

## 転炉自動吹錬技術の開発

斎藤 忠\*・坪根 巖\*・東 洵\*  
山名 寿\*・竹添 英孝\*

## Development of Automatic Blowing Control System in Combined Blowing Converter

Tadashi SAITO, Iwao TSUBONE, Makoto AZUMA,  
Hisashi YAMANA and Hidetaka TAKEZOE

## Synopsis :

The LD-converter process has a great influence on the cost and productivity of the overall steelmaking process. Therefore it is very important to establish a "Just in Time" LD-converter process which can punctually supply molten steel to the continuous casting machine. At Kakogawa Works, Kobe Steel, through the installation of hot metal Pre-treatment and a ladle-arc refining furnace, we have reduced the burden of the LD-converter. In addition we have been developing and improving blowing control models; techniques which detect reactions in the vessel such as the measurement of hot metal level and slopping prediction, along with the quick tapping technique. However there was still room for improvement in establishing a "Just in Time" process, particularly, because all the decisions for blowing control depended on the individual operator and there was variation because of this. So based on the above mentioned techniques, we have decided to apply a fully-automatic blowing system to our converters by which we can produce a wide range of carbon steel. In the system, a DDC (Digital Direct Controller) automatically controls blowing following the commands of the process computer. As a result of its implementation. Steelmaking time and variation have improved remarkably, and has made it possible for a single man to operate both blowing and the OG exhaust gas recovery system.

**Key words :** steelmaking; LD-converter; "Just in Time" process; blowing control; quick tapping technique; fully-automatic blowing system; DDC; process computer.

## 1. 緒 言

転炉プロセスは、製鋼工程の生産性、コストおよび品質に大きな影響を及ぼす。したがって、連铸に対して計画どおりの時刻に計画どおりの量、品質の溶鋼を供給できる "Just in Time" の転炉プロセスを確立することは非常に重要である。そのため、加古川製鉄所では溶銑脱りん設備、取鍋加熱精錬設備の稼働により転炉負荷の軽減を図ると同時に、転炉自体の能力向上を目的として吹錬制御モデル、溶銑レベル測定、スロッピング予知や迅速出鋼技術の開発・改善を行ってきたが、今回、それらを統合した自動吹錬システムをオンライン化した。本報では当システムと操業について報告する。

## 2. 開 発 経 緯

加古川製鉄所転炉工場は非常に多くの鋼種を溶製して

おり、かつ Fig. 1 に示すように 2 基の稼働転炉 (2/3 基操業) で 4 基の連铸 (スラブ連铸 3 基, ブルーム連铸 1 基) へ計画どおりに溶鋼を供給しなければならない。

従来、上記の要求に対し、転炉の能力 (特にばらつき) が劣っていたため、場合によっては早出し出鋼 (本来計画されるべき出鋼時刻よりも早めに出鋼すること) で溶鋼を転炉~連铸間に溜め、連铸の鑄造計画に支障をきたさないようにしたり、場合によってはそれでもばらつきを吸収できず、溶鋼の供給が遅れて連铸の鑄造速度を落とさざるを得ないことがしばしばであった。

1985 年の溶銑脱りん設備<sup>1)</sup>、1986 年の取鍋加熱精錬設備<sup>2)</sup>稼働により転炉の負荷は軽減され、上記状況は改善されたものの、それだけでは "Just in Time" の転炉プロセスは実現できず、吹錬制御技術の向上とそれらを統合するシステムが必要であった。

平成元年 9 月本会講演大会にて発表 平成 2 年 3 月 16 日受付 (Received Mar. 16, 1990)

\* (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., 1 Kanazawa-cho Kakogawa 675-01)

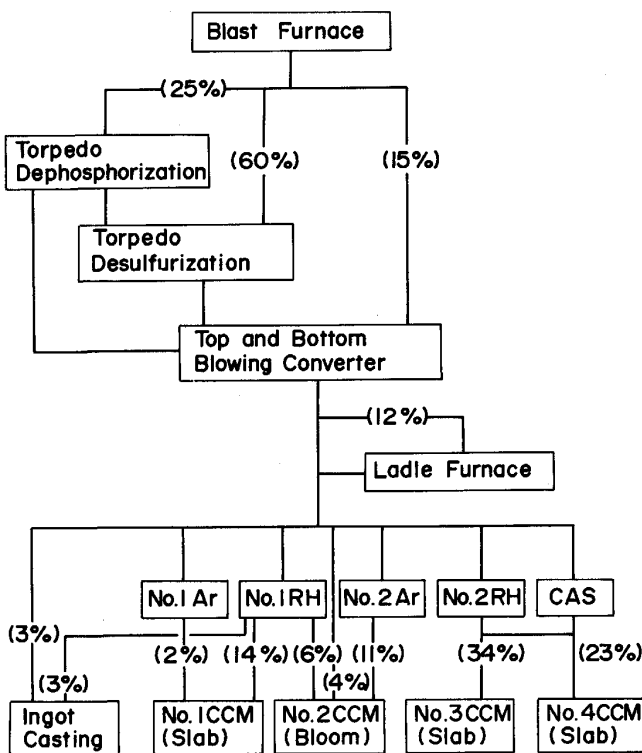


Fig. 1. Steelmaking flow at kakogawa works.

Table 1. Improvement of static model accuracy,  $\sigma$ .

	Conventional	Improved
Ore	1.5 t/heat	1.0
Oxygen	500 Nm <sup>3</sup> /heat	300

### 3. 吹錬制御技術の向上

上記背景により以下に示す各種吹錬制御技術の開発・改善を実施してきた。

#### 3.1 スタティック、ダイナミック・モデルの改善

(1)スタティック・コントロールとしては、操業条件が大きく変化してもその精度を維持することを目的として熱バランスと物質バランスから計算する理論モデルを従来より使用している。今回、モデルの鋼種グループ分類の見直しや学習方法の改善を行った結果、Table 1に示すスタティック・コントロール精度の改善が図られている。

(2)ダイナミック・コントロールについては、高炭素領域で、脱炭量の実績値から [C] を計算する排ガス積分モデルを採用している。さらに、モデル係数の見直しや学習機能の追加、サブランス・プローブおよびサブランス測定方法の改善を実施してきた。その結果、ダイナ

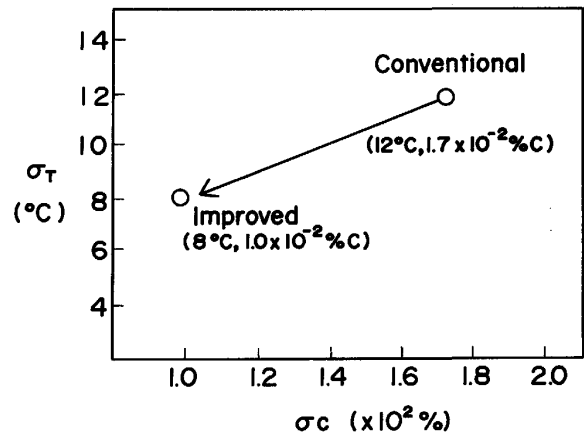


Fig. 2. Improvement of dynamic control accuracy (low carbon steel).

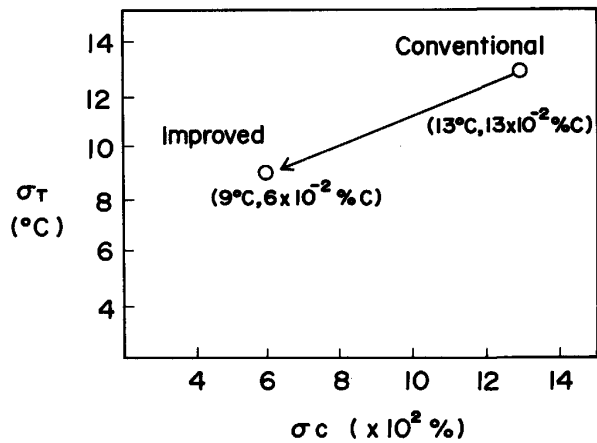


Fig. 3. Improvement of dynamic control accuracy (high carbon steel).

ミック・コントロール精度は Fig. 2 および Fig. 3 に示すように改善されてきている。

#### 3.2 マイクロ波溶銑レベル計

主ランス高さやサブランス測定時の浸漬深さを制御するためには、転炉に装入された溶銑のレベルを正確に測定することが重要である。この目的のため、マイクロ波レベル計を開発した

##### 3.2.1 装置構成

この装置は、Fig. 4 に示すように、転炉上方に設置されたレーダー部と信号処理部とから成り、その仕様を Table 2 に示す。

YIG 発振器により周波数変調したマイクロ波をアンテナより発信し湯面からの反射波を同じアンテナで受信しミキサーに導き、方向性結合器より直接分岐された送信波の一部と混合検波し、湯面までの距離に比例した周波数のビート信号を得る。また、本回路には経時的な回路定数の変動を補正するための較正線路を設けている。

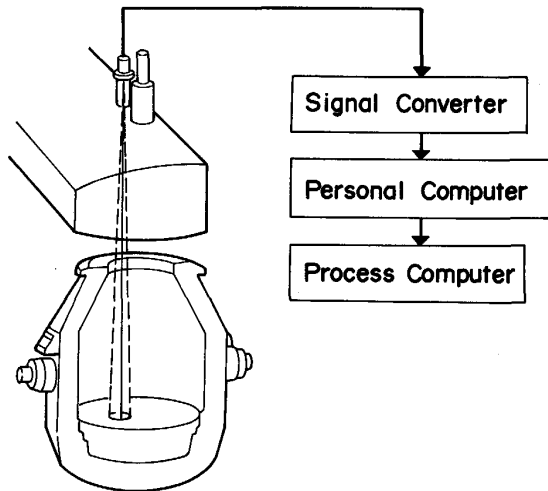


Fig. 4. Outline of microwave level meter.

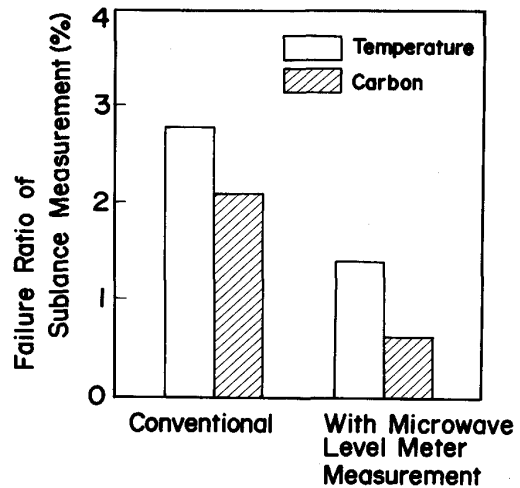


Fig. 6. Failure ratio of sublance measurement.

Table 2. Specifications of microwave level meter.

Centre frequency of carrier wave	24.1 GHz
Microwave power	10 mW
Maximum frequency deviations	100~150 MHz
Measuring time	10 s
Measuring range	~20 m

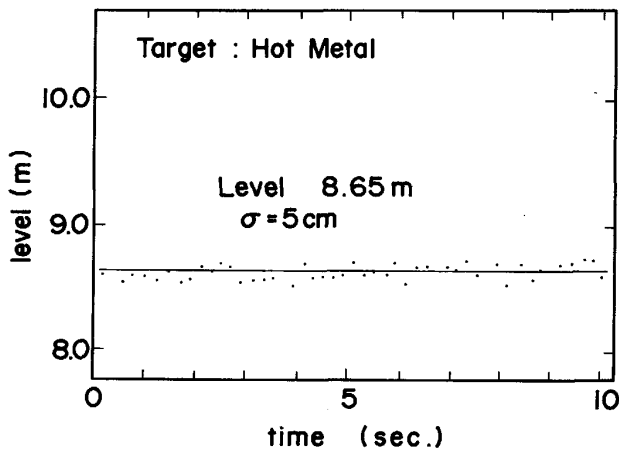


Fig. 5. Results of hot metal surface level measurement.

ミキサーからのビート信号を増幅したのち、2周波混合変調回路へ入力する。この回路において、ビート波の初期位相項に位相変調を加え、カウンター回路により、初期位相が0~ $\pi$ まで偏移する間の、ビート波の零交差点数を積算することにより、FMレーダーに固有のステップ誤差を軽減する。得られた計数値は、データ解析装置へ転送され、溶銑レベル値への変換、統計処理などが行われ、プロセス・コンピューターへ転送される。

### 3.2.2 測定結果

Fig. 5 に当装置を使用して溶銑レベルを測定した例を

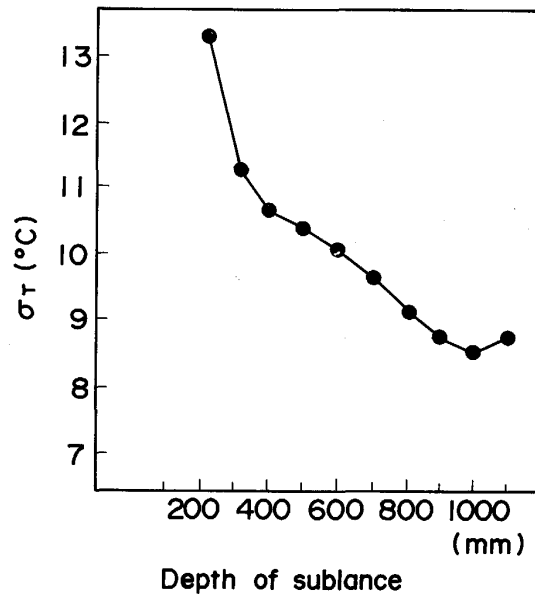


Fig. 7. Relationship between sublance depth and standard deviation  $\sigma_T$  (accuracy of dynamic control).

示す。この例の場合、測定レベルが8.65 m、標準偏差は5 cmであるが、このばらつきは溶銑自体の揺動を含んでおり、それを考慮すると当装置の測定精度は満足できるものであると言える。

マイクロレベル計のオンライン化により、Fig. 6 に示すようにサブランス測定失敗率は減少している。また、Fig. 7 に示すようにサブランス測定時の浸漬深さはダイナミック精度に影響を及ぼすが、その浸漬深さを正確に制御できるようになった結果、Fig. 8 に示すようにダイナミック精度が向上している。

### 3.3 スロッピング予知・抑制

スロッピングの防止は、歩留りの向上や吹錬制御精度にとって重要である。加古川製鉄所では、ランスの応力測定によるスロッピング予知技術を開発<sup>3)</sup>し、精度の高

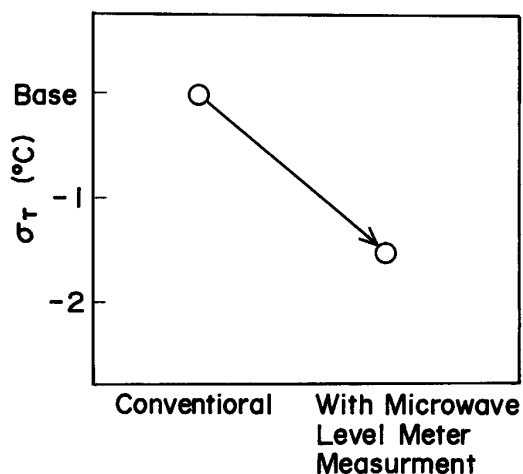


Fig. 8. Accuracy of dynamic control.

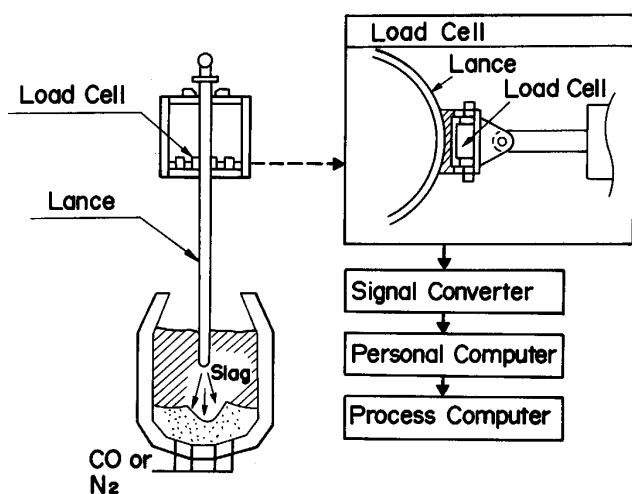


Fig. 9. Schematic view of slopping prediction and control.

いスロッピング予知が可能となっている。

Fig. 9 に示すように、当装置は主ランスに取り付けたロードセルと信号変換部とで構成されており、ロードセルにより検出した荷重を信号処理し、そのレベルでスラグ・フォーミング状況を監視している。そしてそれがあ

一定のレベルを超えるとフォーミング抑制剤を添加し、スロッピングの発生を防止するシステムになっている (Fig. 10)。

### 4. 迅速出鋼技術

転炉の瞬発能力を向上させるためには、上記のような吹錬制御技術の他に、迅速出鋼技術 (ここで迅速出鋼とは、吹止成分の分析結果を待たずに出鋼する形態を言う) も重要である。そして、迅速出鋼実施のためには、吹止

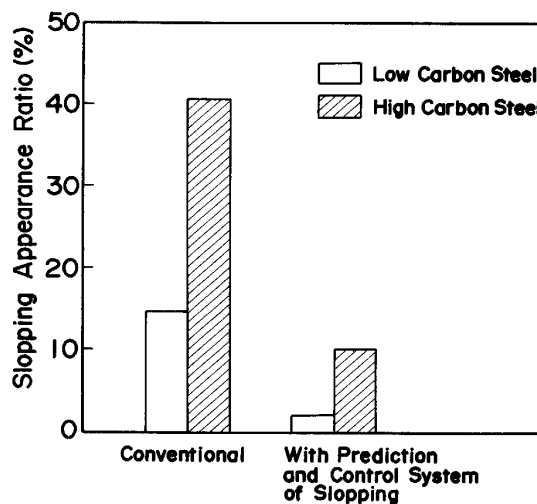


Fig. 11. Decrease of slopping appearance ratio by prediction and control of slopping.

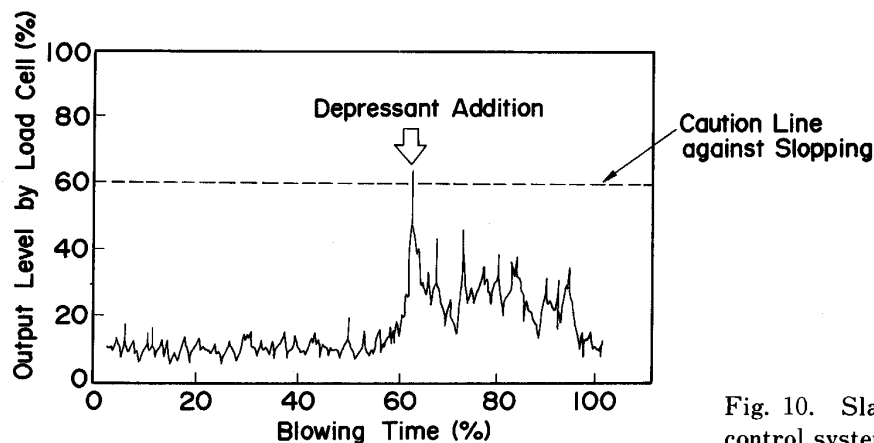


Fig. 10. Slag level control by prediction and control system of slopping.

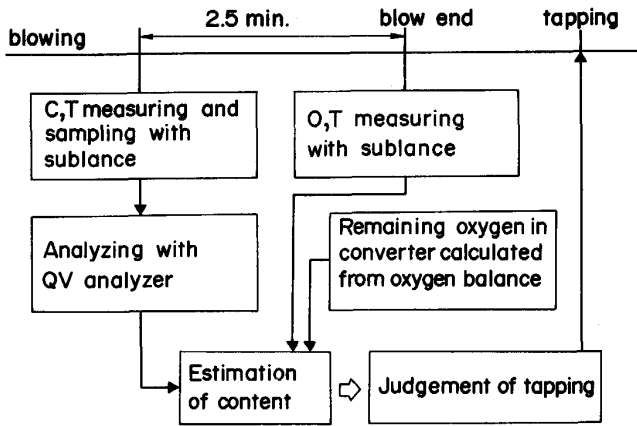


Fig. 12. Flow of quick tapping by using QV analyzer installed at LD-converter site.

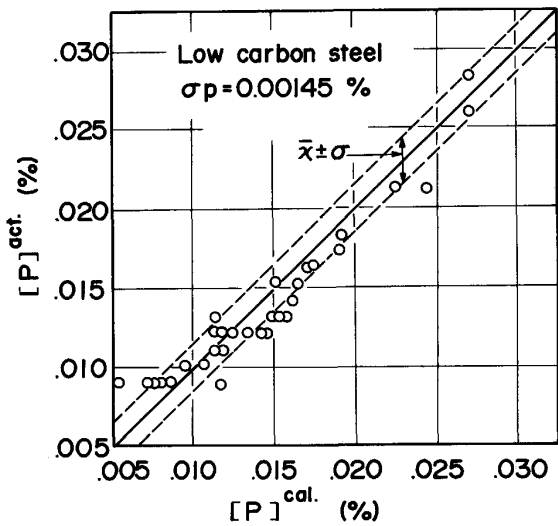


Fig. 13. Relationship between [P] calculated by new method and [P]<sup>act</sup>.

Table 3. Comparison of accuracy between [O]<sub>F</sub> method and QV method.

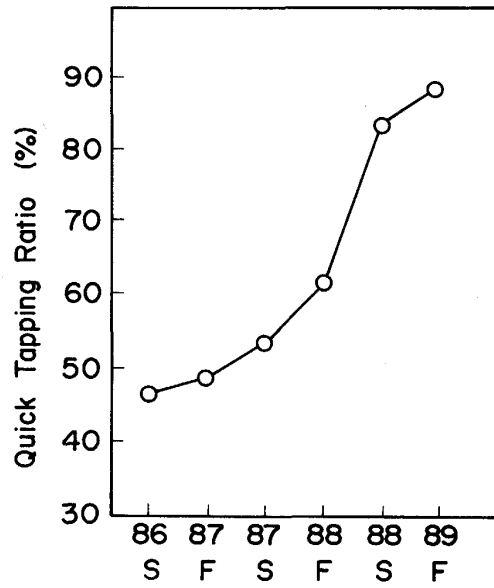
$\sigma$  of the difference between calculated value and actual value

	[O] <sub>F</sub> method	QV method
P	0.00294%	0.00145%
Mn	0.0165%	0.0093%
S	0.00102%	0.00078%

Data : [P] 0.005~0.030%  
 [Mn] 0.05~0.20%  
 [S] 0.001~0.025%

成分を正確に推定する技術が不可欠である。

加古川製鉄所では、吹止め時の鋼中溶存酸素測定により成分を推定する方法<sup>4)</sup> ([O]<sub>F</sub>法と称する)を採用している。しかしながら、本法の推定精度は不十分であるため成分規格範囲の広い鋼種にしか適用できず、また原理的に高炭素鋼には適用できない<sup>6)7)</sup>ため、加古川製鉄所溶製鋼種の70%しか迅速出鋼対象にすることができな



F: The first half of the year S: The second half of the year

Fig. 14. Change of quick tapping ratio.

かった。

迅速出鋼比率の拡大を目的として、新たな吹止成分推定技術を開発した。本法は、吹錬途中のダイナミック・コントロール用にサブランス測定する際、同時にディスク・サンプルを採取・回収し、現場に設置したカントバック分析装置にて分析し、その値を基にして吹止めの成分値を推定するものである<sup>5)</sup>。フローを Fig. 12 に示す。

本法 (QV 法と称する) の吹止成分推定精度の低炭素鋼についての例を Fig.13 および Table 3 に示す。QV 法の推定精度は従来にくらべて著しく良くなっており、結果として、成分規格の厳格な鋼種も本法の適用により迅速出鋼可能となった。また高炭素鋼も同じく迅速出鋼対象鋼種とすることができた。

QV 法のオンライン化により、迅速出鋼の対象鋼種はほぼ 100% 近くに達し、Fig. 14 に示すように迅速出鋼比率 (実際に迅速出鋼を実施した比率) は急激に伸び、現在 90% となっている。

### 5. 自動吹錬システム

前述のごとく、加古川製鉄所においては、溶銑脱りん設備、取鍋加熱精錬設備の稼働により転炉の負荷は軽減され、また吹錬制御技術の開発・改善過程において転炉工程能力は向上してきた。

しかしながら、プロセスコンピューターのガイダンスはあっても、実際の操作・判断業務は人間が行っている以上、オペレーター個人に起因するばらつきが存在しており、スケジューリング上の大きな障害になっていた。

すなわち、これまでの開発・改善等により、平均値としての転炉工程能力は向上したものの、ばらつきが依然として大きいために“Just in Time”の転炉プロセス実現にはほど遠いのが実態であった。

この問題を解決するため、各吹錬制御技術を統合し、吹錬をオペレーターに代わって実施する自動吹錬システムを構築した。当システムは1988年12月に1号転炉で初稼働し、1989年7月までに全転炉が旧操作体系から自動吹錬システムに切替完了した。

5.1 設備概要

自動吹錬システムの概要を Fig. 15 および Fig. 16 に示す。当システムは、ランス応力測定装置（スロッピング予知）、現場型カントバック分析装置（吹止成分推定）、質量分析計（ダイナミック・コントロールおよび吹止成分推定）、排ガス流量計（ダイナミック・コントロール）およびマイクロ波レベル計（溶銑レベル）等の各種センサー、プロセスコンピューター、マイクロコンピューター、および DDC (Digital Direct Controller) で構成されている。さらに DDC は、PCS (Process Control Station), OCS (Operator Control Station), DBS (Data Base Station) およびデータウェイから成っている。

上記センサーからの情報はすべてプロセスコンピューターに入り、スタティック・コントロールおよびダイナミック・コントロールの計算結果と合わせて、プロセスコンピューターが PCS に吹錬についての指令を送る。そして PCS がそれに従ってランス、サブランスなど転炉の機器を作動・コントロールしている。なお、PCS はすべて常用と待機の二重システムになっており、通常は常用系が作動しているが、それに異常が生じた場合は、直ちに待機系に切り替わり、吹錬そのものには全く支障

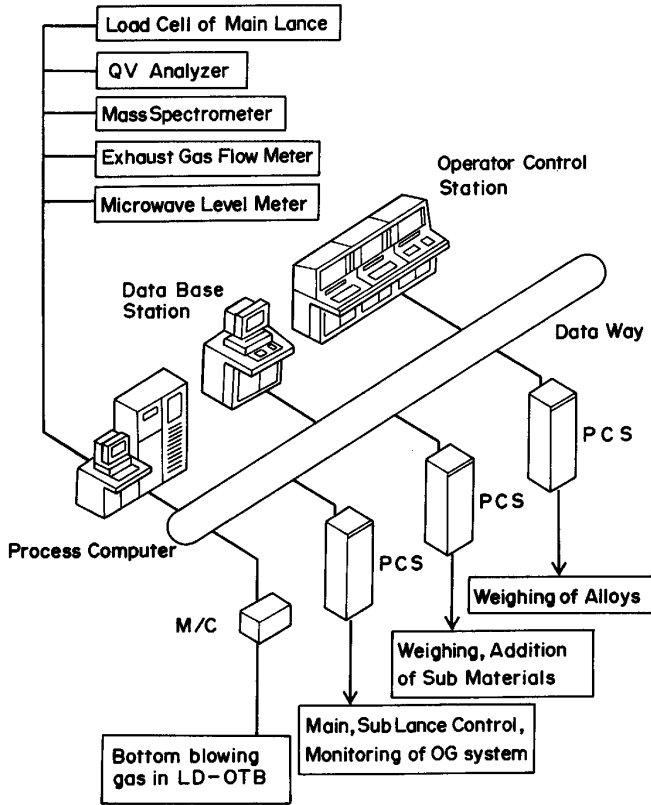


Fig. 15. Schematic diagram of automatic blowing control system.

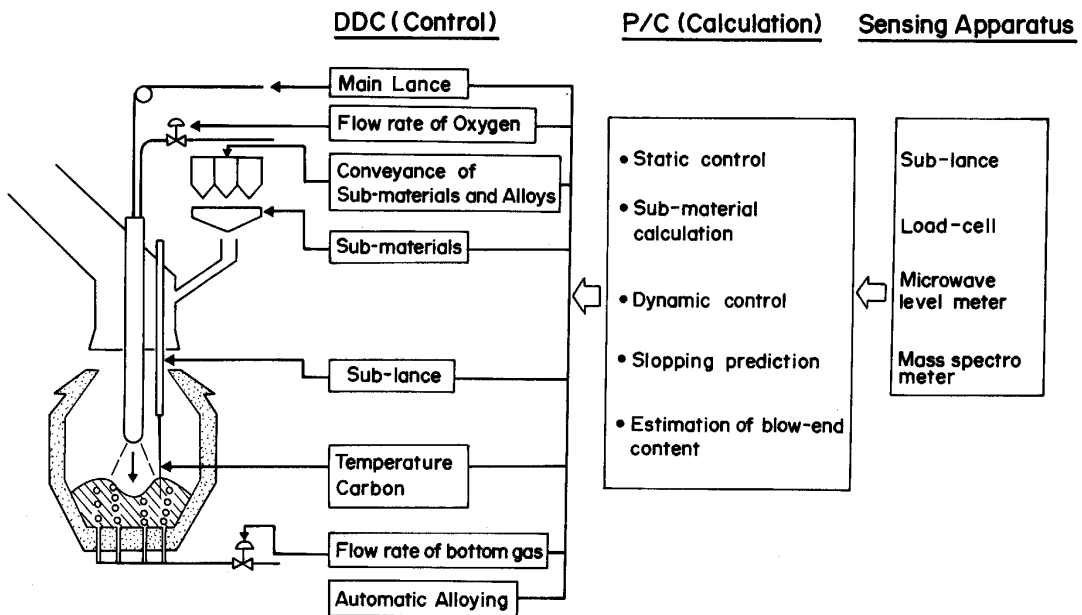


Fig. 16. Outline of automatic blowing control system.

が出ないようにしている。

また、底吹きについては同じくプロセスコンピューターがマイクロコンピューターに指令を送り、コントロールしている。

OCS にはオペレーター監視用の CRT と吹錬スタート、OG および非常用等の若干のスイッチを配している。なお、PCS 同様、OCS もすべて二重化しており、万一トラブルが生じて吹錬に支障を来さないようにしている。また、オペレーターが吹錬に介入する必要が生じ

た場合は当 OCS の CRT 上で操作を実施する。

DBS は吹錬中の各種データをストックしており、必要に応じてオペレーターは OCS の CRT で確認することができる。

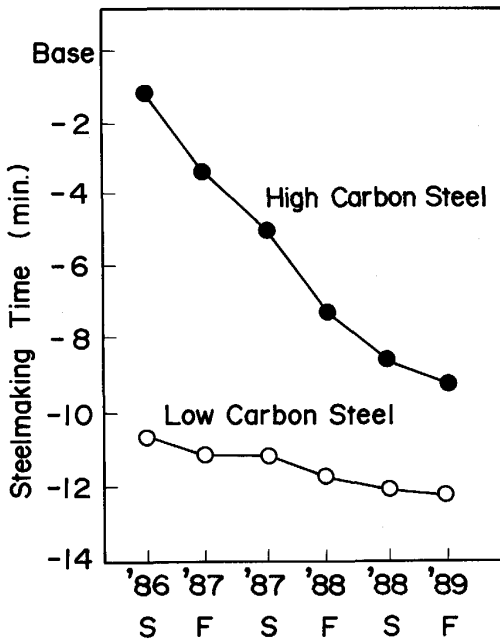
以上のシステムで、通常、吹錬に関してはオペレーターはスタートボタンを押すだけで、吹錬開始後は OG 操作を行っている。

5.2 自動吹錬の効果

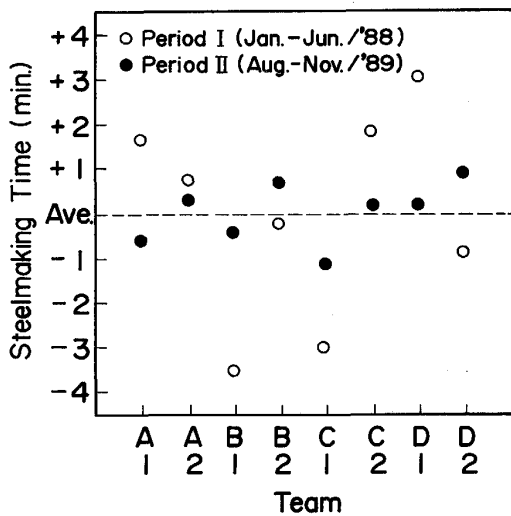
Fig. 17 に示すように、これまでの吹錬制御技術開発過程において製鋼時間は短縮されてきており、それらを統合した自動吹錬システム動働によってさらに短縮されている。

しかしながら、当システムの最大の効果は、吹錬操作そのものを人間からコンピューターに切り替えたことによってばらつきが縮小されたことで、Fig. 18 に示すように、従来は吹錬を担当する班によって製鋼時間の差異が大きかったのが、当システム稼働後、非常に小さくなっている。

以上により、Fig. 19 に示すように、計画された出鋼時刻に対する実際の出鋼時刻のずれを著しく改善されることができ、“Just in Time” の転炉プロセス実現に大き



F: The first half of the year S: The second half of the year  
Fig. 17. Changes in steelmaking time.



Ave.: Each average time in period I or II  
Fig. 18. Steelmaking time variations for each team (high carbon steel).

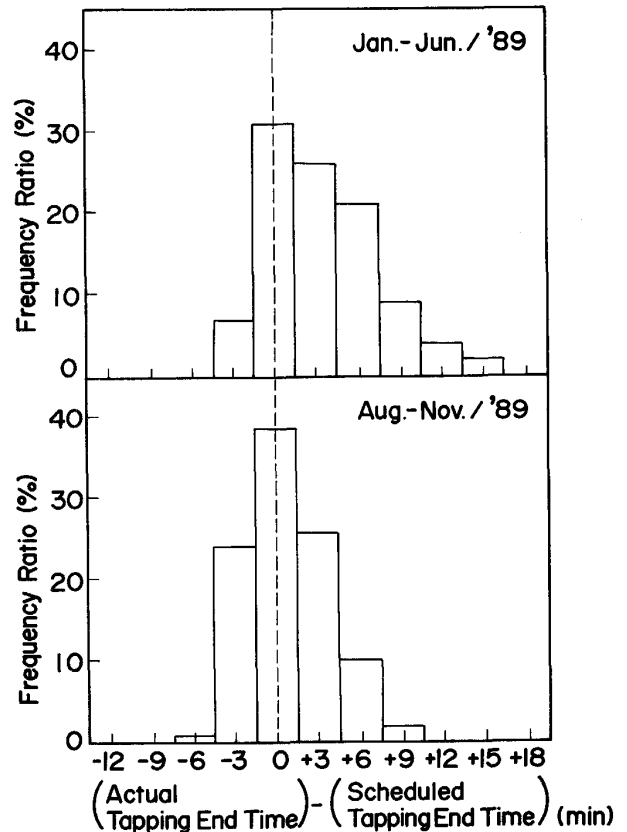


Fig. 19. Improvement of tapping end time accuracy.

く近づくことができた。

### 5.3 省力

従来、吹錬操作と OG 操作それぞれにオペレーターが必要であったが、吹錬の自動化により、現在は 1 名のオペレーターで OG 操作と吹錬モニタリングを行っている。また、合わせて、出鋼時の合金添加についても合理化し、結果として 11 名の省力を行っている。

## 6. 結 言

加古川製鉄所では、“Just in Time”の転炉プロセス実現を目的として、自動吹錬システムを稼働させた。

それにより、製鋼時間のばらつきを著しく縮小でき、転炉-連铸間のマッチングを大きく改善することができた。加えて、転炉要員の省力もできた。

次段階では、転炉機能のさらなる単純化のための溶銑

脱りん比率の引上げを計画している。その狙いは、[C]、温度の厳格コントロール、および転炉生産性の追求にある。

さらに、将来は、転炉工場の無人化を目指し、新センサー類の開発、AI の適用等を推進していく。

## 文 献

- 1) 副島利行, 松井秀雄, 木村 司, 遠藤 勝, 木村雅保, 竹添英孝: 鉄と鋼, **71** (1985), S948
- 2) 副島利行, 松井秀雄, 山下浩志, 田村光義, 片岡国男, 藤本英明: 鉄と鋼, **72** (1986), S245
- 3) 副島利行, 松井秀雄, 中島慎一, 波戸口守一, 星川郁生, 加藤 稔: 鉄と鋼, **72** (1986), S1031 など
- 4) 副島利行, 小林潤吉, 松本 洋, 中島慎一, 中峠 宏: 鉄と鋼, **73** (1987), S1465
- 5) 竹添英孝, 斎藤 忠, 坪根 巖, 小河直輝, 山名 寿, 前田真一: 材料とプロセス, **1** (1988), S1250