

## 技術資料

UDC 621.746.27.047

## 鋼の連続鋳造設備\*

大日方 達 一\*\*

## General View of The Continuous Casting Equipment

Tatsuichi OBINATA

## 1. 緒 言

連続鋳造法の原理は Henry BESSEMER によつて、19 世紀中期に発表されたのであるが、実際に工業化されたのは 1950 年代に入つてからであつた。以来中小規模の連続鋳造機において操業技術、設備技術面での発展がみられ、1960 年代に入つて従来の造塊～分塊法に代わるべき大型連続鋳機の実用化が可能となつた。最近の連続鋳機の普及は目覚ましく、造塊法に代わつて全連続を基本とした大型製鋼工場も出現した。ちなみに 1972 年における世界の連続鋳機の能力は年産約 85 百万トンであり、粗鋼にしめる連続材の比率は約 14% となつている。とくに連続鋳機の導入に積極的なのは日本、アメリカ、ソ連、西ドイツであり、これらの国々で全体の約 68% をしている。ついで近年多数の導入計画を持つものにイタリア、スペインなどがある。一方日本においてはこの傾向はますます強く 1973 年末における連続鋳機設置基数は条用 60 基、板用 29 基であり、連続生産能力は年産約 25 百万トン、粗鋼生産量にしめる連続材比率は約 20% となつた<sup>2)</sup>。

連続鋳法導入によるメリットは第一に歩留の向上、工程の省略によるコスト低減であり、これらは十分その効果が認められてきた。近年これらに付加されるメリットとして従来の造塊部門で最も問題とされている自動化、省力化の困難性および最近の重要課題である工場内外における作業環境改善や環境保全対策上からも、造塊～分塊法に比し連続鋳法が有利であることが認識されるようになった。以上のように連続鋳法が LD 転炉法につぐ製鋼技術革新のプロセスとして認められ、各国で積極的な研究、開発が行なわれた結果、連続化可能鋼種もステンレス鋼、電磁鋼、低合金鋼などの高級キルド鋼やリムド鋼へと拡大され、また鋳片形状については 80 mm×80 mm から 300 mm×2300 mm のピレット、スラブに加え、丸

断面ブルーム、粗形断面鋳片<sup>3)</sup>まで鋳造可能となつた。一方連続鋳の鋳造能率は鋳造速度の高速化、鋳造サイクル時間や、サイズ交換時間の短縮、多連続操業法の適用およびマルチストランド連続鋳機の開発などにより飛躍的に増大した。連続鋳機の鋳造能率の増大は高生産性を有する LD 転炉との組合わせを可能にし、ますます連続鋳の生産性を向上させ、最近ではスラブ連続鋳機 1 基の能力が 150 000 t/month を越えるまでになつた。

設備面での発展過程をみると、垂直型から Low head 型への変遷、大型化、高速化へのアプローチが行なわれ、更に大量生産設備としての耐久性、保守性の向上や自動化、省力化への設備改善が積極的に指向されている。

本報告は連続鋳機設備面での発展経緯と最近の動向についてまとめたものである。

## 2. 変 遷

## 2.1 歴史

1950 年代後半に工業化された連続鋳機は Atlas Steel Ltd. (Canada) や新日鉄光製鉄所に設置されたような垂直型であつた (Fig. 1)。これら垂直型連続鋳機は設備高さが高くなり、設備が非常に大きくなること、また鋳片の搬出方法に種々の制約が生じることなどの欠陥があつた。このためこれに代る型式として 1960 年代前半に Dillinger Hüttenwerke (West Germany) や Benteler werke A. G. (Austria) などに設置された垂直曲げ型連続鋳機が考案された (Fig. 2)。これら垂直曲げ型は現在 U. S. Steel (U. S. A) や Klöckner werke A. G. (West Germany) などで稼動している未凝固鋳片を曲げる方式でなく、垂直部でほとんど完全凝固を行なわせた後、この鋳片を曲げる方式である。この型式では引抜速度の高速

\* 昭和49年2月12日受付 (依頼技術資料)

\*\* 新日本製鉄(株)君津製鉄所

化, 断面の大型化にともなつて設備が非常に大型化することや品質上の問題が生じた. これらを改良する目的で1963年頃より湾曲型連鑄機が開発されDillinger Hüttenwerke(West Germany) や Mannesmann A. G. Hüttenwerke (West Germany) などで工業生産設備として設置され稼動を開始した (Fig. 3). 以後1960年代後半からは特殊形状や特殊鋼種を対象とする連鑄機は別として, 湾曲型連鑄機が主体となつた. 更に最近, 試験的に

はアメリカなどを中心として, 水平連鑄機での種々の研究が行なわれている.

また丸断面鑄片の製造を目的とした垂直回転連鑄機が1968年に Vallourec 社 (France) で操業を開始した. 回転鑄造は, ピンチロールで鑄片を回転させながら引抜きを行なわせる方法である. この方法では, モールド内での冷却速度が速く, スラッグがモールド内溶鋼中心に集まるため捲込みが少なく, スプレー帯の均一冷却などに

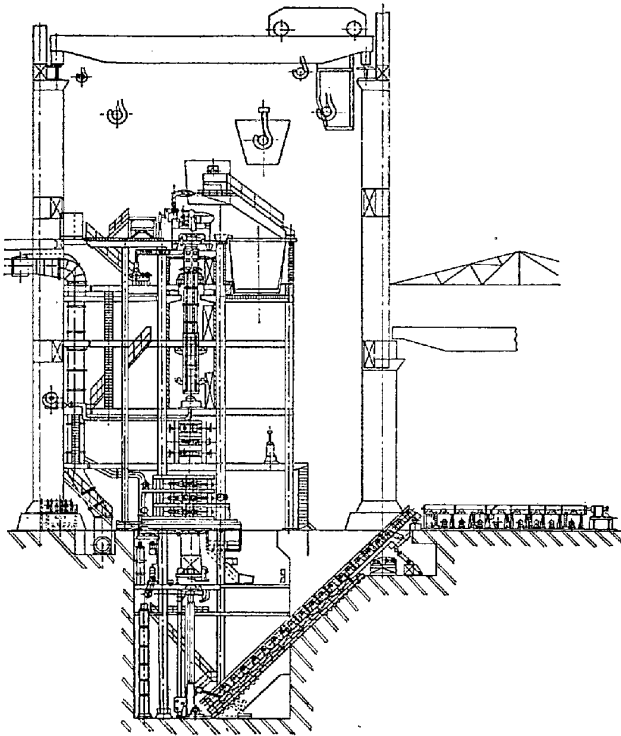


Fig. 1. Longitudinal section of vertical caster at Hikari (1960)<sup>4)</sup>.

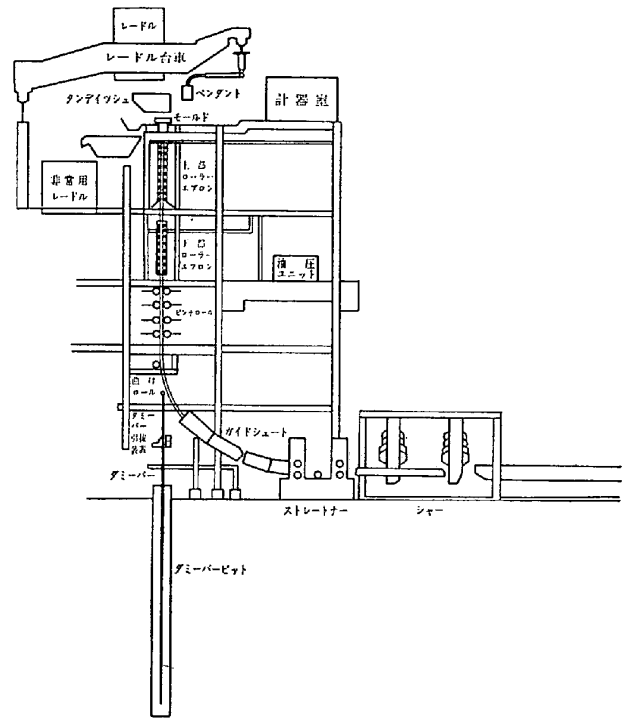


Fig. 2. Longitudinal section of bending caster at Yawata (1967).

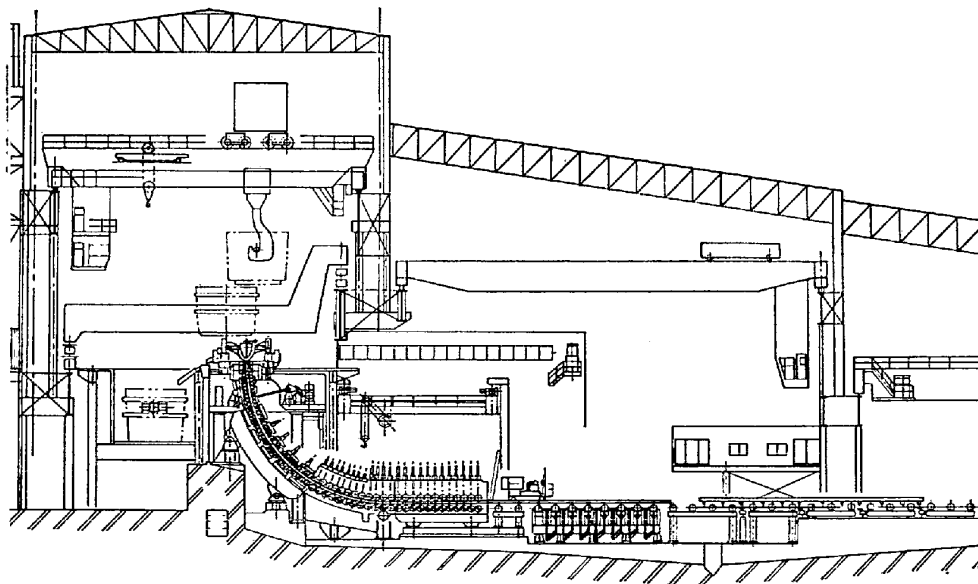


Fig. 3. Longitudinal section of low head caster at Nagoya (1970).

Table 1. Main continuous casting machine designers and suppliers.

Company	Affiliates	Main builders used
Concast (Switzerland)	Concast U. S. A.	Schloemann (Germany) CAFL (France) Distington (U. K.) Sumitomo (Japan) Innocenti (Italy) Grangesberg (Sweden)
DST Demag Mannesmann Olsson (Germany) (Switzerland)	American Demag Olsson Int. Pittsburgh	Demag (Germany) Hitachi Zosen (Japan) Mitsubishi (Japan) Motala (Sweden) Western Gear (U. S. A.)
Koppers (U. S. A.) Vöest A. G. (Austria) U. S. S. Engineering Inc (U. S. A.) Continua Int (Italy) USSR-Kobe Babcock and Wilcox (U. S. A.) Gamma Engineering (Canada) Hitachi (Japan) Interlake steel (U. S. A.) Mesta (U. S. A.) Midland Ross (U. S. A.) United Engineering (U. S. A.)	Vöest Int. New York Danieli SPA Baltimore	I. H. I. (Japan) Mitsui (Japan) Kawasaki (Japan) Kobe (Japan)

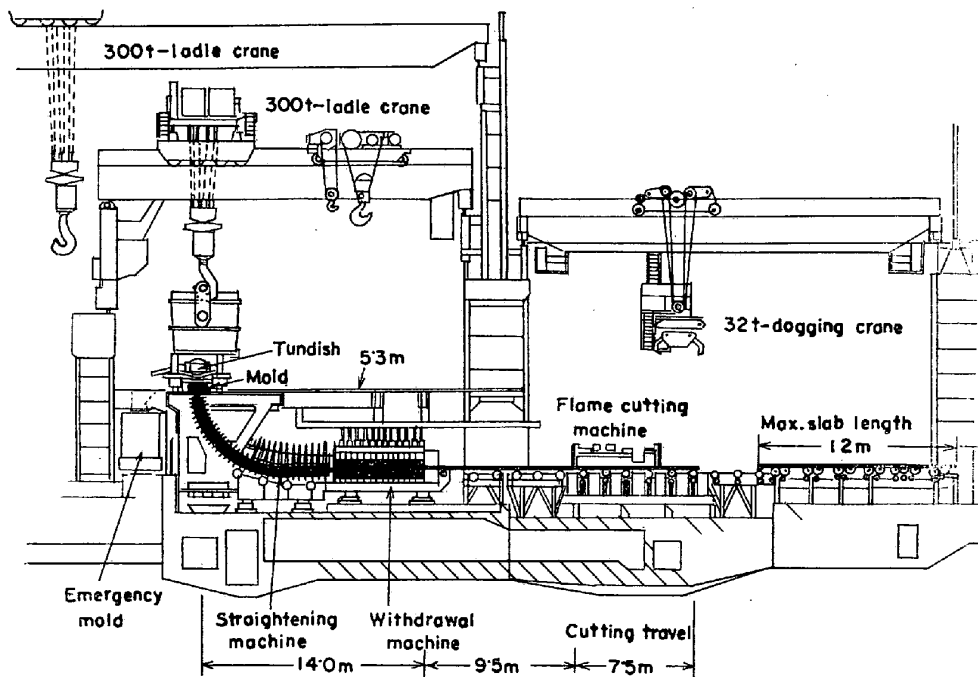


Fig. 4. Bow-type slab caster at Mannesmann (1967)⁷).

より鑄片の真円度が良好になると言われている。わが国においても日本鋼管や川崎製鉄などで導入計画が発表されている。

これら連鑄機の型式別稼動状況は 1970 年末で垂直型 28%、垂直曲げ型 17%、湾曲型 43%、その他 12% となっている。

2.2 現在の連鑄機

現在、連鑄機設計および製作メーカーは Table 1 に

示すように多数あり、おのおの特色を有しているが、一般的にはほとんど湾曲型を基本に設計されている。現在稼動中の代表的スラブ連鑄機を Fig. 4、ブルーム、ピレット連鑄機を Fig. 5 に示す。基本的考え方として、Concast, D. S. T. や U. S. S. R. タイプはカーブドモールドを使用し、Vöest, U. S. Steel や Olsson タイプは垂直モールドを使用して、モールド下ある距離での順次曲げや1点曲げを採用している。これらの考え方の詳細に

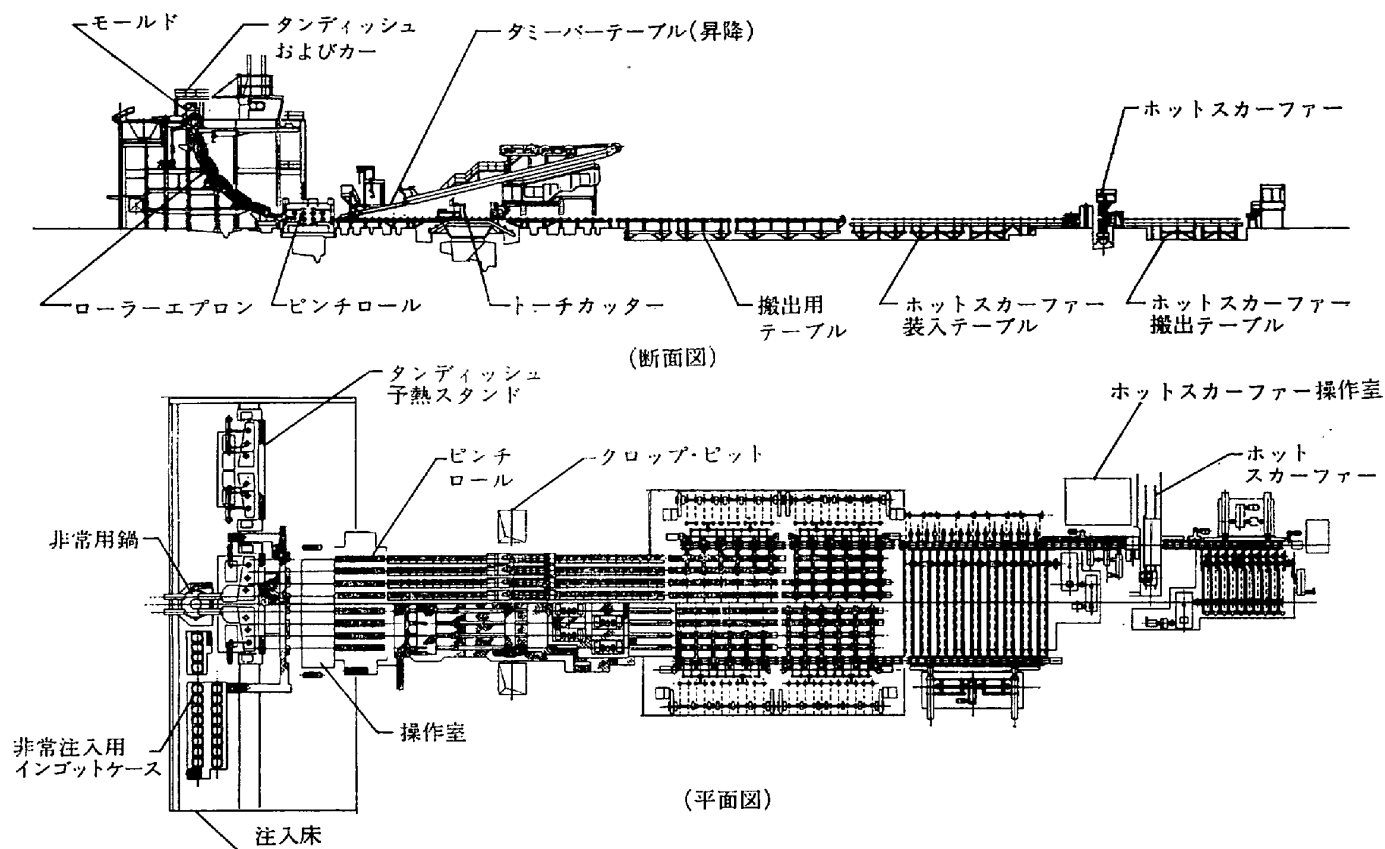
Fig. 5. Eight strands bloom caster at Mizushima (1968)<sup>8)</sup>.

Table 2. Typical world's large continuous casters.

## 1. Slab casters

Company	Plant	Machine designer	Machine type	Ladle size (t)	Machines and strands	Max strand size (mm)	Start up	Capacity (t/year)
Nippon Steel Co.	Ohita	DST	Curved	300	3×2	300×2 200	1972	3 600 000
Nippon Kokan	Fukuyama	Concast 1 DST 2	Curved	250	3×2	300×2 100	1970	2 900 000
Kawasaki Steel Co.	Mizushima	Concast 1 DST 1	Curved	180 250	1×2 1×2	300×2 200 350×1 900	1971 1973	2 200 000
Usinor	Dunkerque	DST	Curved	200	3×2	250×1 650	1972	3 200 000
British Steel Co.	Scunthorpe	DST	Curved	300	2×2	300×1 525	1972	2 150 000
Novo Lipetsk Iron & Steel	Novo Lipetsk	USSR	Vertical	100	6×2	315×1 850	1966	2 000 000
McLouth Steel	Trenton		Curved	100	4×1	300×1 525	1968	2 800 000

## 2. Bloom or Billet casters

Kawasaki Steel Co.	Mizushima	Concast	Curved (beam brank)	180	1×8 1×4	250×300 460×400×120	1968 1973	1 200 000
Nippon Steel Co.	Yawata	Olsson	Bending	75	2×6	80 ϕ, 175 ϕ	1967	400 000
Azuma Steel Co.	Sendai	DST	Curved	100	1×4	280×350	1974	600 000
Sociedad Mixta Siderurgica Argentina	San Nikolas	Concast	Curved	160	2×6	230 ϕ	1973	800 000
Kobe Steel Ltd.	Kobe	USSR	Vertical	60	1×4 1×8	300 ϕ, 110 ϕ	1966	440 000
Algoma Steel Co.	Sault Sle. Marie	Concast	Curved (beam brank)	100	1×4 1×2	265×355 760×150H	1967 1968	540 000
U. S. steel Co.	Chicago	U. S. S.	Vertical-Bending	200	1×4	190 ϕ	1971	1 285 000

については後述する。Table 2 に 現在稼動中の大型連鑄機を示す。

### 2.3 工場レイアウト

発展段階における連鑄工場のレイアウトは既設の製鋼工場や分塊工場と共存する場合が多く、かなり複雑であったが、最近になって、造塊～分塊工程を省略した全連鑄工場の出現によりレイアウトは単純化し、コンパクトになった。この代表的なものとして Novo Lipetsk (U. S. S. R) および 新日鉄大分の全連鑄転炉工場のレイアウトを示す (Fig. 6, Fig. 7)。これらにみられるように溶鋼の分配方法と鑄片のハンドリング方法によりレイアウトはかなり異なる。全連鑄工場では複数の連鑄機から製造される大量の鑄片をスムーズに処理する必要があるため、連鑄本体設備のみならず搬送、精整設備にも十分な配慮が必要となる。スラブ連鑄工場ではスラブクーラーの採用、冷間スカーフーマシンの設置およびオンライ

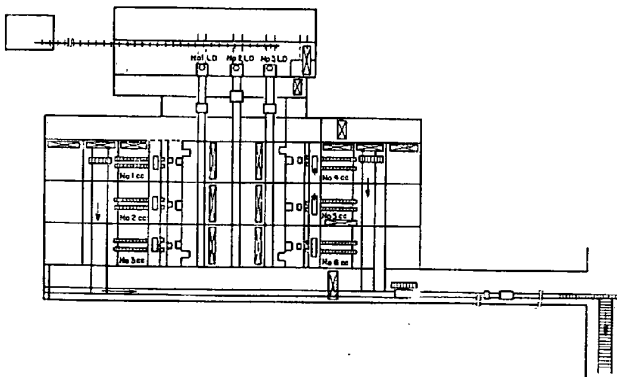


Fig. 6. Layout of the steelmaking plant at Novo Lipetsk (1966)<sup>11)</sup>.

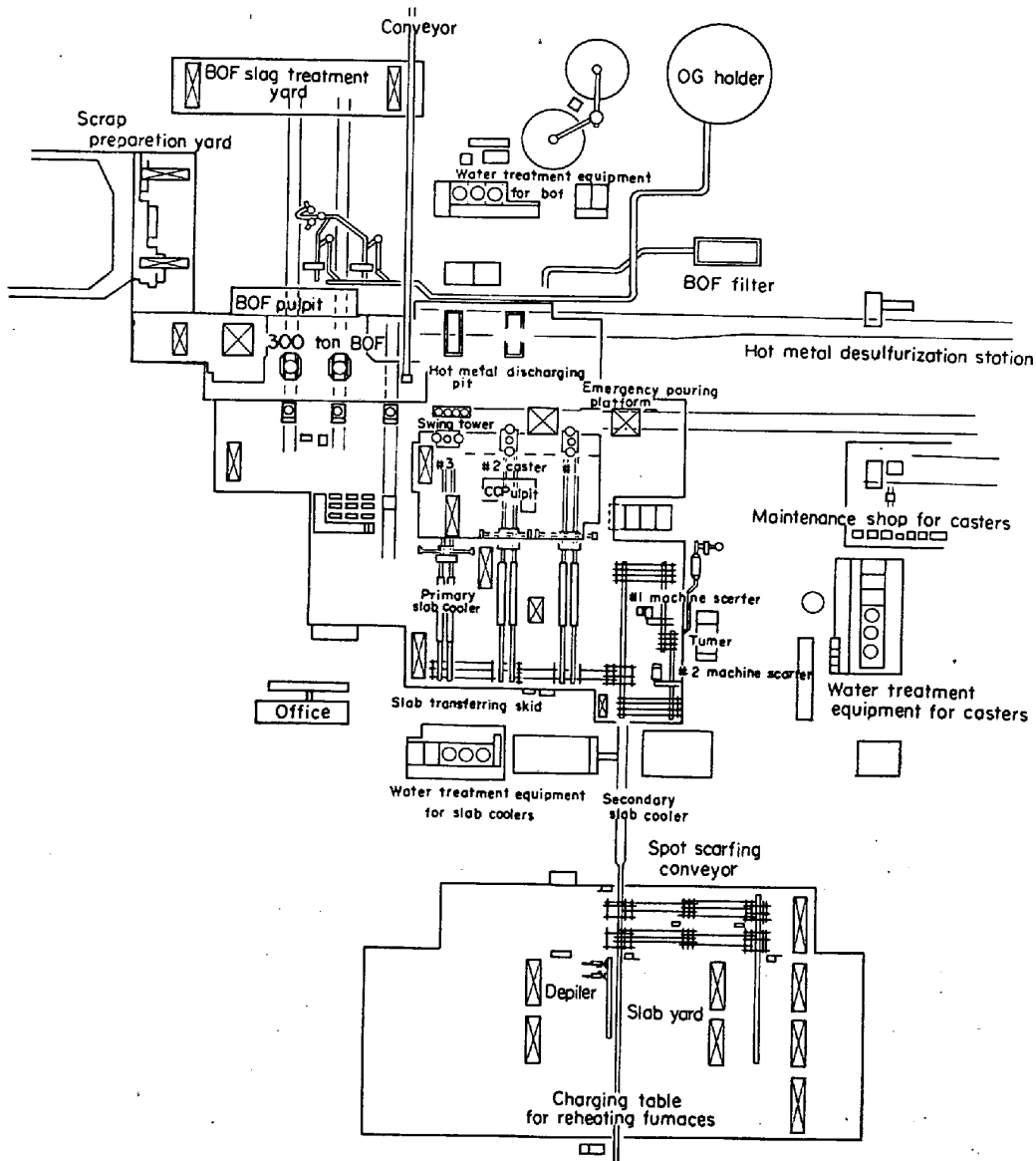


Fig. 7. Layout of the steelmaking plant at Ohita (1972).

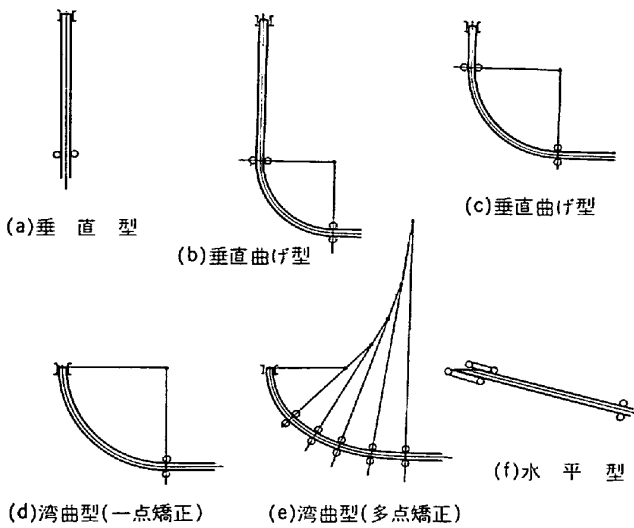


Fig. 8. A schematic view of different types of casting machine.

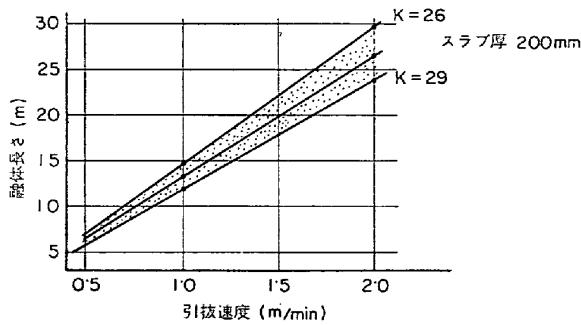


Fig. 9. Relation between casting speed and liquid pool.

ン手入の適用などにより大量処理方式が確立されるとともに、工程が大幅に短縮され、製鋼工場と圧延工場がローラーテーブルで直結可能となった。

全連铸工場を製鋼～分塊工場と比較すると

- ① 建家面積は約 1/2 以下になり、屋外設備を含めると約 1/3 以下である。
- ② 製鋼、分塊間の鉄道輸送が全廃可能である。
- ③ スラブの製造時間が 0.5～1 日早くなる。

などのメリットがある。更に今後いつそう厳しさを増す環境保全問題に対しても、従来法の 2 ヒート工程が 1 ヒート工程になるため、均熱炉排出ガス量の減少が期待できる。

### 3. 型 式

現在稼働中の連铸機型式を大別すると、垂直型、垂直曲げ型、湾曲型、水平型などの設備型式があり、模式的に示すと Fig. 8 のようである。これらの型式についてはおのおの利害得失があるが、一般的には垂直型から湾曲型へと変遷している。この理由は主として高速化に伴

う融体長さの増大に対処すること、および融体曲げ矯正の適用が可能になったことによる。

以下これら設備設計の基本的考え方について述べる。

#### 3.1 凝固速度

凝固速度に関しては連铸機の設備設計の基本となるため、多くの人々の研究報告がみられる。凝固速度は一般的に下記数式で示されるが、铸片形状、铸造鋼種、冷却条件、溶鋼温度などにより、多少の差異がある。

$$D = k \sqrt{t}$$

$D$  : 凝固厚 (mm)

$k$  : 凝固速度係数 (mm, min<sup>-1/2</sup>)

$t$  : 铸造後時間 (min)

凝固速度係数はスラブ用連铸機の場合 26～29、ピレットおよびブルーム用連铸機の場合 28～32 程度が採用されている。ブルーム、ピレットは凝固が二次元で行なわれるためにスラブに比し大きくなる。これらの凝固速度をもとに、铸造速度と融体長さの関係を求めると Fig. 9 のごとくなる。すなわち铸造速度が速くなると融体長さは長くなり、設備も大型化する。たとえば 200 mm 厚みのスラブを铸造速度 1.2 m/min で操作するためには融体長さは約 15m 必要であるから、各型式での設備高さは Fig. 10 に示すようになる。垂直型は湾曲型に比し約 3 倍の設備高さとなる。また最終凝固位置での溶鋼静圧は Fig. 11 のように約 1.5 倍となる。

つぎにロール径およびロールピッチを決定するためのファクターとして、溶鋼静圧に対する必要ロール支持力と铸片のバルジング(ふくれ)を考慮する必要がある。これについては KNELL は次式を与えている<sup>28)</sup>。

ロールにかかる溶鋼静圧  $W$  は

$$W = P \cdot L (b - 2s)$$

$P$  : 溶鋼静圧 (kg/cm<sup>2</sup>)

$L$  : ロールピッチ (cm)

$b$  : 铸片幅 (cm)

$s$  : 凝固シェル厚 (cm)

ロール間での铸片のバルジング量  $\delta$  は

$$\delta = \frac{PL^2}{16Es^3} \left\{ \frac{5}{2} L^2 - 3\nu d + \nu (b+d)^2 \right\}$$

$P$  : 溶鋼静圧 (kg/cm<sup>2</sup>)

$L$  : ロールピッチ (cm)

$s$  : 凝固シェル厚 (cm)

$d$  : スラブ厚 (cm)

$b$  : スラブ幅 (cm)

$E$  : 弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\nu$  : ポアソン比

上式からわかるように、垂直型では融体高さが高いため

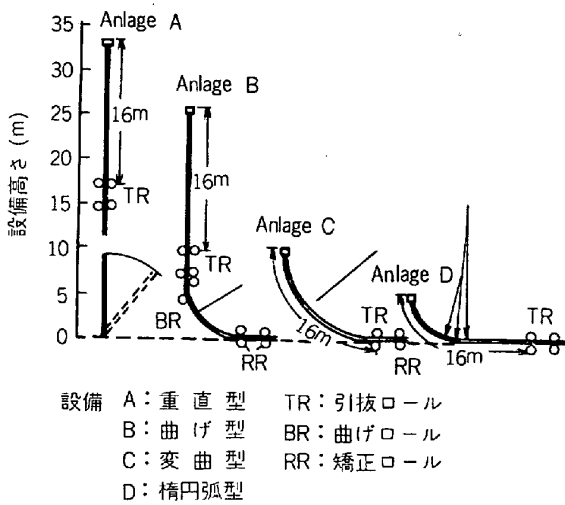


Fig. 10. Relation between height of machine and type of machine.

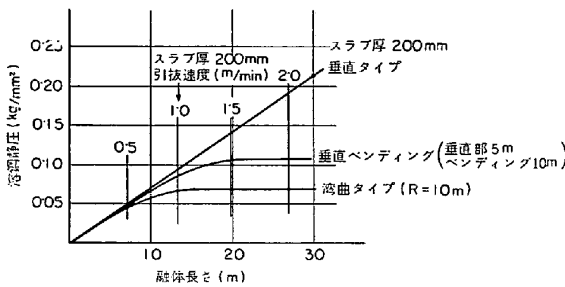


Fig. 11. Relation between liquid pool and ferro static pressure.

溶鋼静圧が大きくなり、ロールにかかる力が増大するためにロールが大型となるとともに、ロール径も大きくなり、必然的にロールピッチも広がる。現在許容されるバルジ量は明確でないが、ロールピッチが広いとバルジ量は大きくなり、品質上好ましくない。

以上のように鑄造速度の高速度化に伴い、融体長さは長くなり、ある限界速度以上では設備高さのみならず、設備構造上垂直型では不可能になり、高さの低い湾曲型へ移行せざるを得なくなった。

### 3.2 融体曲げ矯正

鑄造速度の高速度化やサイズの大断面化をはかろうとすると、湾曲型連鑄機においても引抜矯正以前に鑄片の凝固を完了させることが不可能となり、以下に述べる融体曲げ矯正が採用されるようになった。融体曲げ矯正は鑄片品質に種々の影響を与える、とくに鑄片内部割れおよび中心偏析の悪化など内部品質に対しては十分配慮する必要がある。曲げ矯正時に発生する内部歪率は Fig. 12 に示す一点曲げ矯正と多点曲げ矯正で下記のごとくなる。

$$\text{一点曲げ矯正歪率 } \epsilon_0 = (d/2 - s_0) / R$$

$$\text{多点曲げ矯正歪率 } \epsilon_n = (d/2 - s_n) / (1/R_{n-1} - 1/R_n)$$

$\epsilon_0, \epsilon_n$ : 内部歪率

$d$ : 鑄片厚

$s_0, s_n$ : 凝固シェル厚

$R, R_{n-1}, R_n$ : 曲げ半径

これらの曲げ矯正時に発生する内部歪率の許容値は製造鋼種により大幅に変動するが、実験および経験値として 0.10~0.25% 以下が許容限とされている<sup>12)</sup>。これらの考えを基礎として各連鑄機メーカーでは種々の設備設計を行なっている。たとえば Vöest タイプや Olsson タイプなどでは設備高さは若干高くなるが、垂直モールドの利点をいかす目的でモールド下ある距離より順次曲げ方式を採用している<sup>14)23)</sup>。また U. S. Steel などでは垂直モールドを使用し、一点曲げおよび一点矯正を採用しているが同時に、一点曲げ時にスラブ外側の凝固面に発

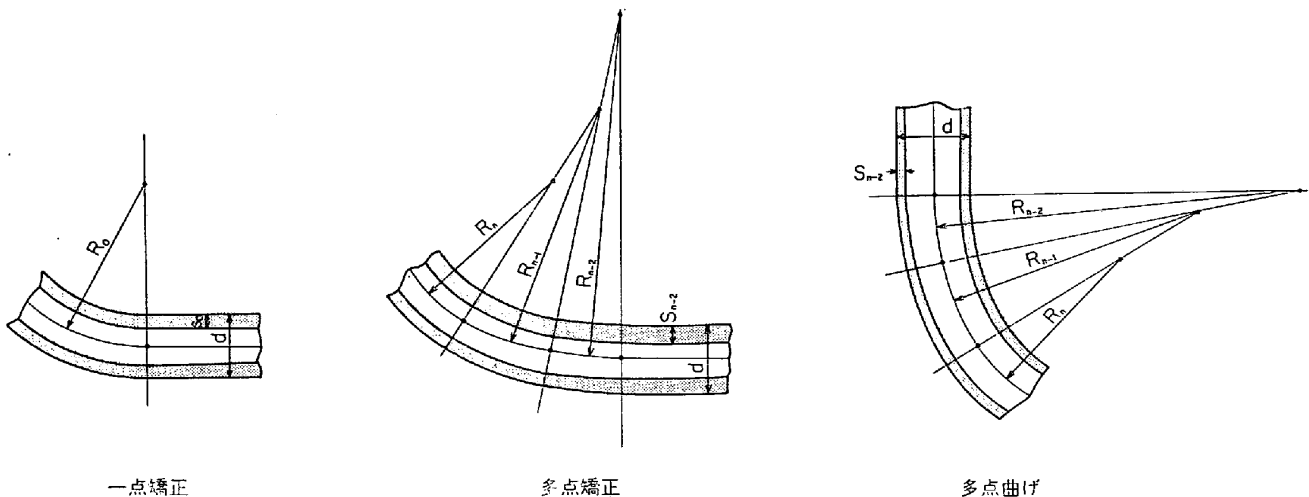


Fig. 12. Elongation on the solidification front at bending.

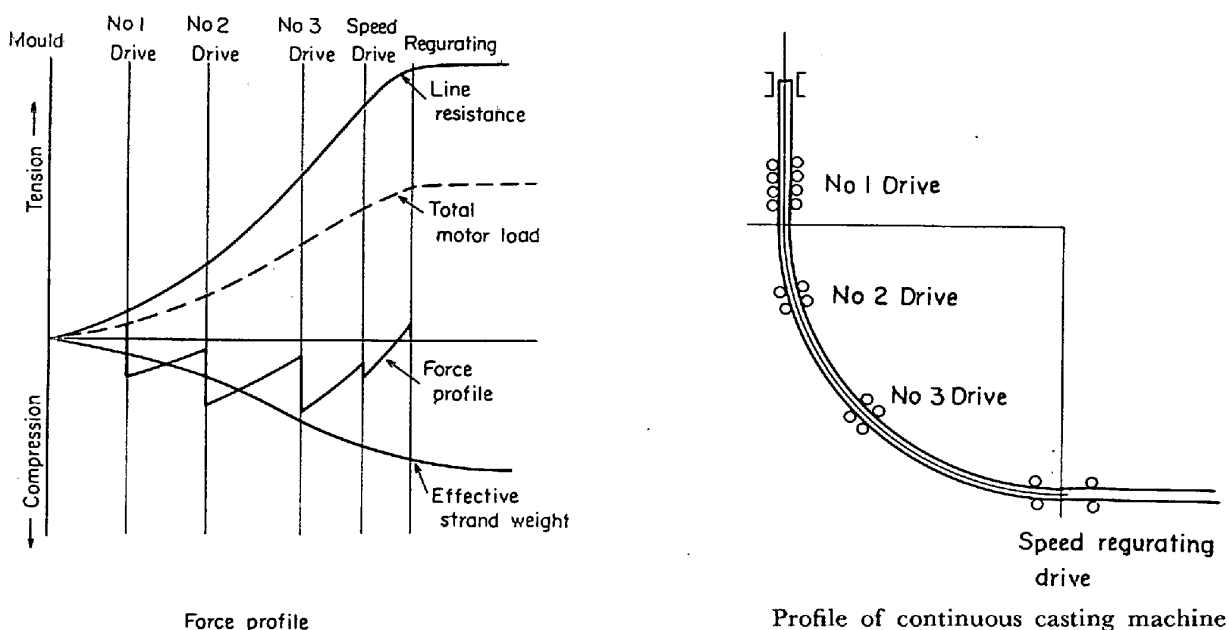


Fig. 13. Compression casting process at U. S. Steel<sup>15)</sup>.

生ずる引張歪を許容限界値以下にすることにより内部割れを防止することを目的に compression casting process を適用している。この方法は Fig. 13 に示すように鑄片の曲げ前後に駆動装置を設置し負荷バランスの調整にて、鑄片に compression を与え鑄片を曲げるときに発生する引張歪をなくそうとするものである。

D. S. T. や concast および最近の U. S. S. R. タイプ連鑄機ではカーブドモールドは垂直モールドと品質上、操業上なら遜色ないとし、カーブドモールドを採用している<sup>16)</sup>。また融体矯正については多点矯正方式を採用し内部歪率の減少をはかっている。これら融体曲げ矯正時の品質への影響としては内部歪率のみならず、歪速度についても考慮する必要があるとされ、歪速度は  $10^{-4}$  ~  $10^{-5}$  1/sec 以下を採用しているものがある<sup>29)</sup>。

連鑄機型式については概略以上のような考え方に基づいて設計されているが、一般に最近の連鑄機の設計の主眼は高生産性を目的とする高速鑄造を可能にするとともに、これらの条件で高品質を確保することにある。具体的には、溶鋼静圧を減じ鑄片のバルジング量を減少させるとともに、融体曲げ矯正を可能にし設備のコンパクト化を指向している。

#### 4. 設備改善とその動向

##### 4.1 動向

最近における開発の動向は生産性向上を目的とした、鑄造速度の高速化や稼働率の向上などの諸方策に加え、とくにわが国では最近の労働事情を反映して、これらの自動化、省力化および整備性の向上などの労働負荷軽減

対策も重視されるようになった。また造塊～分塊工程の代替設備としての安定性の確保や適用鋼種の拡大にともなう高級品種に適応した品質改善を目的とした種々の新設備も開発されてきた。

##### 4.2 高速鑄造

高速鑄造によつて融体長さは Fig. 9 に示すように長くなる。したがつて設備としては二次冷却帯を延長し、機長(モールドから終端ピンチロールまで)も長くなる。現在稼働中の連鑄機では新日鉄大分のように 250 mm 厚スラブを 2.0 m/min の鑄造速度で鑄造するために 36 m の機長を持つ設備も出現した。これら高速化設備の場合、二つの大きな問題点がある。

(i) モールド直下での凝固シェル厚みが薄いため、ブレークアウトや鑄片変形を防止し、冷却能を向上させる必要がある。

(ii) 下部溶鋼静圧大なる部分でスラブのバルジングを防止する必要がある。

(i) の対策としてモールド長さを若干長くするとともに、モールド直下での鑄片を良好に保持する目的で Fig. 14 に示すような Cooling grid や Cooling plate などが考えられた。これらの装置は鑄片の保持、冷却能はすぐれているが、摩耗および熱変形により寿命が短いこと、整備性が良くないことなどの欠点も懸念される。また Fig. 15 のようなウォーキングバーを採用した方式も出現した。これは鑄片を保持しているバー群が鑄片を引抜くと同時に、バー内部に通じている冷却水により間接冷却する方法である。これらモールド直下でのスラブガイドと同時に冷却能を向上させることが必要である。



この方法として冷却水量を従来より増加し比水量 2.0l/kg-steel 以上とするとともに、冷却能の向上と均一冷却をはかるため、従来一般的に使用されているフラットノズルに加えてスクウェアノズル、フルコーンノズルも使用されるようになった。

一方、鑄片の凝固シェル厚みはモールドから等距離位置についてみると、高速化すれば薄くなり、したがってスラブのバルジング傾向は増加する。さらに鑄造サイズが大型化して、幅が広くなればいつそうスラブのバルジ

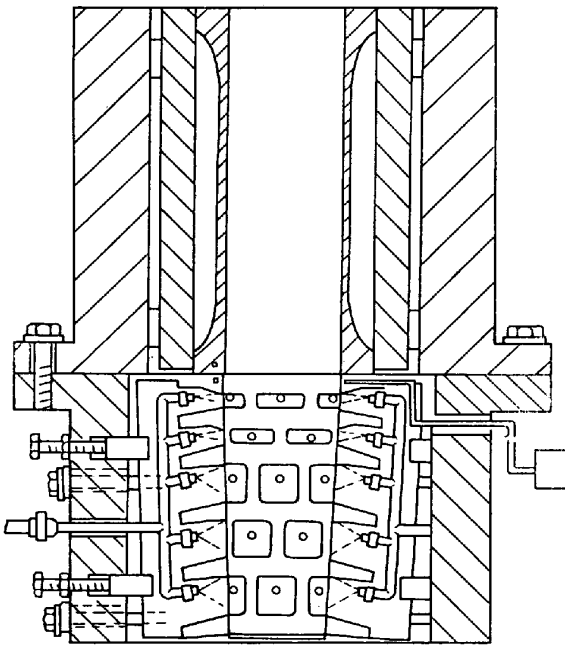


Fig. 14. Cooling grid for high speed casting<sup>17)</sup>.

グ傾向に拍車をかける。したがって高速鑄造機における設計上の問題点はいかに上手にバルジングする鑄片を支持するかにある。この方法として一般的には前述したモールド直下は別にして、ガイドロールによる支持方法がとられている。この場合のロール支持力やバルジング量については前述したが、たとえばスラブサイズ 300 mm × 2 200 mm、鑄造速度 0.6m/min の連鑄機についてみると、支持ロールの配置は Fig. 16 のようになっており最大静圧を受ける位置でのロール径は 450~480 mm、ロール間隔 500~550 mm となっている。そのほかにロール間隔を小さくしバルジング量を少なくする目的で Fig. 17 のようにロール径の小さな分割ロールを組込む方法や、数本のロールをユニットとしたセグメント化した方法もみられる。

### 4.3 稼働率向上

稼働率を向上させる方法としては、つぎの2方法が考えられる。

- ① 連続連続鑄造（連々鑄）が容易な設備とすること
- ② 鑄造前準備時間やサイズ変更時間の短い設備とすること

最近の連鑄機は連々鑄操作を前提とした設備となっているものが多い。たとえば取鍋、タンデッシュを迅速交換する方法として Fig. 18 のようなレードルスイングタワーやレードルカーおよびスイングタンデッシュ設備などがある。この方法では取鍋交換時間は従来5分程度要していたものが3分以内、タンデッシュ交換も1分以内で交換可能となった。またタンデッシュ容量についても

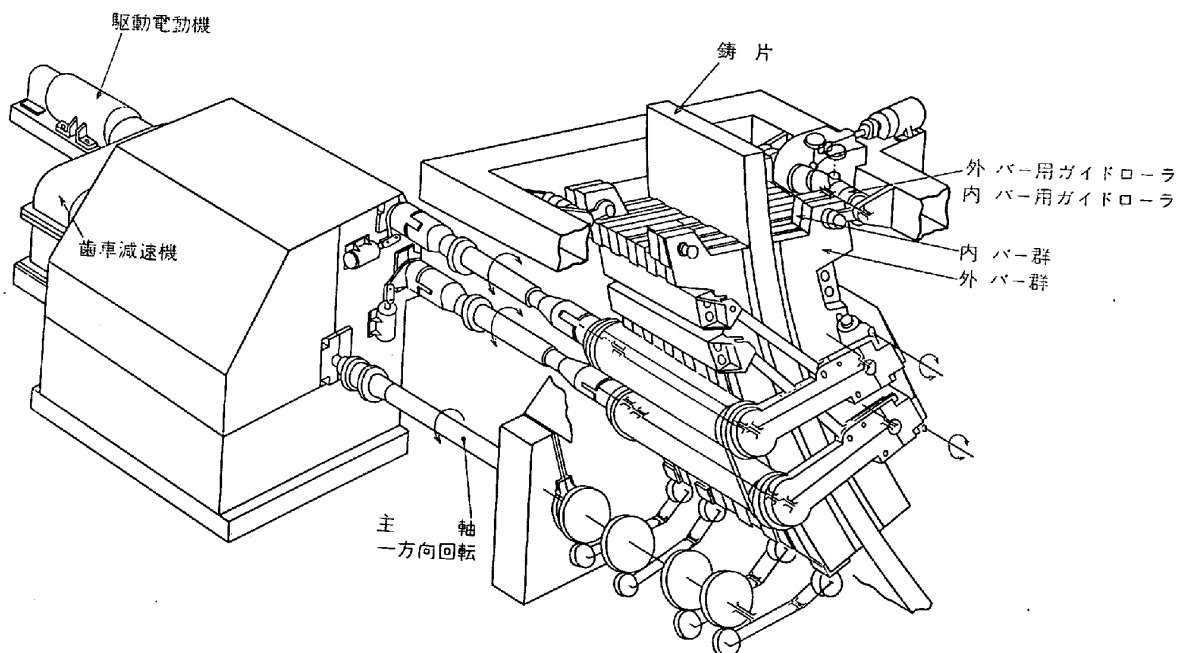


Fig. 15. Walking bar equipment.

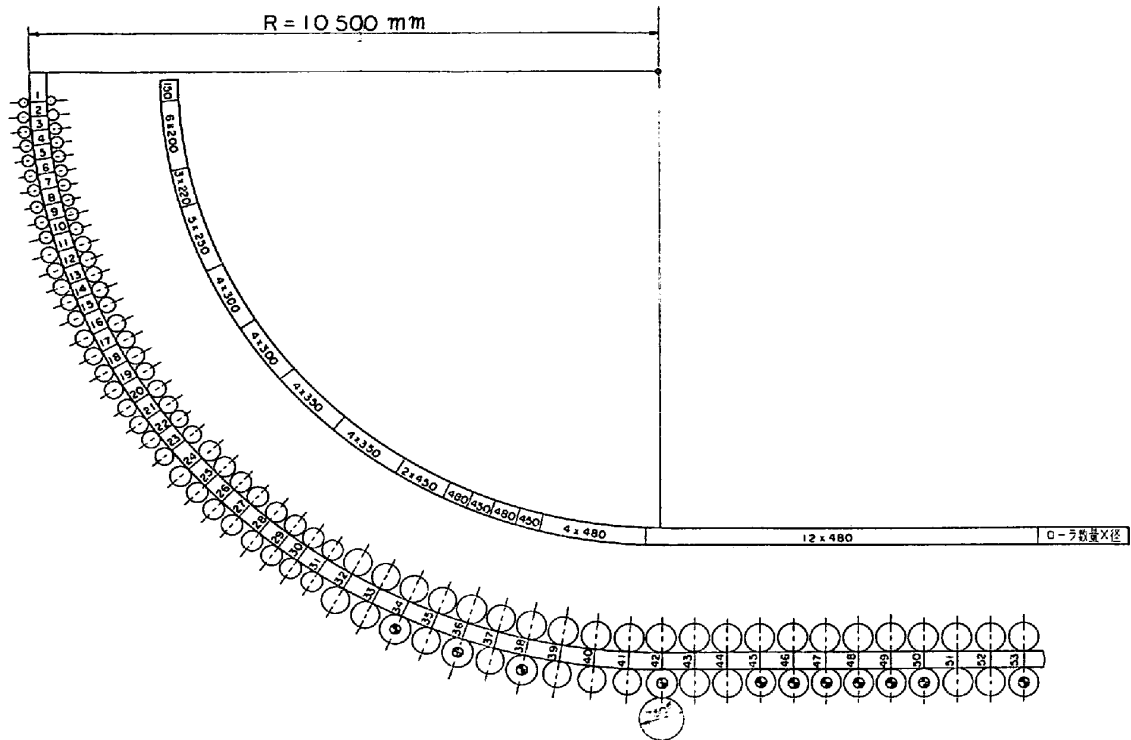


Fig. 16. Example of roll schedule for slab caster.

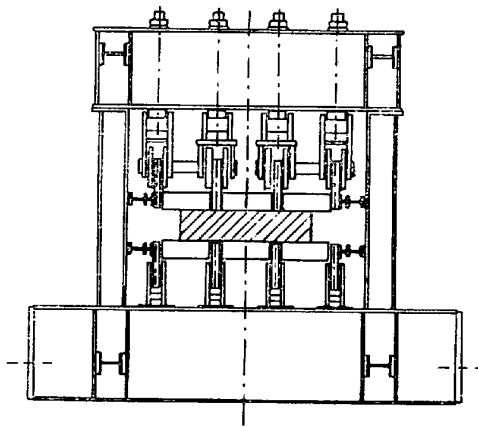


Fig. 17. Divided roller design<sup>19)</sup>.

連々鋳操作や品質改善を目的として大型化する傾向がみられ、スラブ用連鋳機では 40 t 程度のものも出現している。

しかし連々鋳によつて同一サイズばかり鋳造することは生産管理上限界があるため必然的に異なつたサイズの連々鋳化が必要となる。すなわち幅可変モールドによつてほとんど注入を中断することなく幅変更を行なおうとするものや、シーケンスブロックなどを使用して鋳片を機内から引抜かないままモールド変更を行ない直ちにつぎの鋳込みを開始する方法などが試みられている。これらの方法によれば溶鋼がタイミングよく供給されるかぎり連々鋳が無限に続行できることになる。

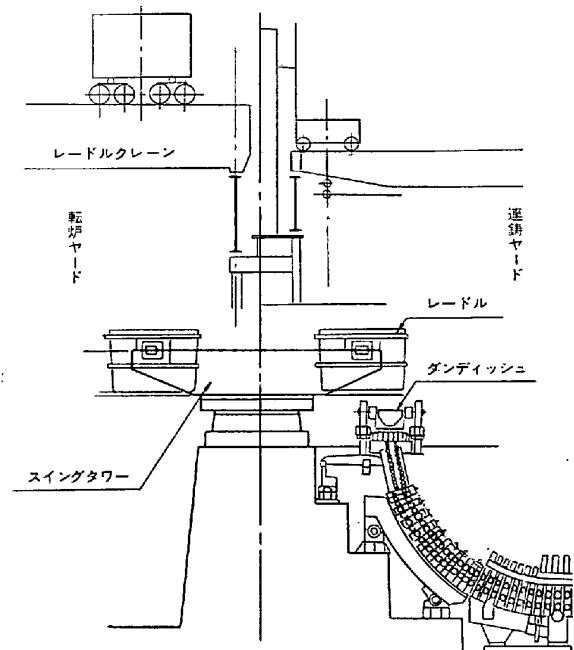


Fig. 18. Schematic arrangement of a swing tower<sup>20)</sup>.

鋳造前準備時間の短縮方法の例としては Fig. 19 のようにダミーバー上方挿入方式が採用され、ダミーバーヘッドにパーマネントヘッドが使用されたものがある。この方法によればダミーバー挿入およびモールド内セットが鋳片搬出と同時に行なうことが可能である。その結果

準備時間は従来 50~60 分程度必要としていたものが 30 分以内に短縮されたといわれる。

サイズ変更には幅のみの変更と厚み変更がある。幅変更は 4 面プレートのユニバーサルモールドと幅可変ダミーバーヘッドの使用が一般的である。変更所要時間も 10~15 分程度となり、準備時間内に吸収されほとんど生産障害にならなくなっている。

厚み変更についてはモールドから二次冷却帯にわたって調整を要するためかなりの手順を要する。最近の設備ではモールドと二次冷却帯の一部をあらかじめ整備しユニットで交換する方法を採用し (Fig. 20), (Photo. 1), 取外し, 取込み, 芯出し時間の短縮を計っている例がある。二次冷却帯やピンチロールなどサイズ共用帯については電動スクリューや油圧シリンダーなどを使用し, ワンタッチでロール間隔が調整可能となっているものがある。さらにダミーバーについては各サイズ共用としヘッドのみを所定厚さに変更する方法や使用目的は若干異なるが Fig. 21 のように空気式ダミーバーを使用して共用

化を計っているものもある。これら主設備の改良のほか、冷却水や油圧ホースの自動脱着、サイズ変更に伴う冷却水の自動設定変更装置の導入などにより、作業の簡易化、時間短縮が計られた。以上のような設備の改善により、厚み変更時間はスラブ用連铸機では 60 分程度、ブルーム、ピレット用では 30 分程度のものが出現している。

一方、これらサイズ変更時間の短縮とは別に、サイズ変更を省略し生産性を向上させることを目的に Fig. 22 のようなインラインリダクション法にて、同一モールド

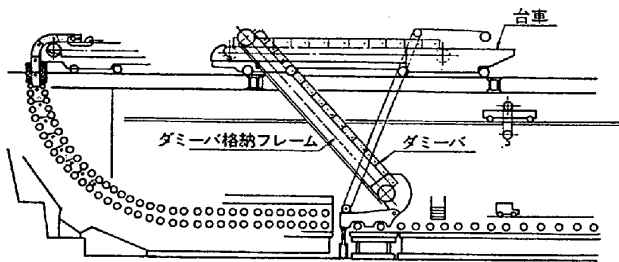


Fig. 19. Top inserting system of dummy bar<sup>21)</sup>.

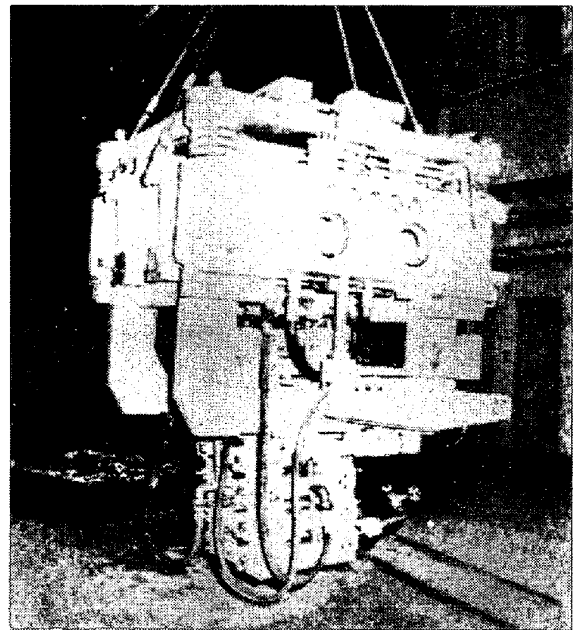
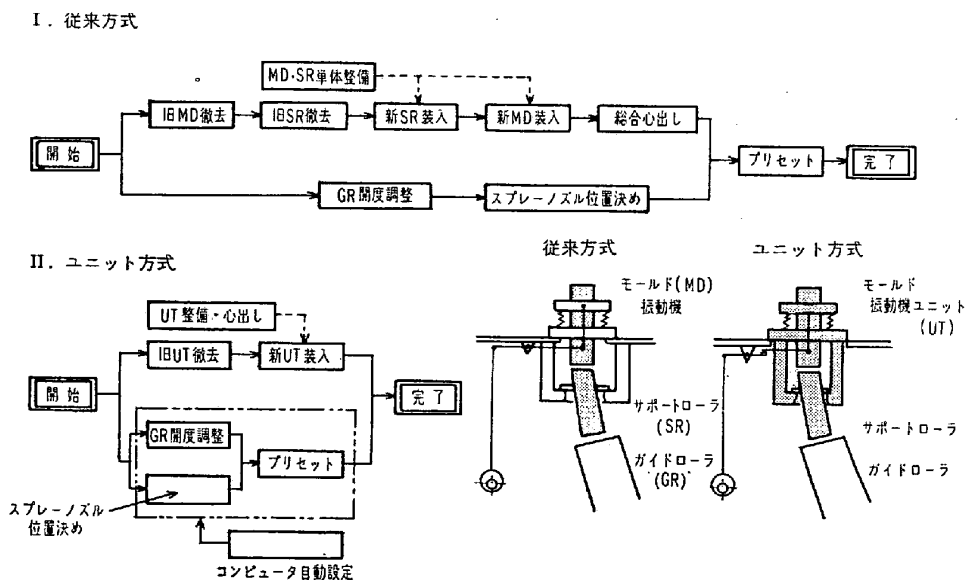


Photo. 1. View of changing unit<sup>22)</sup>.



(注) 黒色部が型替時の交換部分を示す。

Fig. 20. Operation standard of size change.

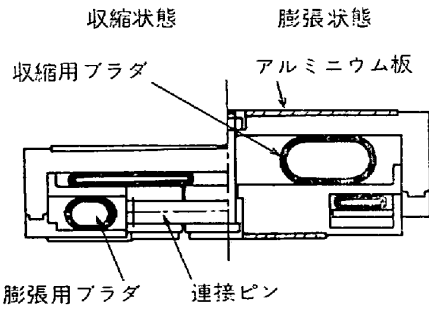


Fig. 21. Example of expanded dummy bar used air.

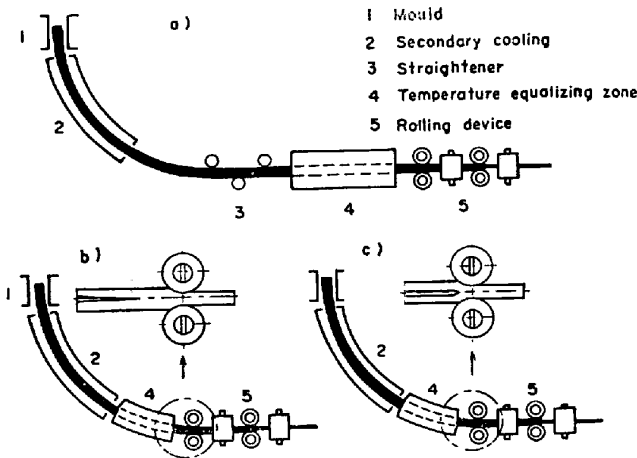


Fig. 22. Schematic view of different type of direct reduction<sup>13)</sup>.

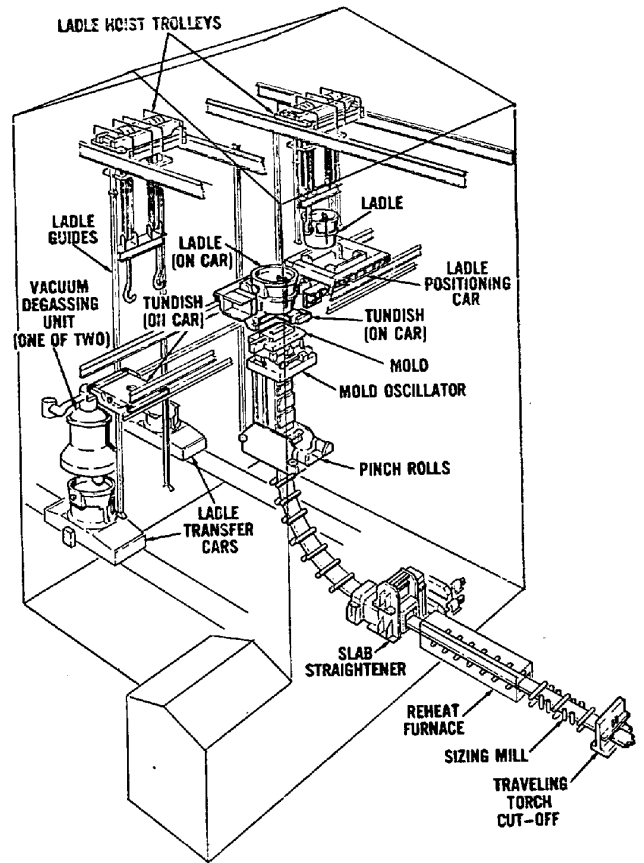


Fig. 23. Schematic arrangement of the principal operating components of the Gary slab caster<sup>5)</sup>.

で異サイズの鋳片を製造する方法が実用化されている。この方法には完全凝固後圧延する方法と中心部未凝固部を残して圧延する方法が考えられたが、Böhler での実験では前者の方法が適用範囲が広いということで普及している。圧下量についてはピレットでは 25%~30% の圧下が最適とされている。

現在稼動中の設備では Böhler (Austria) 140 mm  $\phi$   $\rightarrow$  96 mm  $\phi$ , The Timken Roller Bearing Co. (U. S. A) 305  $\times$  241 mm  $\rightarrow$  241 mm  $\phi$ , National Steel Co. (U. S. A) 180 mm  $\phi$   $\rightarrow$  180  $\times$  100 mm, Inland Steel Co. (U. S. A) 180 mm  $\phi$   $\rightarrow$  127 mm  $\phi$ , U. S. S. South Works (U. S. A) 190 mm  $\phi$   $\rightarrow$  100 mm  $\phi$ , 127 mm  $\phi$ , 152 mm  $\phi$ , 岸和田製鋼 140 mm  $\phi$   $\rightarrow$  107 mm  $\phi$  などがある。

スラブ用連鑄機でも Fig. 23 に見るように、U. S. Steel では 3 組の水平ロールと 4 組の垂直ロールで、加熱炉を通過した 235 mm  $\times$  1400 mm, 235  $\times$  1900 mm の 2 種類のスラブから、最小サイズ 150 mm  $\times$  810 mm のスラブまで種々のサイズを製造している。また Vöest でも 225 mm 厚スラブから直接圧下で約 15 mm 程度圧下している。

#### 4.4 自動化および省力化

連鑄機の自動化については製造工程上から 2 グループに分割して考えられる。すなわち溶鋼注入から鋳片切断までの工程と、切断以降の鋳片搬送および精整工程である。後者の自動化については従来の圧延設備における自動化対策などが取込まれかなり進んだ自動化が行なわれている。しかし連鑄の主工程である鑄造、冷却、切断などの連鑄本体については自動化要請が大きいにもかかわらずその開発テンポが遅かった。その理申としては溶鋼を処理するために 100% 近い信頼性を必要とすること、また作業の一元化が困難であることによる。近年操業技術や制御計測技術の進歩により急速に自動化が進み概略 Fig. 24 のごとき機能で自動化、省力化が計られている。これらは Co 60 などを使用した  $\gamma$  線方式や熱電対方式を検出端とするモールド溶鋼レベル計による鑄造自動化を中心に構成されている<sup>18)</sup>。鑄造自動化には 2 方法がある。スラブやブルームのような大断面サイズの鑄造では、設備能力や品質士の問題から引抜速度を一定とし、モールド溶鋼レベルによるタンデッシュ溶鋼流量制御方式が一般的である。一方小断面ピレットなどの鑄造では

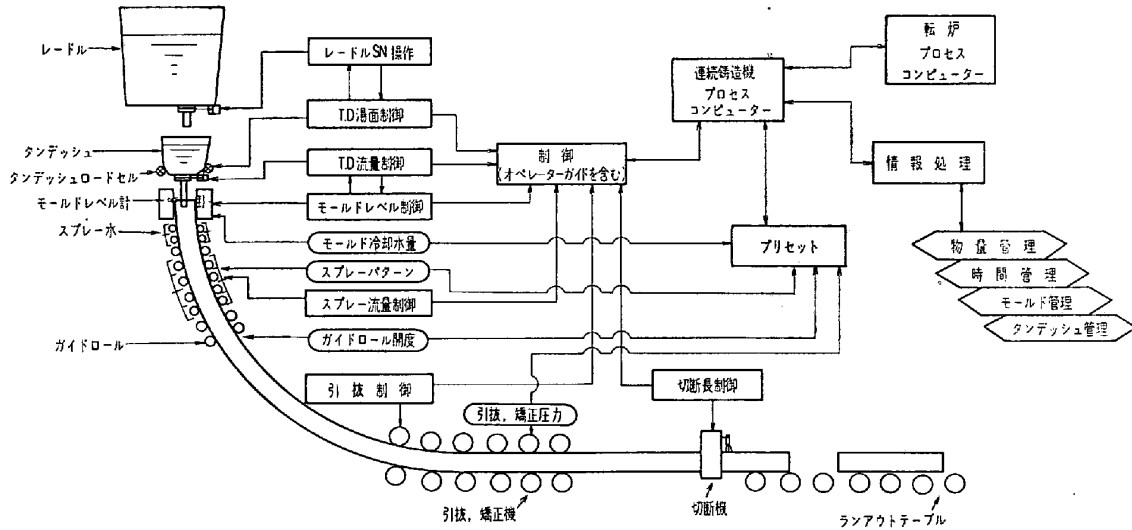


Fig. 24. Skeleton of automatic casting control system for continuous casting machine<sup>24)</sup>.

タンデッシュノズルにオープンノズルを使用する場合は多いためモールド溶鋼レベルにより引抜速度制御を行わせる方式を採用する場合が多い。一方、取鍋からタンデッシュへの溶鋼注入については、タンデッシュ重量計とスライディングノズルやオートポアーと組合わせて自動化を計っている。さらに最近、モールド内パウダーの自動投入装置の開発も積極的に進められており、これら各機能を組合わせて铸造作業中の操業床の無人化も夢でなくなってきた。このほか铸造の自動化とは別に計算機を設置し、プリセット、速度制御、冷却水制御、铸片切断制御などを行なわせ、物量管理や工程管理などに有効に寄与している例もみられる。現在稼動中の川崎製鉄水島、新日鉄八幡、新日鉄室蘭のブルームやビレット機では2ストランド1名のオペレーターで作業可能といわれ、大型スラブ連铸機でも、最近では铸造中1ストランド1名で十分だといわれるようになってきている。

これら自動化装置導入の副次的メリットとして、モールド溶鋼レベル計の導入による铸片表面性状の改善や計算機による铸片切断時の切合わせ計算による歩留向上、および铸造情報を受けて铸片の合理的スクーフ方法の実施が可能となるなどのメリットがあげられよう。

#### 4.5 整備性

連铸法は従来の造塊～分塊法に比し設備精度や整備性の良否が、生産能力のみならず成品品質におよぼす影響が大きいのと言える。現状の連铸設備では品質維持の面から、モールドとロールの整備が大半であり、整備工数からみてほぼ70～80%にも達している。これらの整備性向上対策として、当然のことながら保守が迅速簡単に行えるように、また各部品の寿命延長をはかることが必要である。

モールド構造は一般に小断面ビレットやブルームではチューブラーモールドを、スラブなどではプレート組立モールドが採用されている。モールドの整備精度については最近パウダーキャストの採用により若干ラフになったとはいえ銅板精度、組立精度とも0.2～0.5 mm以下と非常に厳しい。モールド寿命については現在クロムメッキなどを実施して寿命延長を計っているところが多いが、チューブラーで150～200ヒート、プレート組立モールドで1000～1500ヒート程度となっている。最近硬度が高く、変形の少ない特殊銅を使用して寿命延長を計っているものもある<sup>26)</sup>。

ロールについては铸片内質に与える影響が大きく、高速化、大型化にとともに、いつそう重要性が増すとともに使用条件も苛酷化している。これらの対策としてロール形状も一本ロールや分割ロール、ロール構造もスリーブタイプやソリッドタイプなど各種のロールが使用されるようになった。またロール材質についても使用条件、設置場所などを考慮し種々の材質の使用が試みられている。ロールの良否を判断するために長時間を要するたためいづれがよいか明確ではないが、例えば、材質にNi, Cr, Moの低合金鋼を使用したソリッドタイプロールの寿命は5000～10000ヒート程度であるといわれている。ロール廃棄の原因としては熱応力による表面クラックによるものが多い。したがってこれらのロールの交換設備や精度維持設備も重要となる。ガイドロールやピンチロールの交換についてはセグメント化しガイドロールや台車などを使用し迅速交換を可能にするとともに、作業環境の改善と整備精度を向上させるため、従来の圧延工場のロールショップ的な考えが採用されつつある。またロールアライメントやロール間隔などにつ

いても鑄片内質に大きな影響を与えるため現状では 0.5 ~ 1.0 mm 以内 というようなきわめて高い調整精度が要請されるので、これらの状況を常時把握する必要がある。この測定および監視方法として、差動トランスと計算機を組合わせて自動的に測定する方法やロール曲りや、ベアリング異常を電流値などで管理する方法などが工夫されている<sup>27)</sup>。以上のように整備性向上、精度向上のための種々の改善が行なわれているが、連鑄の大型化、大量生産設備としての位置付けが行なわれるにしたがいさらにこれらの問題に積極的に取り組む必要がある。

## 5. 結 言

連鑄法は従来の造塊～分塊法にかわる大幅な製造プロセスの変更であるだけに、その普及にも長年月を要してきた。しかしいまや連鑄法に対する十分な評価のできる段階にまで到達したといえよう。連鑄機の能力もスラブ用 2 ストランド機で月産 12~16 万 t というまでに達し、十分大型転炉にマッチできるまでに向上した。またビレット用機でも電炉工場などの小型鋼塊に取つて代わり、歩留の向上や省力化によるメリットをあげ得る実績が得られつつある。

従来の造塊法の機械化省力化されたプロセスが連鑄法であるということができるだけに、今後ますます普及発展することは疑いない。しかし連鑄法の問題点の一つに操業条件のシビヤースデリケートさが指摘される。すなわち鑄込温度の厳密なコントロールや連鑄機のモールドやガイドロールなどの精密な調整などである。したがって連鑄機に要求される今後の課題として、より省力化されしかも操業、メンテナンスの容易なことが強く求められるであろう。

## 文 献

1) 33/The Magazine, Oct. (1970), p. 62~75

- 2) 鉄鋼連盟, 鉄鋼生産設備の現況
- 3) G. S. LUCENTI: Iron Steel Engr., July (1969), p. 83~100
- 4) 堀口ほか: 製鉄研究, 272 (1971), p. 102~118
- 5) J. F. B. WOOD: Iron Steel Engr, Dec. (1971), p. 47~52
- 6) B. C. WHITMORE and J. W. HLINKA: J. Metals, Aug. (1969), p. 68~73
- 7) H. SCHREWE and G. DIEDERICH: J. of the West of Scotland Iron and Steel Institute, 77 (1969), p. 34~46
- 8) 川名ほか: 川崎製鉄技報, Oct. (1969), p. 36~46
- 9) A. V. WIEBEL: Iron Steel Engr., (1967), 7, p. 103~112
- 10) K. G. SPEITH and A. BUNGEROTH: Stahl u. Eisen, 86 (1966), p. 338
- 11) 33/The magazine, (1970) Nov., p. 65
- 12) L. I. MOROZENSKII: Stal, (1965) Apr., p. 272~276
- 13) B. TARMAN: A. I. S. I. Meeting, (1971) Sep.,
- 14) 竹原ほか: 三菱重工技報, 6 (1969), p. 615~628
- 15) U. S. Patent, 3, 752, 210
- 16) H. V. ENDE: JISI (1972) Dec., p. 889~894
- 17) K. HECK: Iron Steel Engr., (1973) Feb., p. 33~38
- 18) 日本鉄鋼協会, 第 54 回製鋼部会
- 19) R. SCHOFFMAN: A. I. S. I. Meeting, (1971) Sep.
- 20) 安藤: 日立造船技報 (1973), 2, p. 26~30
- 21) 吉川: " (1973), 2, p. 31~35
- 22) 木村ほか: 日立評論, 55 (1973), p. 37~42
- 23) 石川島播磨技報: 11 (1971) 5, p. 431~437
- 24) 三原ほか: 製鉄研究, (1973) 279, p. 34~41
- 25) 梨和ほか: 鉄と鋼, (1973) 11, p. 98
- 26) 渡辺ほか: 日立造船技報, (1973) 2, p. 43~49
- 27) 佐藤ほか: 住友重機技報, (1973) 62, p. 41~44
- 28) H. KNELL: Steel Times 195 (1967), p. 189
- 29) G. KOMMA, G. VOGT and K. WUNNENBERG: Iron Steel Engr., (1973) June, p. 68~73