

.....  
**技術報告**  
 .....

UDC 621.746.047 : 669.14-142-417

## 日本鋼管におけるスラブ連続鋳造技術の進歩

山 鹿 素 雄\*・長谷部 信 久\*

### Development of Slab Continuous Casting Technology in N. K. K.

Motoo YAMAGA and Nobuhisa HASEBE

Synopsis :

Nippon Kokan K. K. has constructed 7 continuous casting machines for slabs. At present, about 70% of production is produced continuous casting process. In this report, particulars and features of NKK slab continuous casting technology are described.

#### 1. 結 言

日本における連続鋳造の比率は、昭和 54 年に全粗鋼生産量の半量をこえ、ますます増加する傾向にある。

連続鋳造比率の増大は、最近飛躍的に進歩した連続鋳造操業技術とともに、連続鋳造機本体そのものの進歩が大きく寄与しており、要求される性能が高度になるにしたがい、より高い生産性をもつた、より高品質の鋼を鋳造することの可能な連続鋳造機が開発されてきた。

日本鋼管(株)においても、10 余年にわたって連続鋳造技術の開発に積極的にとり組み、最新鋭の技術を取り入れながら、3 工場に 7 基のスラブ連続鋳造機を建設し、連続鋳造を進めてきた。

本報告では、当社におけるスラブ連続鋳造技術の進歩について、経緯と特徴をのべる。

#### 2. スラブ連続鋳造の経緯

##### 2.1 連続鋳造の推移

当社は、昭和 42 年京浜製鉄所旧鶴見工場に広幅スラブ連続鋳造機を設置し、厚板を主体に連続鋳造に着手した。

以降昭和 45 年～昭和 46 年に福山製鉄所に大量生産用連続鋳造機 3 基を設置し、全粗鋼の 25% を連続鋳造した。

さらに昭和 51 年～昭和 54 年に京浜製鉄所のリプレーン計画にもとづいて、旧鶴見工場の連続鋳造機を休止し、扇島製鋼工場に新たに 3 基のスラブ連続鋳造機と、ブルーム連続鋳造機 1 基を設置した。

この間のスラブ連続鋳造機の稼動状況ならびに、連続鋳造比率の推移を Fig. 1 に示す。扇島連続鋳造機の稼動により、連

続鋳造比率は大幅に伸び、昭和 54 年度 2/4 期に 50% をこえている。また昭和 55 年 9 月に福山 4 号機のリフレッシュ工事が完了し、現在では当社全粗鋼の 70% が連続鋳造され、京浜製鉄所においては、90% 以上の連続鋳造比率となつている。

##### 2.2 スラブ連続鋳造機設置の経緯と特徴

###### 2.2.1 京浜旧鶴見工場への連続鋳造機設置

京浜製鉄所の旧鶴見工場に設置した連続鋳造機は、我が国高炉メーカーにおいて、転炉とむすびついた量産型連続鋳造機としては最初のものであり、全湾曲型を採用したことが特徴である。

既存の造塊棟に設置した、単ストランドの全面的に人手にたよる連続鋳造機<sup>1)</sup>であつたが、稼動後、タンディッシュ交換装置を設ける<sup>2)</sup>などの改良を行い、連々鋳造世界記録の樹立等、安定した操業技術を確認した。また、厚板用 CC として電磁攪拌による中心偏析の改善試験、無手入熱片装入の大量実施<sup>3)</sup>などのスラブ品質改良について、先駆的な技術開発を行つてきた。

###### 2.2.2 福山製鉄所における連続鋳造工場の建設

福山製鉄所に建設した 3 基のスラブ連続鋳造機は、鶴見連続鋳造機の操業実績から、すべて湾曲型を採用した。

福山 4 号機は、我が国ではじめてマルチピンチロールを採用し、高速化の先駆けとなつたことが特徴である。

2・3 号機は、生産性の向上と薄板への適用とを目的として計画し、2 号機は薄板専用高速連続鋳造機、3 号機は薄板、厚板兼用機とし、幅狭鋳造時の生産性の低下を、ツインキャストで補うこととした。

福山の連続鋳造工場の平面配置図を Fig. 2 に示す。これ

昭和 55 年 11 月 14 日受付 (Received Nov. 14, 1980)

\* 日本鋼管(株) (Nippon Kokan K. K., 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku 100)

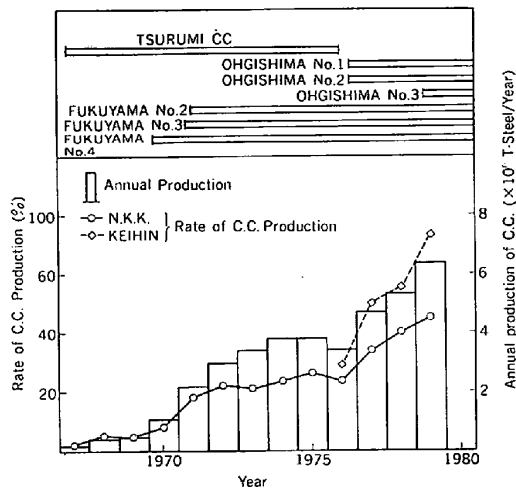


Fig. 1. Increase of rate of C. C. Process Production.

らの連続鋳造設備は、造塊設備とは完全に分離した、単独建屋の中に、精整設備とあわせて合理的に配置されている。

この精整設備は、3基の連続鋳造機をフル稼働させるために、月間25~30万tのスラブの冷却、手入、再切断などの作業を自動化し、オンラインで行えるようにした<sup>4)</sup>。

ホットラン後今日まで、2号機における2.0m/minの高速鋳造、モールド直下サポートとしてのクーリンググリッドの実用化<sup>5)</sup>、3号機での小径ロール化による内質改善、あるいは電磁攪拌試験<sup>6)</sup>等、連続鋳造の先端技術を開発している。

2.2.3 京浜製鉄所扇島における連続鋳造工場の建設

京浜製鉄所扇島製鋼工場は、川崎、水江、鶴見に分散

していた製鋼部門を集約するために計画したものであり、連続鋳造設備については、下記の2点を主眼に計画した<sup>7)</sup>。

1) 第2期完成時には、連続鋳造を主体とした製鋼設備とする。

2) 品種は、薄板、厚板、管材および条材にわたる多種を製造する。

平面配置図を Fig. 3 に示すが、造塊設備は補助手段で連続鋳造設備が主体である。転炉と脱ガス設備に隣接して、レードルスイングターレットヤードを設け、4基の連続鋳造機と溶鋼処理からスラブ搬出までの設備を、生産性、保全性を十分配慮してレイアウトしている。

1号機は、高品質を指向する厚板用マシンとして、介在物対策として垂直曲げ型を採用し、偏析対策として軽圧下法<sup>8)</sup>をとりいれている。

2号機は、厚板薄板兼用機とし、ウォーキングバーにスプレイノズルを取付け、冷却効率を高めたこと、ロールセグメントの調整機構を簡素化したこと、およびダミーバー上部挿入の完全自動化等、当社の技術を大幅にとり入れた、カービリニア型を採用している。

3号機は、薄板用で、多連続鋳造の操業性改善を図った湾曲型高速連続鋳造機である。

スラブ精整設備は、分塊工場に集約し、連続鋳造側では冷却設備のみを設置してある。

3. スラブ連続鋳造技術の進歩

3.1 スラブ連続鋳造機型式の選定

連続鋳造の建設にあたって、連続鋳造機の型式選定は、鋳片品

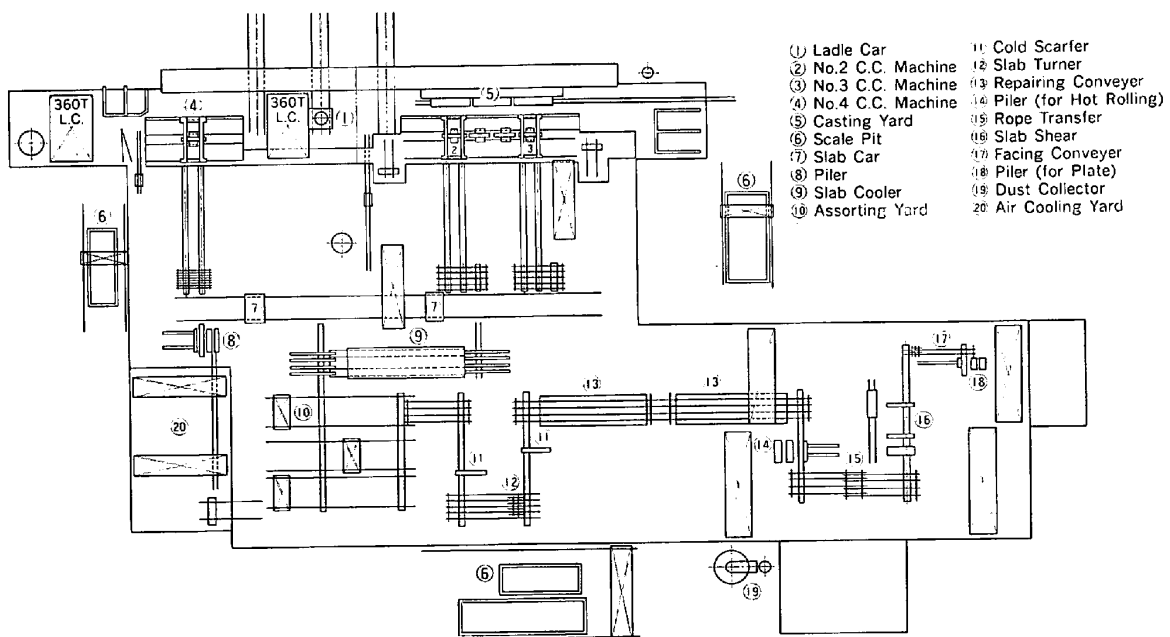


Fig. 2. Layout of continuous casting plant (Fukuyama Works).

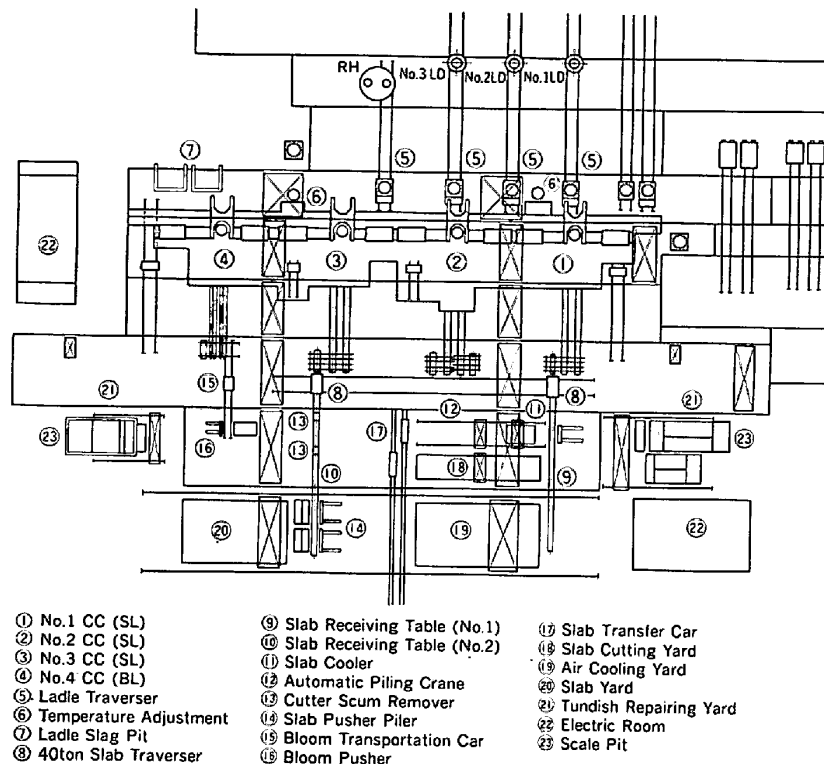


Fig. 3. Layout of continuous casting plant (Keihin Works).

質, 生産性, 保全性あるいは建設コストの面から最も重要な要因である。

当社では, 連铸機設置を最初に計画したときから, 製鋼設備の大型化に追従し得ること, 保守の容易なことなどから, 全湾曲型を中心機種として選定している。

全湾曲型連铸機は, 操業改善にもとづく種々の改良が加えられ, また操業技術の大幅な向上によつて, 現在では, 大量生産を主眼とする連铸機としてほぼ完成しているといつてよい。

しかしながら, 製品品質は高級化の要求がますます強まると考えられ, これに対応する, より高品質なスラブの得られる連铸機の開発が望まれている。

当社では, 従来の操業経験ならびに各種の研究開発の結果をおりこみ, 高品質に対応する独自の連铸機を開発し, 扇島1号機として設置した。

扇島1号機は, 湾曲型連铸機の欠点である铸片上面側の介在物集積を消滅させ, またスラブ中の介在物量を大幅に低減させるため, メニスカス下に4.8mの垂直部を有し, かつ中心偏析低減のため最終凝固部に未凝固铸片圧下装置を備えている。マシンプロフィールをFig. 4に示す。

垂直部の効果は, 湾曲型の連铸機に比べ, 介在物の铸片厚み方向の分布はほぼ均等で集積は認められず, しかも介在物量が1/5に減少する結果を得ている。また軽

圧下の効果は, Fig. 5に示すように, 0.5mm/m以上の軽圧下を行うことにより, 铸片の中心偏析が著しく改善されることが明らかになっている。

連铸機型式の選択に当たつては, 大量生産を主眼とする全湾曲型と, 高品質を指向する垂直曲げ型の2つの型式を使い分けるといふ考え方に変わりつつあり, 福山4号機の改造に当たつても, 生産性向上のための諸策に加え, 品質対応として, 扇島1号機的设计思想をとり入れている。

### 3.2 連铸操業および各設備の進歩

当社が設置したスラブ連铸機の主要設備項目をTable 1に示す。以下に特徴を述べる。

#### 3.2.1 铸込み技術

##### 1) 自動注入

铸鍋-タンディッシュ間には, タンディッシュ秤量機と铸鍋ロータリーノズルを結んだ完全自動注入が実用化<sup>9)</sup>し, またタンディッシュ-モールド間の溶鋼湯面制御は, 渦流距離計<sup>10)</sup>の応用によつて, すぐれた制御精度が得られている。

これらの自動注入技術は, 省力化の効果のみでなく, 铸片の表面, 内質の改善に不可欠な技術となつている。

##### 2) 介在物対策

介在物対策として最も重要な铸鍋からモールドに至るまでの溶鋼2次酸化防止について, 当社における一例を



Table 1. Specifications of continuous caster.

Item	Keihin Tsurumi	Fukuyama No.4	Fukuyama No.3	Fukuyama No.2	Keihin No.1	Keihin No.2	Keihin No.3	Fukuyama New No.4
Start-up	1976-3	1970-2	1971-3	1971-5	1976-11	1976-11	1979-3	1980-9
Type	Curved Type	Curved Type	Curved Type (with twincast)	Curved Type	Vertical Bending 1point Bending	Curved Mold Curvilinear	Curved Type	Vertical Bending 2point Bending
No. of strand	1	2	2	2	2	2	2	2
Thickness	180~ 200	220~ 300	220~ 300	220~ 300	200~ 300	200~ 250	250	220
Width	~1,620	950~1,950	950~2,100	925~1,600	1,600~2,300	900~1,850	975~1,950	950~1,950
Length	3,600	~9,100	~9,100	~9,100	~9,300	~9,300	~9,300	~9,500
Distance of strand	—	5,400	5,600	5,400	6,500	6,500	6,500	5,400
Radius of curvature	8,000	10,500	10,500	10,500	10,500	11,300	11,785	8,000
Supporting length	16,100	20,500	27,100	26,800	20,257	30,366	31,512	28,040
Mold length	700	700	700	700	800	1,200	900	950
Casting speed	1.6m/min (200t)	0.9m/min (220t)	1.2m/min (220t)	2.0m/min (220t)	0.9m/min (250t)	1.6m/min (250t)	1.6m/min (250t)	1.8m/min (220t)
Casting floor level	GL+4,800	FL+11,300	FL+11,300	FL+11,300	FL+12,600	FL+12,600	FL+12,600	FL+11,300
Pass line level	GL-3,575	FL+1,000	FL+1,000	FL+1,000	FL-3,155	FL+800	FL+800	FL+1,000
Ladle holding	by Crane	Ladle Car	Ladle Car	Ladle Car	Swing Turret	Swing Turret	Swing Turret	Ladle Car
Volume of tundish	16T	16T	19T	16T	36T (T type)	36T (T type)	36T (T type)	
Type of supporting	Sprit Roll	Solid Roll	Solid Roll	Cooling Grid	Cooling Grid	Working Bar	Solid Roll	Solid Roll
Type of pinch roll	Single Drive (3pairs)	Multi Drive (10roll)	Multi Drive (17roll)	Multi Drive (17roll)	Single Drive (5pairs)	Multi Drive (20roll)	Multi Drive (15roll)	Multi Drive (18roll)
Remarks					Length of Vertical zone 5m	D/B Top charging		Length of Vertical zone 2m

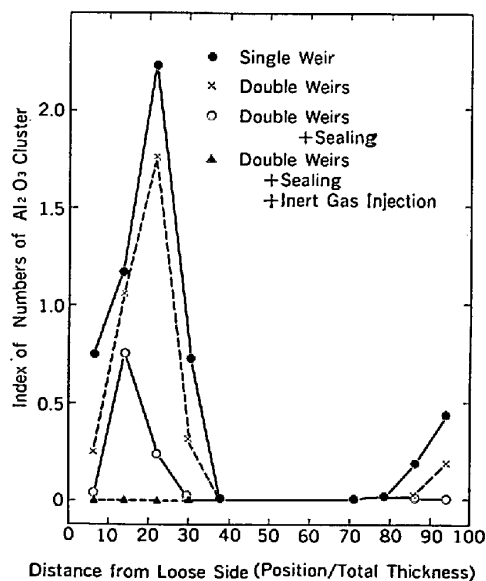


Fig. 7. Inclusion distribution of low carbon Al killed steel.

### 3.2.2 鋳片サポートならびにガイド

鋳型直下のストランドサポートについては、種々の方法があるが、特に高速鋳造の場合、ブレイクアウトの危険を防ぎ、しかも冷却効率を向上させる方式が望まれる。福山2号機での2.0m/minの高速鋳造時の各種方式の比較<sup>5)</sup>をFig. 8に示す。福山2号機ならびに扇島1号機は、この結果から、クーリンググリッドを採用し

ている。

鋳片ガイド装置は、福山4号機以降セグメント化し、メンテナンスに便ならしめている。またこのセグメントの厚み調整機構は、油圧シリンダーの直動式から、油圧モーター、スクリュウ式へ、ついで電動モーターの使用へと変わっている。さらにロール間隔を鋳造指令室から、遠隔で設定、指示する計装装置を常備するようになってきている。

### 3.2.3 引き抜き、矯正装置

引き抜き速度の増大ともなつて、鋳片を未凝固状態で矯正する必要があるが、凝固界面に加わる引張応力を軽減するために、カービニア矯正法や多点矯正法が採用されている。

ロールの材質は、多種多様なものが使われてきたが、最近では、ガイドロールを含めて13%Cr鋼に集約されつつある。13%Cr鋼は高価ではあるが、Table 2に示すロール摩耗量から分かるように、ロール寿命が数倍になり、コストの低減につながることによる。

Table 2. Amount of roll wear.

Roll material	Amount of wear (mm/1 000 ch)
SCM	1.0
21/4%Cr	2.3
13%Cr	≤0.4

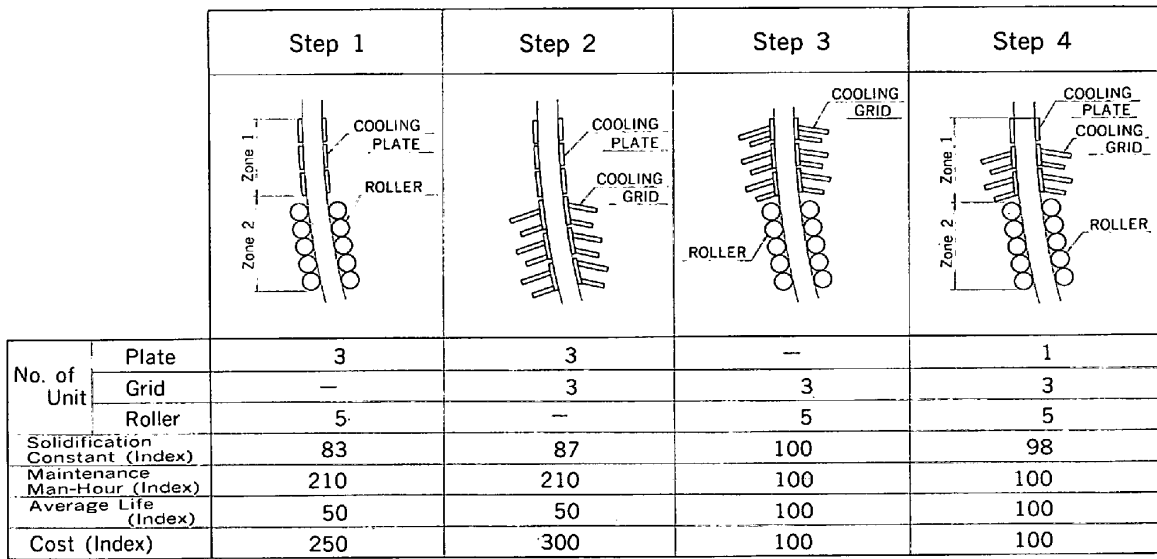


Fig. 8. Comparison of strand guidances.

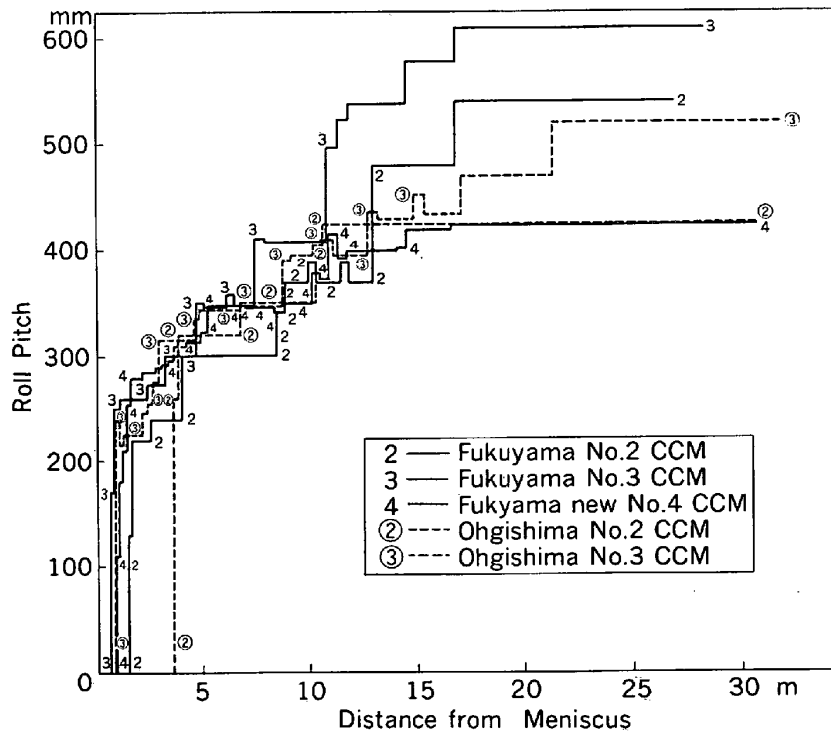


Fig. 9. Roll pitch.

3.2.4 ロールピッチの短縮

スラブ欠陥の原因となる銹片のバルジングを防止する設備上の方策としては、ロールピッチを短縮するか、溶鋼静圧を下げるかの2通りしかない。しかもバルジング量は Knell の計算式で分かるように、ロールピッチの方が寄与率が高い。したがって当社においても、逐次ロールピッチの短縮化を図ってきた。Fig. 9 に各連铸機のロールピッチの変遷を示す。図から分かるように、メナスカスから 12m 程度までは、連铸機による差はわ

ずかであるが、それ以降ピンチロールに入ると、マシンが新しくなるごとに、短縮化されていることがわかる。

また、ロールピッチの短縮のためには、ロールの小径化が必要となり、ロール型式は、スリーブタイプから一体型へ、さらに分割ロールへと発展している。

3.2.5 無手入スラブの製造と熱片装入

熱片装入を行うためには、無手入スラブを安定して製造することが必要であり、当社では下記の対策を実施してスラブ表面性状を向上させ、Fig. 10 に示すように無

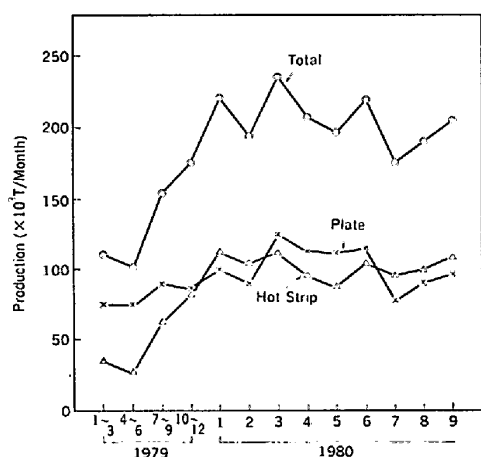


Fig. 10. Transition of production of slabs without scarfing.

手入鋳片量の拡大を図っており、約 35% が熱片装入されている。

- 1) 渦流式センサーを使用したモールド自動注入
- 2) 鋳鍋からモールドまでの徹底した介在物対策
- 3) モールド振動および冷却条件の最適化
- 4) 低硫化による縦割れ疵の低減
- 5) オンラインの切断バリ除去機の採用

以上の無手入鋳片製造の実績をもとに、スラブ搬出、運搬、受入の各設備について、耐熱対策をとり、熱片装入を実施している。

#### 4. 結 言

連鋳機導入当初は、介在物の集積、中心偏析ならびに手入れを必要とする鋳片表面性状が重要な問題点であった。介在物については、シール鋳造を主体とした技術開発により、湾曲型連鋳機においても実用上問題のないレベルに達しており、さらに垂直曲げ型を採用することに

よつて、きわめて高い清浄性をもつ鋳片が得られている。また中心偏析については、ロールピッチの短縮によつてパルジングを防止し、さらに積極的な方法として軽圧下法を開発することにより大きな改善効果が得られている。

鋳片の表面についても、溶鋼の清浄化、自動注入技術の進歩により大幅な無手入化が可能となり、圧延工程への熱片装入が定常化しつつある。

以上、日本鋼管におけるスラブ連続鋳造の設備と操業について、開発の経緯ならびに特徴についてのべた。

今後とも、連続鋳造法は、特殊鋼への拡大、圧延工程との直結化などの新分野で、さらに大きな設備操業技術の発展をしていくものと確信している。

#### 文 献

- 1) 根本秀太郎, 佐坂三郎, 清水達夫, 水野良親, 小谷野敬之, 中野祐儀: 日本鋼管技報 (1968) 42, p. 1
- 2) 阪本英一, 宮下芳雄, 堀米 明, 水野良親: 日本鋼管技報 (1975) 66, p. 107
- 3) 日本鋼管(株)京浜製鉄所: 第 56 回製鋼部会資料
- 4) 松本敏夫, 斎藤 剛, 三好俊吉: 日本鋼管技報 (1972) 57, p. 429
- 5) 三好俊吉, 内堀 明, 福武 諄: 鉄と鋼, 60 (1974), p. 860
- 6) 日本鋼管(株)福山製鉄所: 第 55 回製鋼部会資料
- 7) 伊集院正樹, 松本敏夫, 阪本英一, 楢 昌久: 日本鋼管技報 (1977) 77, p. 169
- 8) 楢 昌夫, 石黒守幸, 小森重喜, 村上勝彦, 福田有: 日本鋼管技報 (1978) 79, p. 313
- 9) 阪本英一, 楢 昌久, 小森重喜, 吉原哲也, 浅野信成, 山上 諄: 日本鋼管技報 (1977) 75, p. 243
- 10) 佐野和夫, 安藤静吾, 山田健夫, 石黒守幸: 鉄と鋼, 65 (1979), S122, S123