非駆動ロールはスラブ不支持部が連続しないようにするとともに駆動ロール軸受による不支持範囲とも重ならないよう中央軸受を交互配列とした。さらに従来は中央軸受を固定側としていたが、本機では端部を固定側とすることにより中央軸受はラジアル荷重のみを負担することとし、負荷分散による中央軸受の長寿命化をはかった。固定側に使用している自動調芯ころ軸受はころの直径が長さ方向で異なるためFig. 8に示すように長手方向で周速が異なり、すべりを生じてその部分の摩耗が進行する。また、すべりのない点で2箇所存在するが、この部分は周辺の摩耗進行に伴い凸部となり応力集中による表皮下の疲労割離が発生しやすくなる。従って本機ではラジアル荷重の大きい中央軸受を円筒ころ化することにより周速差による上記問題点も同時に解消

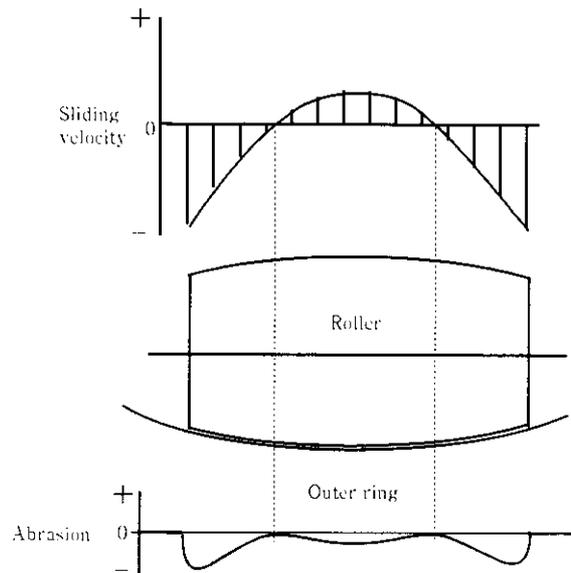


Fig. 8 Sliding velocity and abrasion between a roller and an outer ring of spherical roller bearing

することができた。また、千葉4CCでも同様の考え方を採用している。

3.4.2 ベアリング潤滑におけるオイルエアシステム

従来、連鑄機のベアリング潤滑にはグリースが用いられてきた。一方、圧延機のロールネック軸受け用潤滑においてはヨーロッパを中心にオイル潤滑が採用されるようになってきた。スラブ連鑄機においても欧米でオイル潤滑のテストが行われてきたが連鑄機に全面採用するには至っていなかった。千葉4CCの建設にあたっては、千葉・水島での実験における実験およびシミュレーターによるオイルの均等分配などの要素技術確認実験により新連鑄機への全面採用が可能と判断した。本連鑄機に採用したオイル潤滑システムは「オイルエア潤滑¹⁰⁾」と呼ばれる方式で、圧縮空気の管路に潤滑油を滴下し液状のまま管路内壁を連続的に潤滑点まで搬送させる集中潤滑方式の一種である。Fig. 9にオイルエア潤滑方式のシステム構成図を示す。

本方式の特長と期待される効果を以下に示す。

- (1) 軸受け箱内が搬送空気により正圧に保たれているため、水・蒸気・異物の侵入を防止しベアリングの劣化・破損を防止できる。
- (2) 2次冷却水に混入したオイルはグリースに比較し分離回収が容易で2次冷却水の水質を維持しノズル詰まりを防止できる。
- (3) 軸受け箱外に流出したオイルは2次冷却水で洗い流され機器に付着せずチャンパー内をクリーンに保ち、機器点検などのチャンパー内作業の安全をはかることができる。
- (4) ロールの分解・組み立て時に廃グリースの洗浄・廃棄処理が不要でクリーンなメンテナンス環境を達成できる。
- (5) すべての排油配管に圧力センサーを設置し軸受け箱内圧力をモニタリングすることにより潤滑油の供給システムの状態を中央操作室から常時監視することができる。

このような多くの長所とともに、低速回転域でのオイル潤滑の優位性も考えられ、連鑄機における新しいベアリング潤滑システムとして期待される。

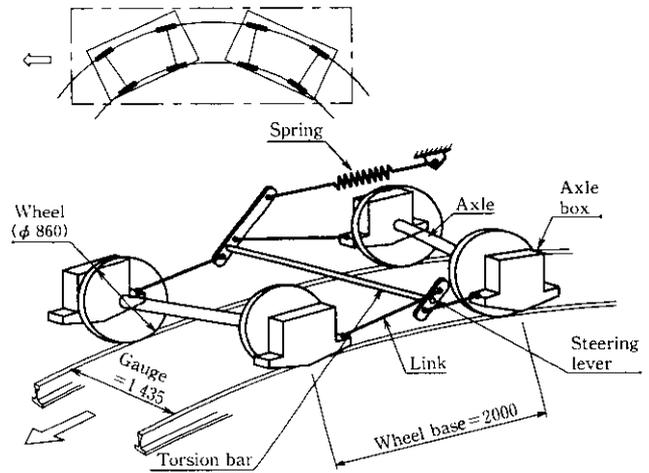


Fig. 10 Schematic drawing of self-steering bogie

3.5 自己操舵式高速搬送台車(D-liner)

水島4CCで鋳造されたスラブは、高速の専用台車で熱延工場まで搬送される¹¹⁻¹³⁾。この新連鑄機と熱延工場間で、あたかも1ラインのごとく結びついた同期化操業を達成するためには、高速安定走行時の高い信頼性と長寿命が要求される。しかしながら、両工場を結ぶ線路は既存設備との位置関係から曲率半径が110~300mと小さくならざるを得ず、直線の割合も67%と非常に低い。

このレイアウトに、一般の固定軸ボギー方式の台車を適用すると、走行時にレールと車輪間に過大な横力が発生し、これらの損耗が激しく工程的運用に耐えられないことが分かった。そこで、従来のボギー方式の欠点を解消し、レールの曲率に応じて車軸を旋回させる自己操舵方式を開発した。その構造はFig. 10に示すシンプルなトーションバー方式である。

本方式では、車輪の転がり方向と進行方向が常に一致するよう自動的にステアリングされるため、安定した曲線走行が可能になりレ

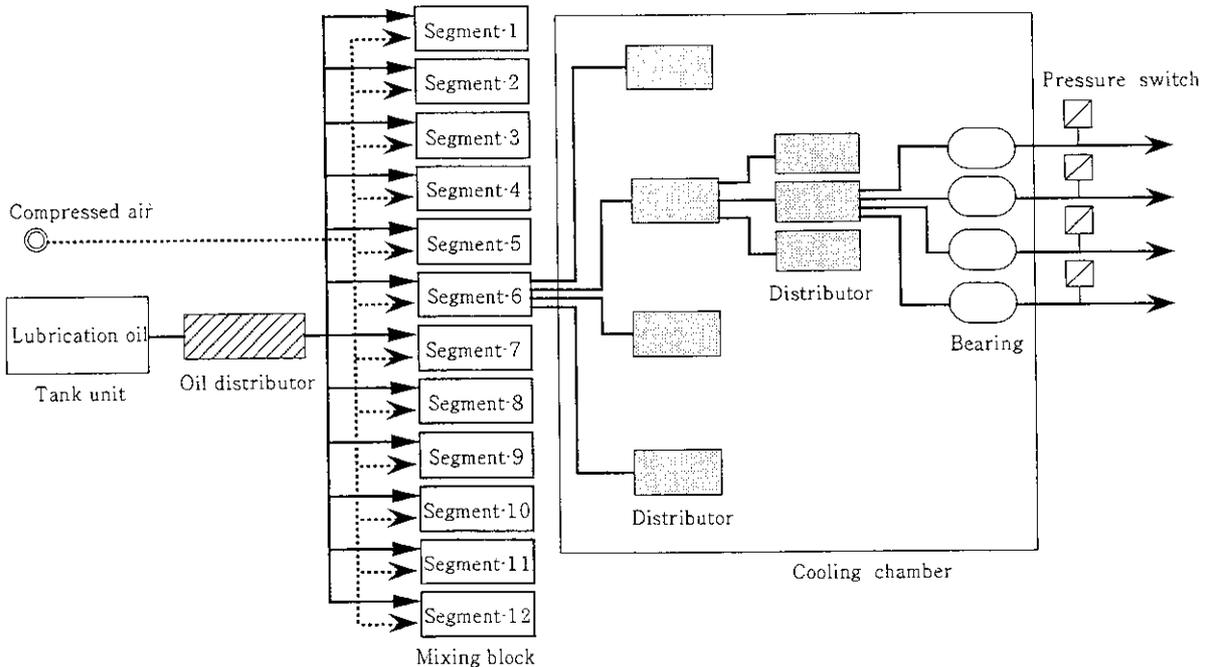


Fig. 9 Schematic drawing of oil air system

Table 1 Effect of self-steering bogie

	Conventional bogie	Self-steering bogie
Slab weight (kg)	50×10 ³	
Velocity (km/h)	30	
Radius of curvature (m)	110~300	
Ratio of straight section (%)	67	
Lateral force, R=140 m (N)	11×10 ⁴	4×10 ⁴
Maintenance frequency	1.0(Base)	0.4

ール等の摩擦も少なくなった。Table 1に140 m半径での横力の実績を比較して示しているが、従来方式に比べて36%に低減し、メンテナンス周期は2.5倍に延びた。

4 結 言

当社において建設された新連鋳機に新しく導入された設備とその基本的な考え方について述べた。これらの設備は建設のコンセプトである高生産性・高品質・省エネルギーのために大きく貢献している。今後もさらなる設備総合効率の向上と品質の向上にむけて新しい設備技術を開発し連鋳機に導入することになろう。

参 考 文 献

- 1) 馬田 一, 松川敏胤, 後藤信孝, 櫛田宏一, 松井功夫, 油原 晋: 材料とプロセス, 6(1993)4, 1114
- 2) 山崎久生, 蓮沼純一, 日和佐章一, 山本武美, 橋 林三, 戸澤宏一: 材料とプロセス, 6(1993)4, 1115
- 3) 杉澤元達, 小倉 滋, 安川 登, 茨木通雄, 桜井美弦: 材料とプロセス, 8(1995)1, 275
- 4) 高土昌輝, 民田彰輝, 持田哲男, 三木祐司, 糸山啓司: 材料とプロセス, 8(1995)4, 1039
- 5) 松川敏胤, 油原 晋, 小島信司, 藤山寿郎, 宮川昌治: 川崎製鉄技報, 19(1987)1, 7-11
- 6) 田玉智明, 田村 望, 小倉 滋, 安川 登: 材料とプロセス, 8(1995)4, 953
- 7) 小島信司, 松川敏胤, 児玉正範: 川崎製鉄技報, 13(1980)3, 101-109
- 8) 油原 晋, 松川敏胤, 馬田 一, 横川 浩: 材料とプロセス, 7(1994)4, 1204
- 9) 赤崎琢也, 後藤信孝: 材料とプロセス, 9(1996)1, 363
- 10) 佐藤幸夫, 伊藤正夫, 矢野 清: NSK Technical Journal, 659(1995), 1-7
- 11) 内田秀史, 菊川裕幸, 石川幸蔵, 頭山 奨, 松川敏胤, 岡本浩志: 材料とプロセス, 6(1993)5, 1427
- 12) 岡本浩志, 松川敏胤, 菊川裕幸, 小西敏弘, 内田秀史, 頭山 奨: 材料とプロセス, 6(1993)5, 1428
- 13) 頭山 奨, 石川幸蔵, 内田秀史, 菊川裕幸, 小西敏弘, 三苦義徳: 材料とプロセス, 6(1993)5, 1429