

討8 新日本製鉄における転炉計算機制御について

新日本製鉄

名古屋製鉄所

若津製鉄所

堺製鉄所

○井上俊朗 竹村洋三

杉原弘祥

久保田盛之

1. 緒言

転炉における計算機制御の狭義の狙いは、吹止時点における鋼浴(C)、温度の同時適中率の向上であった。しかし、その発展過程は、スタティック制御モデルや、吹錬中の鋼浴(C)、温度測定技術の研究に始まり、吹錬技術そのものの改善、ダイナミック制御モデルの開発、転炉操業の自動化と、多種、多様の技術の確立と、そのシステム化で構成されてきた。

それは単に同時適中率の向上により品質、コスト、生産性を改善するのみならず、環境改善を成し遂げて省力化の道を拓き、若年層にも吹錬作業に責任をもたせて、モラルを高め、又、経験と論理の照合をより容易にして、新技術、新鋼種開発の基礎を高めるという念願であった。

新日鉄では、昭和30年代後半のスタティックモデルの研究を手始めに、これらの開発に着手し、昭和44年には、現在のサブランス-複合センサーによるダイナミック制御の運用化に取り組むに至った。その結果、吹止同時適中率は今日迄、図1に示すように着実な向上を続けるとともに、昭和50年12月には、名古屋製鉄所において念願の押しボタンによるワンタッチ吹錬をプロパー化するに至った。

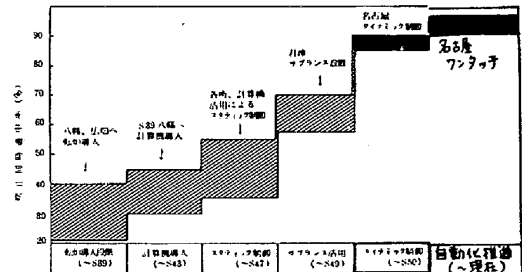


図1 吹止同時適中率の向上推移

以下、名古屋製鉄所の例を中心に新日鉄におけるサブランス、ダイナミック制御技術の開発状況と成果を報告する。

2. 制御システムの構成

図2に名古屋製鉄所における出鋼開始迄の全自動吹錬制御システムを示した。

ブロック2は通酸前のスタティック計算である。主原料投入条件並びに吹製鋼種の吹止条件をもとに、物質収支、熱収支から吹止迄に必要な酸素量、副原料量等を算出し、ブロック1に示す吹錬パターンを決定する。又、この時点において副原料は自動的に所定量が中間ホッパーに切出される。

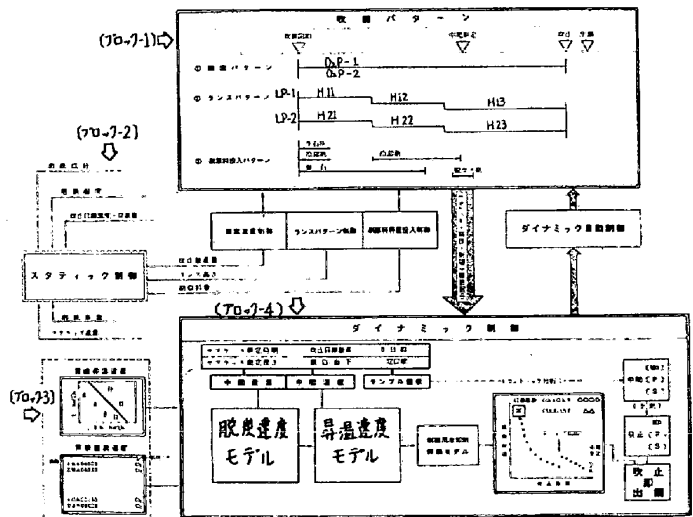


図2 自動システム構成図とその成果

吹錬開始から吹止までの制御系は閉ループ化されており、ブロック1に示す吹錬操作はすべて、吹錬開始のボタンを押すのみで自動的に進行する。サブランスによる吹錬中間情報の採取時期もスタティック計算から設定される。

ブロック4はダイナミック制御による吹錬軌道修正である。制御モデルは脱炭、昇温、冷却材評価の3つのモデルから成っており、吹止時点での鋼浴(C)、温度を予測して修正酸素量と冷却材量を出だし、自動的に吹止制御を行なう。中間測定値の状態は時々刻々計算されてグラフィックディスプレイで知ることが出来る。

サブランスはオールの機能として中間測定時採取したサンプルを分析室に自動送達する。カントバック分析値からは予測モデルにより吹止時のMn、P、Sの値が示される結果、吹止即出鋼が可能である。なおカントバックの5元素分析値は自動読取りの上、取鍋への脱酸、成分調整材の配合LP計算を行なっている。又、近く稼働開始予定の室蘭製鉄所オールの製鋼工場ではその秤量、切出し、炉傾動も含めて自動化の予定であり、転炉操業の自動化範囲を着実に拡大しつつある。

3. 鋼浴(C)、温度測定技術

ダイナミック制御を実施するためには、吹錬中の鋼浴(C)、或いは鋼浴温度の値を、高い精度と代表性で得なければならぬ。そのための自動化された計測技術の開発は、新日鉄では昭和38、9年、投込方式、サブランス、排ガス分析法と相ついで研究を開始した。

測定位置に再現性のない投込法は昭和42年で開発を中止し、その後は、この面で有利なサブランス法の技術確立に主力を注いだ。

図3に名古屋製鉄所オールの製鋼工場のサブランス設備を示す。転炉炉上は極めて狭きため、新日鉄では炉上のレイアウトにより図3の巡回式の外、横移動式、固定式の3つのタイプを設置している。開発の目標としたことは、高温、多粉塵、狭き場所での高稼働率設備、高速降下における測定位置に対する必要精度の確保、全自動で運転可能な設備、水蒸気爆発に対し安全な設備である。これに対し図3に示した主たる技術の確立によりこれらの問題を解決すると共に昭和50年5月には名古屋製鉄所において稼働率100%を達成するに至った。

又、センサーは、吹錬中の苛酷な条件下で使用されることを前提に鋼浴(C)、温度を高い精度で検出すること、健全なサンプルが採取出来ること、これらの検出、採取成功率が高いことが要請される。特に凝固温度からの炭素量の推定は低炭素鋼においては±0.01%という厳しいものである。このため、図4に示す多くの項目について改善を繰返し、昭和48年にはセンサーの目標精度を達成するに至った。

これとともに、代表性を確保する測定方法、熱起電力の正確な伝達方法の確立に力を注ぎ、図5に示す技術の改善によってこれらを解決し、サブランス法によるソフト面も含めた総合的な測定技術の確立するに至った。

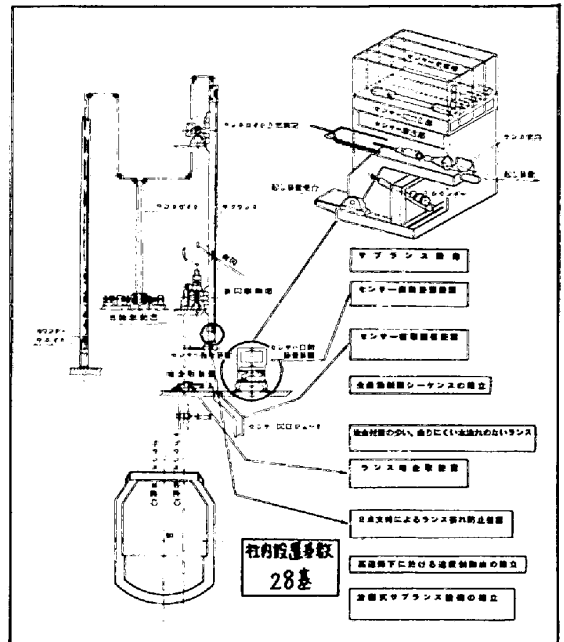


図3. 全自動巡回式サブランス

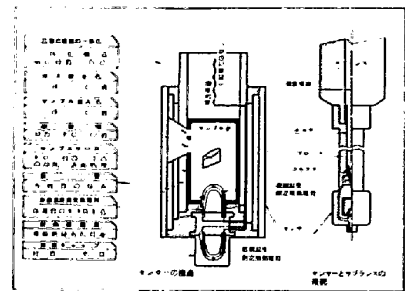


図4 センサー

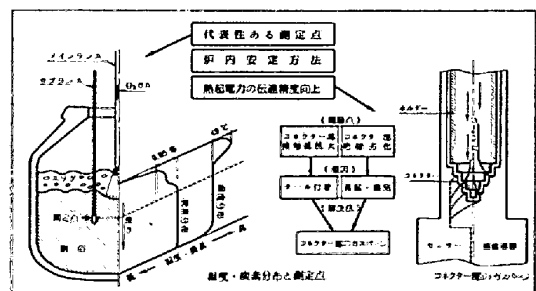


図5 測定技術

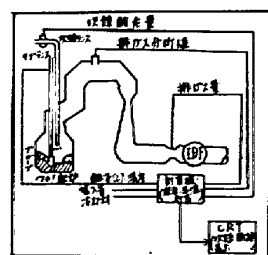


図6. 堺製鉄所のシステムフロー図

一方、転炉排ガス分析法により連続的に鋼浴[C]、酸素バランスを推定する方法は精度やタイムラグに問題があった。瑞豊鉄所で高い代表性の高いサンプリング方法の確立、ドライガスコントロールの実施等によってこれらを改善し、昭和50年、サブランスによる中間測定法をベースに、OG排ガス情報によって吹錬末期の鋼浴[C]、温度の時々刻々の変化を監視するダイナミック制御法を確立し好成績をあげている。図6に、その制御システムを示した。なお、この排ガス情報は排ガス回収にも利用して、大幅な回収増を図っている。

4. ダイナミックモデルと吹錬の標準化

吹錬開始より中間測定迄の制御区間は基本的には従来のステップ制御の考え方をそのまま使用している。しかし、この区間は次の2つの意味において極めて重要である。①に中間測定時点で鋼浴全体の代表値を測定出来る炉内状態としなければならない。②に中間測定後のダイナミック制御区間において、設定された脱炭、昇温パターンにすべての鋼種の反応経過が再現性よく追従する炉内状態としなければならない。このため、転炉操業の各因子とこの2つの事項との関係を実操業で調査し、図7に示すような吹錬の標準化を行なった。

中間測定から吹止迄の制御モデルの考え方は名古屋製鉄所の別を図8~10に示した。図8は脱炭速度モデルで、間接脱炭期を鋼浴[C]濃度の関数式とし数種のパターンに集約している。図9は昇温速度モデルで平均脱炭速度の関数として、理論的に把握出来ないものは脱炭パターン別に修正している。図10は制御用冷却材の評価モデルで冷却効果と脱炭に寄与する冷却材中の酸素量を算出して、通酸量、冷却材量を決定する。

モデルの理論体系並びに個々のモデル係数の設定に当っては、制御区間での多点測定を繰返し実施し、吹錬の標準化と相俟って、実操業に精度よく追従するモデルを完成した。

転炉操業は、現在の時点では、まだ溶鉄や炉況の時系列的変化、或いは操業条件の変化などで定量的に把握し得ない外乱があり、その対応策としてモデル係数の学習修正が行なわれている。鋼浴[C]の変動が大きく、特に中、高炭素鋼の場合、中間測定域や吹止時点における、ダイナミックモデルの[C]推定精度を悪化させている、このため、低炭素鋼から高炭素鋼迄吹錬している君津製鉄所第2転炉工場では、脱炭速度、昇温速度ともに、次ヒートの吹錬にあたって鋼種別に過去のチャージを学習してモデル係数を修正するほか、制御用冷却材としてスチールチップを使

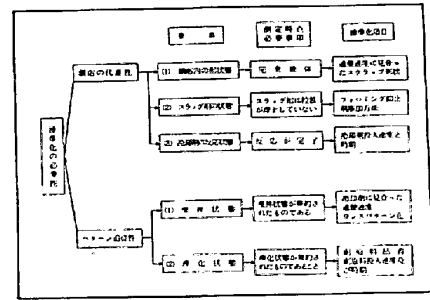


図7. 吹錬標準化項目

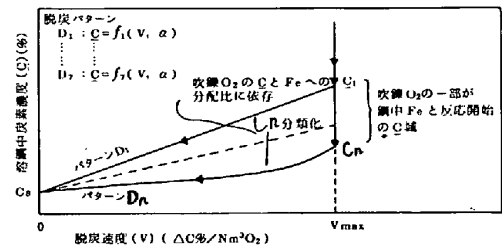


図8 脱炭速度モデル

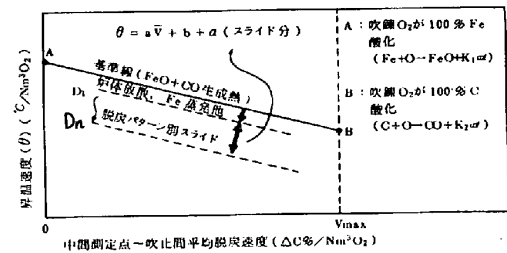


図9 昇温速度モデル

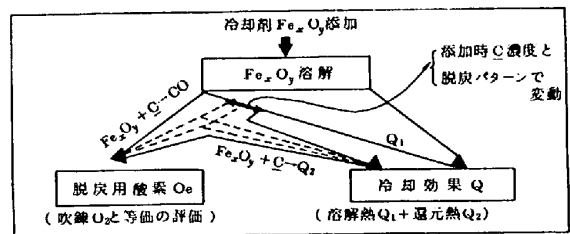


図10. 制御用冷却材評価モデル

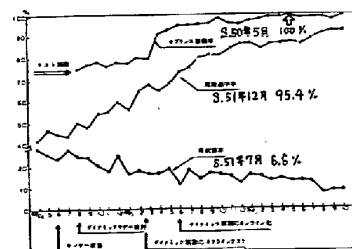


図11. 集積成績の推移

用するなど精度向上を図り、全鋼種に亘って同時適中率を大幅に向上させている。

5. 成果とまとめ

成果の前提となる同時適中率、その他の操業成績についてとりまとめた結果を図11、表1に示した。冒頭に述べた如く、同時適中率向上による成果は鋼の品質、コスト、生産性を始め各項目に亘るが、同時適中率向上が目標を上回る好成績を収めた結果、個々の成果項目の定量的効果も又予想以上のものとなるに至った。表2にその一覽表を、又、図12~14に個々の項目別を示した。

又、これのみならず製鋼作業に唯一残された高熱、重筋作業であった「測温、サンプリング」を不要なものとし、全自動化への道を急速に拓き始めたこと、勤と経費が主導した従来作業に「汎用性」を持ちこんで操業技術の伸び悩み解消の道を与えたこと、製鋼作業のきめ細かな標準化が、その品質、歩留、諸原単位の向上と安定化にまだまだ寄与するものであることを自ら学んだことにも高い評価を見出すものである。

転炉の計算機制御は、その入力特性値の計測方法、制御方式の改善、制御項目の拡大、それによる自動化の推進、いずれについても技術開発を拡大してゆかねばならないと考えている。

参考文献

- 1) 新日鉄名古屋製鉄所
製鋼部会 鋼59(1974)外
- 2) 新日鉄堺製鉄所
製鋼部会 鋼65(1977)外
- 3) 新日鉄君津製鉄所
製鋼部会 鋼63(1976)外

1) 休止同時適中率の向上	45% → 90%
2) 休止温度のパラッキ減少	±11.7℃ → ±5.0℃
3) 休止喪失のパラッキ減少	● = 0.088% → 0.012%
目標炭素量 > 0.09%	○ = 0.019% → 0.0098%
○ ≤ 0.08%	
4) 再吹率の減少	25.0% → 8.0%

表1 ダイナミック制御実施前後の操業成績(前→後)

(1) 製鋼時間稼働率の向上	製鋼能力の向上: 16.5%
	連続鍛造の生産増: 16.1%
(2) 同時適中率向上による品質の向上	厚板材UST不良率の減少: 1.24%
	冷却材スラフ格落率の減少: 0.6%
諸原単位・歩留の向上	転炉耐火物原単位の向上: 1.09%
	合金原単位の向上: AR-Si鋼 0.72%
	AR-Si鋼 0.19%
	鉄分歩留の向上: 約0.5%
	鋼工エネルギー: 吹錬用酸素 25N=9.1%

表2 定量的に把握可能なメリット

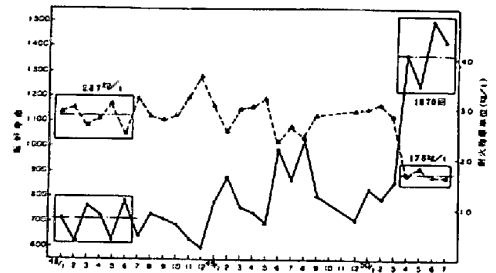


図12. 転炉耐火物成續推移

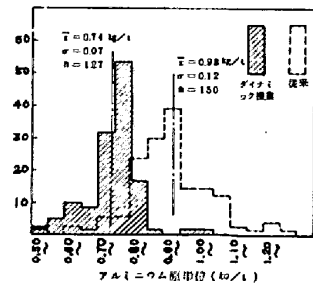


図13. AR-Si鋼のアルミニウム使用量分布

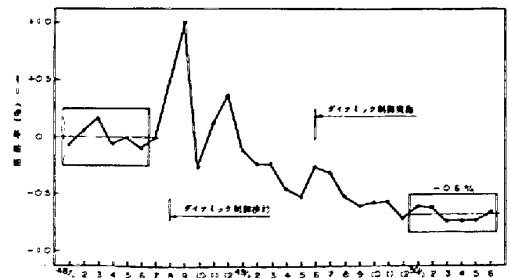


図14. 冷却材スラフ格落率の推移