


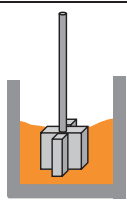
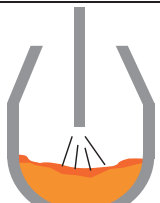
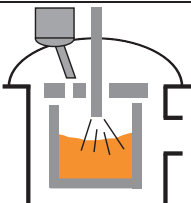
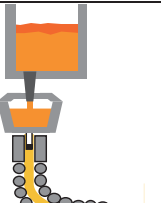
	EAF	KR	LD	VOD	CC
工程					
t/heat	160t×2基	80t	80t	80t	80t
役割	溶解	脱硫	粗脱炭・粗成分調整	最終脱炭・成分調整	铸造
稼働形態	2/2基運転	1基運転	1/2基運転	2ベッセル/ 2真空系統	1基運転
増強内容	助燃バーナー 導入		上吹酸素 流量増加	真空設備 更新・増強	新CC導入 (既設CC休止)

図1 周南製鋼所 製鋼プロセスと能力増強内容

Fig. 1 Steelmaking process and items for production capacity improvement in Shunan Works.

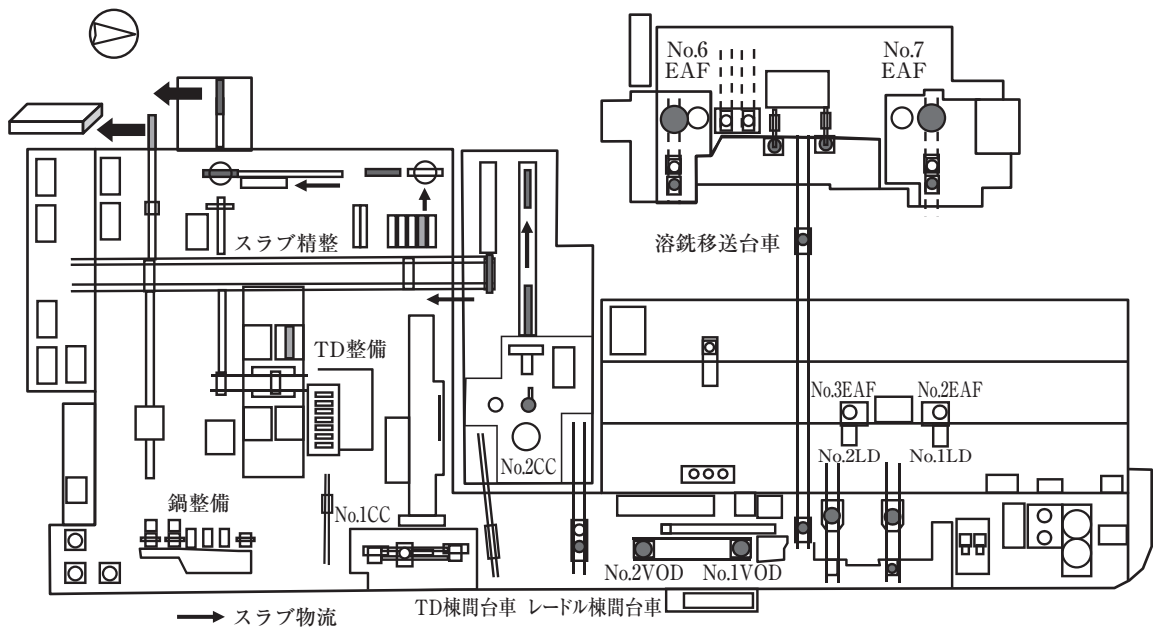


図2 製鋼工場レイアウト

Fig. 2 Layout of steelmaking shop.

ずに行えるようにした。

図3に建設工程を示す。建設にあたっては、2012年4

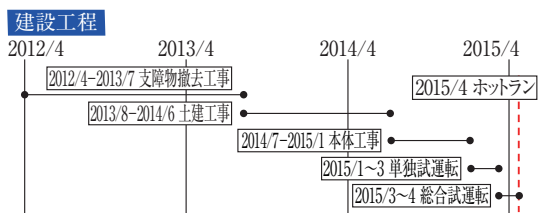


図3 建設工程

Fig. 3 Construction schedule.

月から2CCを建設する場所の支障物撤去工事を行い、その後、2013年8月から2CC建設基礎部の土建工事を行った。本体工事は2014年7月から2015年1月の間で行い、試運転を行った後、2015年4月からホットランを開始した。

3. 2CC設備概要

3.1 基本仕様

2CC铸造床のレイアウトを図4に示す。安全性向上策

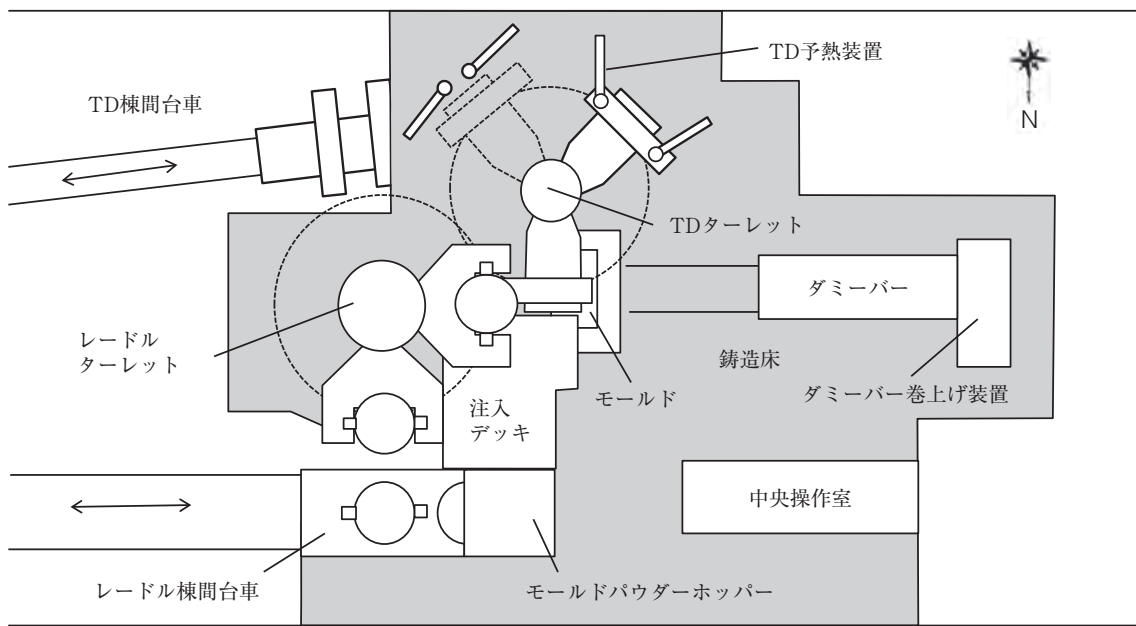


図4 铸造床レイアウト

Fig. 4 Layout of casting floor.

として、2CCはレードルターレットとTDターレットを採用することによりレードルおよびTDの動線と作業者

の動線を分けた。また、TDターレットは省スペースでも配置可能である。1CCと2CCの主設備仕様を表1、2CCの

表1 1CCと2CCの主設備仕様

Table 1 Main specifications of No.1CC and No.2CC

	項目	1 C C	2 C C	備考
主仕様	ヒートサイズ	80t	同左	
	型式	湾曲型	垂直曲げ型	
	ストランド数	1基	1基	
	垂直部長さ	-	2.4m	
	最小曲げ半径	10.5m	9.6m	
	上部曲げ / 下部矯正	- / 1点曲げ戻し	9点曲げ / 10点曲げ戻し	
	機長	19.1m	25.8m	铸造速度アップへの対応
主要機器	取鋼支持	スタンド方式	ターレット方式	
	TD移送	カー方式	ターレット方式	省スペースへの対応
	スラグ検知装置	あり	同左	
	TD	16t	同左 (既設流用)	
	ダミーバー	下方挿入	上方挿入	準備時間短縮化
	モールド	700mm	900mm	
	セグメント	1本ロール(分割なし)	分割ロール	ロール・軸受強度アップ対応 (5ftスラブ幅対応)
	2次冷却装置	気水冷却	気水冷却, スプレー幅切	スラブコーナー過冷防止
	ロングノズル着脱装置	あり	同左	
	TDパウダー投入装置	なし	あり	
付帯設備	レードル棟間台車	-	あり	
	TD棟間台車	-	あり	
スラブサイズ	厚み	200mm	150~300mm	
	幅	700~1380mm	700~1,650mm	
	長さ	5,000~9,300mm	5,000~13,100mm	
	重量	max20t	max30t	

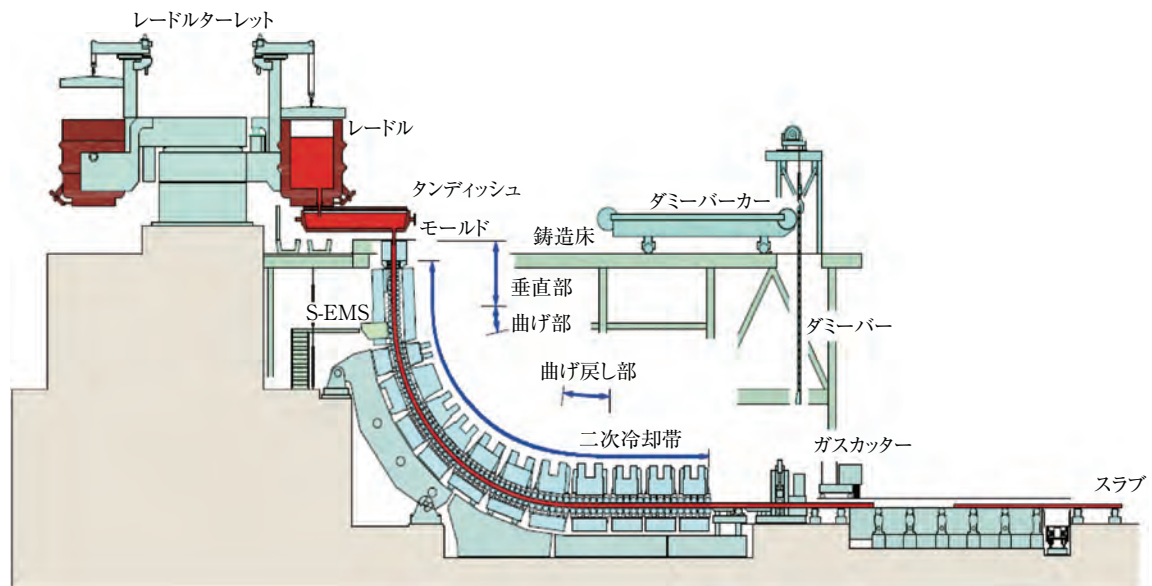


図5 2CCの側面図
Fig. 5 Side view of No.2CC machine lay-out.

側面図を図5に示す。本設備の主な特徴は以下の通りである。

(1) 小ロット多品種生産と高生産性の両立

2CCは年間80万tの粗鋼能力を達成するために、本機的设计には1CCで調査したSUS304の凝固係数 $k=25.7^{1)}$ を用い、SUS304の最高铸造速度1.60m/min時に凝固完了できるように機長を25.8mとした。さらに、ダミーバー(以下DBと称す)は1CCの下方挿入方式に対し、上方挿入方式を採用し、非铸造時の準備時間を短縮することにより、多品種生産に対応できるようにした。

(2) 介在物、気泡欠陥の低減

製鋼において、製品欠陥の原因となる介在物および気泡の浮上分離促進を目的に、垂直部の長さ²⁾が2.4mの垂直曲げ型方式を採用した。また、当社の製品には割れ感受性が高い鋼種があるため、上部曲げ部の曲げ応力によって生じる歪みによる铸片割れが懸念された。そこで、割れ感受性が高い鋼種の割れ限界歪み量に対し、铸造により生じる歪み量がそれ以下となるようにロールプロフィール設計へ反映させた。また、品質向上のため、ロングノズル着脱装置とTDパウダー自動投入装置を導入した。

(3) スラブ大単重化への対応

2CC建設により衣浦製造所の製鋼工程へのスラブを全量周南から供給することが必要となった。これまで、衣浦製造所で製造していたスラブサイズと同等とするため、スラブ幅は最大5ft、スラブ長さは最大

で13.1m、スラブ重量は最大30tまでを製造可能とした。

3.2 システム構成

2CCのシステム構成図を図6に示す。本システムは、スケジュール管理および実績収集を行う上位プロコンを中心とし、下位には本体の稼動とスラブ搬送をつかさどる専用のProgrammable Logic Controller(以下PLCと称す)で構成されている。ネットワーク・主幹PLC・プロコンの2重化に加え、コンバータも2重化した構成としている。ピンチロール(以下PRと称する)はインバータ容量に余裕を持たせ、PR駆動装置1台故障時でも残りのPRにより铸造を継続可能とした。また、プロコン故障時でもHuman Machine Interface(HMI)に必要最低限のプロコン機能を持たせることで電気・計装(EI)のみの操業を可能とした。非常時のシステムとして、搬送主幹PLCに本体主幹PLCの必要最低限の機能を持たせた。これにより、本体主幹PLCのデュアルダウン時でも、搬送主幹PLCのみでスラブの引抜きを可能とし、設備停止を最小限に留めることができる。

4. 操業概要

4.1 立上げ概要

2CC立上げからの生産量指数推移を図7に示す。2CCは、2015年4月20日より操業確立、品質確認および作業

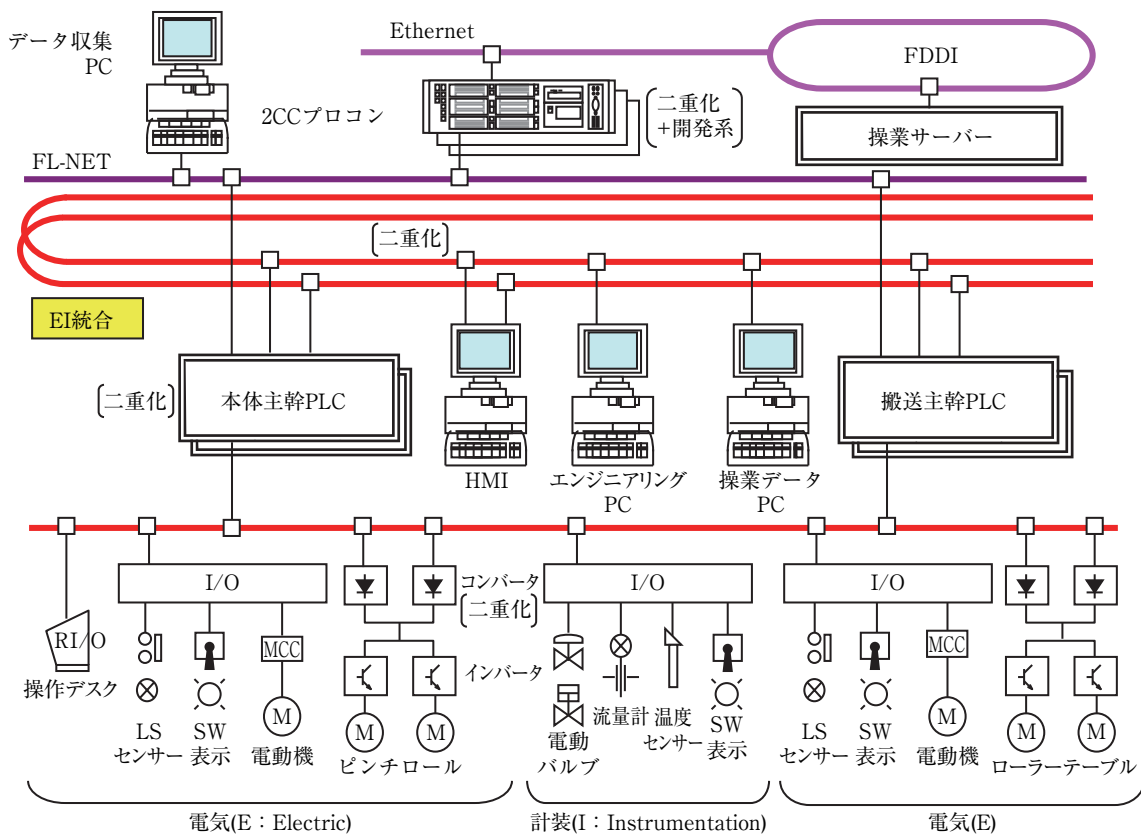


図6 2CC制御システム構成図

Fig. 6 Configuration of No.2CC control system.

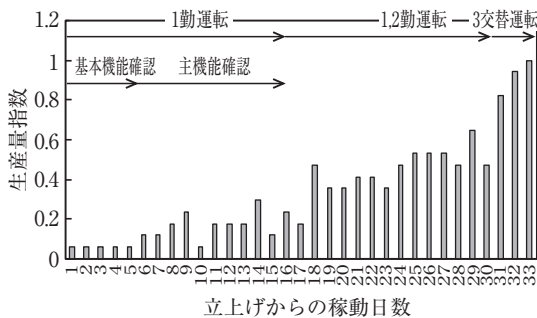


図7 2CC立上げからの生産量指数推移

Fig. 7 Trend in production index of No.2CC from start-up.

習熟を目的としたホットランを開始した。まず、汎用鋼種であるSUS304で単鑄による鑄造を行い、基本機能確認およびスラブとコイルの品質確認を経て、作業習熟を含めた操業条件の確立を行った。立上げ16日後に主要機能の確認を完了するとともに、初期トラブルへの対応も完了し、31日目には3交替による24時間連続運転に入った。さらに、基本的な品質評価を立上げ3ヶ月後にほぼ完了し、2015年11月には全量2CCへの移行および衣浦製鉄所の製鋼休止を行った。

4.2 高速鑄造の取り組み

連鑄機における高速鑄造の課題として、鑄造速度の増速とともに薄くなる凝固シェルをブレイクアウトさせずに引き抜くことが挙げられる。1CCにて鑄造速度制約となっていたフェライト系ステンレス鋼のスラブ短辺のバルジングを改善するために、モールド直下のサイドスプレー本数を片側で3本から5本に増やし、短辺の冷却範囲拡大を行った。また、サイドロールについても1CCは1本であったが、2CCは3本に増やし、ロールによる鑄片支持範囲を拡大した。その導入効果を図8に示す。1CCと比較して短辺のバルジング量に改善効果が認められた。

また、高速鑄造を行うことで凝固シェルが薄くなり、これに起因した湯面変動の増大が懸念される。湯面変動が増大する要因として非定常バルジングや湯面レベル制御遅れがある。前者については2次冷却帯のロール間で引き起こされる現象であり、凝固シェルが薄くかつ不均一な場合に発生しやすい。この対策として、ロールピッチを不等間隔とした。一方、後者については停止位置精度の高い電動サーボタイプのTDストップ

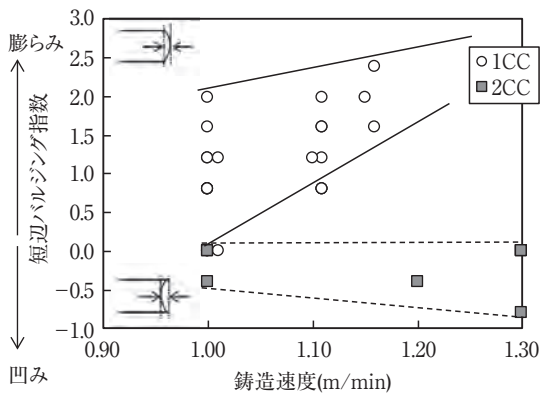


図8 铸造速度与短片バルジング指数の関係
 Fig. 8 Relationship between casting speed and index of narrow side bulging.

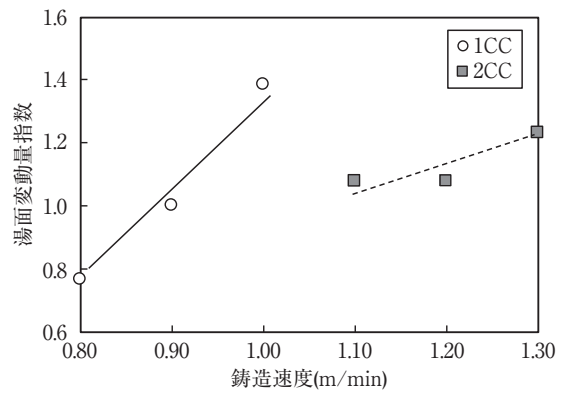


図9 湯面変動量の比較
 Fig. 9 Relationship between casting speed and fluctuation index of meniscus.

一を導入し、さらに制御演算周期も従来に比べ1/10とした。表2に湯面レベル制御方式の比較を示す。図9に铸造速度与湯面変動量の関係を示す。2CCは铸造速

度が高いレベルにおいても湯面変動を抑え、その結果、生産性を向上できた。

表2 1CCと2CCの湯面制御方式の比較
 Table 2 Comparison in main feature of mold level control system between No.1CC and No.2CC

	1CC	2CC
TDストッパー	油圧サーボ	電動サーボ
位置精度	< 1.2mm	< 0.1mm
制御演算周期	200ms	20ms

4.3 準備時間短縮

連続機において生産性を向上する方法として、準備時間の短縮が効果的である³⁾。図10に1CCと2CCの準備時間を示す。

1CCの場合、DBは下方挿入であり、スラブをストランドから引き抜き後に、DB挿入を行うために、準備時間が53分と長時間を要していた。

そこで2CCでは、最終鑄片をストランド内で引き抜き中でもDB挿入できるよう、上方挿入とすることで準備

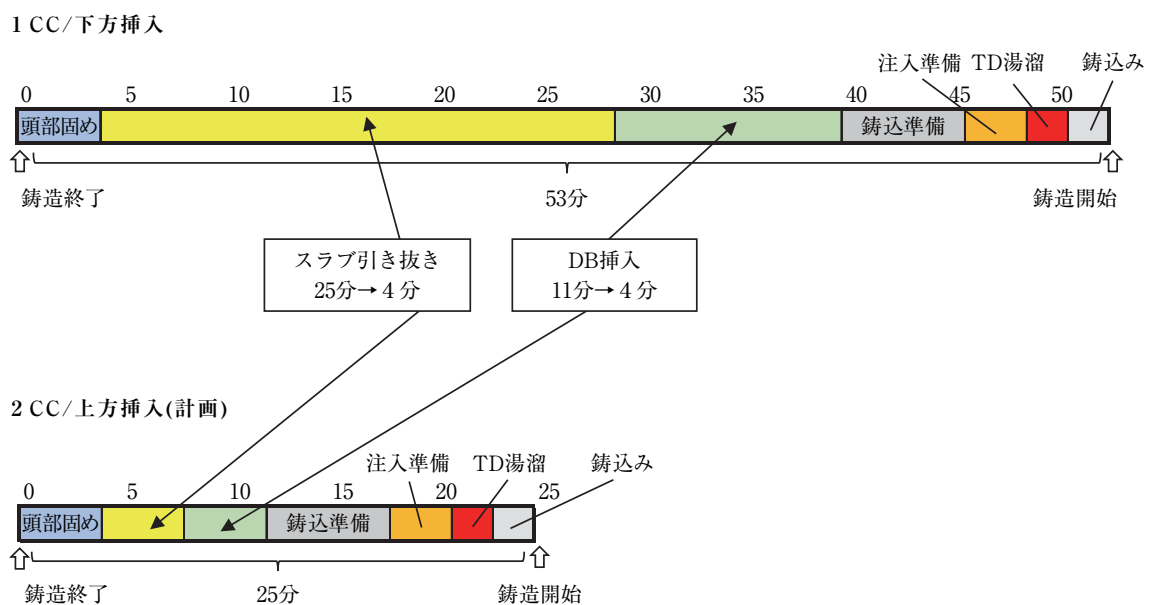


図10 1CCと2CCの準備時間
 Fig.10 Time schedule for casting setup in No.1CC and No.2CC.

時間の短縮を図った。準備時間の短縮の実施内容を表3に示す。これによりスラブ引抜きは21分、DB挿入は7分の短縮が可能となった。立上げ以降の準備時間の推移を図11に示す。立上げより作業習熟を進めた結果、約9ヶ月目で当初計画である25分を達成することができた。

表3 準備時間の主な改善項目

Table 3 Main items for improvement of casting setup time

項目名	実施内容	目的	改善代 (min)
スラブ引き抜き	① 上方挿入方式の採用	DB早期挿入	20.2
	② 引抜速度アップ (1.5→1.8m/min)	DB挿入待ち時間短縮	0.8
DB挿入	③ 上方挿入方式の採用	DB挿入時間の短縮	6.8
	④ DBカー中間位置による準備	DBカー移動時間短縮	0.2
鑄込み準備	⑤ デジタルテーパ計適用	測定の簡易化	-

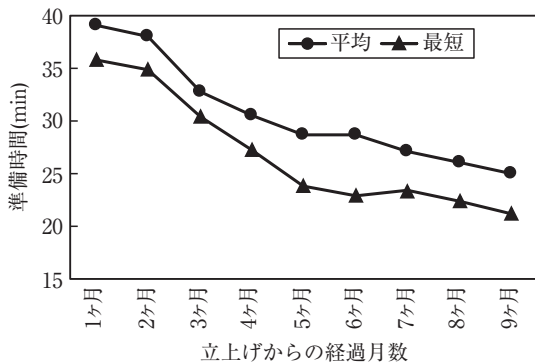


図11 2CC立上げからの準備時間推移

Fig.11 Trend in casting setup time since start-up of No.2CC.

5. 品質

5.1 内部品質の改善効果

2CCの主な特徴である垂直曲げによる改善効果についてスラブ内の非金属介在物個数にて評価するとともに、当初懸念されていた内部割れ発生有無を評価した。図12に非金属介在物および内部割れの評価位置を示す。6個に分割した後にバフ研磨を行い、各ブロック観察面を光学顕微鏡にて観察し、非金属介在物個数を評価した。図13に非金属介在物個数の比較を示す。2CCは垂直曲げを導入した結果、非金属介在物個数は1CCの1/2まで低

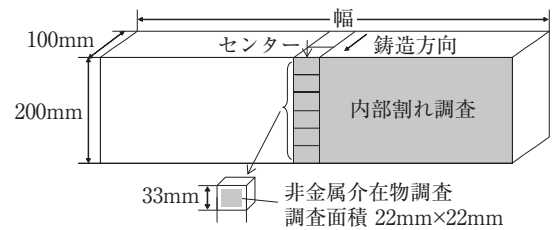


図12 内部品質の評価位置

Fig.12 Measuring position of internal quality.

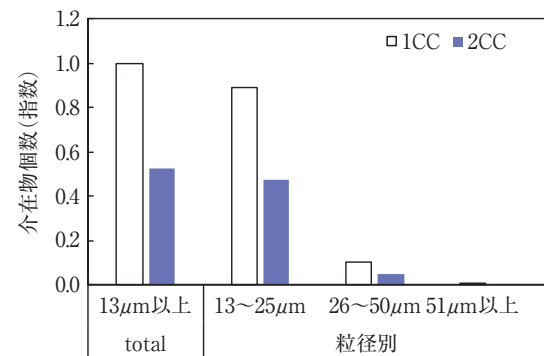


図13 非金属介在物個数の比較 (フェライト系ステンレス鋼)

Fig.13 Comparison in number and diameter of non-metallic inclusion (ferritic stainless steel).

減させることができた。また、当初懸念されていた割れ感受性が高い鋼種における内部割れもN=7調査したが発生していない。これは適正なロールプロフィール設計の効果と考えられる。

5.2 等軸晶率改善効果

等軸晶率の低下は製品の加工性を劣化させるため、1CCと同等以上の等軸晶の確保が必要である。通常、S-EMSコイル前面に配置されたロールには磁束密度の減衰を抑制するために非磁性ロールを用いる必要がある。そのため、2CCは5ftスラブ幅対応により、強度を確保するために1CCに比べロールの大径化をする必要があり、S-EMSとスラブ表面との距離が大きくなることで攪拌力の低下が予想された。そこで、対策として最大電流値が約1.7倍高いS-EMSを選定した。

図14に1CCと2CCの磁束密度の比較、図15に等軸晶率の比較を示す。2CCでの磁束密度は1CC以上とすることができ、その結果、等軸晶率は1CCと同等以上とすることができた。

5.3 気泡欠陥の改善事例

高純度フェライト系ステンレス鋼においてコイルでの気泡欠陥は慢性的な問題であり、これまで様々な対策を

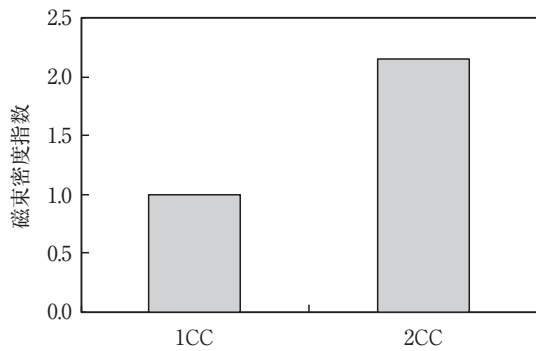


図14 1CCと2CCの磁束密度の比較 (測定位置:スラブ厚中央位置)
Fig.14 Comparison between No.1CC and No.2CC in magnetic flux density by EMS.

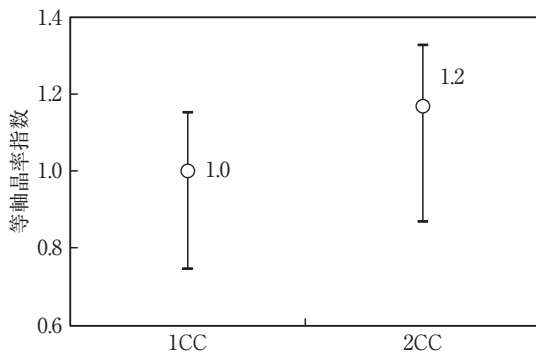


図15 等軸晶率の比較 (SUS430)
Fig.15 Result in index of equiaxed crystal ratio by EMS (SUS430).

実施してきたが、完全に防止できていなかった。この気泡欠陥は、調査検討の結果、Arガス起因であることがわかった⁴⁾ ArガスシールはTD内で溶鋼の窒素ピックアップを抑制することを目的として実施しているが、Arガスが溶鋼に懸濁し、モールド内まで持ち越されて、スラブ表層に気泡欠陥として捕捉されたものと推定された。そこでこの気泡欠陥を防止する方法としてArガスを使用せずに、N₂ガスでシールする操業(以下Arレス操業と称す)⁵⁾を実施した。溶鋼中のNピックアップ防止のためにシール剤の役目としてTDパウダーを使用した。1CCではTDパウダー投入は手動であったが、2CCではTDパウダー投入装置を導入することでArレス操業を定常的に行うことが可能となった。表4にArレス操業の铸造条件、図16に2CCにおけるArレス操業の効果を示す。2CCでは予想した通り垂直曲げ化の効果が認められたが、さらにArレス操業を適用することで気泡欠陥をゼロとすることができた。

表4 Arレス操業の铸造条件

Table 4 Casting conditions of operation without Ar

	従来操業	Arレス操業
TDシールガス種類:流量	Ar:100Nm ³ /hr	N ₂ :100Nm ³ /hr
ロングノズル	あり	なし
TDパウダー	なし	あり

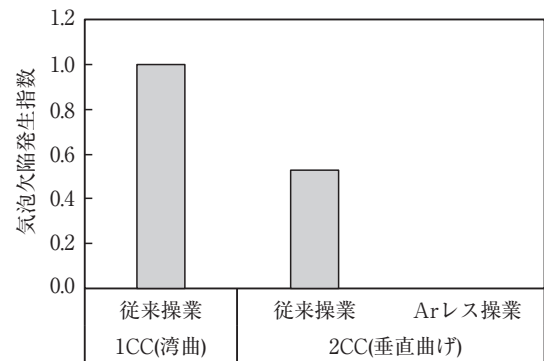


図16 高純度フェライト系ステンレス鋼における気泡欠陥の発生状況

Fig.16 Improvement of surface coil defect caused by Ar gas in ultra low carbon and nitrogen ferritic stainless steel.

6. 結言

周南製鋼所2CCは最新鋭の技術と設備を装備した、高生産性と高品質に対応した垂直曲げ型連铸機として建設され、現在、順調に稼働をしている。

最後に本設備の建設にあたり、建設に携わっていただいた各メーカーの関係者各位のご尽力およびご協力に対して深く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 香月淳一, 八島幸雄, 長谷川 守弘, 金近洋二, 深見泰民, 堀 武志: 日新製鋼技報, 73 (1996), 3
- 2) 田中宏幸, 今村 晃, 西原良治: 鉄と鋼, 78 (1992), 1464
- 3) 山口 純, 中島隆雄, 澤井 隆: 新日鉄技報, 394 (2012) 16
- 4) 鋼中非金属介在物研究の最近の展開, 日本学術振興会 製鋼第19委員会, (1994), 131
- 5) 公開特許公報: 特開2013-208643