
純酸素上吹転炉におけるダイナミックコントロール技術の開発

Development of BOF Dynamic Control Technique

飯田 義治(Yoshiharu Iida) 江本 寛治(Kanji Emoto) 難波 明彦(Akihiko Nanba)
武 英雄(Hideo Take) 土田 剛(Tsuyoshi Tsuchida) 高橋 英幸(Hideyuki
Takahashi) 小川 正勝(Masakatsu Ogawa) 中路 茂(Shigeru Nakaji) 増田 康男
(Yasuo Masuda)

要旨：

水島製鉄所において、サブランスを用いて吹錬中の転炉炉内状況を測定し、その後の吹錬軌道を修正するダイナミック制御技術と、吹錬終了直後倒炉することなくサンプリングを行う無倒炉操業技術を確立した。これらの技術開発のポイントは次のとおりである。(1) センサプローブの自動着脱機構を備えた高信頼性を有する全自動サブランス装置の開発。(2) 高精度で溶鋼炭素濃度を測定するためのセンサプローブ、および健全なサンプルを得るためのサンプリングプローブの開発。(3) 制御精度の良いダイナミック制御モデルの開発。現在サブランス装置は99%以上の高稼働率を維持し、温度的中率95%、炭素濃度的中率は高炭素鋼でも87%の好成績をおさめている。

Synopsis：

A BOF dynamic control system has been established at Mizushima Works, whereby temperature and C content of molten steel during blowing are measured by the sublance to permit a good end-point control through modification, as required, of the subsequent blowing conditions, and a sampling system is made possible immediately at blow end without tilting the furnace. Major points of these technical developments are as follows: a full-automatic and reliable sublance mechanism including setting and removing a sensor probe; a sensor probe for measuring bath temperature and C content with high accuracy, and a sampling probe for obtaining suitable sample; a dynamic control model with high accuracy. At present, the availability of sublance system is above 99%, and such high hit rate as 95% for temperature and 87% for C content are attained even in blowing high carbon steels.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

純酸素上吹転炉における
ダイナミックコントロール技術の開発
Development of BOF Dynamic Control Technique

飯田 義治*

Yoshiharu Iida

江本 寛治**

Kanji Emoto

難波 明彦***

Akihiko Nanba

武 英雄****

Hideo Take

土田 剛*****

Tsuyoshi Tsuchida

高橋 英幸*****

Hideyuki Takahashi

小川 正勝*****

Masakatsu Ogawa

中路 茂*****

Shigeru Nakaji

増田 康男*****

Yasuo Masuda

Synopsis:

A BOF dynamic control system has been established at Mizushima Works, whereby temperature and C content of molten steel during blowing are measured by the substance to permit a good end-point control through modification, as required, of the subsequent blowing conditions, and a sampling system is made possible immediately at blow end without tilting the furnace.

Major points of these technical developments are as follows:

a full-automatic and reliable substance mechanism including setting and removing a sensor probe; a sensor probe for measuring bath temperature and C content with high accuracy, and a sampling probe for obtaining suitable sample; a dynamic control model with high accuracy.

At present, the availability of substance system is above 99%, and such high hit rate as 95% for temperature and 87% for C content are attained even in blowing high carbon steels.

* 水島製鉄所製鋼部部长

*** 水島製鉄所製鋼部第1製鋼課掛長

**** 水島製鉄所システム部主査(課長待遇)

***** 水島製鉄所システム部制御技術室主査(掛長待遇)

(昭和53年9月1日原稿受付)

** 水島製鉄所製鋼部第2製鋼課課長

**** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室

***** ツバロンプロジェクト協力本部プラント建設部主査(掛長待遇)

***** 水島製鉄所システム部制御技術室

1. 緒 言

転炉製鋼法は炉内反応が急速で生産性が高いが、それだけに吹錬終点の溶鋼の温度や成分、特に炭素濃度を目標に的中させることは容易でなく、またこの的中率が転炉の生産能力に大きな影響を及ぼすため、終点制御に関して多大の努力が払われてきた。当社においては、転炉導入の初期から物質バランスと熱バランスを基礎としたスタティック制御モデルが考案され、今日もお吹錬制御の基礎となっているが、このモデルはあくまでも吹錬の初期条件に基づいて構成されたものであり、吹錬過程の変化に追従できず、的中率にはおのずから限界がある。そこで水島製鉄所では、吹錬中に炉内の反応状況を把握し、その情報に基づいて吹錬軌道を修正する、いわゆるダイナミック制御の開発を進め、サブランスによるダイナミック制御技術および無倒炉操業技術確立した。

本報では、その開発経緯およびサブランス設備、測定技術、制御モデルなどの概要を述べる。

2. 転炉吹錬制御技術の開発経緯

純酸素上吹転炉は、製鋼技術に革新をもたらした生産性を飛躍的に向上させたが、その陰には終点制御技術の貢献がある。当社千葉製鉄所では、Table 1に示すように1962年4月の転炉導入の1年前から転炉終点制御法の研究を開始し、転炉の稼働時点では不完全ながらもスタティック制御モデルを完成し、計算機(HOC-100北辰電機機)による操業と並行したインライン計算を実施した。その後、数式モデルの改良研究を重ね、1963年10月オンライン計算機制御システム(NEAC-2205日本電気機)を導入し、終点制御計算のオンライン化に成功した。これにより吹止溶鋼温度、炭素濃度の的中率は大幅に向上したが、さらに的中率の向上を目指すために今日まで制御モデルの改良が続けられている。

ダイナミック制御法については、国内外各社で比較的早くから種々の方法と技術が考案、検討されてきた¹⁾。当社でも1966年から投入式測温子(シンカ)法の導入検討を開始し、翌年測温子を転炉内

へ連続的に投入できる自動投入装置を完成し、吹止溶鋼温度の的中を目的としたダイナミック制御法のオンライン化に成功した²⁾。これにより吹止溶鋼温度の的中率はスタティック制御のみと比べ10～15%向上した。

しかし、溶鋼炭素濃度を含めた終点同時的中率を飛躍的に向上させるためには、吹錬中に炉内溶鋼の直接サンプリングおよび測温を可能とするサブランス設備の開発が不可欠であるとの結論に達し、1971年初めより水島製鉄所においてその開発に着手した。設備として十分にその機能を発揮するためには、測定プローブの着脱を自動化することが不可欠であり、当時一部で採用されていたサブランス設備にはまだ存在しなかったプローブ自動着脱機能を含めた完全自動サブランス設備の開発を進め、1972年末に試作1号機を設置し、1974年6月には完全自動設備を完成した。さらに、溶鋼炭素濃度を決定する良好な凝固温度波形を得るための測定プローブやダイナミック制御モデルの開発によりダイナミック制御技術が確立した。

現在、水島製鉄所では6基の転炉すべてにサブランス設備を設置しており、吹止溶鋼温度の的中率

Table 1 History of BOF blowing control in Kawasaki Steel Corp.

1961	Start of research in static control technique
1963	Installation of static computer control system in Chiba Works
1966	Start of research in sinker technique
1967	Installation of dynamic temperature control system with sinker in Chiba Works
	Installation of static computer control system in Mizushima Works
1970	Installation of dynamic temperature control system with sinker in Mizushima Works
1971	Start of research in subulance technique
1974	Completion of the first full automatic subulance system in Mizushima Works
	Start of subulance installation programme for all furnaces
1976	Installation of subulance system in Chiba No.2 LD shop
1977	Installation of subulance system in Chiba Q-BOP shop
1978	Completion of subulance installation programme for all furnaces in Mizushima Works

は約95%、吹止溶鋼炭素濃度の的中率は高炭素鋼 ($C > 0.3\%$)でも約87%の成績を収めている。また、千葉製鉄所第2製鋼工場および第3製鋼工場 (Q-BOP)にも導入され良い成績を収めている。特に、Q-BOP法は強撈拌力による溶鋼の均一性および吹鍊の再現性において上吹転炉をしのいでおり、サブランス技術の有効性を遺憾無く発揮し、吹止溶鋼温度、炭素濃度の同時的中率はQ-BOP稼動後短期間で95%に達した。また吹鍊末期の測定結果に基づく終点予測精度がほぼ100%の高水準にあることから、吹鍊終了後直ちに出鋼するQDT (Quick and Direct Tapping)法を確立した³⁾

3. 計算機システム

計算機システムのダイナミック制御に占める比重は大きい。以下に水島製鉄所における製鋼工場計算機システムの概要について説明する。Table 2に水島製鉄所製鋼工場の仕様を、Fig. 1に計算機システムの機能構成を示す。機能的には転炉吹鍊制御を一つの柱とし、工場全体の生産管理をもう一つの柱としたインテグレートドプロセス制御システムで、その特徴は次のとおりである。

(1) 吹鍊制御の自動化

Fig. 1に示すように、吹鍊制御に必要なデータはすべて計測機器または計算機オンラインリンクを通して自動的に入力される。ランス高さ、吹鍊酸素流量の調整および副原料の投入など吹鍊中に必要なオペレーションは、計算機からの指令出力によりアナログまたはデジタル制御装置を介して自動的に遂行される。すなわち、転炉吹鍊のオペレーションは計算機を介して閉ループを構成している。

(2) 高精度主原料配合計算

製鋼命令の必要製出鋼量は1チャージごとに異なる。また、複数の高炉で出銑され、混銑車にて製鋼工場に供給される溶銑は、混銑車ごとにその温度と成分を異にする。Fig. 1に示すように、良塊歩留り向上を図る目的で、準備された銑型の個性に応じて目標製出鋼量をリアルタイムに調整し、原料条件、要求される溶銑仕様の差異による吹鍊オペレーションの差をできる限り原料配合により吸収することを目的とした主原料配合計算モ

Table 2 Out-line of steelmaking plant at Mizushima Works

	No.1 BOF shop	No.2 BOF shop
Capacity of vessels	180t×3	250t×3
Exhaust gas equipment	IRSID-CAFL type gas recovering system	
Hot metal holder	250t torpedo car, without mixer	
Continuous casting machine	3	2
Carbon grade of steels	Comparatively high	Low
Nominal annual capacity	Total 12 000 000t	
Start up	Apr. 1967	Sept. 1970

デルを構成している。このモデルは吹鍊のステイック制御モデルと類似のもので、主原料配合決定段階で吹鍊制御計算を実行することにより吹鍊の安定をねらっている。

(3) 製鋼工場全体へのリアルタイム作業指示

製鋼命令は、中央の生産管理用計算機 (M190富士通機)により1日分を単位としてスケジューリングされ、パンチカードに出力される。その内容は実行段階で各プロセスごとの具体的な作業指示に加工され、CRTまたはタイプライタにより各作業現場に的確なタイミングで指示される。

(4) オンライン情報処理

製鋼工程で発生する情報は、次工程の操業のために必要なデータ、原価管理上のデータ、品質管理上のデータおよび制御モデル開発に必要な技術データに分類される。次工程用のデータは造塊作業終了時点にリアルタイムで均熱工程へ伝達され、均熱操炉計画に使用される。一方、その他のデータはオンラインデータリンクを介して中央計算機に伝達される。

4. サブランス設備

4.1 設備の特徴

Fig. 2に当社で開発したサブランス設備の全体概要を示す。サブランス設備は、サブランス本体、昇降装置、水平移行装置ならびにプローブの着脱装置、搬送装置、貯蔵装置などから構成される。本設備の主な特徴は次のとおりである。

(1) プローブ着脱装置と貯蔵装置が分離しており、搬送装置を介して接続しているため設備レイアウト

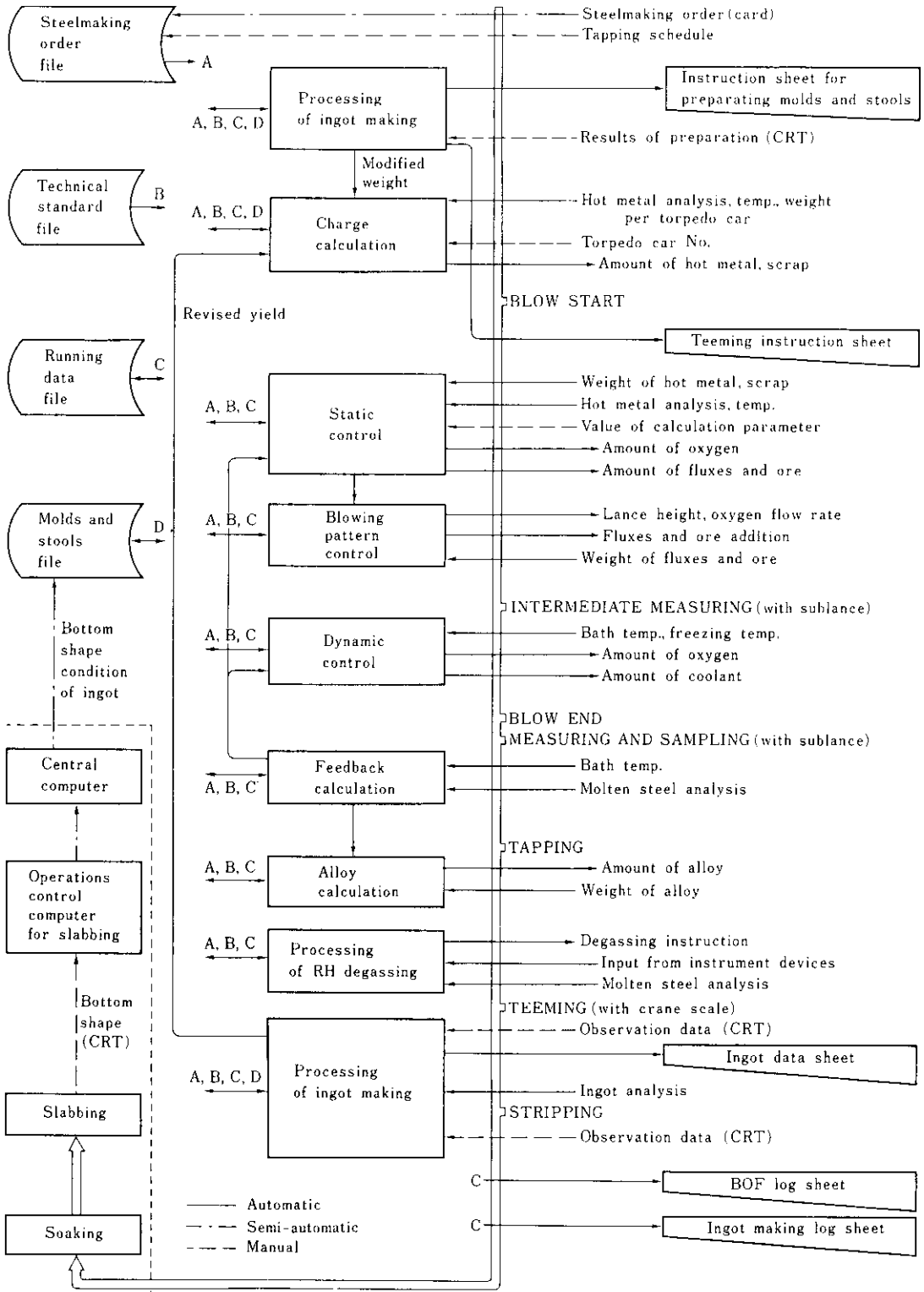


Fig. 1 Computer function of steelmaking plant

ト上の自由度があり、既設転炉への設置が容易である。千葉製鉄所第2製鋼工場は、排ガス処理設備としてヒートボイラ (Wagner biro type) を備え、転炉の炉上スペースが非常に狭いが、ここに当サブランス設備を容易に設置することができた。

(2) サブランスへのプローブ装着の信頼性が高い。

すなわち、プローブ着脱装置は静止状態のランスにプローブを装着するロボット方式であるので、装着時にプローブを破損する恐れがなく、確実なプローブ装着ができる。

(3) 測定サイクルタイムが短い。転炉の大きさおよびサブランス設備のレイアウトによりこのサイ

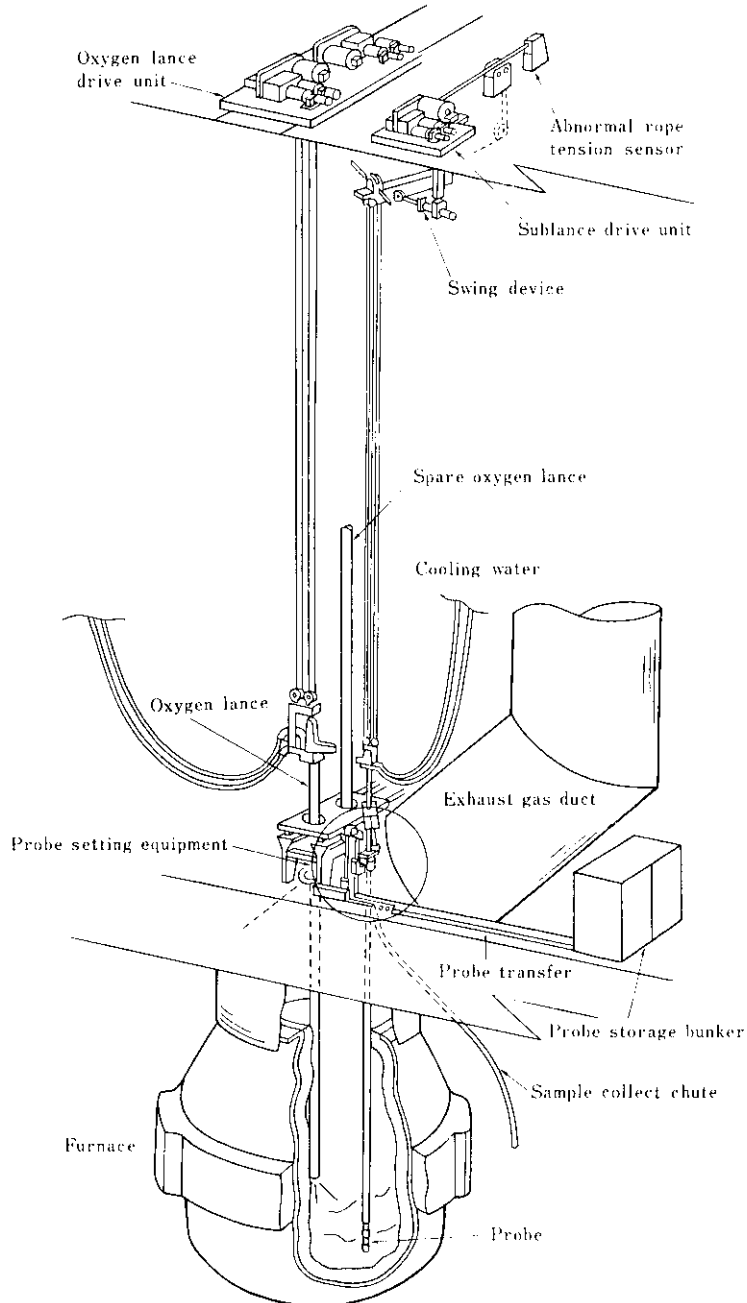


Fig. 2 Schematic illustration of sublance system at Mizushima Works

クルタイムは異なるが、水島製鉄所の場合、プローブ回収無しの場合82s、プローブ回収の場合95sである。実験目的で連続的に測定する場合有利である。

(4) 大きな容量のプローブ貯蔵装置を設置できる。炉真上に設置する必要がないので容量に関する自由度が大きい。

(5) ランス昇降駆動装置には誘導電動機を用いた。直流電動機に比べ保守およびコスト上有利である。

4・2 設備の概要

Table 3 に設備の仕様を示し、各装置を簡単に紹介する。

(1) サブランス本体

测温用導線、冷却水給排水の通路を有する3重管構造である。ランス先端にはコネクタ装着装置およびコネクタが装備される。コネクタはプローブとの電気的結合部分で、定期的交換の必要がある。現場で簡単に交換できるようクイックジョイント方式を採用した。

(2) 昇降装置

電動ウィンチ方式である。サブランスが炉内へ装入される測定時にのみ昇降が要求されるので、

昇降速度は、低速、高速の2段速度で十分である。したがって、2台の交流誘導電動機により機能を十分満足できる。なお測定中の停電事故に対処するため、非常上昇専用直流電動機を配備した。

(3) 水平移行装置

転炉炉口真上の測定位置と炉口から離れた位置に設置されているプローブ着脱装置の間で、サブランスを水平移行させる装置である。上部には旋回アームを設け、下部にはこれと同調して走行するガイド装置を設けた。

(4) プローブ自動着脱装置⁴⁾

Fig. 3 に原理を、Photo. 1 に動作状況を示す。サブランスは静止状態で芯出しクランプに保持されている。起倒装置で垂直に立てられたプローブはクランプ装置により上昇させられ、ランスに装着される。本方式では、芯出しクランプによってランス先端とプローブの芯出しが行われるので、両者間の許容偏芯量が比較的大きく、もし、熱歪によるランス曲がりか多少発生してもプローブの装着が問題なく行われる。測定後のプローブの脱装は、ランスゲート上の脱装クランプか本装置のいずれかで行われる。後者の場合、プローブはパイプシュートにより転炉作業床に回収される。

Table 3 Specifications of sublance equipment

Device name	Specifications
Lance	Type : Water cooled (three concentric tubes) Outer tube dia : 139.8mm Length : 19 000mm Cooling water : Max. 100t/h (normally 40t/h)
Lance hoisting device	Type : Twin wire rope Speed : 75m/min, 5m/min Stroke : Max. 17 945mm Motor : AC55kW/AC5.5kW DC5.5kW (for emergency)
Lance sliding device	Type : Driven by an air cylinder Stroke : 900mm
Slide gate	Type : Driven by an air cylinder Inner-dia : 390mm
Probe setting and removing device	Type : Driven by an electric motor Speed : 8.4m/min Stroke : Max. 1 000mm
Probe election device	Type : Driven by a motor drive cylinder Election angle : 90° Election speed : 9°/s
Probe transfer device	Type : Roller conveyer Transfer speed : 10m/min
Probe storage device	Type : 4 channels Capacity : 100pieces Lifting speed : 7.8m/min

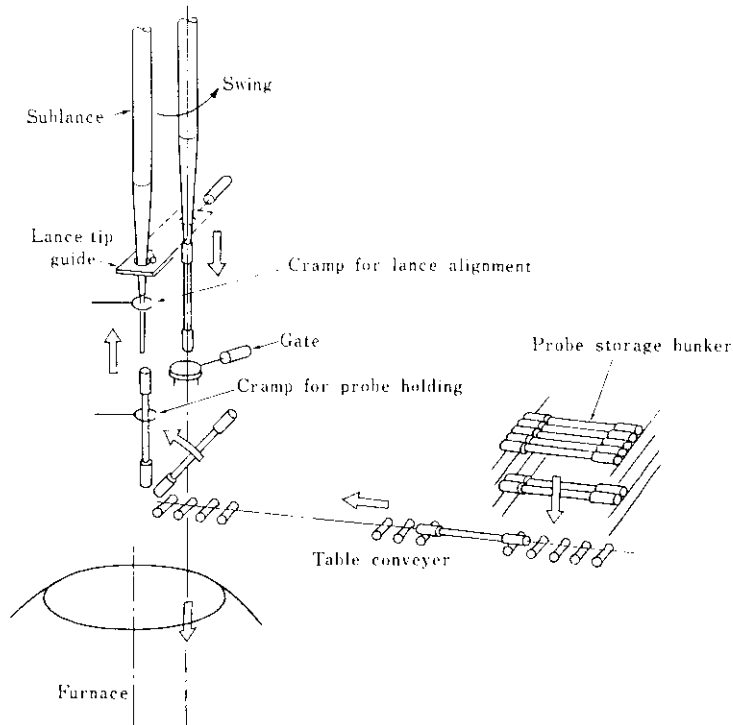


Fig. 3 Principle of probe setting



Photo. 1 Automatic setting equipment for sublance probe

(5) プローブ貯蔵装置および搬送装置

貯蔵容量は最低1個班分以上であることおよびプローブの種類が選択できることが操業上要求される。先に述べたように容量の自由度は大きい

4種類100本の能力とした。搬送装置はローラと誘導電動機で構成され、水平状態のプローブを貯蔵装置から着脱装置まで搬送する。

4-3 計測制御装置

溶鋼の炭素濃度を判定するための凝固温度および溶鋼温度はプローブ内蔵のPR熱電対で検出され、操作盤の記録計に記録されるとともに計算機で自動読取りされ、凝固温度は炭素濃度に換算される。その他詳細は略すが次の確認・安全装置が装備されている。

- (1) プローブ装着確認装置
- (2) ランス位置制御装置の動作確認装置
- (3) ランス冷却水洩れ検知装置
- (4) ランス用ワイヤロープのオーバテンション検知装置

5. 測定技術の開発

5-1 中間測定用プローブの開発

吹錬中に使用される中間測定用プローブは、溶鋼温度および炭素濃度を精度よく測定できなければならない。特に、溶鋼炭素濃度を正確に測定するためには、温度計測機器の精度が高いことはもとより、サンプル室内に流入した溶鋼がその凝固過程において一定時間凝固温度（液相線温度）を保持することが必要である。Fig.4に測定された冷却曲線記録チャートの例を示す。

冷却曲線は測定プローブのサンプル室の材質、形状、冷却能力および溶鋼過熱度などに大きく影響される。

(1) サンプル室の材質と形状

サンプル室の材質として冷却能力の観点から、砂型モールドと鉄モールドの比較実験を行った結果、砂型モールドの方が明確な凝固温度を呈する頻度が高く、砂型モールドの採用を決定した。初期のサンプル室は Fig.5 のタイプ1に示すものであったが、熱電対付近の引け果のために異常な冷却曲線を呈するものが発生した。この対策として、凝固を底部から上部へ進行させる目的で片側5%のテーパをつけ、同時に仕切板およびサンプル室の長さを変えて、Fig.5のタイプ2～タイプ5に示す4種のサンプル室を有するプローブを試作し、実操業で実験した。その結果、タイプ3での成績が最もよく、異常冷却曲線はほとんどなくなった。

(2) 溶鋼過熱度と冷却曲線の関係

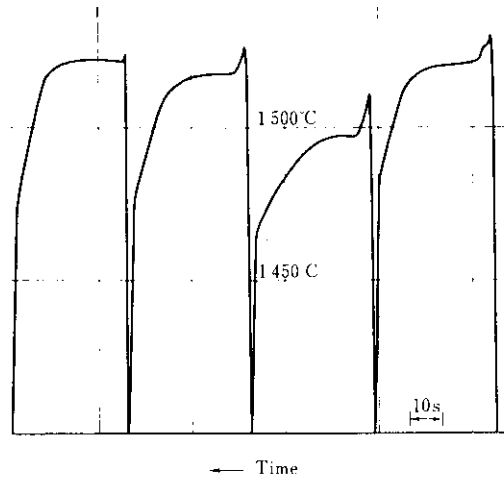


Fig.4 Examples of chart of cooling curve measured by sublance

測定される冷却曲線は、大別すると Fig.6 に示す四つのパターンに分けられる。測定時点での溶鋼温度と凝固温度との差である溶鋼過熱度 ΔT_s と冷却曲線の関係を、タイプ3のサンプル室を有するプローブにて実操業で調査した。Fig.7にその結果を示し、Fig.8に ΔT_s および冷却曲線とサンプル凝固組織の関係を示す。Fig.7, Fig.8から次のことが推論できる。

(a) ΔT_s が小さいと溶鋼のサンプル室への流入直後に多量の粒状晶が生成し、凝固が早く凝固

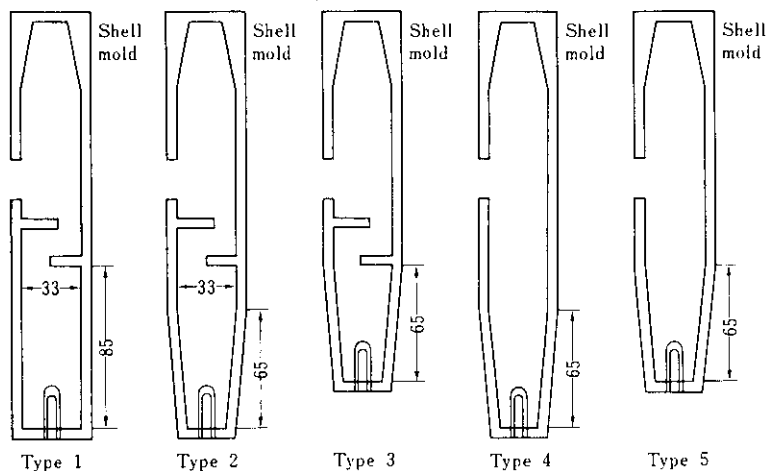


Fig.5 Schematic comparison of sample chambers examined for measuring freezing temperature

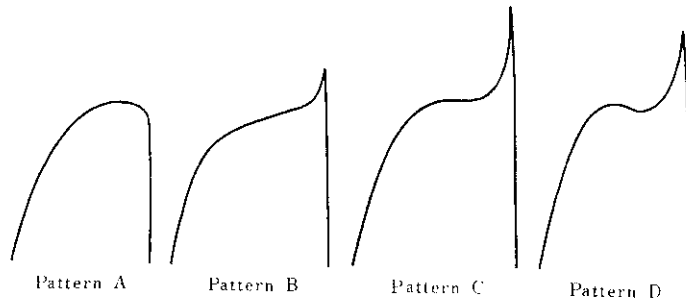


Fig. 6 Pattern of cooling curve

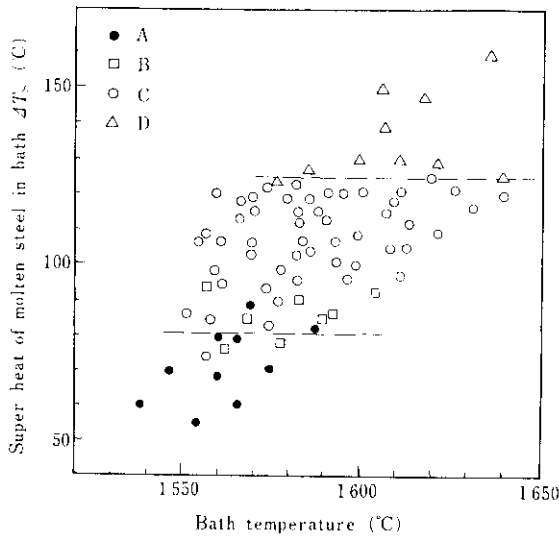


Fig. 7 Relationship between bath temperature and super heat ΔT_s in relation to cooling pattern

時間も短い(A, B型曲線)。

(b) ΔT_s が大きいとサンプル容器の含熱量が増し、したがって溶鋼の冷却速度は遅くなる。そのために、サンプル外周部分の凝固潜熱の影響を受けて测温部の溶鋼の温度上昇が認められるようになる。この場合がD型曲線となる。凝固組織は、凝固界面での温度勾配が大きいため、柱状晶の発達が顕著である。

(3) 凝固温度と炭素濃度の関係

Table 4 に凝固温度と化学分析法による当該サンプルの炭素濃度分析値との関係を、冷却曲線パターン別に示す。凝固温度指示時間の長いC型冷却曲線の精度が最も良いことがわかる。

以上の結果より、異常冷却曲線の出現防止対策

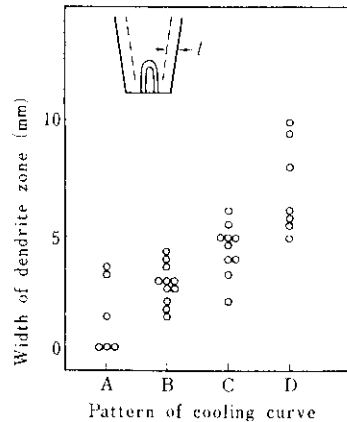
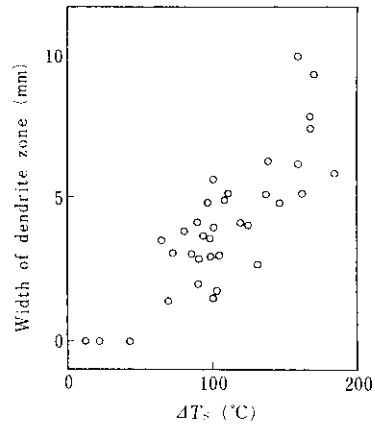


Fig. 8 Relationship between width of columnar dendrite zone and super heat ΔT_s (upper), pattern of freezing temperature (lower)

のためには、下部テーパおよび仕切板を有するサンプル室が有効であり、溶鋼炭素濃度を精度よく測定するためには、サンプル室内へ流入直後の溶鋼過熱度を適正な範囲に確保する必要がある。したがって、Fig. 5 に示したタイプ3のサンプル室

Table 4 Relationship between freezing temperature T_s ($^{\circ}\text{C}$) and analyzed carbon content [%C]

Cooling pattern	Regression of [%C] on T_s	Standard deviation (%)
A	[%C] = $-0.01056 T_s + 16.296$	0.0189
B	[%C] = $-0.01198 T_s + 18.406$	0.0353
C	[%C] = $-0.01222 T_s + 18.780$	0.0136
D	[%C] = $-0.01130 T_s + 17.394$	0.0287

をベースに、仕切板の調整および冷却能力の調整により流入速度および流入時の溶鋼温度降下を改善したプローブを開発した。さらに溶鋼過熱度をも考慮した適正な測定タイミングを選択して、C型冷却曲線の出現率の高い精度の良い中間測定技術を確立した。

5.2 無倒炉サンプリング法の開発

吹錬終了後の溶鋼のサンプリングにおいては、採取したサンプルが転炉内溶鋼成分を良く代表しており、かつ発光分析が可能なサンプルを採取できなければならない。以上の観点から次のような開発を進め、無倒炉サンプリング法を確立した。

(1) 吹止サンプリング用プローブ

初期のプローブのサンプル室は鉄製円筒形で、Photo.2に示すように中央部に引け巣が発生し、かつ柱状晶部と粒状晶部の境界にマイクロキャビティのみられるものが出現した。カントバック発光

分析法では分析位置がちょうどこのマイクロキャビティ部に相当したため、C、P、S分析値のバラツキが通常のポンプサンプルに比べ大きかった。この対策として、中間測定用プローブと同様に上広がり片側5%テーパ付きサンプル室としたところ、Photo.2に示したようにマイクロキャビティも見られない健全なサンプルが得られるようになった。

(2) サンプル分析値の代表性

吹錬終了後、サブランスにより鋼浴深さの異なる3点で同時にサンプリングした結果の代表例をFig.9に示すが、C、P、S分析値は時間とともに明白な変動を示す。この原因は溶鋼とスラグの間の反応の進行によるものと考えられる。Fig.10は吹錬終了直後炉体を前後2回揺動した後、サンプリングした場合の代表例である。この結果、溶鋼とスラグの間の反応は、吹錬終了直後の2回揺動でほぼ鎮静化すること、およびサンプル位置の

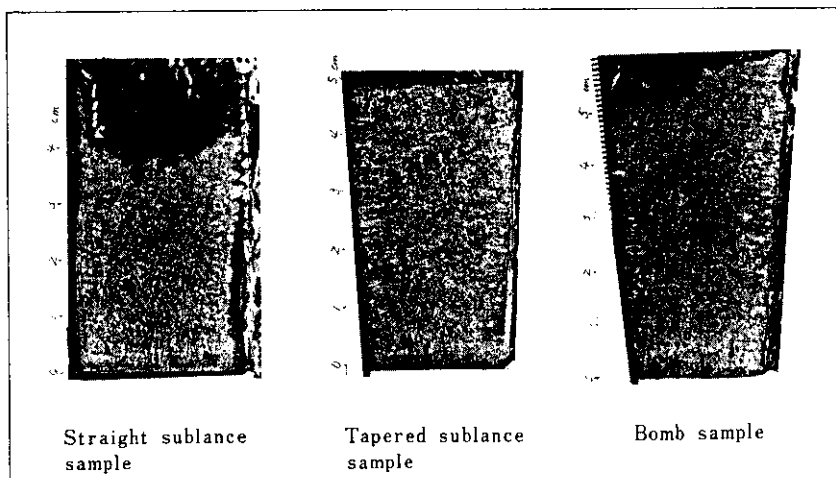


Photo. 2 Comparison of macrostructure of sample

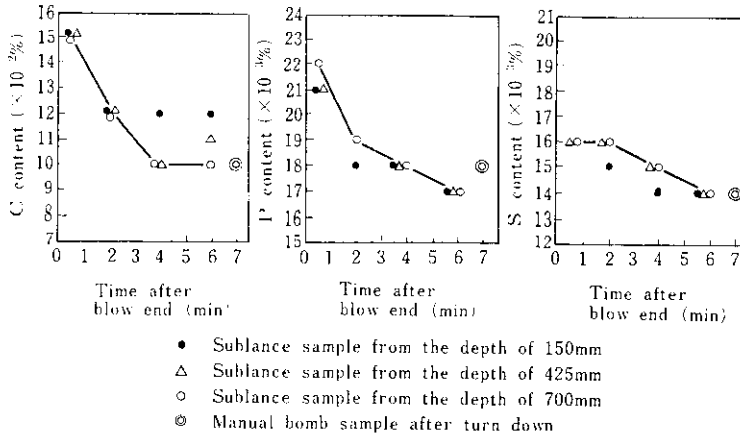


Fig. 9 Change of C, P, S content after blow end

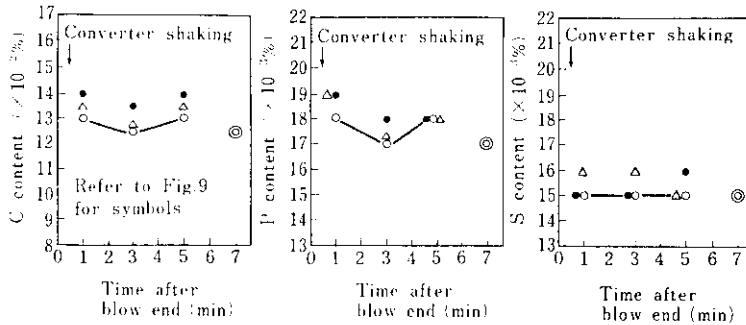


Fig. 10 Change of C, P, S content after blow end with converter shaking

深い方が通常の倒炉ポンプサンプルの分析値との対応がよいことが判明し、サブランスによるサンプリング法として、吹錬終了直後2回揺動した後、湯面下700mmでサンプリングする方法を採用した。Fig. 11に本サンプリング法によるサンプルと従来どおりの倒炉ポンプサンプルのC分析値を示す。C分析値は非常によい対応を示している。P, Sについても同様である。

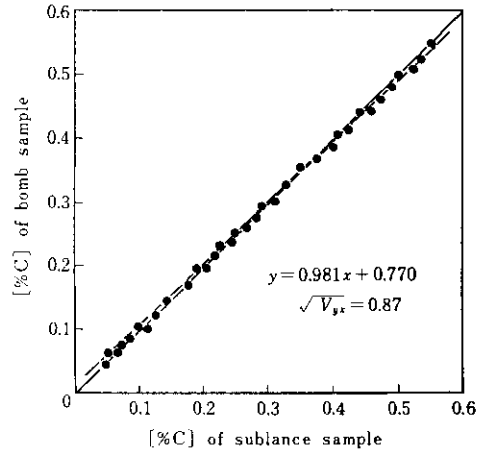


Fig. 11 Comparison of analyzed carbon content between sublance and bomb samples after converter shaking

6. 吹錬終点制御

6.1 吹錬制御システムの概要

Fig. 12に吹錬制御システムのブロック図を示す。まずスタティック制御により吹錬の軌道およびサブランスによる測定時期を決定する。吹錬中に測定された溶鋼温度および炭素濃度の値は、スタティック制御により予定された軌道と現実の吹錬軌道のずれを示す。ダイナミック制御はこの測定結

果に基づいて吹錬の軌道を修正し、終点での的中を図るものである。測定後の吹錬軌道の修正操作に時間を要するので、測定時期はスタティック制

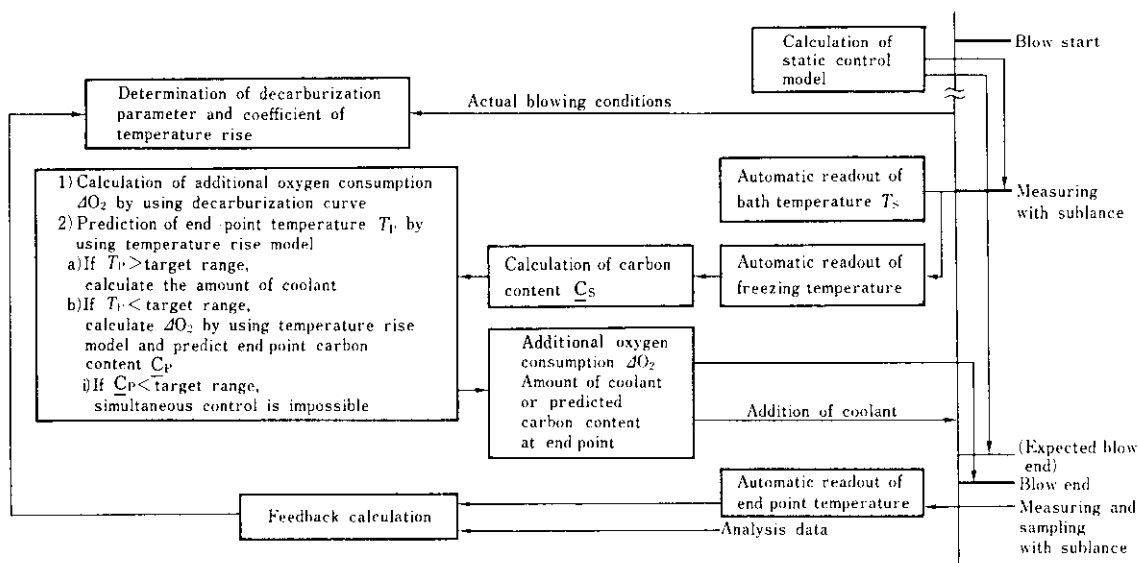


Fig. 12 Flow diagram of dynamic control

御により定められる吹止時期より約 2 min 前に設定される。ダイナミック制御モデルによる計算結果は Photo.3 のように CRT 表示される。ここで重要なことは、測定時点における現実の吹錬軌道

がダイナミック制御可能領域になれば、ダイナミック制御といえどもの中は不可能なことである。その吹錬軌道のずれの程度はスタティック制御に依存するので、スタティック制御とダイナミック制御は一体をなすものであり、両者の総合精度が終点的中率を支配する。

スタティック制御モデルは熱バランス、酸素バランスを基に構成され、すでに報告²⁾しているものと本質的には同じである。

一方、ダイナミック制御モデルは脱炭モデルと昇温モデルから構成されており、以下にその概要を述べる。

6-2 脱炭モデル

吹錬末期の脱炭パターンは、末期の操業条件のみならず、吹錬の初期条件および吹錬の初期から末期に至る各種の操業条件により決まる。脱炭パターンの数式モデルによる表現は種々試みられてきた⁵⁻⁸⁾が、完全に表現し得るものは存在しない。しかし操業が類似の吹錬、すなわち再現性向上の方向で行われるという現実から、基本的には数種の基本脱炭パターンに層別することができ、個別操業条件に応じて脱炭パターンが基本パターンの回りで微小変化する。この思想で脱炭モデルを次のように数式化した。

$$\Delta O_2 = F(C_S, C_F, DCP) + G(X_i) + \alpha \quad \dots (1)$$

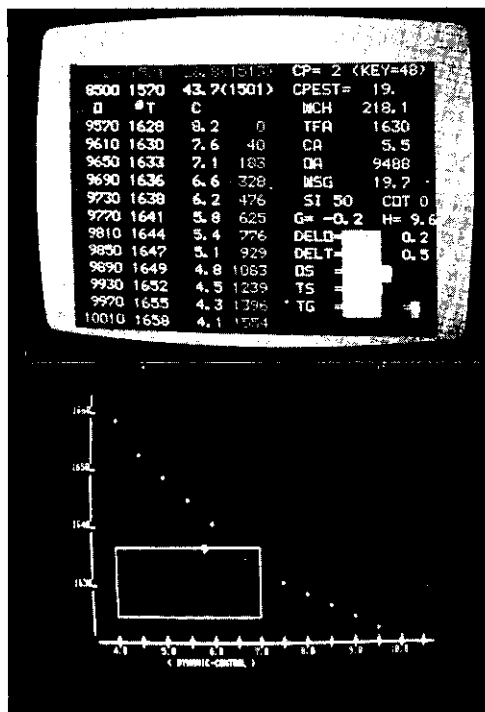


Photo. 3 CRT display of estimation of carbon and temperature transition after intermediate measurement

- F : 脱炭基本関数
- G : 補正回帰関数
- α : 補正項
- ΔO_2 : 測定～吹止までの必要酸素量
(Nm³/t-ch)
- C_S : 測定時溶鋼炭素濃度(×10⁻²%)
- C_F : 吹止目標溶鋼炭素濃度(×10⁻²%)
- DCP : 吹錬初期条件により定まる脱炭パターン分類コード
- X_i : 操業要因

- β : 補正項
- r : 定数

昇温速度 $H(Y_i)$ は、DCP により層別された過去の実績データに基づく回帰式で表す。補正項 β は時系列的偏差を補正するもので、脱炭モデルの α に相当する。第2項は溶鋼 C の低下に伴い FeO の生成が増し、発熱量が増加することを反映させたものである。

7. 操業実績

サブランス設備は99%以上の高い稼働率を維持しており、これとダイナミック制御の精度の向上とにより、終点の中率の大幅な向上を果たした。

最近の水島製鉄所第1製鋼工場の的中率と再吹錬率を、サブランス稼働以前のシンカによる温度ダイナミック制御と比較して、それぞれ Table 5, Table 6 に示す。ダイナミック制御による吹止精度の向上により、転炉耐火物の原単位低減、製出鋼歩留りおよび合金鉄歩留りの向上、鋼中酸素レベルの低位安定による製品品質の改善等成果は大き

(1) 脱炭基本関数

吹錬末期の脱炭効率 ($-dC/dO_2$) を近似的に表現する数式モデルとしては、溶鋼 C の指数関数^{5,6)}、1次関数⁷⁾など種々の関数⁸⁾が従来から報告されているが、実績の脱炭に最も適合した次の指数関数を用い、パラメータ A, B, k を DCP ごとに決定することにした。

$$-\frac{dC}{dO_2} = A + B \cdot \exp(k \cdot C) \dots\dots\dots (2)$$

脱炭基本関数 $F(C_S, C_F, DCP)$ は(2)式を C_S から C_F まで積分したものである。

(2) 補正回帰関数

基本脱炭パターンの回りの偏差に関し、DCP により層別された過去の実績データに基づいて、各ヒートの個別操業条件に応じて補正するのが補正回帰関数である。

(3) 補正項

時系列的な偏差を補正するのが補正項で、DCP 分類ごとに最近の数ヒートにおける実績偏差を新しく吹錬するヒートに反映させている。

6.3 昇温モデル

吹錬末期の昇温速度は比較的安定しており、操業要因や脱炭パターンにより、次式で上昇温度 ΔT (°C) を精度よく推定できる。

$$\Delta T = [H(Y_i) + \beta] \Delta O_2 + r \left(\frac{1}{C_F} - \frac{1}{C_S} \right) \dots\dots\dots (3)$$

- H : 昇温速度関数
- Y_i : 操業要因

Table 5 Improvement in blowing success rate by dynamic control with subblance

Target of carbon at blow end (ratio of production %)	Tolerance	Factor	Success rate (%)	
			Sinker (Oct. - Dec., 1976)	Subblance (Feb. - Apr., 1978)
~0.06 (8)	±12°C ±0.015%	Temperature	82.1	94.4
		Carbon	64.7	92.0
		Simultaneous	53.9	88.7
0.06~0.12 (44)	±12°C ±0.020%	Temperature	83.8	94.9
		Carbon	63.9	90.1
		Simultaneous	54.6	86.2
0.12~0.24 (20)	±12°C ±0.025%	Temperature	84.1	95.1
		Carbon	60.2	88.4
		Simultaneous	51.5	85.1
0.24~0.36 (15)	±12°C ±0.035%	Temperature	85.4	95.7
		Carbon	59.3	87.1
		Simultaneous	51.7	84.6

Table 6 Reduction of NB rate by dynamic control with subblance

Cause of NB	NB rate (%)	
	Sinker (Oct. - Dec., 1976)	Subblance (Feb. - Apr., 1978)
Temperature	7.2	3.1
Carbon	6.2	1.1

く、製鋼技術全体の向上に大きな役割を果たした。

8. 結 言

吹錬中の炉内反応の進行状況を知る手段の一つとして、吹錬末期の溶鋼温度および炭素濃度を同時測定できるサブランス技術を確立した。本法の採用によって転炉吹錬の終点はダイナミックに制御され、終点制御精度は飛躍的に向上した。今後の方向としては、脱炭と昇温だけではなく脱燐、脱硫等も含めた総合ダイナミック制御が必要であり、炉内情報収集の手段はより高度のものが要求される。この目的に対して種々の方法が開発され

つつあるが、当社においてもランスの振動測定を軸とした測定技術を確立しつつあり、近い将来単なる吹錬のプログラム化による自動吹錬にとどまらず、時々刻々の炉内情報を把握し、吹錬開始から終点までを総合的にダイナミック制御する自動吹錬技術に到達するであろう。

上吹転炉の操業技術は、この技術開発によってその機能を最大限に発揮することができるようになるが、鋼の精錬は取鍋内における安定した成分調整によって完了するものであり、将来的には出鋼完了までを含めたシステムとして完成する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 野坂, 岩尾: 鉄と鋼, 59 (1973) 5, 584
- 2) K.Komoda, N.Shiokawa: International Conference on Iron and Steelmaking Automation, (1970) C-6
- 3) 三枝, 永井, 数土, 山田: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S 591
- 4) 特開昭50-99796
- 5) H.W.Meyer and J.A.Glasgow: Iron and Steel Engineer, (1966) 7, 117
- 6) E.Sakamoto and H.Katayama: Ironmaking and Steelmaking, (1974) 2, 108
- 7) K.Koga, Y.Ohkita, M.Mizutani and A.Kowmi: Ironmaking and Steelmaking, (1976) 3, 146
- 8) 藤井, 荒木, 丸川: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, 510

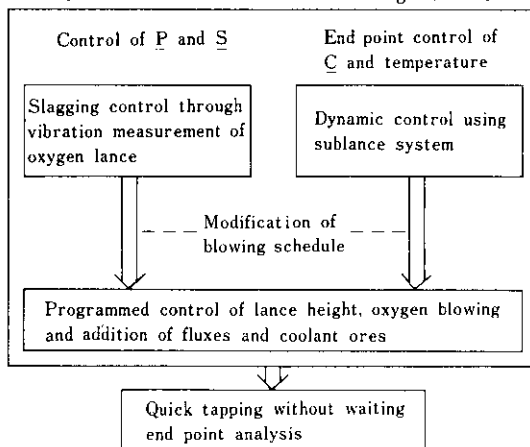
補遺 (昭和54年6月)

サブランスによるダイナミックコントロール技術の確立により上吹転炉の吹錬技術は、ここ1~2年の間に急速な進歩を遂げた。すなわちプロセスコンピュータと組合せた完全自動吹錬および吹止制御精度が100%に近づいたことに

より、吹止後直ちに出現する迅速出鋼が実現されている。

これらの吹錬技術の進歩による操業成績は次の表のとおりである。スロッピングの減少による歩留りの向上および炉の耐火物寿命の向上が顕著である。

Outline of full-automatic blowing control



Comparison of recent performance

	Dynamic control using substance	Full-automatic blowing control
Simultaneous success rate of end point C and temp.	86%	93%
Occurrence of slopping	23%	3%
Difference in metal yield	0% (std.)	+5%
Furnace refractory life	1 500~1 600taps	2 200~2 500taps