

## Integrated Instrumentation and Control System of Top and Bottom Blown Converter



山根 明  
Akira Yamane  
水島製鉄所 電気・計装  
部 主査(掛長)



三崎 規生  
Norio Misaki  
水島製鉄所 製鋼部第  
1 製鋼課 主任部員(掛  
長)



刀根 功  
Isao Tone  
水島製鉄所 電気・計装  
部電気・計装技術室



岩村 忠昭  
Tadaaki Iwamura  
水島製鉄所 電気・計装  
部電気・計装技術室 主  
査(課長)



武 英雄  
Hideo Take  
水島製鉄所 製鋼部第  
1 製鋼課 課長



坪井 勝  
Masaru Tsuboi  
水島製鉄所 電気・計装  
部電気・計装技術室

### 1 結 言

鉄鋼業を取り巻く近年の厳しい経済情勢の中で、製鉄所の中核プロセスの一つである製鋼工場においても、極限までの省エネルギー、省力および省コストを目的として、転炉上底吹技術の開発<sup>1-3)</sup>、溶銑予備処理設備の導入<sup>4,5)</sup>、二次精錬設備の充実<sup>6)</sup>など数々の技術革新が行われ製鋼プロセスは大きく変貌した。多様な最終製品の精錬コストを低減するためには、高炉での出銑段階から始まる複雑な処理プロセスをきめ細かく把握する情報処理機能とプロセス制御技術が必要不可欠となる。

水島製鉄所では、製銑～製鋼～熱延の同期化一貫操業を目的とした新システムが、1986年後半から1987年初頭にかけて逐次稼働した。薄板素材の主力生産工場である第2製鋼工場では、その一環として1971年に稼働したプロセス計算機(MELCOM 350-30)を更新し<sup>7)</sup>、混銑車運行管理から二次精錬設備までの広範囲を把握する新システムが構築された。この新プロセス計算機(P/C)の稼働に伴

### 要旨

水島製鉄所第2製鋼工場において、最先端の上底吹転炉総合計装システムが完成した。溶銑予備処理から二次精錬までの広範囲を所掌するプロセス計算機のきめ細かな操業情報管理、上底吹転炉操業に合致した吹錬制御モデルの開発、P/Cと計装DDCの有機的機能結合に基づく全自動吹錬制御、吹止成分推定などの出鋼制御機能の充実を図った。これらの高度な操業技術の確立とともに、吹錬制御精度がより一層向上し、安定した上底吹転炉操業を達成している。

また吹錬制御モデルの精度維持向上を目的として、セントラルコンピュータ上の操業実績データベースを利用した操業解析システムを構築し、膨大な操業データの簡便なる解析が可能になった。

### Synopsis:

State-of-the-art integrated instrumentation and control system for top and bottom blown converter (K-BOP) have been brought into operation at No. 2 BOF shop in Mizushima Works.

Characteristics of this system are as follows:

- (1) Accurate operational data processing by new operational computer (process computer) which controls not only the converter process but also pre-treatment and ladle refining.
- (2) Accurate mathematical control models for combined blowing.
- (3) Fully automated blowing control by effective functional combination of the operational computer and the instrumentation DDC (Direct digital control).
- (4) Tapping control technology such as the component estimation system at blow end.

In addition, in order to maintain and improve the accuracy of mathematical control models, the operational data analysis system has been developed by using relational data bases in the business computer.

い、1983年に既設アナログ計装設備を全面更新して導入した上底吹転炉 K-BOP (Kawasaki-bottom oxygen process) CRT オペレーションシステム<sup>8)</sup>と有機的に機能結合した最新鋭の上底吹転炉総合計装システムが完成した。

本報では、上底吹転炉吹錬制御に係る主要機能を中心に総合計装システムの紹介と吹錬制御の核となる各制御モデルの保守解析システムおよび導入の効果について報告する。

### 2 制御システムの構成

#### 2.1 第2製鋼 P/C システム

水島製鉄所第2製鋼工場 P/C システムは、製銑～製鋼～熱延の同

\* 昭和62年8月20日原稿受付

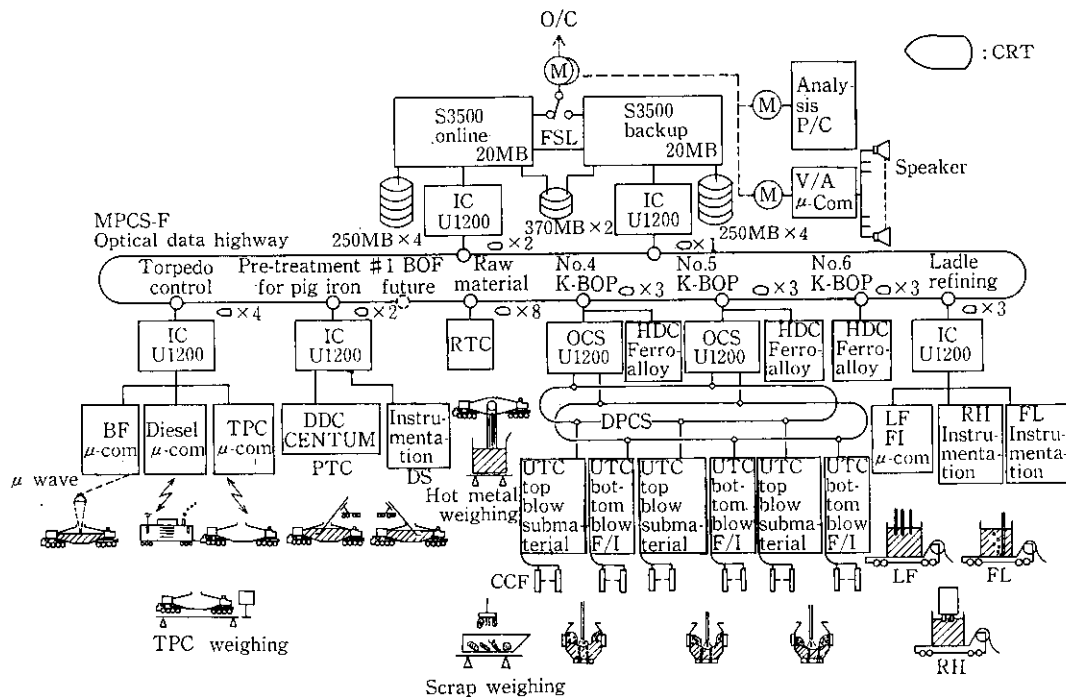


Fig. 1 System configuration

Table 1 Functional configuration

| Sub-system                 | Function                                                                                                                       | Volume (step) |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Torpedo car control        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tracking of torpedo car and diesel car</li> <li>Position and status guidance</li> </ul> | 7 400         |
| Pre-treatment for pig iron | Process control and data processing for de-phosphorus, de-sulfur and de-silicon                                                | 10 500        |
| Raw material preparation   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Charge calculation</li> <li>Weighing control of hot metal and scrap</li> </ul>          | 20 000        |
| Blowing control            | Static control, dynamic control, blowing pattern control, alloy calculation, tapping control, etc.                             | 46 000        |
| Ladle refining             | Process control and data processing for RH degasser, ladle furnace, argon flashing                                             | 14 800        |
| Data communication         | Communication control to DDC, to online computer                                                                               | 26 300        |

期化一貫操業への対応および既存システムの老朽化を契機として昨年10月に全面更新された。システム設計に当たっては、32ビットCPU(S3500, 富士電機製)の大容量記憶、マルチジョブなど汎用大型計算機並の性能<sup>2)</sup>を踏まえ、(1)溶銑管理システムの開発、(2)新吹錬制御モデルの開発、(3)上底吹転炉総合計装システムの構築、(4)二次精錬制御機能の充実、を重点実施項目にした。Fig. 1はハードウェア全体構成図である。高炉での混銑車受銑に始まり二次精錬完了まで、広範囲で複雑な処理設備を包含する大規模システムであり、将来第1製鋼工場のP/C機能を取り込む予定である。

Table 1はソフトウェア構成である。言語としてFORTRAN77を使用し、6サブシステム合計で125 000ステップの規模である。共通サブルーチンなど一部を除いて自社開発(ソフトウェアハウスを用いた内作)を行った。開発期間に2年5箇月を要した。

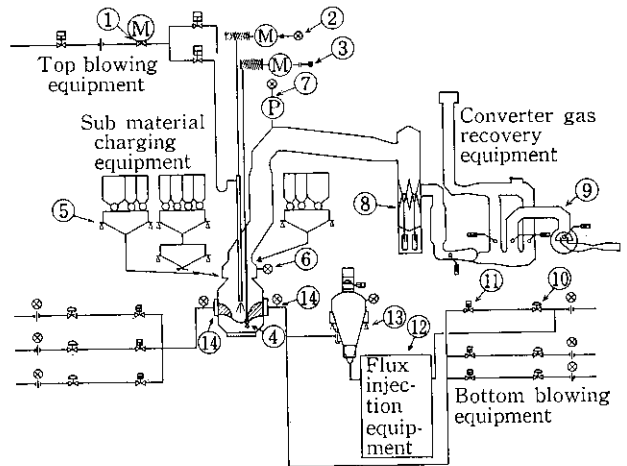


Fig. 2 K-BOP process flow (①~⑭ are shown in Table 2)

## 2.2 計装制御システム

第2製鋼転炉工場では、1980年から1984年にかけて3基の上吹転炉が微粉石灰を酸素と共に炉底から吹き込む強撈拌型上底吹転炉(K-BOP)に改造された。この型の上底吹転炉は大規模な底吹制御装置を持ち、シーケンスも非常に複雑になる。そこで転炉改造に合わせ、オペレーション効率化の観点に立ち、関連計装設備を一新し、本格的なCRTオペレーションと基軸とする計装制御システム(計装DDC)を導入した。

Fig. 2および3は、それぞれK-BOPの吹錬制御および出鋼制御に係るプロセスフローである。各々の制御機能をTable 2にまとめた。大きく分けて、(1)上吹制御設備、(2)排ガス回収制御設備、(3)副原料投入制御設備、(4)底吹プロセスガス制御設備、(5)微粉石灰吹込(フラックスインジェクション)設備、(6)出鋼制御設備の6系統からなっている。

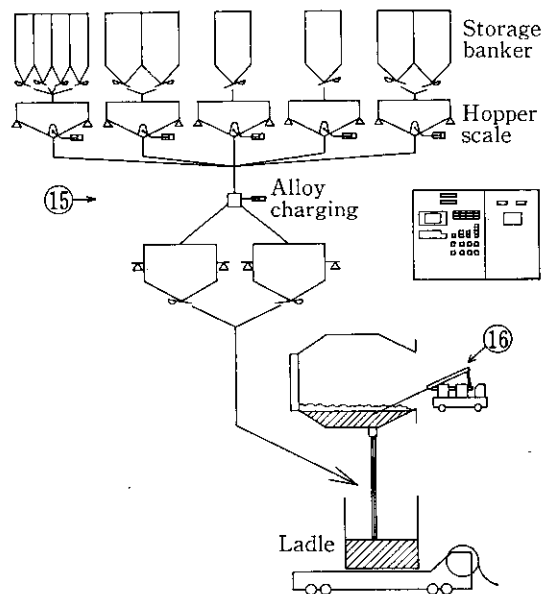


Fig. 3 Tapping control (15 and 16 is shown in Table 2)

Table 2 Major instrumentation and control function

|     |                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------|
| 1.  | Flow rate control of top blown oxygen                  |
| 2.  | Gap control of oxygen lance                            |
| 3.  | Position measurement of sub-lance                      |
| 4.  | Bath temp. and C content measurement                   |
| 5.  | Sub-material weighing and charge control               |
| 6.  | Furnace pressure control                               |
| 7.  | Gas analysis                                           |
| 8.  | RSE (ring slit element) position control               |
| 9.  | Position measurement of gas recovery valves            |
| 10. | Flow rate control of bottom blown process gas          |
| 11. | Sequence control of bottom blown process               |
| 12. | Discharge control of pulverized burnt lime             |
| 13. | Weighing of pulverized burnt lime                      |
| 14. | Measurement of tilting angle                           |
| 15. | Alloy weighing and charge control                      |
| 16. | Temperature and oxygen content measurement at blow end |

計装DDCは以下の3階層からなるハイラーキシステムである。

(1) CRT コントローラ (PFU-1200 2台)

各転炉2台、合計6台設置されているCRTの制御を行うマンマシンインタフェース機能、上位P/Cおよび下位PLC(Programmable logic controller) との間のデータ送受信制御機能を有する。3基の転炉に対して共通のシステムとなるので、危険分散のため機能縮退型のデュプレックス構成(一方のCPUがダウンした場合、各炉1台のCRTは使用可能)を採用している。

(2) PLC (UTC- $\mu$ , HDC)

転炉各設備のシーケンス制御機能、プロセスデータ収集・伝送機能を有する。吹錬制御用には、各転炉2台のPLC(UTC- $\mu$ )が設置され、それぞれ底吹プロセスガス・フラックスインジェクション設備と上吹・副原料投入設備の制御を分担している。出鋼制御用には、各炉1台のPLC(HDC)が設置され、合金鉄秤量払出制御を行っている。このHDCはUTC- $\mu$ とは異なり直接P/Cと結合している。

(3) シングルループコントローラ

流量制御、圧力制御などの計装ループ制御を行うマイクロコンピュータ内蔵のデジタル調節計である。インテリジェンスを有しており、上位とのデータ送受信機能、信号処理機能を持つ。

### 2.3 新操作デスク

CRTオペレーション機能の構築にあたっては、計装DDCとP/Cの更新の時期が3年余りずれたため、先に導入した計装DDCの機能を若干過剰にせざるを得なかった。しかしながらあらかじめ更新後のP/Cとの機能結合を前提として機能設計を行ったため、改造の負荷は最小で済み、むだの少ないP/C-計装DDC機能構成を実現できた。Photo 1は吹錬操作デスク、Photo 2は合金鉄投入操作パネルである。いずれも、従来に比べて幅が1/3~1/2と非常にコンパクトに設計されており、操作性も良く吹錬中の操作負荷は大きく減少した。



Photo 1 Operation desk for blowing

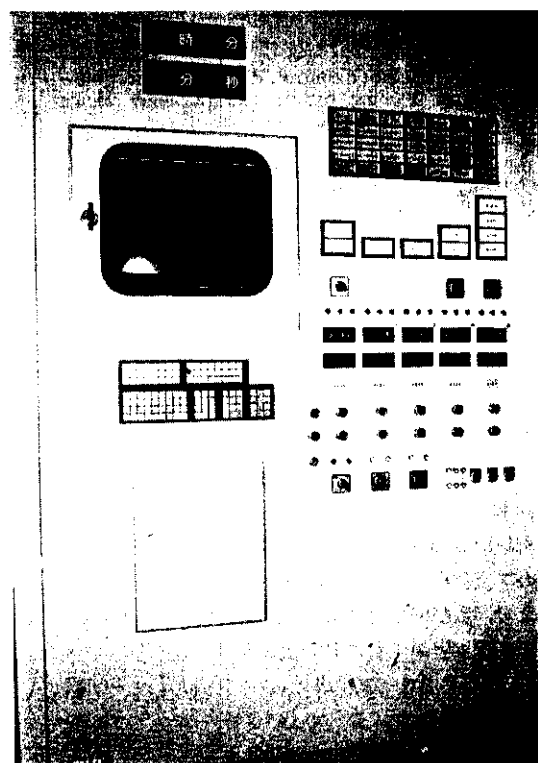


Photo 2 Operation panel for ferroalloy charging

### 3 総合計装システムによる全自動上底吹吹錬制御機能

#### 3.1 主原料情報収集

混鉄車運行管理および溶鉄予備処理が第2製鋼P/Cの所掌範囲であるため、きめ細かな主原料情報収集が可能になった<sup>10)</sup>。Photo 3は混鉄車の運行管理画面である。高炉～転炉間の線路網上約80箇所を設置された電磁結合型車番検出装置およびディーゼーカー、混鉄車に取付けられた車番発信装置にてトラッキングが行われる。混鉄車内の溶鉄は、脱硫、脱磷など予備処理の進行に従って、温度、成分、溶鉄重量、スラグ重量など主要情報の変動が厳密に管理される。

これら溶鉄情報の精度向上は、後述の吹錬制御モデルの精度向上に寄与している。



Photo 3 Picture of torpedo control on CRT display

#### 3.2 吹錬制御

##### 3.2.1 制御モデル

P/Cの吹錬制御機能はFig. 4に示すように、大きく分けて主原料

段制御モデル、静的吹錬制御モデル、動的吹錬制御モデル、出鋼制御モデルの4群の数学モデルを基に構成される。

今回のP/Cシステム更新にあたって、溶鉄予備処理の導入による溶鉄品質の多様化、上底吹操業による冶金反応形態の変化などの操業条件の変化に対応するため、これら制御モデルの全面見直しを行った。以下静的および動的制御を中心に詳細を報告する。

##### 3.2.2 静的吹錬制御

静的吹錬制御モデルは、一般的には(1)式および(2)式に示す熱収支モデルおよび酸素収支モデルからなる。

$$\sum_{i=1}^{n_a} Q_i^{IN} + \Delta Q = \sum_{j=1}^{n_b} Q_j^{OUT} + W_{ore} \times \Delta H_{ore} \quad (1)$$

$$V_i^{IN} + \sum_{i=2}^{n_c} V_i^{IN} = \sum_{j=1}^{n_d} V_j^{OUT} + \Delta V \quad (2)$$

ここで

$Q_i^{IN}$ : 溶鉄顕熱、C燃焼熱等の入熱項

$Q_j^{OUT}$ : 溶鋼顕熱、排ガス顕熱等の出熱項

$\Delta Q$ : 熱収支誤差を推定する統計モデル

$W_{ore}$ : 剰余熱量を吸収(冷却)する鉄鉱石の投入量

$\Delta H_{ore}$ : 鉄鉱石の冷却能

$V_i^{IN}$ : 吹錬酸素量

$V_i^{IN}$ : 鉄鉱石中の酸素等入酸素項

$V_j^{OUT}$ : Cの燃焼で消費される酸素など出酸素項

$\Delta V$ : 酸素収支誤差を推定する統計モデル

$n_a \sim n_d$ : 入熱項, 出熱項, 入酸素項, 出酸素項の数

両式とも冶金反応式に基づく $Q_i^{IN}$ ,  $Q_j^{OUT}$ ,  $V_i^{IN}$ ,  $V_j^{OUT}$ などの理論項と、 $\Delta Q$ および $\Delta V$ の誤差を推定する統計項の組み合わせで収支演算を行い、結果として冷却剤(鉄鉱石)投入量および吹錬酸素量を求める形になっている。更新後の新モデルは以下に示す各項目にその特徴がある。

##### (1) 上底吹操業要因の反映

鉄の燃焼反応による発生熱量を、吹錬末期の鋼浴攪拌力の大小、スラグボリューム等の要因を用いた推定モデルで推定した。また底吹ガス顕熱、微粉石灰底吹の効果など主要な底吹操業要

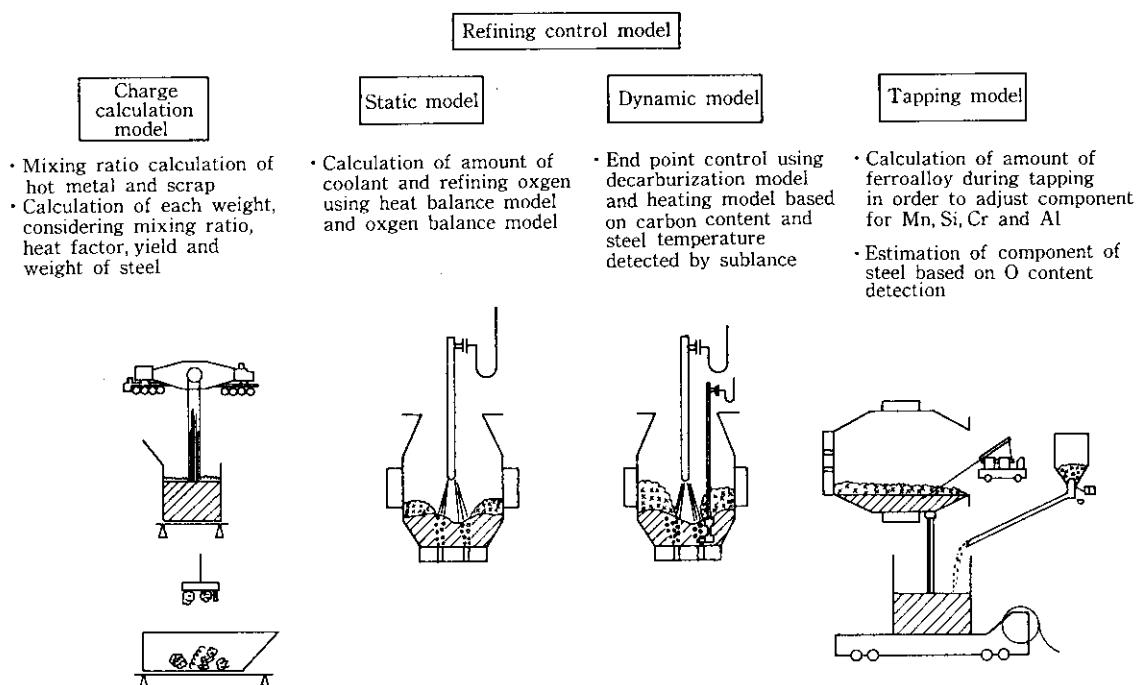


Fig. 4 Mathematical models

因をモデルに組み込んだ。

(2) 熱補償吹錬要因の取込み

高スクラップ比操業あるいは溶銑予備処理吹錬では、転炉吹錬での発熱量を補うため、発生したCOガスを転炉炉内で燃焼させる二次燃焼 (post combustion) 操業あるいはコークスに代表される炭材の添加などの操業を実施する。これら熱補償を目的とした操業要因を精度良く反映した。

(3) マンガン鉱石多量投入に係る要因の取込み

出鋼時に投入されるMn合金鉄の削減をねらって、溶銑予備処理溶銑の吹錬では、マンガン鉱石の炉内還元を積極的に行っている。このマンガン鉱石の多量投入に対して、精度の良いマンガン還元率推定式を構築し熱収支および酸素収支モデルに反映した。

(4) スラグ残し操業への対応

前チャージのスラグの一部を次チャージへ再利用するスラグ残し操業に対して、組成および塩基度などスラグの主要パラメータをもとに残スラグ量を推定し、その成分値を次の静的制御計算内へ反映させた。

(5) 副原料段取計算機能の増強

与えられた全精錬条件に対して、重量、塩基度、MgO%などが最適なスラグを生成するのに要する各副原料の投入量を計算するロジックを構築した。

各副原料投入量を含む静的吹錬制御計算結果は、次項で述べるパターンデータとともに下位計装DDCに伝送される。

### 3.2.3 全自動吹錬制御

当製鉄所では、以前より上吹転炉全自動吹錬技術は確立していた<sup>11)</sup>。今回P/Cおよび計装DDCの機能を十分活用した上で、この技術を上底吹転炉(K-BOP)において発展させた。

上底吹全自動吹錬制御の基本はパターン制御である。Table 3にパターン化された吹錬操作量とP/CおよびDDCの機能分担を示す。いずれも静的吹錬制御計算完了時に自動決定され、計装DDCに伝送される。操作員は計装DDCのCRTに表示されるパターン画面にてP/Cの結果を確認することが可能である。

転炉操業では、吹錬開始以降に確定した溶銑装入重量または変更された吹止目標温度などに対して、吹錬パターンを適宜修正する必要がある。本システムでは、以下の操作量に関して、この適応修正が自動で行われる。

(1) 上吹送酸流量、ランス高さ

P/Cから設定値を直接計装DDCに伝送するSet point control (SPC) を行いパターンを修正する。

Table 3 Automatic top and bottom refining control

| Operation                         | P/C function                                                                                                                     | DDC function                                                                                                                 |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lance height and top blow control | Decision of pattern (lance height set value, flow rate set value, changing point) according to molten iron grade and steel grade | Lance height control, flow rate control, automatic change of set value at appointed point                                    |
| Flux injection (F/I)              | Calculation of amount of F/I, decision of injection pattern based on it                                                          | Injection control, automatic change of set value                                                                             |
| Bottom blow coolant               | Decision of cooling pattern of tuyeres according to steel grade                                                                  | Coolant flow rate control, automatic change of set value                                                                     |
| Sub-material charge               | Calculation of charge amount, construction of charging pattern                                                                   | Charging control, adaptive revision when arrangement is changed                                                              |
| Sup-lance trigger                 | Calculation of oxygen amount for trigger using de-C model                                                                        | Sequence control                                                                                                             |
| IOD trigger                       | • Ditto<br>• Adaptive revision using measured data with substance                                                                | IOD trigger sequence control                                                                                                 |
| IOD pattern                       | Calculation of control pattern using de-C model and standard pattern according to steel grade                                    | Flow rate control of bottom blowing oxygen and inert gas, automatic change of set value according to the pattern sent by P/C |

(2) フラックスインジェクション (微粉石灰底吹き)

K-BOPでは、異径吹込配管選択可能な粉体吹込装置<sup>12)</sup>を使用している。粉石灰吹込予定量が大きく変更された場合、P/CからのSPC指令によりサイズの異なった吹込管に切替える。

(3) 副原料投入パターン

副原料の投入予定量が変更された場合、その値がP/Cから計装DDCに伝送され、DDC側で自動的に追加投入あるいは投入中止などのパターン修正を行う (Fig. 5)。

(4) サブランス起動指令、不活性ガス希釈脱炭 (IOD) 開始指令および吹錬終了 (吹止) 指令

P/Cから酸素使用量の形で、これらシーケンスの起動タイミングを計装DDCに伝送する (吹錬中酸素使用量がその値に到達するとシーケンスが起動される)。該当シーケンス起動前であればP/Cからの伝送データは操業に反映される。

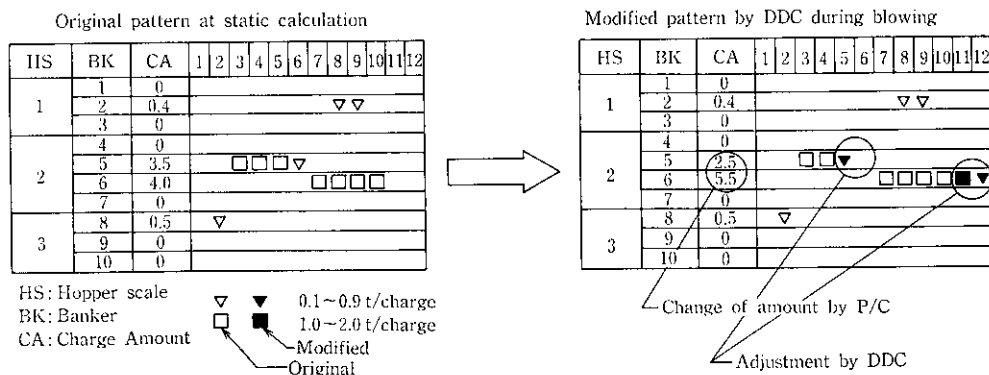


Fig. 5 Pattern modification for sub-material charging

### 3.2.4 吹錬情報収集

総合計装システムでは大量の情報を収集整理でき高度な数値処理を施すことが可能である。吹錬中を一例にあげると、上底吹の各プロセスガス流量、ランス高さ、排ガス流量・組成など主要な吹錬情報が数秒の間隔で計装 DDC から P/C に伝送される。P/C ではこれらの情報を使って、鋼浴攪拌エネルギー、二次燃焼率、脱炭酸素効率など精錬反応を代表するパラメータの瞬時値を計算し、トレンド表示する。さらにこれらの操業パラメータは、操業実績情報とともに生産管理計算機 (Online computer) 経由でセントラルコンピュータ (C/C) のデータベースに格納される。

### 3.2.5 動的吹錬制御

サブランスを用いた動的吹錬制御は既に確立した技術であり、当社を始め<sup>13)</sup> 各社の報告がなされている<sup>14-18)</sup>。K-BOP では、鋼浴が底吹ガスにより強攪拌されるため、上底吹に比較して脱炭酸素効率が良く、さらに低炭域での鋼浴攪拌力を維持するため、吹錬末期に底吹ガスの一部を不活性ガスに置き換える希釈脱炭操業 (Inert gas and oxygen decarburization—IOD 法) を工程的に実施している<sup>19,20)</sup>。希釈脱炭操業中には、底吹ガス中の酸素と不活性ガスの流量比を脱炭酸素効率の低下に合わせて Fig. 6 に示すように変化させている。希釈脱炭開始タイミングおよび流量比変化パターンは静的制御計算と同時に P/C にて自動決定されるが、実操業のパラツキあるいは制御計算精度を考慮すると、動的な修正は不可欠である。そこで従来の動的吹錬制御機能に、この希釈脱炭開始タイミングおよびパターンの修正機能を付加した。

根幹となる脱炭モデルおよび昇温モデルは、K-BOP の冶金特性を考慮し、(3) 式および (4) 式の形とした。

<脱炭モデル>

$$\Delta O_2 = F(C_s, C_F, m) + G(X_1) + \alpha \quad (3)$$

ここで

$\Delta O_2$ : サブランス測定～吹止までの所要酸素量 (Nm<sup>3</sup>/t-steel)

$F$ : 脱炭基本函数、脱炭構造式 (Fig. 7) を  $C_s \sim C_F$  まで積分したもの

$G$ : 補正回帰函数

$\alpha$ : 時系列的偏差補正項

$C_s$ : サブランス測定時溶鋼 C 濃度

$C_F$ : 吹止目標溶鋼 C 濃度

$m$ : 脱炭構造式形状パラメータ

$X_1$ : 操業要因

<昇温モデル>

$$\Delta T = [H(Y_1) + \beta] \Delta O_2 + \gamma_1 \left( \frac{1}{C_F} - \frac{1}{C_s} \right) + \gamma_2 (C_s - C_F) \quad (4)$$

ここで

$\Delta T$ : サブランス測定～吹止までの昇温量 (degree)

$H$ : 昇温速度函数

$Y_1$ : 操業要因

$\beta$ : 補正項

$\gamma_1, \gamma_2$ : 定数

Fig. 8 は動的制御機能を模式的に表したものである。サブランスが投入され測定結果が P/C に取り込まれると、動的制御プログラムが起動され、IOD 開始予定酸素量および吹止予定酸素量が計算される。さらに昇温モデル計算により吹止温度を予想し、必要に応じて冷剤投入量が求まる。結果は直ちに計装 DDC に伝送され、自動制御される。Photo 4 は P/C 端末に表示される吹錬軌跡画面である。脱炭曲線、昇温曲線を別々にプロットしているのが特徴である。右

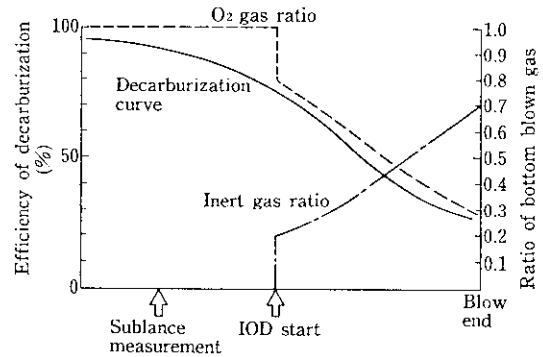


Fig. 6 IOD operation

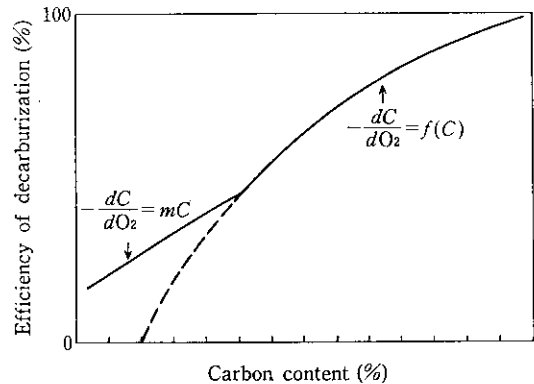


Fig. 7 Decarburization curve

上隅は、的中判定表示である。

### 3.3 出鋼制御

#### 3.3.1 吹止成分推定

吹止、出鋼時に鋼浴中の成分を迅速に判定するシステムは、転炉の Quick direct tapping (QDT) 操業を行う上で重要であり、静的および動的吹錬制御システムとあわせて高い QDT 率を達成している。

吹止成分推定システムは以下に示す構成であり、これにより鋼中の C, Mn, P 成分を推定する。

#### (1) 鋼中酸素濃度の測定

酸素プローブを用いて鋼中酸素濃度を測定する。

#### (2) 諸元の推定

スラグ中 Total Fe%, Total Mn%, Mn 分配比, P 分配比, C 濃度など諸元を鋼中酸素濃度に代表される各種操業実績データの重回帰式により推定する。

#### (3) 物質収支計算

副原料投入量など吹錬実績データと、上記で推定したスラグ中 Total Fe%, Total Mn% を用いて物質収支計算を行う。その結果得られたスラグ量および溶鋼重量と、(2) で求めた推定分配比を用いて、吹止時の Mn, P 濃度を推定する。

吹止成分推定システムは、1983 年に構築されたもの<sup>21)</sup> であるが、1986 年に導入した溶銑予備処理による以下の操業要因の変動に対して、十分対応できるように、今回修正を加えた。

すなわち、溶銑予備処理導入による転炉操業要因の変動としては

- (1) 溶銑 P 濃度の低下
- (2) 転炉内残留スラグの量と  $P_2O_5$  濃度の低下
- (3) マンガン鉱石投入量の増大によるスラグ中 MnO の増加がある。

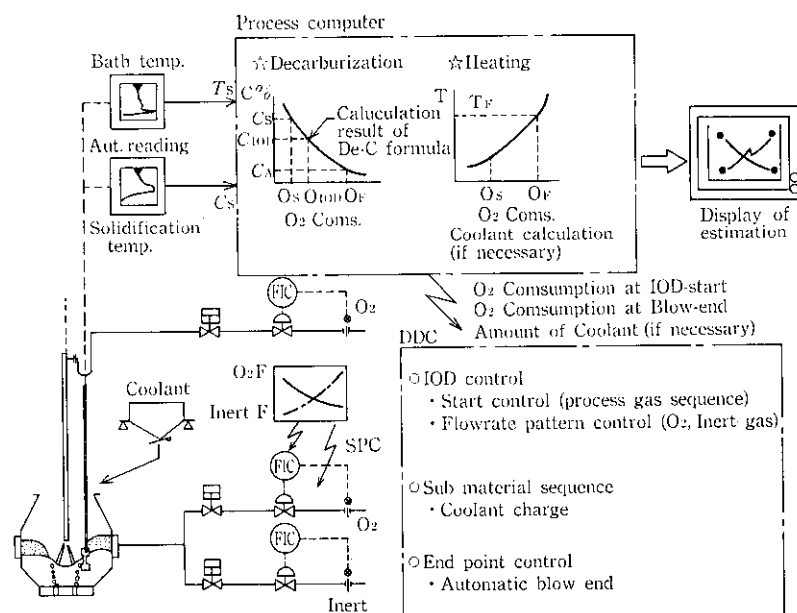


Fig. 8 Conceptual diagram of dynamic control

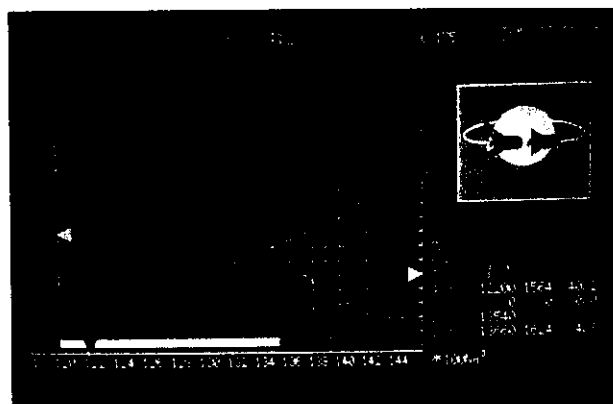


Photo 4 Picture of blowing transition on CRT display

これらに対し

- (1) 排滓するチャージの吹止時鋼中酸素濃度、溶銑P濃度などの因子による排滓後の残留スラグ量の推定
- (2) 残留スラグ中の  $P_2O_5$  濃度、 $MnO$  濃度の推定
- (3) マンガン鉱石多量投入時のマンガロス（ヒュームなど）の評価

を行い、溶銑予備処理溶銑と通常溶銑の両者に対して十分な吹止成分推定精度を得られるようになった。

### 3.3.2 合金鉄段取制御

出鋼中に成分調整を目的として投入されるフェロマンガン、アルミニウム、フェロシリコンなどの合金鉄の秤量払出制御は、今回P/Cと同時に更新したPLC (HDC) にて行われる。

P/Cでの合金鉄段取量計算は以下の構成である。

- (1) 調整すべき成分の決定  
炉下目標成分（出鋼後の取鍋内溶鋼成分）と吹止鋼中成分推定値の偏差より、調整すべき成分を決める。
- (2) 合金鉄歩留りの推定  
歩留り推定モデルにより、合金鉄銘柄別に歩留りを推定する。

### (3) 吹止時溶鋼重量計算

鉄収支計算、すなわち、溶銑、スクラップ、副原料中铁分などインプット鉄量から、スラグ中の酸化鉄、粒鉄およびフェームなどの鉄ロス分の差し引き演算を行い、他成分を加味して溶鋼重量を求める。

### (4) 合金鉄銘柄選択および投入量の決定

調整すべき成分に対して、たとえばMnなどは成分構成の異なった数種類の銘柄の合金鉄が準備されている。それらの中から、C、Pなど他成分の投入後ピックアップ値を勘案したうえで、コスト的に最適な銘柄の選択あるいは組み合わせと、投入量を計算する。

### 3.3.3 吹止時溶鋼重量および合金鉄歩留り実績計算

転炉内溶鋼重量はすべての吹製制御モデルの推定精度に大きな影響を及ぼす重要なパラメータである。したがって、この溶鋼重量値およびそれに影響する合金鉄歩留りは、以下に示すようにきめ細かな実績管理をP/Cにて行っている。

すなわち、連铸工場で铸込まれる前の溶鋼重量はクレーンスケールにて実測されO/CよりP/Cへ伝送される。この重量値は、転炉以降のRH脱ガス、アルゴンフラッシング、鍋精錬などの二次精錬処理および出鋼時に投入される合金鉄の添加重量を含むものである。P/Cでは、各処理での合金鉄投入実績データおよび処理前後の溶鋼成分分析データを用いて、実施済みの処理をさかのぼる形で吹止溶鋼重量と各処理別の合金歩留り実績値を算出し、推定誤差管理用の参照データとしている。

## 4 操業解析システム

### 4.1 概要

転炉操業においては本質的に定量化不可能な要因があるため、前章で述べた各吹製制御モデルは、その一部あるいは全部が統計モデルの形を採っている。一般的に統計モデルは操業条件の変化に対して脆弱である。溶銑予備処理の導入あるいは二次精錬設備の拡充な

どと多様化し、また今後より一層多様化が予想される転炉操業において、モデルの精度維持および向上のためには、膨大な操業実績データを簡便に処理可能な解析手段が必要不可欠である。そこで、C/C上に操業情報データベースを利用した転炉操業解析システムを新規開発した。設計指針は以下のとおりである。

- (1) P/C内のモデルを正確にシミュレートし、精度評価が可能であること。
- (2) 統計解析パッケージ (BMDP) など技術計算汎用解析ツールが使用可能なこと。
- (3) 経済情勢の変化、技術革新などにより操業方法が比較的短期間で変更される転炉に対して、追従可能なフレキシビリティを持つこと。
- (4) 簡便なモデル定期保守を実行するため、フィルインザバンク方式のマンマシンインタフェース画面を有すること。
- (5) 千葉製鉄所あるいは他社の製鋼工場の操業条件を用いた解析が可能であること。

## 4.2 構 成

Fig. 9は、解析システム構成図である。本システムは、C/C内に確保した専用解析ファイル (10.5 MB, 約3000チャージのデータを格納可能)を中心に、データ抽出部、シミュレート演算部および解析・精度評価部からなる。各部の詳細機能は以下のとおりである。

### (1) データ抽出部

C/C上の転炉実績情報、命令情報および分析情報の各リレーショナルデータベースから、日付あるいは炉鋼番 (チャージの識別コード) などで指定された範囲のデータを抽出し解析ファイルへ格納する。過去2年までの抽出が可能である。

### (2) シミュレート演算部

解析ファイルに格納された情報を使用し、各吹錬制御モデルのシミュレート演算を行い、結果をファイルに格納する。任意のモデルシミュレータを付加することが可能である。

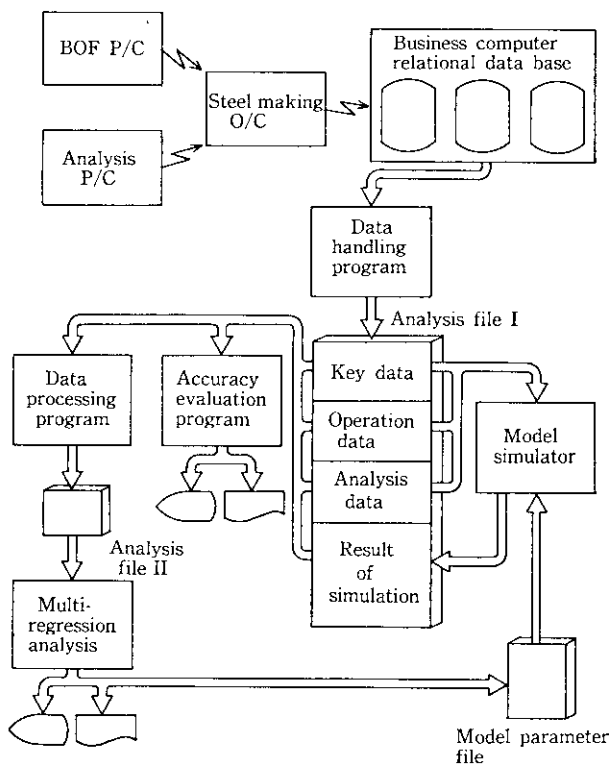


Fig. 9 System configuration for model analysis system

### (3) 解析・精度評価部

抽出された生データおよびシミュレート演算結果を用いて以下の処理を行う。

- (a) モデル精度評価: 各モデルの演算結果と実績値の誤差評価を行う。主要操業要因別の層別解析が主体となる。
- (b) 統計解析: 汎用統計解析パッケージを利用して、各統計モデルのパラメータの再計算を行う。
- (c) 時系列解析: 典型的なバッチプロセスである転炉操業では、前チャージの吹錬結果が、炉内残留スラグ、炉体の顕熱など種々の要因を介して次チャージに影響する。また耐火煉瓦の摩耗など経時的変動要因も多々ある。したがって、これらの要因の影響を無視できない静的および動的吹錬制御モデルに関しては、同一転炉連続チャージを時系列としてとらえる解析が可能である。

## 4.3 適用例

このシステムを利用した解析例を Fig. 10 および 11 に示す。それぞれスラグ中 Total Fe% の推定値と分析値および吹止C濃度と Total Fe% の散布図である。このような処理により、種々のパラメータの精度の検証および要因間の相関を調査できるようになった。

統計モデルパラメータの定期保守に関しては、マンマシンインタフェースとして専用画面を作成し、簡便に再調整が可能な仕組みになっている。

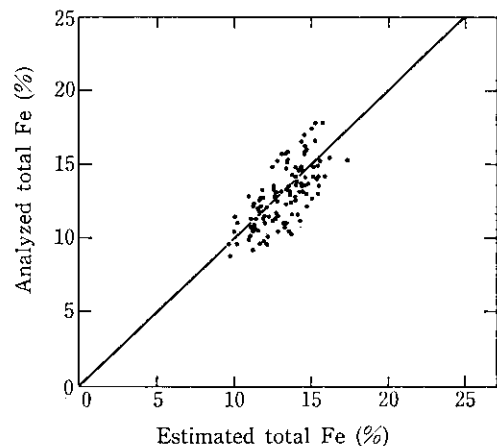


Fig. 10 Verification of parameter, total Fe

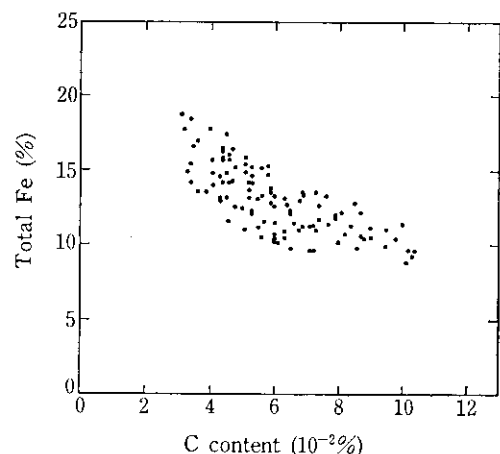


Fig. 11 Relationship between parameters, total Fe and C at blow end



## 5 効果

### 5.1 吹錬制御精度の向上

静的吹錬制御精度を確性するために、熱収支および酸素収支モデルが実操業をどの程度よく表現できているか調査した。Fig. 12は、両収支モデルの調整過程を、目標精度（推定誤差のパラッキ）からの偏差であらわしたものである。各々の収支モデルによる推定値と実操業データとの誤差のパラッキは、従来よりも大きく減少しており、操作員の経験的知識により補正もほとんど不要となった。

動的吹錬制御における昇温モデルと脱炭モデルによる推定値と実操業との誤差のパラッキは、Fig. 13および14に示すように、温度

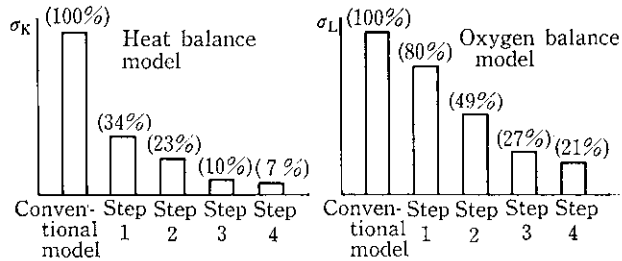


Fig. 12 Improvement of the accuracy (difference from the aimed accuracy)

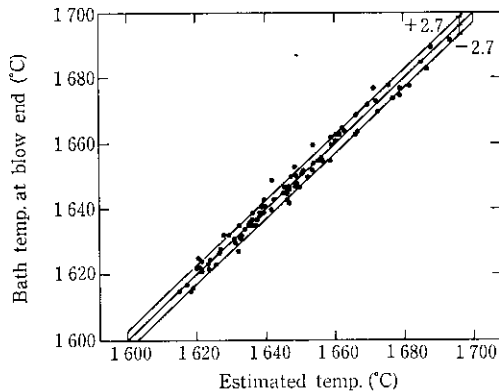


Fig. 13 Accuracy of heating model

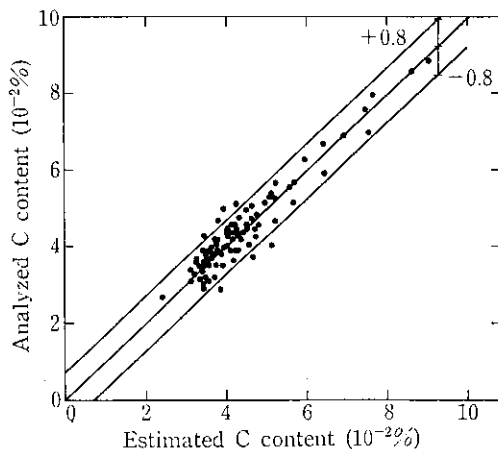


Fig. 14 Accuracy of decarburization model (C content at blow end)

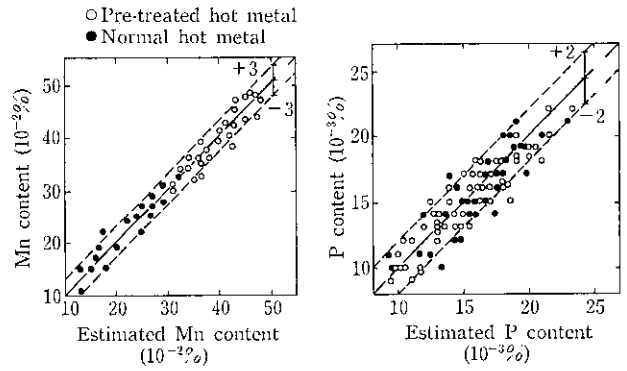


Fig. 15 Accuracy of Mn and P prediction at blow end

で $\sigma=2.7^{\circ}\text{C}$ 、C濃度で $\sigma=0.008\%$ と、溶銑予備処理銑と通常銑を問わず十分なレベルとなった。

吹止成分推定モデルの精度も、Fig. 15に示すように溶銑予備処理銑においてさえ、 $\text{Mn}=\pm 0.03\%$ 、 $\text{P}=\pm 0.002\%$ の範囲におさめることができ、安定操業に大きく寄与している。

### 5.2 操業への効果

静的吹錬制御精度の向上により、動的吹錬制御への負荷が軽減され、サブランス測定以降の冷却投入による冷却や鋼中C濃度の吹き下げによる昇温量も減少した。さらに、動的吹錬制御の向上により安定した迅速無倒炉操業を達成している。その結果、吹止から出鋼開始までの時間は、約0.6分の減少が見られ (Fig. 16)、またスラグ中 Total Fe% も、鋼中C濃度の吹き下げ量が減少した効果により、約1%減少した (Fig. 17)。

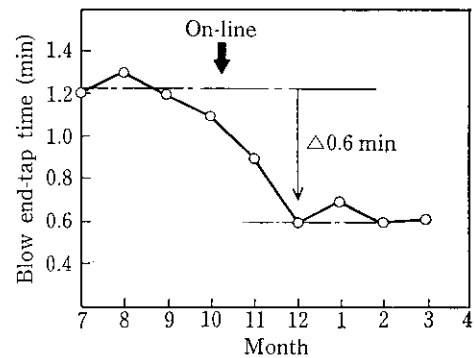


Fig. 16 Transition of the blow end-to-top time

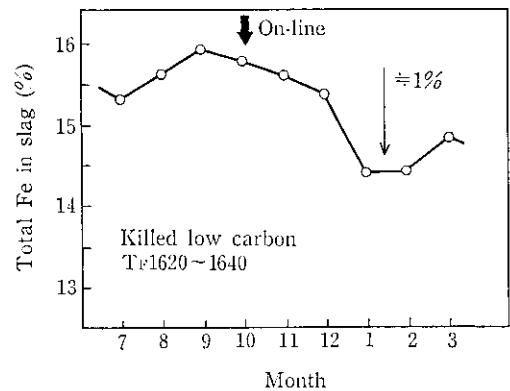


Fig. 17 Transition of total Fe in slag

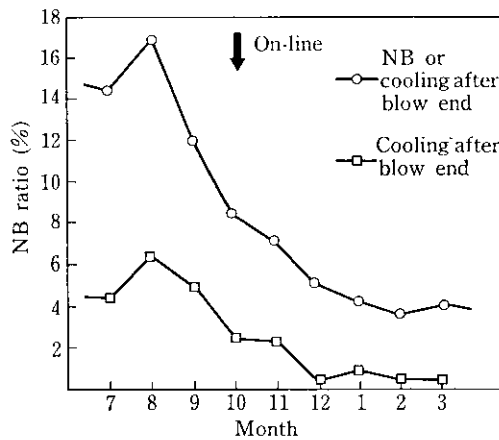


Fig. 18 Transition of NB (Nach Blasen) ratio

再吹錬 (NB) 率の推移を Fig. 18 に示す。従来 10% 程度であった NB 率が溶銑予備処理の導入とともに増加の傾向を示していたが、新システムが稼働した 1987 年 10 月以降は、吹止後の冷却を行う割合が 5.3% から 0.6% まで激減し、NB 率は従来のレベルまで減少した。

以上より、水島製鉄所では、溶銑予備処理銑と通常銑とを混在させて操業することによる吹錬制御の複雑・多様化を克服し、安定した上底吹転炉操業を達成した。その結果、予備処理銑の活用とあわせて大きなメリットを生み出している。

## 6 結 言

水島製鉄所第 2 製鋼工場に完成した上底吹転炉総合計装システムについて報告した。主な結果は以下のとおりである。

- (1) 本システムは、1983 年に既設計装設備を全面更新して導入した計装 DDC と 1986 年に更新されたプロセス計算機 (P/C) の有機的機能結合から構成される。
- (2) 全自動上底吹吹錬制御は、上底吹転炉技術から発展したもので、主原料情報収集、吹錬制御および出鋼制御の 3 つの機能よりなる。
- (3) 主原料情報収集は、溶銑予備処理等による混銑車内溶銑の成分、温度等の変動情報を管理する。
- (4) P/C の吹錬制御機能は、主原料段取制御モデル、静的制御モデル、動的制御モデルおよび出鋼制御モデルの 4 つの数学モデルから構成される。
- (5) 出鋼制御は、吹止成分推定システム、合金鉄段取制御、吹止時溶銑重量および合金鉄歩留り実績計算システムからなる。
- (6) 操業解析システムにより、膨大なデータが簡便に処理可能になり、定期的なモデルパラメータ調整あるいは新モデルの開発が可能になった。
- (7) 吹錬制御精度は、熱および酸素の静的制御モデル精度が大幅に向上し、脱炭および昇温の動的制御モデルの誤差が C 濃度で  $\sigma=0.008\%$ 、温度で  $\sigma=2.7^{\circ}\text{C}$  と十分小さくなり、また吹止成分推定モデルでも  $\text{Mn}=\pm 0.03\%$ 、 $\text{P}=\pm 0.002\%$  の範囲におさめることができた。
- (8) 操業効果としては、吹止から出鋼開始までの時間の約 0.6 分の短縮、スラグ中 Total Fe% の約 1% の減少、再吹錬率の約 4% の減少が得られた。

以上のように、溶銑予備処理から二次精錬までの広範囲を所掌する P/C の操業情報管理、上底吹転炉操業に合致した吹錬制御モデルや操業解析システムの開発、P/C と計装 DDC の有機的機能結合に基づく全自動吹錬制御、出鋼制御機能の充実など高度な操業技術の確立とともに、吹錬制御精度がより一層向上し、安定した上底吹転炉操業を達成している。

## 参 考 文 献

- 1) 今井卓雄:「底吹及び強攪拌上下吹き技術」, 第 100, 101 回西山記念技術講座, (1984)
- 2) 田中秀幸, 岩谷明之, 陶山謙一, 有吉政弘, 秋山信治, 武 英雄: 川崎製鉄技報, 16 (1978) 2, 84-92
- 3) 武 英雄, 奥田治志, 有吉政弘, 陶山謙一, 山根 明, 今井卓雄: 鉄と鋼, 70 (1984) 12, S893
- 4) 梅沢一誠:「脱珪技術と石灰系フラックスによる脱りん, 脱硫技術」, 第 100, 101 回西山記念技術講座, (1984)
- 5) 水藤政人, 日和佐章一, 武 英雄, 児玉正範, 今井卓雄:「溶銑予備処理設備の建設と操業」, 鉄と鋼, 72 (1986) 4, 2213
- 6) 川崎正蔵:「二次精錬技術-転炉鋼」, 第 100, 101 回西山記念技術講座, (1984)
- 7) 山根 明, 岩村忠昭, 刀根 功, 三崎規生, 平山勝久, 上田 新:「水島製鉄所新プロセス計算機システム」, 鉄と鋼, 73 (1987) 12, S1003
- 8) A. Yamane, M. Ogawa, T. Iwamura, H. Okuda, H. Take, and M. Kodama: "The Modernization of LD Converter at Mizushima Works-New Instrumentation System of K-BOP", 68th Steelmaking Conference, AIME, Detroit (U.S.A.), April (1985)
- 9) 浅見 昭, 水谷博成, 岡田誠一:「FACOM S-3000 シリーズシステム」, 富士時報, 57 (1984) 3, 175-180
- 10) 三崎規生, 武 英雄, 平山勝久, 栗屋三男, 山根 明, 岩村忠昭: 鉄と鋼, 73 (1987) 4, S272
- 11) 飯田義治, 江本寛治, 小川正勝, 増田康男, 大西正之, 山田博右: 川崎製鉄技報, 15 (1983) 2, 126-131
- 12) 岩村忠昭, 大岩美貴, 秋本圭一, 山根 明, 牧 勇之輔: 川崎製鉄技報, 18 (1986) 2, 110-119
- 13) 飯田義治, 江本寛治, 難波明彦, 武 英雄, 土田 剛, 高橋英幸, 小川正勝, 中路 茂, 増田康男: 川崎製鉄技報, 10 (1978) 4, 314-327
- 14) 喜多村 実, 川崎正蔵, 金塚泰夫, 成田貴一, 富田昭津, 片桐 望, 佐藤哲郎: R&D 神戸製鋼技報, 29 (1979) 1, 86-89
- 15) 竹村洋三, 加藤 郁, 福田重美: 製鉄研究, No. 291 (1977) 12-22
- 16) 田口喜代美, 尾関昭矢, 長谷川輝之, 白谷勇介, 坪井 勇, 松井邦雄: 鉄と鋼, 63 (1977) 9, A95
- 17) 池内洋晴, 佐々木恵一, 青木紀之, 中村敏夫, 加藤木健: 住友金属, 27 (1975) 4, 383-398
- 18) 高輪武志, 片山勝美, 布袋屋道則, 平山憲雄: 鉄と鋼, 73 (1987) 7, 836-843
- 19) 大西正之, 武 英雄, 奥田治志, 山田博右, 大図秀志, 永井 潤: 鉄と鋼, 69 (1983) 12, S1015
- 20) 小山内 寿, 三崎規生, 武 英雄, 山根 明, 今井卓雄:「上底吹転炉における希釈脱炭法の改善」, 鉄と鋼, 73 (1987) 12, S1004
- 21) 永井 潤, 大西正之, 山本武美, 奥田治志, 中井一吉, 武 英雄: 鉄と鋼, 69 (1983) 4, 2248