

© 1987 ISIJ

技術報告

タンディッシュスライディングゲート加振
による連铸モールド内湯面制御方法の開発友野 宏*・鶴田 毅*²・明松 弘*²
木村 隆*²・向後 孝生*²・白石 行隆*²Development of Technology for Mold Bath Level Control System of
Continuous CasterHiroshi TOMONO, Takeshi TSURUTA, Hiroshi KAGARI,
Takashi KIMURA, Takao KOHGO and Yukitaka SHIRAISHI

Synopsis:

Studies on fluctuation of mold bath level were carried out to obtain better surface quality of cast slabs.

(1) The fluctuation occurs due to delay in the movement of slide gate caused by adhesion of solidified steel.

(2) By the vibration of slide gate, its movement is improved and the fluctuation of bath level is remarkably decreased.

From these results, the new technology for the automatic bath level control system was developed. A special feature of the system is the addition of a vibratory signal to the control signal of the slide gate.

The system has been applied to all casters in Wakayama and Kashima Steel Works and as a result, the yield of cast slabs have been remarkably improved.

1. 緒 言

連続铸造機においてモールド内湯面の変動は铸片の表面品質に大きな影響を与える¹⁾ばかりでなく、大幅な変動は铸片とモールド間への溶融パウダーの流入を不安定にしブレークアウトをも発生させる。従来より、湯面の安定性を向上させるため湯面の検出方法や制御システムについて多くの研究²⁾³⁾がなされているが、主眼は湯面の検出精度の向上におかれており、変動の原因やその除去方法に関しては十分とはいえない。

筆者らは、このような観点から湯面の変動の原因に着目し、調査解析を行うとともに有効な除去方法の開発に取り組んだ。その結果、湯面の制御指令に交流信号を付加する制御方式（加振型モールド湯面制御方法、以後加振法と呼ぶ）を開発実用化し、従来法に比較して著しい湯面の安定性を得るに至った。

本報告では、加振法の開発と実機における効果及び関連する改善開発技術について述べる。

2. 開発の経緯

2.1 従来システム

和歌山製鉄所において、従来より採用している湯面制御システムの概要を Fig.1 に、主な仕様を Table 1 に示す。モールド内の湯面は Co⁶⁰ を用いた放射線式のレベル計により検出され、コントローラーにて設定値との偏差が演算されそれに応じた制御指令が出力される。電気油圧サーボシステムは制御指令に従ってスライディングノズルを駆動し、タンディッシュからモールドへの溶鋼の流入量が制御され湯面が一定に保たれる。

この制御システムにおいては铸込みの時間経過とともにスライディングノズルの動作が鈍くなり、ついには制御指令どおり動かなくなつて湯面が大きく変動する現象が発生していた。この湯面変動によつて一部の鋼種では铸片の表面品質が低下し、スカーフによる手入れや向先変更の処置等を行つていた。

昭和 60 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 61 年 2 月 21 日受付 (Received Feb. 21, 1986)

* 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 工博 (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

*² 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1850 Minato Wakayama 640)

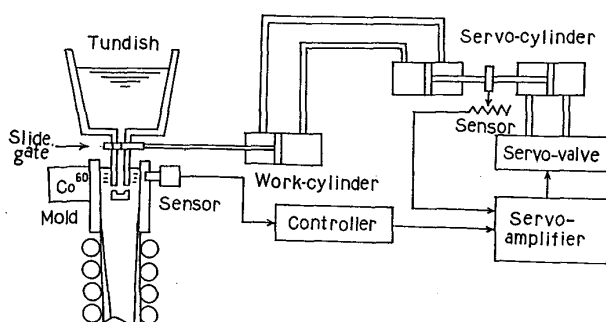


Fig. 1. Schematic diagram of Sumitomo Slide Gate System (SSGS).

Table 1. Specifications of level control system.

Level sensor	Radiation counter
Radiation source	Co^{60} (Gamma rays)
Measuring range	-75~225 mm
Flow control	Sumitomo Slide Gate System (SSGS)
Controller	P. I. D. Controller
Hydraulic cylinder	$\phi 110 \times \phi 50 \times 160$ stroke
Hydraulic pressure	max 210 kg/cm^2

2.2 加振法

スライディングノズル動作の鈍化の原因を調査したところ Fig. 2 に示すようにスライディングノズルの摺動部の溶損や内部の地金付着が見られること、またスライディングノズルの動作圧力が通常より高くなっていることからスライディングノズルの動作抵抗が増加していることが原因であると判明した。

これに対して、コントローラーの調整やスライディングノズル及び油圧装置の調整整備を行ったが十分な効果を得るには至らなかった。

そこで、スライディングノズルへの地金の付着に着目し、ノズルを周期的に往復動（加振）させることにより溶鋼の流れを変化させ、付着した地金を除去することを

試みた。

No. 2 ブルーム連铸機において Fig. 3 に示すようにサーボアンプの入力側に加振器（関数発生器）を接続し、種々の交流信号を付加しながら鋳込みを行つたところ、ある条件において湯面が従来以上に安定となることが認められた。

2.3 加振の作用と条件

加振による湯面の安定化作用の解析及び最適な加振条件の調査を行い、次のような結果を得た。

2.3.1 湯面の安定化

スライディングノズルが制御指令どおり動作しない領域（以後不感帯と呼ぶ）は、動作抵抗の増大によって増加する。従つて湯面の変動は不感帯の増大によるスライディングノズルの動作の遅れによって発生する。加振信号は Fig. 4 に示すように不感帯を打ち消す効果があり、制御指令に加振信号を付加することにより見掛け上不感帯が無くなり、スライディングノズルが真の制御指令どおり動作し湯面が安定となる。

これに対し従来行つていたコントローラーの調整によつて制御指令の増幅率を増加する手法は Fig. 5 に示すように以下の欠点を持っている。

(1) 不感帯を越えた制御指令は、真の制御指令とは相似にならない。

(2) 不感帯を越えた制御指令は時間遅れがあり、これを短くするためには増幅率をさらに増加させる必要があるが、この場合スライディングノズルの動作は過剰となりかえつて湯面を不安定にする。

2.3.2 加振信号の最適条件

加振信号の波形、振幅及び周波数の最適条件は次のようであつた。

(1) 加振信号の最適波形について Table 2 に示すように正弦波、矩形波及び三角波の 3 種類をテストした結果、油圧系の衝撃及びスライディングノズルの追従性の両面

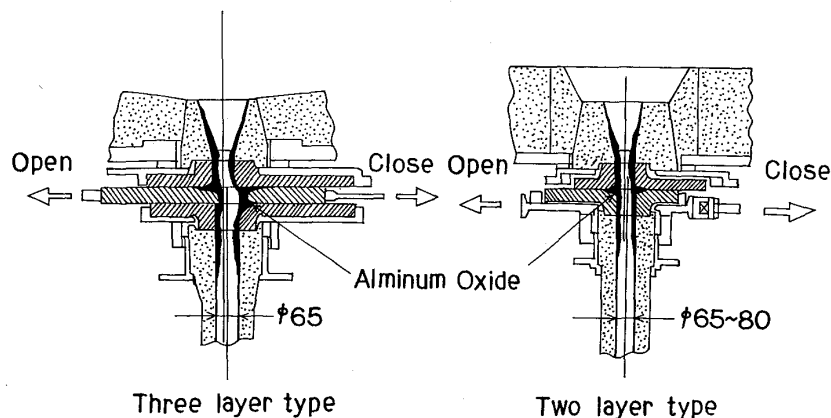


Fig. 2. Cause of bath level fluctuation.

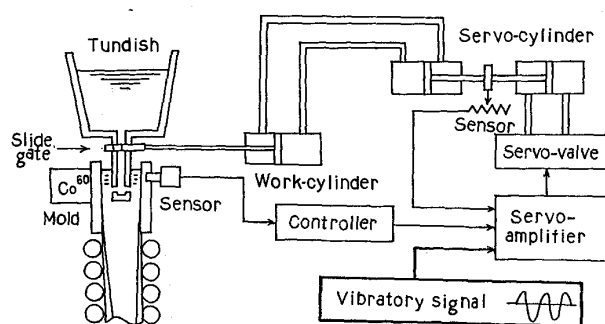


Fig. 3. Schematic diagram of the Vibro-method.

Table 2. Optimum wave form of vibratory signal.

Wave form	Shock on hydraulic system	Movement of sliding nozzle	Judgement
Sine wave 	Mild	Good	○
Square wave 	Violent	Poor	×
Chopping wave 	Strong	Poor	△

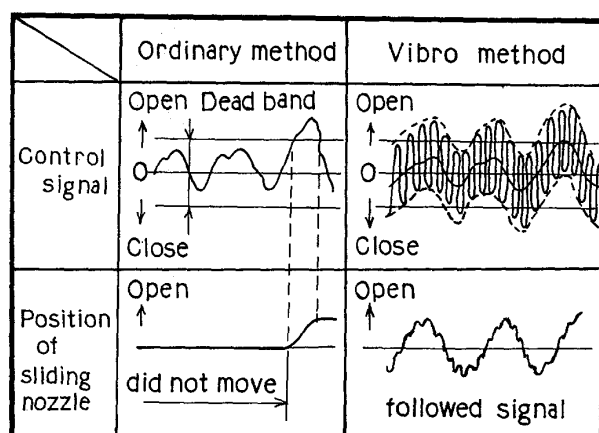


Fig. 4. Comparison of the movement of sliding nozzle.

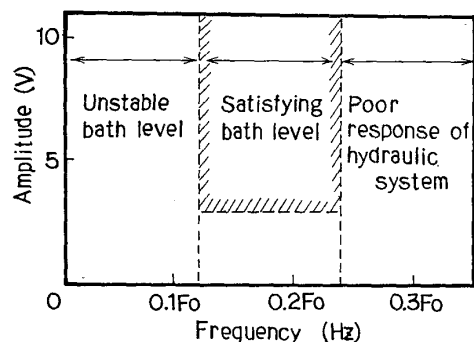


Fig. 6. Effective range of vibratory signal.

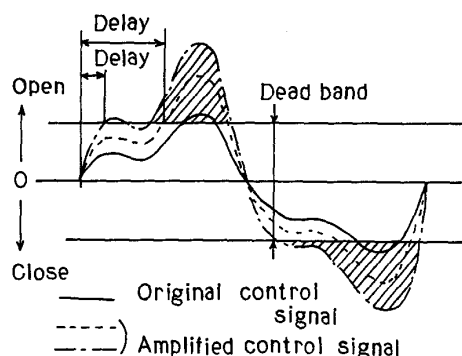


Fig. 5. Effects of control signal amplification.

から正弦波が最適であった。

(2) 振幅はスライディングノズルの動作抵抗(油圧力)に応じて選定する必要がある、必要以上の振幅はかえって湯面の安定性をそこなう。

(3) 周波数は Fig. 6 に示すような範囲が最適であり低い場合は湯面が安定せず、高い場合はスライディングノズルが制御指令に追従しない。図中で F_o は電気油圧

サーボ系の最大応答周波数であり(1)式により得られる。

$$F_o = \frac{Q_{max}}{120(\Delta V_p + \Delta V_s)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで Q_{max} : ポンプまたはサーボ弁の最大流量 [l/min]

ΔV_p : 配管系内の油の圧縮による体積収縮量 [l]

ΔV_s : スライディングノズル動作ストロークに相当する体積 [l]

従つて最適周波数は電気油圧サーボ系の仕様により異なる。

3. 実機への適用と効果

基礎調査の結果を踏まえて昭和 58 年 5 月より和歌山製鉄所の全連铸機への本格的な適用を開始した。

Fig. 7 に No. 3 スラブ連铸機における効果例を示す。加振適用直前まで大きく変動していた湯面が加振により 1/5 以下に安定化している。

Fig. 8 には No. 2 ブルーム連铸機における効果を示すが基準を越える湯面変動の発生が半減し、その結果铸片表面の不良率が 1/3 に減少した。

当初懸念された加振によるスライディングノズルの摺動部の摩耗や浸漬ノズルの鋼浴部の溶損も従来との差は認められなかった。No.1 ブルーム連铸機における加振適用前後のスライディングノズルの摺動部の状況をPhoto.1に示すが、損耗に差は見られないが、地金の附着状況に差があり加振による地金の除去効果が認められた。

また実機への適用によりスライディングノズルの型式

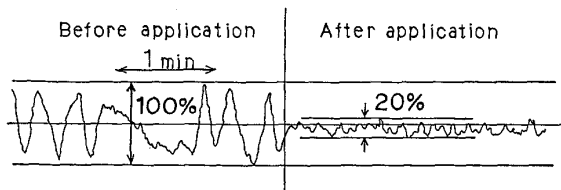


Fig. 7. Change of mold bath level.

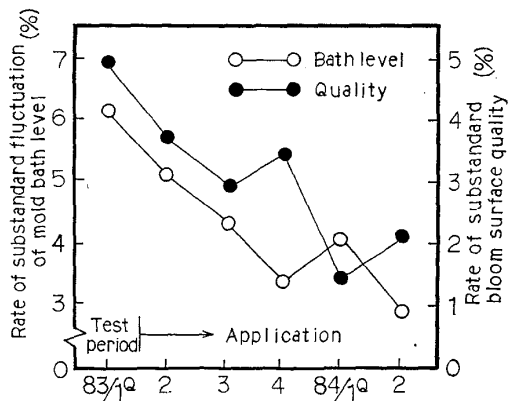


Fig. 8. Effect of Vibro-method on bath level accuracy and bloom surface quality.

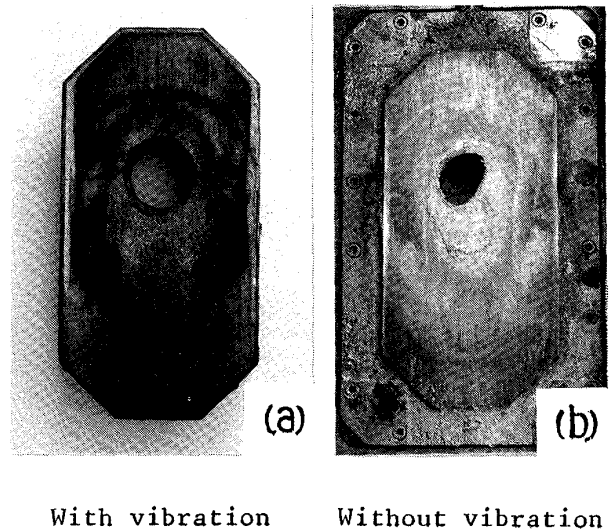
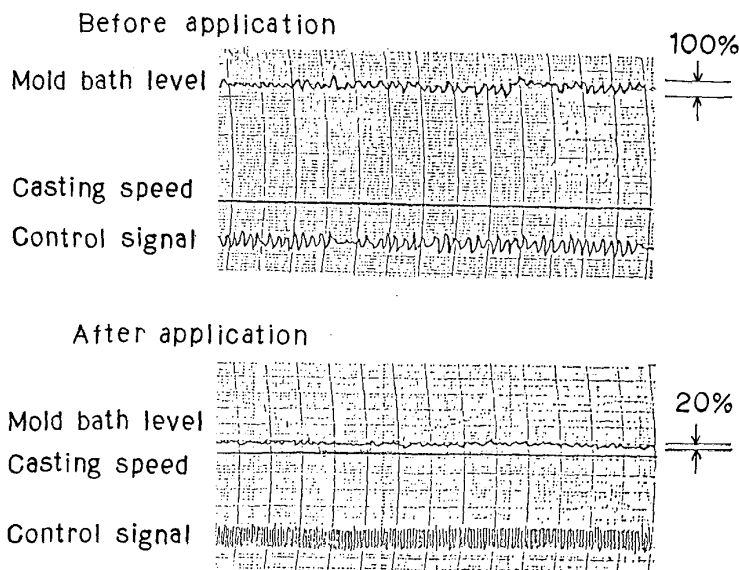


Photo. 1. Appearance of sliding gates after continuous casting of one campaign.

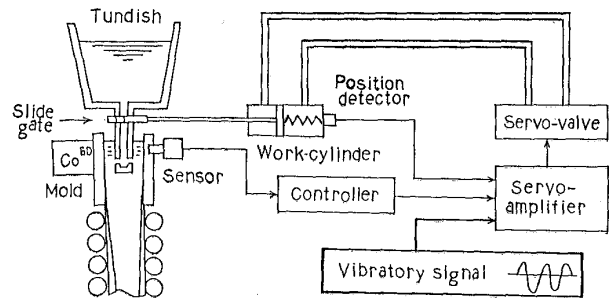


Fig. 9. Schematic diagram of mold bath level control system of Kashima No.3 slab caster.

Fig. 10. Effect of Vibro-method in Kashima No.3 slab caster.

の違い（3層式及び2層式）にかかわらず有効であることがわかった。

本方式は鹿島製鉄所の No. 3 スラブ連铸機にも適用し同様の効果を得た。Fig. 9 に同機の制御システム, Fig. 10 にその効果例を示すが, 制御方式の違いにもかかわらず湯面変動は 1/2 以下に減少した。この結果 Ti 添加鋼の铸片の完全無手入を実現することができた。

また当社が技術援助を行った海外の連铸機にも適用している。

4. 関連する改善・開発技術

4.1 多ストランド加振方法の改善

No. 2 ブルーム連铸機への適用当初は 1 台の加振器により 4 ストランドの加振を同時に行っていた。ところが油圧配管の集合接続部に衝撃が発生したため調査した結果, 加振の周期ごとに 4 ストランド分の油圧力が作用するためと判明した。対策として加振器をストランドごとに独立して設け, 周波数をわずかにずらすことによって 4 ストランド分の油圧力が同時に作用しないようにして解決した。

4.2 自動铸込み速度加減速装置の開発

铸込み速度の加速・減速はモールドオペレーターが手動で行っていたため铸込み速度を階段状に変化させるとスライディングノズルの動作が遅れ大きな湯面変動を発生させる可能性があった。加振法の適用によりスライディングノズルの応答性が改善されたがそれでも急激な速度変化への応答は十分ではなかった。

そこで原因となる铸込み速度の急激な変化を防止するため铸込み速度制御回路中に自動加減速装置を設け, オペレーターは目標速度を設定するだけとした。この結果铸込み速度はあらかじめ決められた加減速率でなめらか

に目標速度まで変化するようになった。

Fig. 11 に铸込み速度を意図的に階段状に変化させた場合と本開発法との比較を示すが湯面変動は著しく減少している。

また本開発法により铸込み速度の加減速率を手動の場合よりも大きくすることができ, 铸込み開始時の铸片表面ののろかみを大きく減少するに至った。ステンレスス

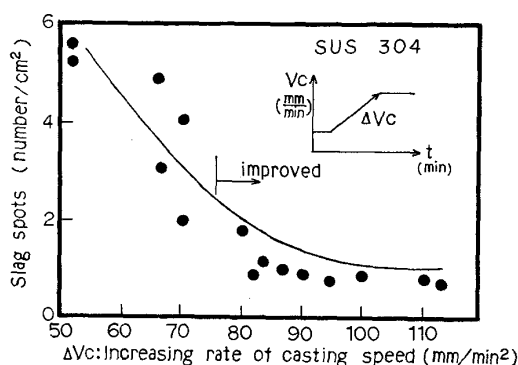


Fig. 12. Effect of increasing rate of casting speed.

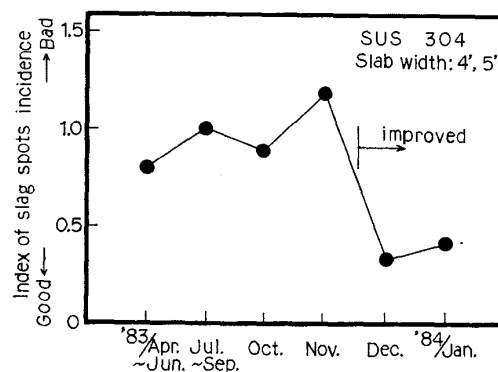


Fig. 13. Change of slab surface condition.

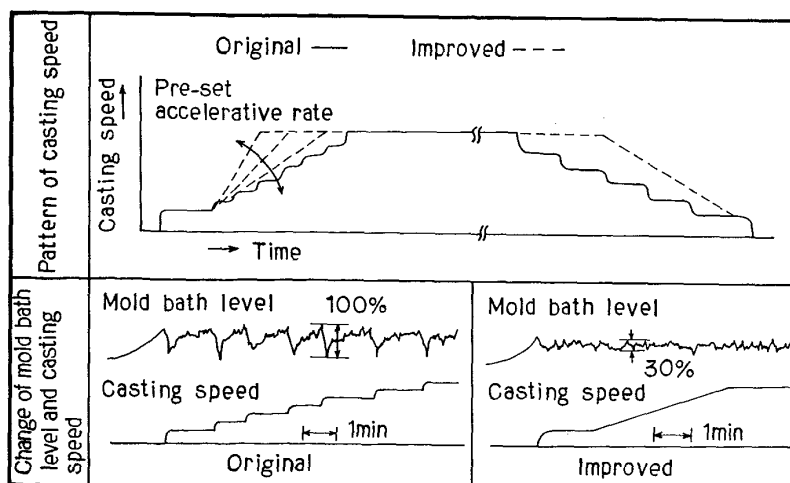


Fig. 11. Development of automatic V/C control system.

ラブ連铸機における効果例⁴⁾を Fig. 12 及び Fig. 13 におのおの示す。

5. 結 論

モールド内湯面変動を減少させるため変動原因の調査及び加振型モールド湯面制御方式の開発・実用化を行い、次のことがらを得た。

(1) 湯面変動の主原因はスライディングノズルの動作抵抗の増加であり、制御系の不感帯の増加となる。

(2) 正弦波を用いた加振信号を不感帯よりも大きく制御信号に付加することにより、スライディングノズルの動作は著しく改善され湯面変動を減少することができる。

(3) 本方式はスライディングノズルの型式や制御方式の差違にかかわらず適用できる。

また鑄込み速度の自動加減速装置を開発し、鑄込み速度の変化をなめらかにしかつ加減速率を大きくすることにより鑄片ののろかみを減少させた。

文 献

- 1) 小舞忠信, 野田郁郎, 野呂勝彦, 伊賀一幸, 押田 淳, 堀 利男: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 87
- 2) 挾間繁広, 浜口千代勝, 中島雄二, 南 憲次, 久保田守彦, 木村 勝: 鉄と鋼, **66** (1980), S185
- 3) 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. 176
- 4) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第73回特殊鋼部会 (1984 年 3 月) 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 (私信)