
連続鍛造中のスラブ幅変更および異鋼種連々鑄造技術

Techniques for Width Changing Sequence Casting of Different Steel Grades

飯田 義治(Yoshiharu Iida) 大森 尚(Hisashi Omori) 前田 瑞夫(Mizuo Maeda)
小島 信司(Shinji Kojima) 越川 隆雄(Takao Koshikawa)

要旨：

スラブ連鑄様において鑄造中幅変更の一つの方式は、鑄造速度を減少しないで実施するもので、この場合スラブにテーパがつくので、圧延工程に幅制御機能が必要である。他の方式は鑄造を一旦停止して実施、この場合は継ぎ目部に発生する段階状の部分を切断する必要がある。一方、異鋼種連々鑄造技術は、前ヒートの凝固シェル内部に冷却材を投入して、後ヒートとの間の隔壁形成を促進する方法で、鑄片の接続は凝固シェルの融着により、所要時間が短いため、継ぎ目部の連鑄機に与える損傷が少ない。また、化学成分の分離が良好である。これらの技術により下記の成果が得られ、連鑄機 1 台で年間約 11.7 億円の利益を得ている。(1) 生産性向上：40～50% (2) 歩溜り向上：0.9% (3) 熱量原単位削減：30～50% (4) 耐火物原単位削減：40～50%

Synopsis：

Two different techniques were developed for changing slab width during continuous casting. In one way, casting is continued without decreasing its speed. In this case, some vertical edges at rolling process are needed for correcting tapered portion of casting slab. In the other way, casting is paused, and step-like part connecting two slabs should be scrapped. On the other hand, sequence casting of different steel grades is also developed, in which solidified shell between heats is formed by the use of coolant set into the mold. The cast slabs of different grades are connected with each other in a short time by the solidified shell, resulting in complete separation of chemical composition and hardly any damage to casting machine. The results of these techniques are as follows, with reduction of the production cost by about 1170 million yen annually for one casting machine: (1) Increased productivity: 40～50% (2) Improvement of yield: 0.9% (3) Reduction of heat consumption: 30～50% (4) Reduction of refractory consumption: 40～50%

(c)JFE Steel Corporation, 2003

連続 casting 中のスラブ幅変更および異鋼種連々 casting 技術

Techniques for Slab Width Changing and Sequence Casting of Different Steel Grades

飯 田 義 治*
Yoshiharu Iida

大 森 尚**
Hisashi Omori

前 田 瑞 夫***
Mizuo Maeda

小 島 信 司****
Shinji Kojima

越 川 隆 雄*****
Takao Koshikawa

Synopsis:

Two different techniques were developed for changing slab width during continuous casting. In one way, casting is continued without decreasing its speed. In this case, some vertical edges at rolling process are needed for correcting tapered portion of casting slab.

In the other way, casting is paused, and step-like part connecting two slabs should be scrapped. On the other hand, sequence casting of different steel grades is also developed, in which solidified shell between heats is formed by the use of coolant set into the mold. The cast slabs of different grades are connected with each other in a short time by the solidified shell, resulting in complete separation of chemical composition and hardly any damage to casting machine.

The results of these techniques are as follows, with reduction of the production cost by about 1 170 million yen annually for one casting machine:

- | | |
|---|---|
| (1) Increased productivity: 40 ~ 50% | (2) Improvement of yield: 0.9% |
| (3) Reduction of heat consumption: 30 ~ 50% | (4) Reduction of refractory consumption: 40 ~ 50% |

1. 緒 言

従来、スラブ連続 casting 機では、 casting する casting 片の幅、鋼種が変わるごとに、 casting 作業を停止し casting 片を機外に抽出した後ダミーバーを挿入して casting 作業を再開していた。しかしこの方法では casting 完了から次の casting を開始するまでに 40~60 分程度の準備時間を要するだけでなく、そのたびごとに新しいタンディッシュを必要とする。したがって casting する casting 片の幅、鋼種にかかわらず連続的に casting 作業が続けられれば生産性の向上、連 casting 歩留りの向上、あるいはタンディッシュ煉瓦原単位などの各種原

単位の低減に多大の効果が期待されることになりこの分野での技術の開発が待たれていた。

当社では昭和 49 年より casting 中の casting 片幅変更技術、異鋼種連々 casting 技術の開発に着手したが、その際、技術開発目標を以下のように設定した。

- (1) casting 速度をゼロにすることなく連続的に casting 片幅を変更できる技術
- (2) 圧延能力の点から、別法として casting 片幅を段階状に変更できる技術
- (3) 作業者に熟練もしくは繊細さを要求しない技術

2, 3 の案に限定し基礎実験、実機実験を重ねた結果、開発着手の 2 年後には実用化に成功し現

* 水島製鉄所製鋼部部長

*** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(掛長待遇)

***** 千葉製鉄所製鋼部第 2 製鋼課課長

[昭和 55 年 5 月 10 日原稿受付]

** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(課長待遇)

**** 水島製鉄所企画部設計室主査(掛長待遇)

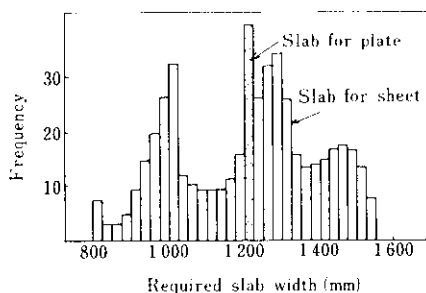
在では、高速鋳造技術、浸漬ノズル迅速交換技術の開発と相伴って連鋳能力増強に多大の成果をあげている。

本報告では、当社開発の鋳込中の幅変更技術¹⁾、異鋼種連々鋳造技術²⁾を紹介し、その操業結果と成果についてまとめた。

2. 技術開発の背景

2.1 スラブ幅の分布

一般に厚板製品の場合は、製品ごとに注文寸法が異なっているが、厚板圧延機では一定のスラブ幅から幅出し圧延を行なうことにより広範囲な幅の厚板製品が製造できる。これに反して、薄板圧延の場合にはその製品幅はほとんどスラブ幅に依存し、同一寸法のスラブから広範囲な幅の鋼帯を製造することはむづかしい。したがって、Fig. 1に示すように薄板用のスラブ幅は広い範囲に分布せざるを得ない。



Data: From No.5 C.C.M. of Mizushima Works in Feb. 1978

Fig.1 Distribution of required slab width

2.2 要求される鋼種

当社の連鋳の鋳造鋼種は多岐にわたっており、厚板向、薄板向および条鋼向の各々について Table 1 に示すように細分化されている。これらの向先に対して用途に応じた成分設計のもとに製品の規格が決定される。受注ロットが大きければ、数ヒート単位にまとまり、連々ヒート数の問題は少ないが、逆に受注ロットが小さい場合は 1 ヒートのみで連鋳鋳造を行なう必要もあり連々ヒート数が低下する。その結果連鋳歩留り、耐火物原単位、タ

Table 1 Steel kinds distinguished with usages, shapes and grades

Category	Classification
Plate	Steel for general structure,
	Steel plate for shipbuilding,
	Steel for boilers,
	Special steel,
	Refining steel,
Sheet	Specially thick plate
	Sheet made by hot strip mill,
	Sheet made by cold strip mill,
	Tin plate,
	Galvanized sheet, Silicon sheet,
Bar steel	Surface treatment sheet
	Sections, Sheet pile, Steel bar,
	Seamless pipe,
	Wire rod

ンディッシュ予熱燃料原単位および生産性などが低下する。

3. 鋳造停止のない幅変更技術

3.1 概要

鋳造中に鋳造を停止することなく鋳片幅を変更するためには鋳造中に鋳型の短辺を動かす必要がある。従来、鋳造中に鋳型の短辺を動かすことは、鋳片表面品質をそこなうだけでなく凝固殻の変形による破断や漏鋼の原因になると考えられ、困難であると判断されていた。

しかし、鋳片に与える影響、鋳型短辺の駆動容量などについて基礎検討と実験を繰り返し、従来の常識を覆して鋳片の表面欠陥、内部欠陥を回避しかつ安定した操業技術を確立した。Fig. 2 に鋳片幅の変更状況を模式的に示すが、本技術の特徴は次のように要約される。

- (1) 鋳造中の鋳片の幅拡大、幅縮小、ともに可能
- (2) 通常の鋳造速度で幅変更が可能
- (3) 歩留りの損失が発生しない

3.2 幅変更装置

Fig. 3 に幅変更用鋳型の透視図を示す。幅変更装置では鋳型短辺の傾き（以下短辺テーパーと記

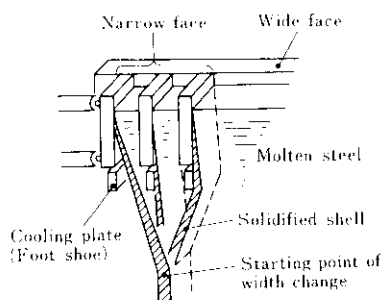


Fig.2 Schematic diagram of changing casting width

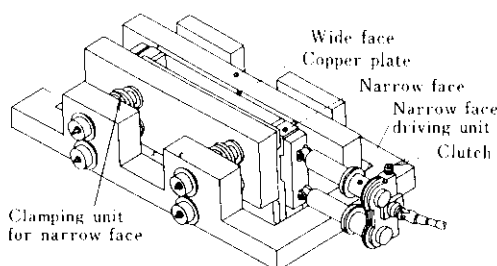


Fig.3 General assembly of the mold for width change

す)が鋳造中に変わらないこと、鋳型短辺が任意の速度かつ変動のない短辺テーバーで移動することが重要である。また、与えられる空間が狭いためコンパクトな装置が要求される。短辺テーバーが鋳造中に変化する主な原因は、鋳型短辺の駆動機構内に用いているスクリージャッキのバックラッシュにより生じる機械的なガタであり、この対応策として本装置には、皿バネを内蔵した機械的なガタの吸収機構をもたせた。また、本装置はスクリージャッキとの連結部に遠隔操作のクラッチを保有し、後述する鋳片幅に相応した短辺テーバーが幅変更中でも任意に変更できるようにになっている。

3.3 幅拡大方法

鋳造中に鋳型短辺を後退し、鋳片の幅を拡大する場合、溶鋼の短辺部凝固殻よりのオーバーフローと短辺部の凝固殻のバルジングが問題になる。溶鋼のオーバーフローは鋳型短辺の後退速度が速い場合に発生する。すなわち鋳型内の湯面近傍で凝固殻が鋳型短辺の移動に追従できず、凝固殻と鋳型短辺間に空隙が生じて、そこに溶鋼が流れ込む現象であり2重肌状の表面欠陥を誘発する。

また凝固殻のバルジングは鋳型短辺の後退速度が速い場合に発生し Fig.4 に示すように、鋳型内からバルジングが現われる。操業条件とバルジング状況の一例を Table 2 に示すが、定常鋳造速度でバルジングを防止するためには、凝固殻の幅方向の熱収縮を考慮し、短辺テーバーを通常の鋳造時より大きくしなくてはならない。短辺テーバーを大きくして幅拡大を行なったときの幅変更速度と、鋳型短辺の上端より 310mm、角より 15mm、表面より 15mm の位置の温度変化量の関係を Fig.5 に示す。短辺移動速度の増加に対して、短辺テーバーを大きくすることにより鋳型短辺と凝固殻との接触状況が明らかに改善されている。

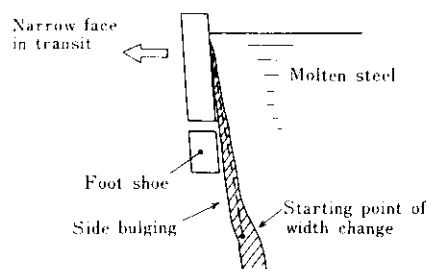
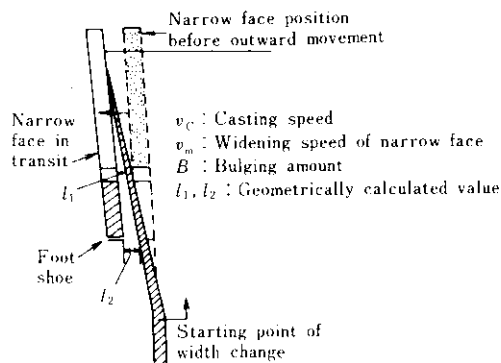


Fig.4 Schema of bulging occurrence at high widening speed

Table 2 Bulging of slab by widening width

No.	v_c (m/min)	v_m (mm/min)	v_c/v_m	l_1 (mm)	l_2 (mm)	B (mm)
1	0.35	3.6	97.2	6.2	9.8	4~5
2	0.45	6.0	75.0	9.7	15.5	9~10
3	0.80	12.0	66.7	9.0	14.3	15
4	1.00	6.0	166.7	3.6	5.7	6~8



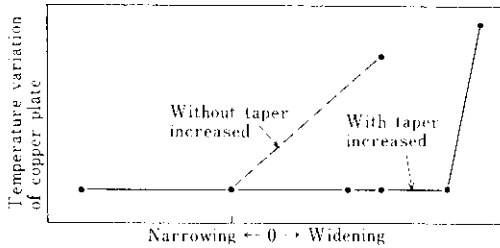


Fig.5 Relation between width changing speed and temperature variation of copper plate under the taper control

3・4 幅縮小方法

幅拡大時と同様に casting 中に、鋳型短辺を狭めることにより凝固シェルが圧縮変形され、鋳片幅形状がテーパ状になりつつ狭められる。Photo. 1 に幅縮小された鋳片を示すが、鋳片長さ 8 m の間で鋳片幅が 1338mm から 1264mm に変更されている。またこのときの casting 速度は 1m/min で一般の連鋳機におけるものと同等であった。

鋳型内で凝固殻を強制圧縮するとき鋳型短辺が受ける反力を、ロードセルを挿入し操作条件を変えて測定した結果を Fig. 6 に示す。図から鋳型短

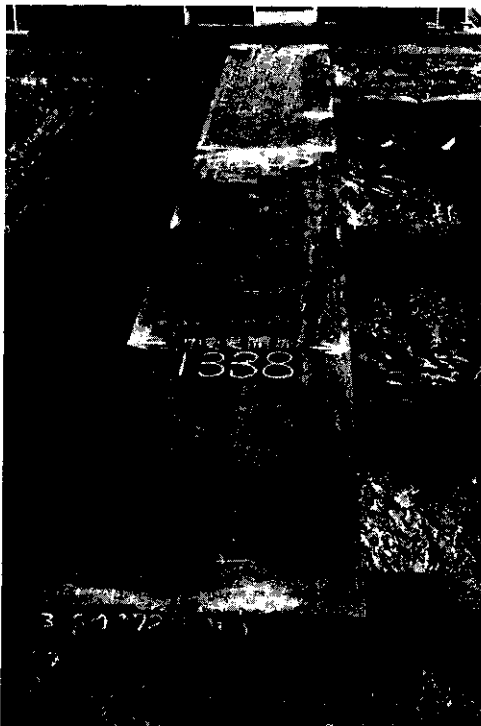


Photo. 1 A piece of slab with width changed

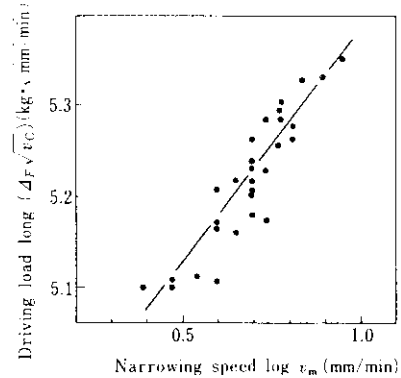


Fig.6 Relation between increased driving load and narrowing speed

辺が受ける反力 (ΔF) は、短辺移動速度 (v_m) と casting 速度 (v_c) との比の平方根に比例することがわかる。このことは高速 casting 時にも鋳片の幅縮小が可能であり、その反力はむしろ減少することを示している。

また、凝固シェルを圧縮変形させるときの変形抵抗について、

- (1) 圧縮変形は鋳片の全幅におよぶ、
- (2) 凝固殻厚は casting 時間の平方根に比例し、その変形抵抗はひずみ速度の n 乗に比例する、と仮定すると

$$F = \sigma S \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma = a \cdot \dot{\epsilon}^n \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで F : 鋳型短辺が受ける反力

S : 鋳型内長辺側シェル断面積

σ : 凝固シェルの変形抵抗

a : 定数

$\dot{\epsilon}$: ひずみ速度

が成立する。一方実作業時の反力測定結果³⁾ から

(1) 式を使い変形抵抗とひずみ速度の関係を整理すると Fig. 7 が得られた。両者の間に良好な直線

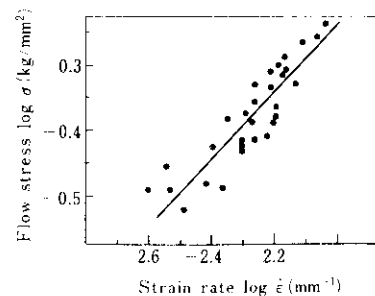


Fig.7 Relation between flow stress and strain rate at width change during casting

関係がみられ、結果として(3)式の回帰式が得られた。

$$\sigma = 4.21 \varepsilon^{0.44} \quad \dots\dots\dots (3)$$

上式は他の測定者による鋼の高温引張試験結果ともよく一致し十分実用に耐えると判断される。

3・5 幅変更操業状況

水島製鉄所第5連鋳機における鋳片幅変更時の操業条件の一例をTable 3に示す。幅縮小は幅拡大時に比べ、操業の安定、バルジングもしくは凝固殻の変形による破断に対する安全性などの点で優れ、幅縮小操業を主体として鋳造計画が作られている。また、鋳片の幅がテーパー状になったスラブ幅殺し能力の範囲内であり通常のスラブと同様に問題なく圧延されている。

Table 3 Operational conditions during changing width

	Widening slab width	Narrowing slab width
Slab size	220mm×(850~1 550mm)	
Casting speed	0.80m/min	1.00m/min
Moving speed of narrow face	4.50mm/min by the outward moving of one narrow face	9.00mm/min by the inward moving of both narrow faces

4. 鋳造停止のある幅変更技術

4・1 概要

薄板圧延機に幅圧延能力がない場合には、上述した方法では鋳片のテーパー部を切断する必要がある。そこで鋳片幅を階段状に変更する技術を開発した。本法は、鋳造を2~3分停止した状態でFig. 8に示す半円形断面の鉄板と懸垂用丸棒とから成る幅変更用治具を鋳片短辺部に取りつけ、シール材を投入し、鋳造を再開する方法である。本方式の特徴は、

- (1) 安価な設備費、
- (2) 治具およびシール材が鋳片とともに下降する

ために溶鋼漏れに対して安全性が高い、

- (3) 鋳片幅が階段状に変更できるため、圧延時の

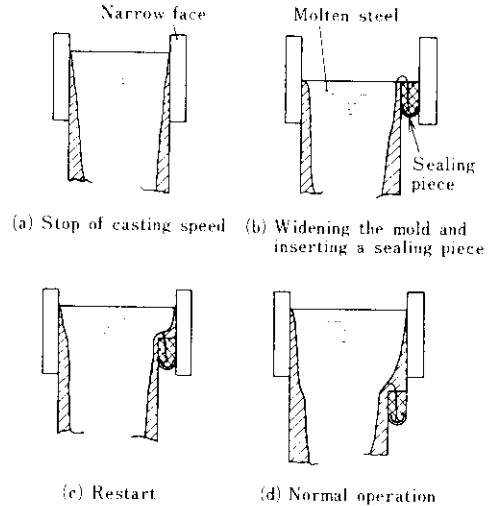


Fig. 8 Schema of casting width change by the case of sealing piece

問題が皆無である。ただし、いったん停止するため生じる階段状の部分は切断する必要がある、

- (4) 異鋼種連々との同時処理が可能であるなどである。

4・2 幅変更方法

本方式は、鋳片の幅拡大のみに適用され、そのときの操作手順をFig. 8に示す。

すなわち

- (1) 鋳造を停止し、短辺鋳型を後退させる、
- (2) 幅変更治具を挿入し、鋳片に固定する、
- (3) 短辺鋳型を所定寸法にセットする、
- (4) 幅変更治具と鋳片、および鋳型の隙間をシールし鋳造を再開する

であり、幅変更作業に要する鋳造停止時間は、2~3分と短時間で済む。

4・3 幅変更操業状況

千葉製鉄所第2連鋳機における実施は、鋳片の片側だけの変更作業が大部分であるが1回の幅変更量は20~220mmと広範囲である。Photo. 2に幅変更したスラブを示す。また、幅変更作業と同時に後述する異鋼種連々鋳造との組合せも行ない多大の成果を上げている。



Photo.2 A piece of slab with width changed by the use of sealing piece in No.2 C.C.M. at Chiba works

5. 異鋼種連々 casting 技術

5.1 概要

2. で述べたように鋼種が多岐にわたると、連々ヒート数が低くなり、生産量増大の隘路となる。そこで、水島5連铸において昭和50年より異鋼種連々 casting 技術の開発に着手し、種々の分離形式の実験を行なった結果、モールド内に冷却材を投入して溶鋼の混合を防ぐ異鋼種連々 casting 技術を確立した。本技術を昭和53年より工程化して生産量を飛躍的に増大させた。その後、冷却材の連铸機におよぼす影響を考慮し、冷却材の形状を改善している。当社は、ブルーム連铸機、ビームブランク連铸機およびスラブ連铸機を持っており、Fig. 9に示すような連铸機に適した種々の冷材形状を適用している。冷却材投入による異鋼種連々 casting 技術の特徴は、

(1) 前ヒートの凝固シェルの内部に冷却材を投入

し、凝固を促進させ、後ヒートの溶鋼が注入されるまでに隔壁を形成する、

(2) 铸片の接続は凝固シェルそのものによる、

(3) 異鋼種連々 casting の所要時間が短いいため継ぎ目部の連铸機に与える損傷が少ない、

などである。

5.2 操作方法

異鋼種連々 casting を実施するための作業手順をFig. 10に示す。本方式は、タンディッシュ交換を行なって異鋼種を連々 casting する際に、前のタンディッシュ

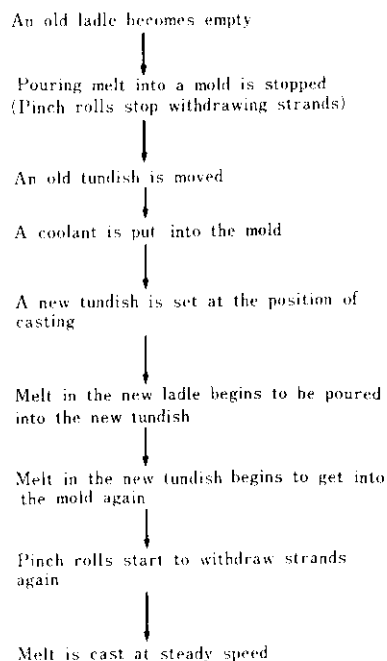


Fig.10 Flow chart of sequence casting of different composition

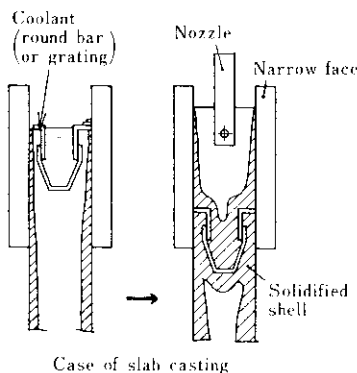
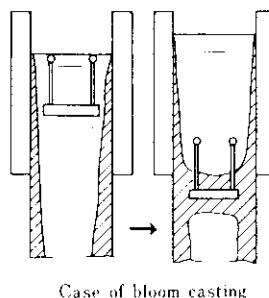


Fig.9 Schematic diagram of sequence casting of different chemical composition



シュカーがモールド上より移動し、後のタンディッシュシュカーがモールド上に来るまでの時間内にモールド内に冷却材を挿入し終る。したがって、作業時間は通常のタンディッシュ交換の場合と変わらず、ピンチロールの停止時間は数分と非常に短いのが特徴である。

5.3 異鋼種連々鋳造操業

Fig. 9 に示すように、前ヒートの注入終了によって、モールド内にメニスカスより定められた位置に異鋼種連々鋳造用の冷却材が挿入され、冷却材の周囲は凝固を開始する。継ぎ目部分の鑄片を Fig. 11 に示すが、引け果は冷却材のボトム側 20~40mm の位置に発生し、長さは約 200mm である。また、スラブの厚みは継ぎ目部分のトップ側で公称厚みを有するが、継ぎ目部分より徐々にボトム側に進むにつれて薄くなり、最も薄い部分は継ぎ目部分から約 400mm の引け果直下の部分で生じている。Fig. 11 に継ぎ目部分近傍の化学成分の変化を示す。分析サンプルはスラブ幅中央で切断し、1/2 スラブ厚部を 100mm ピッチで採取したものである。溶鋼成分はボトム側で継ぎ目部分より 200mm、トップ側で継ぎ目部分より 200mm の位置で完全分離している。この結果、切断位置は成分分離状況と引け果の状態により決定され、継ぎ目部分のボ

トム側 400mm、トップ側 200mm で、合計 600mm のクロップ長となり、通常のタンディッシュ交換部と同等の長さである。

6. 操業実績と成果

6.1 操業実績

Fig. 12~14 に水島第5連鋳機の連々ヒート数、異鋼種連々回数、幅変更回数および良片生産量の推移を示す。異鋼種連々鋳造技術と幅変更技術との寄与により 180 000t/month の良片生産量を達成している。

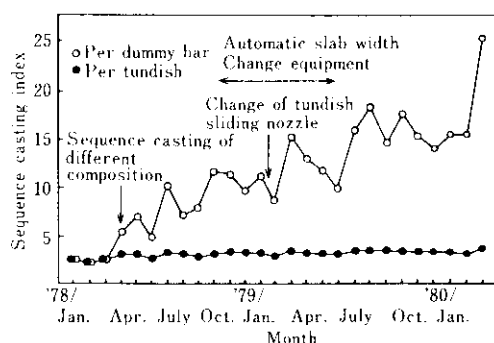


Fig. 12 Change of sequence casting index in No.5 C.C.M. at Mizushima Works

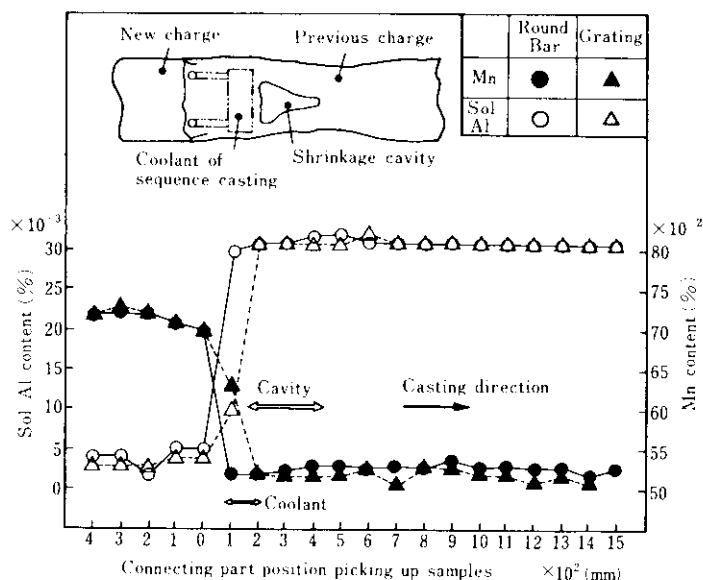


Fig. 11 Change of chemical composition of connecting part in the case of sequence casting of different composition

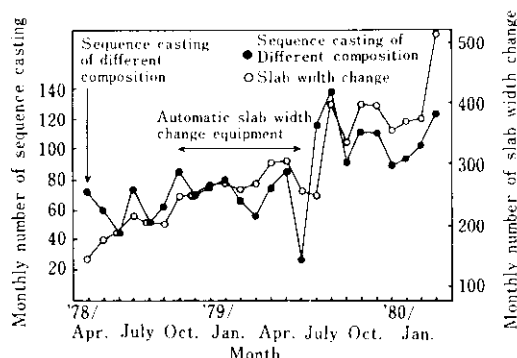


Fig. 13 Change of frequency of sequence casting of different composition and slab width change

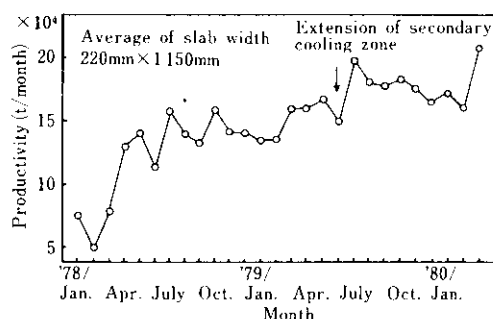


Fig. 14 Change of productivity in No.5 C.C.M. at Mizushima Works

6-2 成果

本法を適用した場合の効果を適用前と比較して

Table 4 に示す。耐火物原単位削減、燃料原単位削減、歩留り向上および生産性向上により連铸機 1 台あたり年間 11 億 7 千万円の利益を得ることが可能である。

7. 結言

(1) 鋼の連続铸造において、熱延設備に対応した次の二つの铸片幅を変更する技術を開発した。

- (a) 铸造を停止することなく、かつ通常の铸造速度を維持して、铸造中に铸片幅を変更する。ただし、幅変更中の铸片はテーバー形状となる。
- (b) 铸造速度をいったん停止し幅変更治具を铸型短辺部に取りつけシール材を投入して、铸造を再開し、铸片幅を変更する。また、この方法は異鋼種連々铸と同時処理が可能である。ただし、幅変更部の铸片は階段状になるため切断する必要がある。

(2) 鋼の連続铸造において、铸型内に冷却材を挿入して、凝固隔壁を作る異鋼種連々铸技術を確立した。この方法は、铸片の接続は凝固殻そのもので行ない、連铸機の停止時間が短く、成分分離状況が良く、かつ歩留りロスの少ない点が特徴である。

(3) 得られた成果は

Table 4 Results of new techniques applied to actual C.C. operation

Item	Unit	After applied (A)	Before applied (B)	Difference (A - B)	Unit cost (yen/kg or 10 ³ kcal)	Merit (yen/t)
Sequence casting index		3.39	1.78	1.61		
Unit consumption of refractories	kg/t	4.29	8.17	-3.88	60	232.8
Unit consumption of energy	10 ³ kcal/t	8.53	16.25	-7.72	5	38.6
Crop and scrap loss	kg/t-steel	10.7	19.6	-8.9	10	89.0
Output	t/month	180 000	123 070	56 930	0.572	180.9
Frequency of width changes	time/month	400	0	400	Annual profit : 1 170 million yen	

Sequence casting index : Number of BOF heats per casting chance

Unit consumption of refractories and energy : The number of tundish used per casting chance is normally one therefore unit consumption means how much refractories were expended and how much energy was required to preheat that tundish

生産性向上	: 40~50%	耐火物原単位削減: 40~50%
歩留り向上	: 0.9%	であり、連鋳機1台で年間約11.7億円 の利益が得
熱量原単位削減	: 30~50%	られる。

参 考 文 献

- 1) 大森, 大西, 小島: 鉄と鋼, **63** (1977) 4, 90
- 2) 大森, 大西, 前田, 大岡: 鉄と鋼, **64** (1978) 11, 162
- 3) 大森, 前田, 藤村: 鉄と鋼, **65** (1979) 4, 148