

# ツインベルト式薄スラブ連铸機の 自動铸込み法

© 1989 ISIJ

技術報告

高輪 武志\*・高本 勉\*・大橋 保威\*<sup>2</sup>  
岡寄 卓\*<sup>3</sup>・吉原 正裕\*<sup>4</sup>・小出 優和\*<sup>5</sup>

## Automatic Casting Method of Twin Belt Type Thin Slab Caster

Takeshi TAKAWA, Tsutomu TAKAMOTO, Yasutake OHASHI,  
Takashi OKAZAKI, Masahiro YOSHIHARA and Masakazu KOIDE

### Synopsis :

For the stabilization of operation and improvement of quality in twin belt type continuous casting process adopting overflow type pouring method, an automatic casting start method and a pool level control method have been developed on the following procedure.

(1) In the casting start stage, the flow rate of molten steel poured from large tundish into small tundish is estimated based on the measured change of small tundish weight. Required opening degree of sliding gate, casting speed and change timing of casting speed are calculated by using the above mentioned molten steel flow rate. Casting start is operated automatically by this method.

(2) After the automatic casting start, pool level in the caster is controlled by the change of casting speed, and at the same time the deviation of casting speed is reduced by the operation of opening degree of sliding gate of large tundish. Pool level control is operated automatically by this method.

The automatic casting method is being put into practice, and brings the smooth casting start and improvement of control accuracy of pool level.

Key words : continuous casting ; automatic casting ; twin belt caster ; process control ; casting start ; pool level control ; sliding gate ; casting speed.

## 1. 緒 言

溶鋼より直接薄铸片を造るための新铸造プロセスとして、Fig. 1 に示すごとく、溶鋼をレードルから親タンディッシュ、子タンディッシュを経て、背面を水冷された二つのベルト間に給湯し、ベルトの回転移動により铸片を引抜製造するツインベルト式連铸プロセスが考案され、実機試験が進められている<sup>1)2)</sup>。

本プロセスにおいて、操業を安定させると同時に高品質の铸片を製造するためには、铸込み開始の作業を円滑に進めるとともに铸造機（以後キャストと呼ぶ）における定常時の湯面レベルを安定化させることが必要不可欠となる。

非鉄分野でも、上記と同種のプロセスが実用化されているが、铸込み開始作業や定常铸込み時の湯面レベル制御は手動でなされている例が多く、自動化実施例は少ない<sup>3)</sup>。しかし鋼の場合は、非鉄よりも铸片品質上の制約が厳しく手動操作では対処が困難であり、上記の操作の適正化が必要となる。

上記のプロセスは給湯部がオーバーフロー方式で、かつ铸造部がツインベルト式という特殊なプロセスであるために、通常の連铸プロセスにおける自動铸込みスタート法<sup>4)5)6)</sup>や湯面レベル制御法<sup>7)8)</sup>をそのまま適用することが困難である。

本研究では、オーバーフロー給湯法を採用したツインベルト式連铸プロセスに適した自動铸込みスタート法と

昭和 61 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 63 年 3 月 14 日受付 (Received Mar. 14, 1988)

\* 住友金属工業(株)システムエンジニアリング事業本部 (System Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-2-2 Shinsenrinishimachi Toyonaka 565)

\*2 住友金属工業(株)システムエンジニアリング事業本部 (現:九州電子金属) (System Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Now Kyushu Electronic Metal)

\*3 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 (現:ワコースティール) (Iron & Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Now Wako Steel Co. Ltd.)

\*4 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 (Iron & Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

\*5 住友金属工業(株)プラントエンジニアリング事業本部 (Plant Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

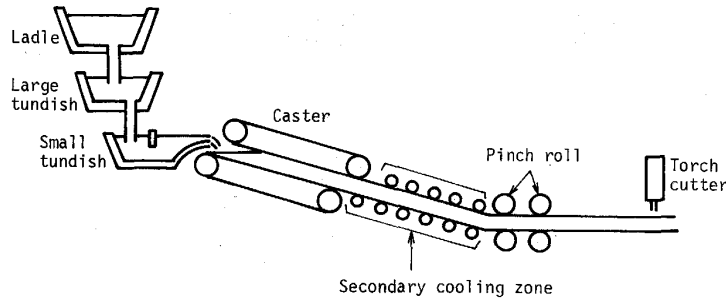


Fig. 1. Schematic drawing of twin belt caster.

Table 1. Specifications of pilot plant.

Item		Specification
Caster type Plant length Casting speed		Hazelett twin belt caster 69 m Max 15 m/min
Slab size	Thickness Width	20~80 mm 600 mm
Caster angle Caster length Belt cooling Secondary cooling		6~15° 2.9 m High speed water film cooling Water spray cooling

Table 2. Casting conditions.

Item	Condition
Cast metal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low carbon Al killed steel</li> <li>• Si killed steel</li> <li>• High Mn Al killed steel</li> <li>• Stainless steel</li> </ul>
Casting temperature Casting speed Thickness of slab Caster angle	1 550~1 580°C 3~5 m/min 30~50 mm 6~9°

湯面レベル制御法を開発し、実験操業への適用を図った結果著しい効果が得られた。以下自動鑄込み法の概要と実施効果について述べる。なお、本研究で対象とする鑄造機の設備仕様を Table 1 に、鑄造条件を Table 2 に示す。

## 2. 自動鑄込みスタート法

### 2.1 自動鑄込みスタートの必要性

ツインベルト式連鑄の鑄込み開始を手動で行う場合、下記の難点がある。

(1) キャスター内の断面積が通常の連鑄プロセスに比べて小さいので、鑄込み開始時の給湯によるキャスター内の湯面上昇が速く、手動での操作が困難である。

(2) 親タンディッシュのスライディング・ゲートの開度と、親タンディッシュから子タンディッシュへ注入される溶鋼の流量との関係が地金付着等による開口部縮小のために一義的に定まらない。

(3) キャスターがベルト式であり、ベルト溶損を避け

るためにキャスターへの溶鋼注入開始と同時にキャスターを起動しなければならず、注入量と引抜量の着が大きい場合には、操業を停止しなければならない事態が発生する。すなわち、注入量が引抜量に比べて大きすぎればキャスターからの溶鋼のオーバーフローが生じ、反対に注入量が引抜量に比べて少なすぎればキャスター内の湯面レベルがどんどん低下し所定のシェル厚が保証されなくなつてキャスター出口でブレイクアウトを生じる。

(4) キャスター内の湯面レベルを観察・測定する光学式検出器の視野が限定されているため、湯面が見えてからでは対処が遅れる場合がある。

したがって、上述の問題点を解消し、所定の湯面レベルおよび引抜速度を迅速かつ安定して得るための自動鑄込みスタート法の確立が必要となる。

### 2.2 自動鑄込みスタートの概要

#### 2.2.1 鑄込みスタートの方法

自動スタートにおける重要な点は下記の2点である。

(1) 親タンディッシュから子タンディッシュへ注入される溶鋼の流量を所定の引抜速度に相当するよう、キャスターへの注入開始までに制御すること。

(2) キャスターへの溶鋼注入開始と同時にキャスターを起動させ、湯面レベル計を用いずに所定の湯面レベルと引抜速度を得ること。

レードルから親タンディッシュへの注湯については、オペレーターの手動によるレードルのスライディング・ゲートの操作で制御しており、本研究では、親タンディッシュ内の溶鋼の湯面レベルが所定の位置まで上昇して子タンディッシュへの給湯が開始されてから引抜速度を所定の値に上昇させるまでの期間の制御を対象にした。

そこで、上記の要点を考慮して Fig. 2 に示すごとき鑄込みスタート方式を考案した。この手順を下記に示す。

① 親タンディッシュから子タンディッシュへの給湯開始時には、スライド部への地金付着防止と操業時間短縮を図るためスライディング・ゲートを全開にする。(開度  $\alpha_1 = 100\%$ )

② 子タンディッシュ内の溶鋼重量が全量 (すなわち、

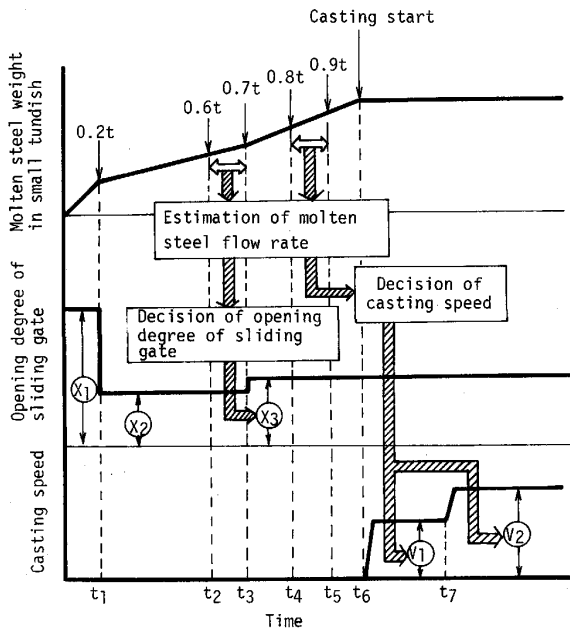


Fig. 2. Concept of automatic casting start method.

子タンディッシュ内が湯であふれてキャスターへの注入が開始される時の子タンディッシュ内の溶鋼重量で約1.1tである。)の約20% (0.2t) になった時点  $t_1$  で、スライディング・ゲートの開度をあらかじめ決められた開度  $x_2$  に設定する。(開度  $x_2$  の決め方については2・2・2で後述。)

③子タンディッシュ重量が全量の約60% (0.6t) になる時点  $t_2$  から全量の約70% (0.7t) になる時点  $t_3$  までの間に親タンディッシュから子タンディッシュへ注入される溶鋼の流量  $Q_1$  を子タンディッシュ内溶鋼の重量変化率から間接測定し、この溶鋼流量が目標値に一致するよう時刻  $t_3$  でスライディングゲートの開度を  $x_3$  に調整する。ただし、溶鋼流量の目標値とは、所定の引抜速度に対応した流量であり、所定の引抜速度とキャスターの断面積との積であらわされる。(開度  $x_3$  の求め方については2・2・2で後述。)

④子タンディッシュ内の溶鋼重量が全量の約80% (0.8t) になる時点  $t_4$  から全量の約90% (0.9t) になる時点  $t_5$  までの間に子タンディッシュへ注入される溶鋼の流量  $Q_2$  を③の場合と同様の方法で再度間接測定し、キャスターの湯面レベルが目標となるための引抜速度  $v_1$  および  $v_2$  を算出する。

⑤子タンディッシュ内が湯であふれてキャスターへの注入が接触式の湯面検知器により検知された時点  $t_6$  でキャスターの起動を開始させる。(このとき子タンディッシュ内の溶鋼重量は約1.1tになる。)最初は所定の引抜速度より小さい速度  $v_1$  (以後、助走引抜速度と呼ぶ)

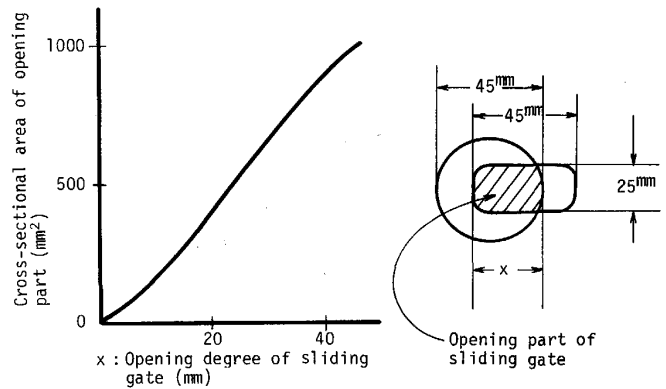


Fig. 3. Characteristics of sliding gate.

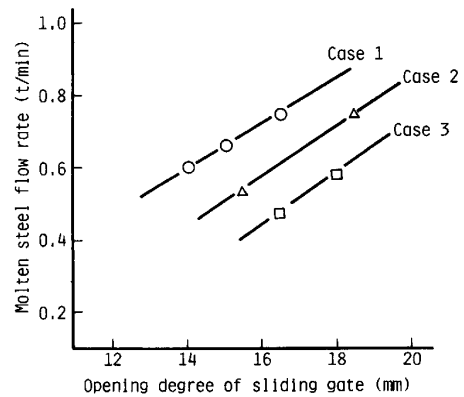


Fig. 4. Relation between opening degree of sliding gate and molten steel flow rate.

でキャスターを駆動させ、キャスター内湯面レベルが目標位置にまで上昇した時点  $t_7$  で所定の引抜速度  $v_2$  まで加速させる。(時刻  $t_7$  の決め方については2・2・3で後述)

上述のスライディング・ゲート開度  $x_2$ ,  $x_3$ , 引抜速度  $v_1$ ,  $v_2$  および  $v_1$  から  $v_2$  への切換時刻  $t_7$  の求め方については次節以降で述べる。

### 2・2・2 スライディング・ゲート開度 $x_2$ , $x_3$ の決定

親タンディッシュのスライディング・ゲートの断面形状とその特性は Fig. 3 に示すとおりであり、開度と開口面積とはほぼ線形の関係にある。しかし、先に述べたように地金付着などの影響により、スライディング・ゲートの開度と溶鋼流量との関係は一義的には定まらない。異なる3ヒートについて両者の関係を実験的に調べた結果、Fig. 4 に示すごとく1ヒートごとの傾きはほぼ一致しており、同一ヒート内では開度に対する溶鋼流量の線形性が保たれていることが確認された。なお図中ケース2, 3については2点のデータしかプロットされてい

ないが、3点目のデータがいずれもスライディング・ゲートの開度 30 mm の近傍に存在し、図中の直線上にのっている。そこで、まず上記②の段階に先立つて数回の実験データのうちの中間的なデータ（たとえば Fig. 4 における Case 2 の関係）を用いて目標流量が得られると考えられる開度  $x_2$  をあらかじめ決めておく。そして上記③の段階で、間接測定された溶鋼流量  $Q_1$  とスライディング・ゲート開度のデータにもとづいて、鑄込み中のヒートにおける開度と溶鋼流量との正確な関係を求めることができ、その関係から目標流量を得るための開度  $x_3$  を決定することができる。なお上記③の期間において親タンディッシュから子タンディッシュへ注入される溶鋼の流量  $Q_1$  は、ロードセルにて計測される子タンディッシュ重量の変化から(1)式にもとづいて間接測定される。

$$Q_1 = k_1 \cdot \frac{W(t_3) - W(t_2)}{t_3 - t_2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $t_i$ : 時刻 (min),  $W(t_i)$ : 時刻  $t_i$  における子タンディッシュ内の溶鋼重量 (t),  $Q_1$ : 時刻  $t_2$  から時刻  $t_3$  までの期間における溶鋼流量 ( $m^3/min$ ),  $k_1$ : 単位変換のための換算係数 ( $m^3/t$ )

2.2.3 助走引抜速度  $v_1$ , 引抜速度  $v_2$  および速度切  
換時刻  $t_7$  の決定

前述の方法によりキャスターへの注入量を目標に略一致させることができるが、目標の湯面レベルを得るために鑄込み開始時の引抜速度を決める必要がある。前記④の段階で間接測定した溶鋼流量  $Q_2$  に応じた引抜速度  $v_2$  は(2)式で表すことができる。

$$v_2 = k_2 Q_2 = k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{W(t_5) - W(t_4)}{t_5 - t_4} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $v_2$ : 引抜速度 ( $m/min$ ),  $Q_2$ : 時刻  $t_4$  から時刻  $t_5$  までの期間における溶鋼流量 ( $m^3/min$ ),  $k_2$ : キャスターの断面積の逆数 ( $1/m^2$ )

助走引抜速度  $v_1$  については、作業時間と安全性の面からキャスター内での湯面上昇速度が 1 m/min になるように(3)式のごとく決めた。

$$v_1 = v_2 - 1 \dots\dots\dots (3)$$

次に引抜速度を  $v_1$  から  $v_2$  へ切換える時刻  $t_7$  については以下のごとく求める。Fig. 5 に示された鑄込み開始時のキャスター断面図より、ダミーバーから目標湯面レベルまでの容積  $V_0$  は(4)式で与えられる。

$$V_0 = \frac{\delta^2 \cdot d}{2 \tan \theta} + (l - \frac{\delta}{\tan \theta}) \cdot \delta \cdot d = l \cdot \delta \cdot d - \frac{\delta^2 \cdot d}{2 \tan \theta} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $V_0$ : ダミーバーから目標湯面レベルまでの容積 ( $m^3$ ),  $\delta$ : 鑄片の厚み (m),  $d$ : 鑄片の幅 (m),  $\theta$ : キャスターの傾斜角 (rad),  $l$ : ダミーバーから目標湯面が下ベルトと接する点までの距離 (m)

実作業では、キャスターへの注入開始と同時に助走引抜速度  $v_1$  で引き抜くので、引抜開始以降の時刻  $t$  におけるキャスター内の溶鋼の容積  $V_{out}(t)$  は、(5)式で表されるごとく上記  $V_0$  と引抜きによる容積増加量との和になる。

$$V_{out}(t) = V_0 + \delta \cdot d \cdot \int_{t_6}^t v_1 dt \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $V_{out}(t)$ : 時刻  $t$  におけるキャスター内の溶鋼の容積 ( $m^3$ )

一方、引抜開始以降の時刻  $t$  における子タンディッシュからキャスターへの注入量  $V_{in}(t)$  は親タンディッシュから子タンディッシュへの注入量より子タンディッシュ内の溶鋼重量の増加量を差し引いた量であるから(6)式で表される。

$$V_{in}(t) = \int_{t_6}^t Q_2 dt - k_1 \cdot \{W(t) - W(t_6)\} \dots\dots (6)$$

ただし、 $V_{in}(t)$ : 時刻  $t$  における子タンディッシュからキャスターへの注入量 ( $m^3$ )

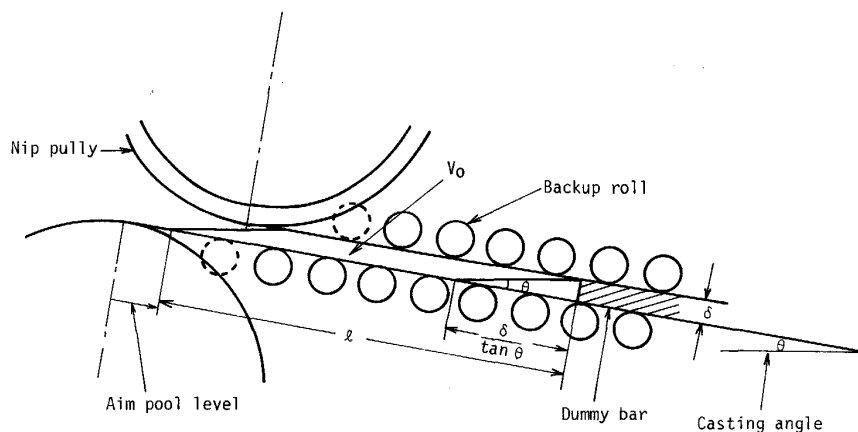


Fig. 5. Cross sectional view of caster in the casting start stage.

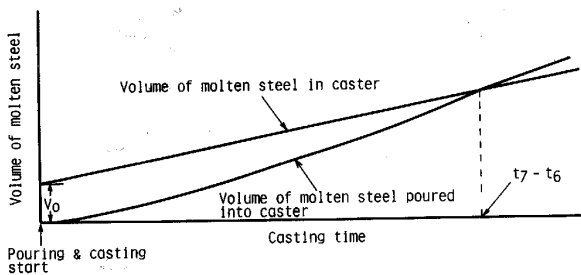


Fig. 6. Decision method of change timing of casting speed.

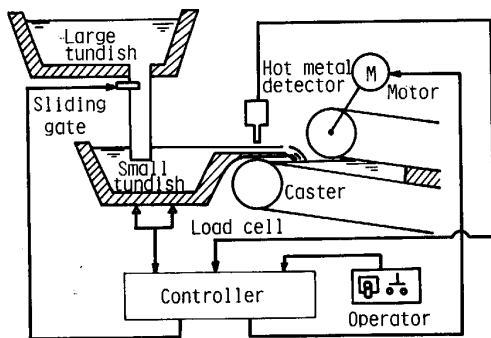


Fig. 7. Automatic casting start system.

(6)式中の  $Q_2$  はノズル詰まりなどの変化により変わる可能性があるが、子タンディッシュ内の溶鋼重量が全量の 50% 程度以上になる頃までには  $Q_2$  も安定しており経験的に  $Q_2$  の変化は無視しようと判断して一定とした。

キャスターへの注入開始以後(5)式で示される  $V_{out}(t)$  と(6)式で示される  $V_{in}(t)$  とを時々刻々計算し、両者が等しくなればキャスター内湯面レベルが目標に到達したと考えることができるので、その時点  $t_7$  で助走引抜速度  $v_1$  から所定の引抜速度  $v_2$  へ増速させれば良い。Fig. 6 に速度切換時刻  $t_7$  の決定方法の概念図を示す。

### 2.3 自動铸込みスタートによる操業結果

前節で述べた方法にもとづいて、Fig. 7 に示す自動铸込みスタートシステムを構築し、実操業に適用した。コントローラーには安価で信頼性の高いシングル・ループ・デジタルコントローラーを用い、オペレータの手動介入も容易なシステムとした。

自動铸込みスタートによる実験操業は 1983 年 4 月より行われており、Fig. 8 に実施例を示す。目標引抜速度 3.5 m/min、目標湯面レベル-150 mm に対してはほぼ一致した安定な制御が行われていることが確認できる。なお Fig. 8 における湯面レベルの数値は下ベルトの接点からキャスターのベルト方向に沿った距離である。図に

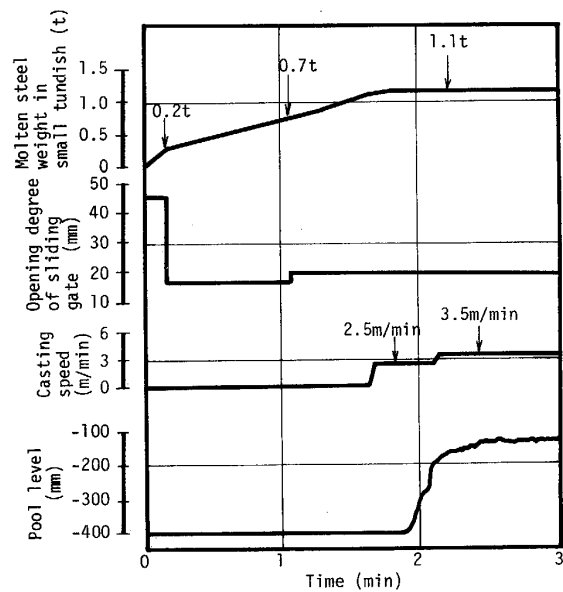


Fig. 8. Example of the application of automatic casting start system.

示すごとく、キャスター起動後約 50 s で湯面が安定しているのがわかる。

## 3. 定常铸込み時の湯面レベル制御法

### 3.1 従来方法の問題点

本連铸プロセスにおけるキャスター内湯面レベル制御に従来のスライディング・ゲート開度操作による方式をそのままあてはめようとする場合、下記の問題点が生じる。

(1)子タンディッシュがオーバーフロー方式であるために、プロセス全体の給湯特性は通常の連铸プロセスと比較して遅れが大きく(通常の連铸プロセスでは 0.1 s ~ 0.3 s であるのに対して、本プロセスでは数秒以上である。)、親タンディッシュ底部のスライディング・ゲート開度のみによる操作では外乱に対する湯面レベルの変動が大きく、制御が不可能になる。

(2)キャスター内の断面積が小さく、さらにキャスターが垂直ではなく水平方向に傾斜しているため、給湯量の変動に対応する湯面レベルの変動が通常の連铸プロセスの場合よりかなり大きくなる。

そこで、スライディング・ゲート開度のみではなく引抜速度も操作量に含めた応答の速い制御システムの検討を行った。すなわち湯面レベルを引抜速度の操作で制御すると同時に、引抜速度の目標からの偏差をなくすためにスライディング・ゲートの開度を操作するという方法である。

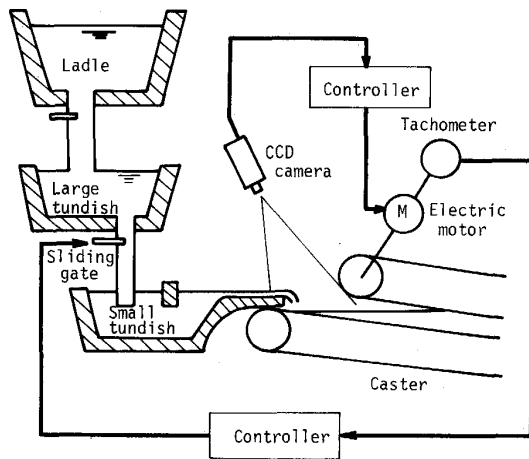


Fig. 9. Pool level control system.

### 3.2 湯面レベル制御の概要

本制御法の基本的考え方は以下のとおりである。

①湯面レベルの変動を光学式レベル計により検出し、目標レベルからの偏差をPID演算して引抜用モーターを操作する。

②同時に、引抜速度を引抜用モーターの回転計により検出し、目標の引抜速度との偏差をPID演算してスライディング・ゲートの開度を操作する。

Fig. 9 は本制御方式の概念図を示す。

本制御法では、湯面レベルを直接引抜速度で制御するので応答が速く、外乱に対して引抜速度は一時的に変化はするが、最終的にはスライディング・ゲートの開度操作により一定に保たれる。

なお、ここで用いた光学式レベル計は、CCD (Charge Coupled Device) カメラと光ファイバーとを組み合わせたセンサーであり、CCD カメラの検出周期、検出感度はそれぞれ 0.1 s, 2 mm で、光ファイバーの視野角は 15° である。

### 3.3 湯面レベル制御の適用結果

前節で述べた方法を実操業に適用する場合、湯面レベルの生の信号は湯流れのゆれをも獲えてしまうので、この信号をそのまま用いると制御対象に大きな変動が現れ制御が不具合になる。そこで、信号の処理方法として一次遅れの回路を接続することにより湯面レベルの出力信号を平滑化したのち、前節で述べた方法を適用することにした。本方法によりシミュレーションを行つた結果と実験操業との比較を Fig. 10 に示す。この例ではスライディングノズルに急激な詰まり (スライディング・ゲート開度に換算すると約 8 mm [全開の 18%] のノズル詰まりに相当する) が生じているが、シミュレーション結

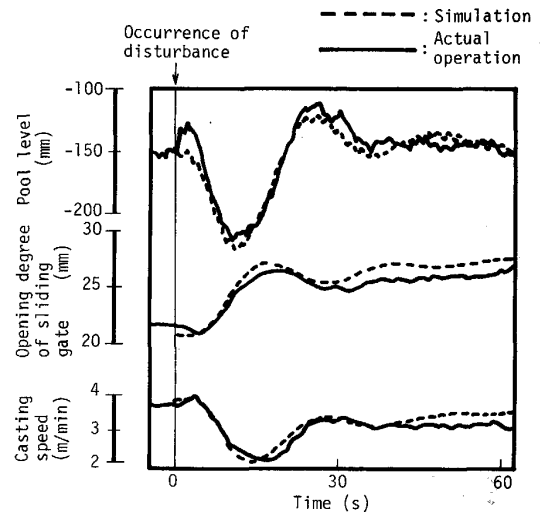


Fig. 10. Comparison between simulation and actual operation result.

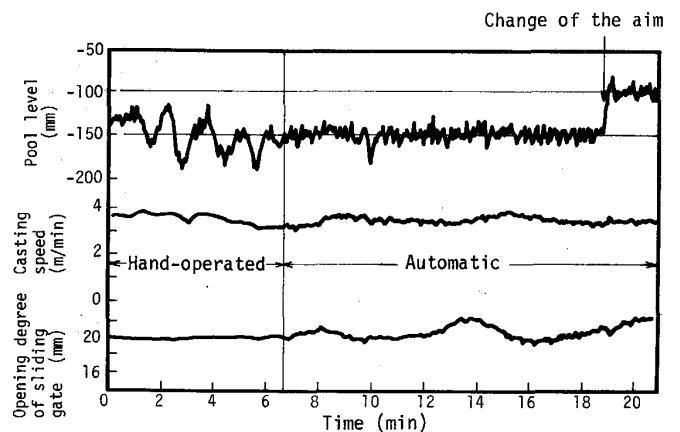


Fig. 11. Comparison between hand-operated and automatic result.

果は実操業によく一致している。

実験操業では、前章で述べた自動鑄込みスタート法で操業を開始し、湯面レベル安定後ただちに湯面レベル制御に切換えて操業している。Fig. 11 に手動による実験操業結果と本制御法による結果の比較を示す。本制御法の場合、手動に比べ湯面レベルが安定しており、引抜速度もほぼ一定に保たれている。また 19 min 経過時に湯面レベルの目標値を変更したあとも新しい目標値によく追従しているのが確認できる。本制御法では目標レベルからの偏差が ±10 mm 以内に入っている比率が 96.5% であり、手動の場合の 42% に比して極めて高精度であることが実証された。

#### 4. 結 言

ツインベルト式連铸機による鋼の薄铸片製造技術の確立を目的として、铸込み開始操作の自動化と定常時の湯面レベル制御システムの開発を行い、次の結果を得た。

(1) 铸込み開始時において、キャスターへの溶鋼注入開始と同時にキャスターを起動させなければならないという制約などを勘案して、子タンディッシュ内溶鋼の重量変化率から子タンディッシュへの溶鋼流量を間接測定し、それをもとに必要なスライディング・ゲート開度、引抜速度および速度切換時刻を求めた。

(2) 自動铸込みスタート後の定常時では、子タンディッシュがオーバーフロー方式であるため給湯特性の遅れが大きいという点などを勘案して、キャスター内湯面レベルをまず引抜速度で制御し、それと同時にスライディング・ゲートの開度操作により引抜速度の偏差をなくすという制御法を開発した。

(3) 上記(1)の自動铸込みスタート法の適用により安定した铸込み開始が可能となり、また上記(2)の湯面レベル制御の実用化により手動に比べて大幅な制御精度向

上が得られた。

最後に本研究に対して有益な助言をいただいた住友金属工業(株)制御システム部次長の場祥行博士に感謝します。

#### 文 献

- 1) 岡崎 卓, 小出優和, 井上雄次, 高本 勉, 浅里孝志: 鉄と鋼, 72 (1986), S140
- 2) 岡崎 卓, 吉原正裕, 村上敏彦, 福島佳春, 杉谷泰夫, 辻田公三郎: 鉄と鋼, 72 (1986), S141
- 3) H. SHIMIZU, K. OHURA, K. MURATA, H. SHIRAISHI, K. TABATA, K. SAWADA, K. UEDA, Y. OHTAWARA, K. FUJII and K. GOTO: Sumitomo Electric Technical Review, 23 (1984) Jan., p. 185
- 4) 加藤 滋, 相馬正幸, 山下幹夫, 米川和夫, 吉野和紀, 西山真次: 鉄と鋼, 70 (1984), S181
- 5) 松下 昭, 天満雅美, 上田裕二郎, 有馬慶治, 成田 進: 鉄と鋼, 72 (1986), S267
- 6) 久保多貞夫, 小山朝良, 中村雅己, 友野 宏, 辻田 進, 三木裕貴, 片山 裕: 鉄と鋼, 72 (1986), S146
- 7) 狭間繁宏, 浜口千代勝, 中島雄二, 南 憲次, 久保田守彦, 大村 博: 鉄と鋼, 66 (1980), S185
- 8) 佐野和夫, 安藤静吾, 川瀬芳広, 高橋郁夫, 竹中正樹, 坪井邦夫: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 1160