

技 術 報 告

UDC 669.184.244.66.012.1 : 669.184.236 : 536.5

サブランスによる転炉終点温度制御*

都築誠毅**・湖海克明***・古崎 宣****・高橋紀夫**

End Point Temperature Control of Basic Oxygen Converter by Sub-lance

Seiki TSUZUKI, Katsuaki KOKAI, Toru FURUSAKI, and Toshio TAKAHASHI

Synopsis:

A new end point temperature control system introducing a sublance has been developed in Steel-making Plant-II (nominal capacity : 100 t×2, 110 t×1), Muroran Works, Nippon Steel.

The main body of the sub-lance is a water-cooled steel pipe (2-1/2" O. D.) which moves up and down vertically along the guide rail. The sensor attached to the tip of the lance is a consumable immersion thermo-couple of the same type as that used in the turn-down temperature measurement.

By using the sub-lance, the bath temperature can be measured without stopping the oxygen blow, and "dynamic end point control" has thus become possible. Of every heat, the sub-lance starts to measure the bath temperature at 350 Nm³ (one minute) prior to the calculated total oxygen, and the rising temperature curve is modified accordingly.

Since September 1968, when it was made operative at No 3 vessel, the sub-lance has been working quite satisfactorily.

As the result:

(1) The end point temperature control ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) was improved by 15-17% reaching 87% of the on-temperature rate.

(2) Consequently efficiency in steelmaking was improved markedly, and in April 1970 the plant established a world record of 2762 heats per month.

(Received March 13, 1971)

1. 結 言

転炉操業において終点の温度成分制御の重要性は言をまたないところであり、終点制御の巧出が転炉工場の能率、品質を大きく左右する。

鋼材の材質向上の要請はますます強く成品の成分値を狭い範囲におさめることが要求されてきている。また注入・铸造時の温度と材質の関係の研究が進み、終点時における温度制御はきびしいものになっている。一方操業面からは終点制御が適確に行なわれていないと酸素吹止後、2次吹錬、鋼浴冷却等各種のアクション(Action)が必要となり秒をあらそう転炉操業の能率が大幅に低下する。

このような終点制御の重要性をかながみ、各国で多くの研究者・操業技術者がより良い終点制御開発に取り組んできた。その1つは吹錬過程をモデル化し目標値および使用原材料から終点を予想制御する静的モデル(Static Model)による制御がある。制御用計算機(Process computer)の発達により数多くの要因を取り入れた複雑なモ

デル式も迅速に演算することが可能となつたので、静的モデルによる制御が大幅に取り入れられてきた。しかし静的モデルのみではインプット(Input)の変動・炉内反応のバラツキ等に完全に追従できず、終点制御に限度があることが認められてきた。

静的モデルによる制御の限度を乗り越えるため、吹錬中に鋼浴の情報を得て必要なアクションを起こし軌道修正を行なうダイナミックコントロールが注目を集め、国内外の各工場において種々の方法が開発されてきている。このような「ダイナミック・コントロール」(Dynamic control)としては現在のところ次のような方法がある。

(1) サブランスによる鋼浴温度測定・サンプリングする方法^{1)~6)}。

(2) 排ガス分析の解析(CO/CO₂)から鋼浴カーボンを推定する方法^{6)~9)}。

* 昭和46年3月13日受付

** 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所製鋼部

*** 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所技術管理部

**** 新日本製鉄(株)技術開発部

(3) 投込式温度計による鋼浴温度測定の方法⁵⁾¹⁰⁾¹¹⁾

(4) 法炉口フレーム(Flame)輝度を測定する方法¹²⁾

室蘭第二製鋼工場においてはサブランスによる「ダイナミックコントロール」の開発をめざし努力して来たが、そのうち温度制御についてオンライン(Online)化に成功した。その結果顕著な吹止温度適中率の向上となり当工場の能率・品質面で大きな成果をあげている。以下その概要を報告する。

2. 導入経緯

室蘭第二製鋼工場は 1961 年 7 月、公称能力 70 t 炉 2 基で操業を開始した。以来順調に生産を伸ばし続け操業技術の進歩も著しく重装入の実施・通酸量増加等により生産性を向上して来た。さらに 1967 年 3 月には 3 号転炉を新設し 2/3 基操業に移行した。3 号転炉企画段階で吹上温度成分のダイナミックコントロールが種々論議され、その結果サブランスの設置のための開孔部 2 ヶを 3 号転炉のボイラーフード内にあらかじめ設けた。翌 1968 年 7 月工事は予定より遅延したが、3 号炉にサブランス 1 基が建設された。直ちに種々の事前試験に取り組み、終点温度制御への適用に自信を得たので 1969 年 9 月よりオンライン操業に入った。サブランスにより吹鍊中に鋼浴温度が測定でき軌道修正を行なうことが可能となり終点温度適中率が大幅に向上した。

3 号炉の成果より 1, 2 号炉へのサブランス導入を急ぎ、1969 年末にそれぞれ 1 基ずつ設置し全炉にサブランスをそなえて全面的に操業に取り入れ、サブランスによる終点温度制御の向上は著しく高能率・高品質を誇る室蘭

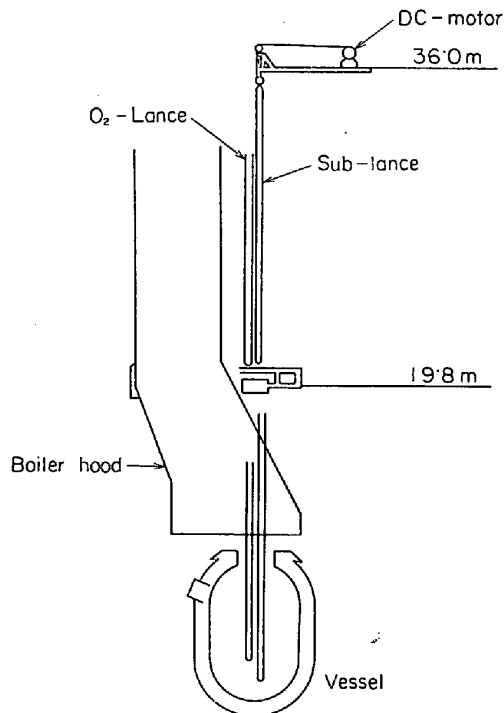


Fig. 1. Profile of sub-lance.

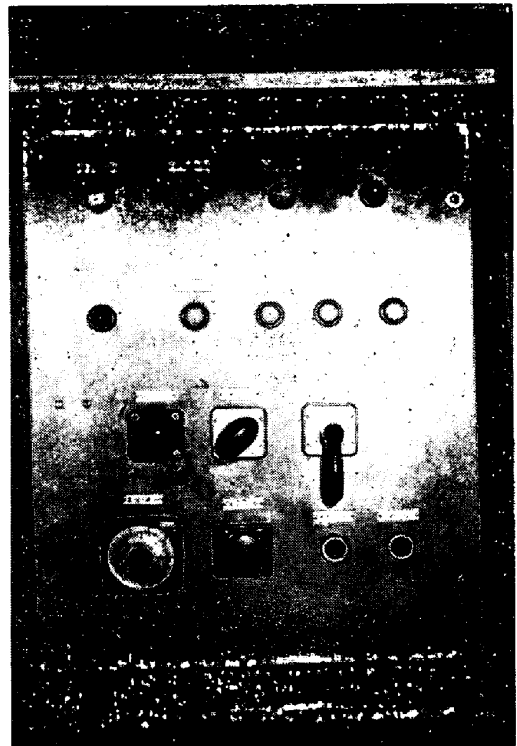


Photo. 1. Sub-lance operation panel on upper-floor (19.8m).

第二製鋼工場の大きな支えとなつている。

3. 設備概要

3.1 サブランス装置

サブランス装置全体概要図を Fig. 1 示す。サブランス本体は冷却鋼管であり、酸素ランス並んで垂直に炉内に挿入される。

サブランスはガイドレール (Guiderail) に沿つて昇降し昇降平均速度は下降 1.8m/sec, 上昇 1.5m/sec である。駆動装置は直流電動機を用い、昇降速度の制御はワードレオナード方式 (Ward leonard system) である。上部デッキには巻上モーター、減速機、ドラム (Drum) がありサブランスはドラムからワイヤーにて懸垂されている。

サブランスソケット (Sub-lance socket) の位置は炉口地金最大付着時にも昇降可能で酸素ジェットに当たらぬところに設けた。運転操作を行なう場所は 19.8m 作業床と炉前操作室の 2 カ所であり、選択スイッチは必要に応じて切り換えることにより選択できる。Photo. 1 に操作パネルを示した。

停止機構として、ダイヤル設定により炉内の任意の高さで停止させることが可能となつている。また浴内中停止時間について 0~30sec の可変タイマーにて任意に設定することができる機構をもっている。

サブランス本体は水冷 3 重構造になつており冷却水は本ランスから分岐させ、中心部は測温補償導線が通る。

全長 16m、直径 2 $\frac{1}{2}$ B の圧力配管用炭素鋼鋼管 (STP G) を使用しており、その先端にホルダーが取付られ測温には消耗型浸漬熱電対を装着する。

サブランス先端に取り付けられる測温用ホルダーは、製鋼作業に使用されているもので一部改造したものを使用している。熱電対も同様にして、従来の炉前測温用消耗型熱電対をそのまま利用することを前提として設計を行い、熱的強度を持たすべくペーパーチューブ (Paper tube) を補強したものを使用している。

吹錬中にサブランスで測温された温度値は炉前操作室メインランス (Main lance) 操作盤横にある温度指示計に表示される。Photo. 2 はその温度指示記録計である。



Photo. 2. Sub-lance temperature recorder in furnace pulpit.

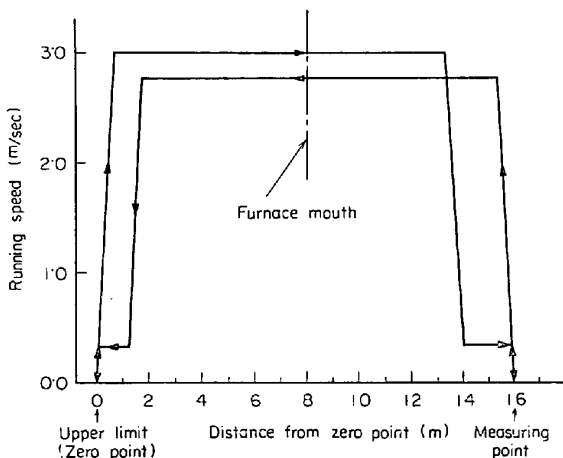


Fig. 2. Sub-lance operation pattern.

3.2 サブランス運転

サブランスの運転は Fig. 2 のタイムスケジュール (Time schedule) に従って運転される。計測点はセルシン機構により設定できる。運転の自動・手動は切り換えスイッチで選択され計測時は自動運転、測温チューブの取り替えは手動運転にて行なっている。測温チューブの取替は現在自動着脱装置を開発中である。

4. 事前試験結果

1968年7月、サブランス新設工事完了と共にサブランスによる終点制御向上をめざして事前試験を開始した。制御の対象を鋼浴温度にしぼり、①測温値の再現性、②代表性、③昇温曲線等を調査して実操業への適用の基礎を築いた。

4.1 測温値の再現性

サブランスにより吹錬中に測温されたチャートの1例を示すと Fig. 3 のようになる。吹止温度のチャートと比較するとやや形状は不安定ではあるが鋼浴温度は十分読み取ることができる。初期段階にて一時指示不良が若干発生したことがあつた。その原因としては

(1) サブランス本体が水冷管のため、内壁に汗をかきその水分が補償導線のコネクタ部に入り絶縁不良となる。

(2) 未溶解物との衝突 (低鉄配合時に発生) などのケースがあつた。これらの対象として測温チューブの補強・ホルダー内銅管の周囲に防水処置などを施した結果指示不良発生率は大幅に減少した。

4.2 サブランス温度の代表性と吹止温度との対応

Fig. 4 に吹止時炉直立の状態にてサブランスによって測定した鋼浴温度と倒炉後炉前作業床より通常の測温

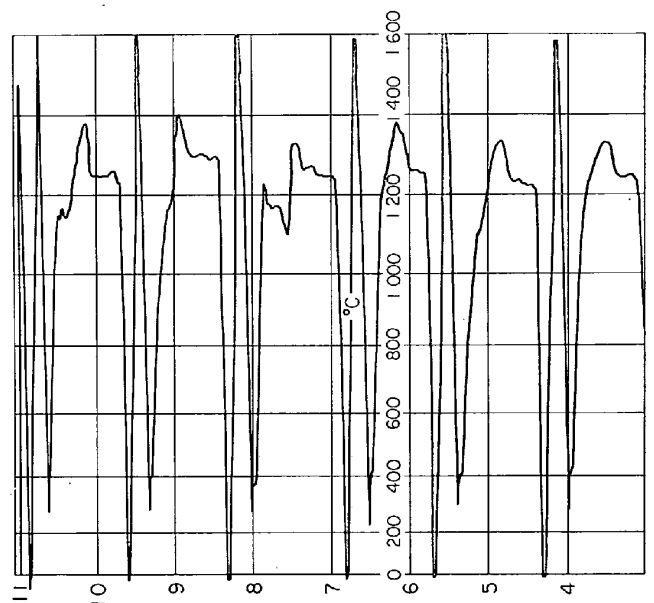


Fig. 3. Examples of temperature curve by sub-lance.

法で測定した鋼浴温度をプロットした。比較のため同図には 2 号転炉の結果も示した。サブランスは炉前测温よ

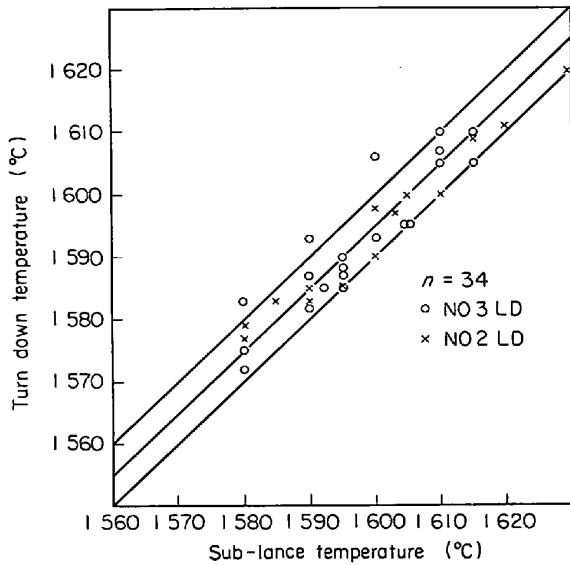


Fig. 4. Relation between turndown temperature and sub-lance temperature.

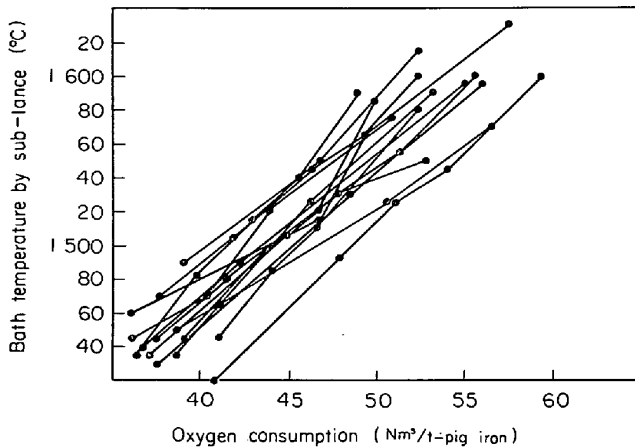


Fig. 5. Rising curves of bath temperature.

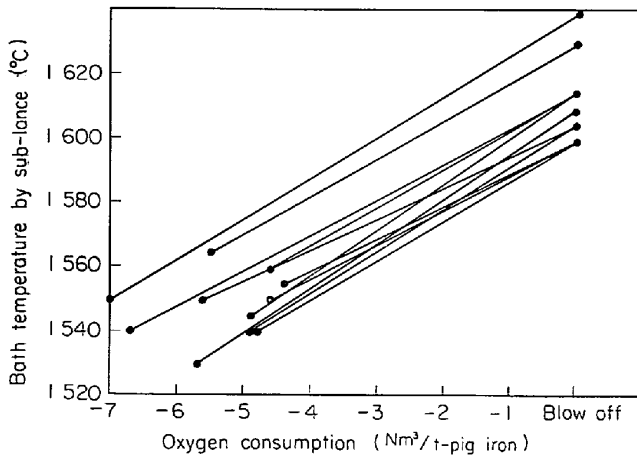


Fig. 6. Rising curves of bath temperature in neighbor of end point.

りも 0~10°C の範囲で高い測定値を示しているが、その対応は非常に良い。炉前测温値は倒炉時には十分攪拌されるため鋼浴全体を代表していることは従来の経験からも知られているので、サブランス测温値も鋼浴温度を代表しているものと判断できる。実操業においては大半の鋼種が吹止温度の目標に対して±10・0°Cで管理されているのでサブランス测温値を終点温度制御に用いることが可能である。

4.3 昇温曲線の測定

終点温度制御を実際に行なうために吹錬中どの時点でサブランス测温を行なうかがポイントの1つである。この場合鋼浴温度上昇曲線(昇温曲線)の均一性が問題となるがその確認のために吹錬後半にヒート5~6点連続的に测温してみた。その結果を Fig. 5 に示すが終点から遠い低置では再現性は得られなかつた。

一方終点に可能な限り近くで测温後冷却材投入による鋼浴温度調整が可能な点は、通酸量より吹止 300~500 Nm³(1.0~1.6 min)以前の範囲であるから酸素量にして吹止 5Nm³/t-Pig iron 手前の時点からの上昇率を測定してみた。Fig. 6 にその結果を図示したが、温度上昇率に十分な再現性があることが判明した。

また温度上昇率を直線で近似し吹止カーボン別にプロットした結果が Fig. 7 に示されているが、吹止カーボンの影響はみられないので、上昇率としては一定値13.6 °C/Nm³/t(装入量)を採用した。以上は3号炉のデータであるが、1, 2号炉稼動後チェックの結果全く同様な結果を得ている。

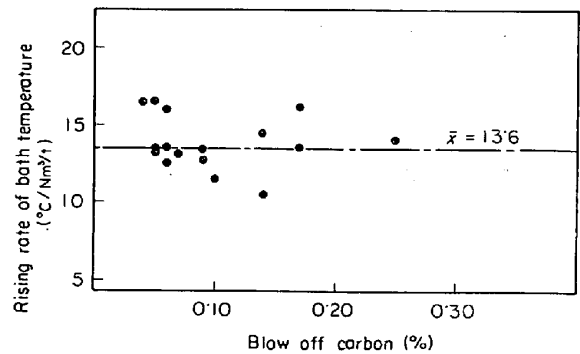


Fig. 7. Effect of blow off carbon on rising rate of bath temperature.

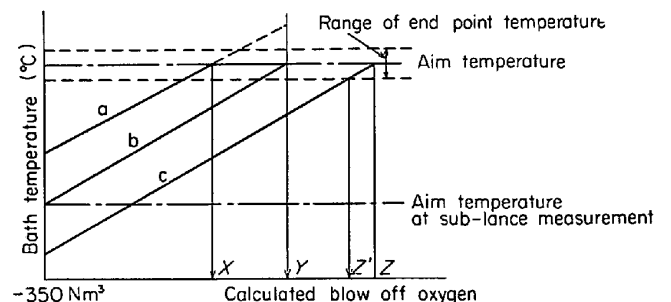


Fig. 8. Dynamic control of end point temperature

Table 1. Result of sub-lance measurement in each furnace campaign.

Furnace campaign	Total heat number	Number of applied heats (ch)	Application rate (%)	Number of twice measured heats	Number of failed heats	Success rate
32	615	570	92.7	107	22	96.0
33	627	507	80.8	82	16	96.6
34	507	364	71.9	36	12	96.6
35	649	583	91.2	85	35	94.0
36	613	408	98.8	52	12	94.3
37	514	509	99.2	58	16	97.9
38	630	597	95.8	74	18	96.7
39	591	563	96.4	131	13	97.5
40	584	565	96.7	156	18	96.6
14	501	462	92.2	118	7	97.5
42	598	576	96.3	84	7	98.4
43	627	609	97.3	177	8	98.4

5. 操業への適用とその結果

前述のように、サブランス測温による鋼浴温度の「ダイナミックコントロール」の可能性を事前試験で確認したので実操業の適用に踏切つた。サブランスによる終点温度制御の方法を Fig. 8 に示す。吹止曲線より 350 Nm³ 前に測温し、昇温曲線より推定した予測値と対応させ高温の場合は冷却、低温の場合は昇熱と必要なアクションをとり、鋼浴温度の軌道修正を行なう。

サブランス測温による終点温度の制御は全エートを対象に適用しているが、3号炉へ導入当初の適用率と成功率を Table 1 に示す。これは炉代別に1炉についてまとめたもので適用率・成功率ともに 96~93% と非常に高い値を推移している。1・2号炉の立上がりも順調であり、測温成功率については満足すべき状態となつている。

1968年9月、サブランスによる終点温度制御3号転炉

にてオンライン化した。Fig. 9 にサブランス設置後の温度適中率の推移を炉代別に示した。吹止温度は目標±10°C を適中としている。サブランス導入当初は転炉操業者の不馴れのため成果は上がらなかつたが、サブランス使用に馴れるに従い徐々に向上してきている。従来の適中率は 65% 前後であつたがサブランス使用の習熟した 1969 年には 86% 以上へと飛躍的向上をみた。

サブランスの効果は1・2号炉へ設置までの間の1・2号炉と3号炉の温度適中率を比較すれば明りようとなる。室蘭第二製鋼工場における各炉の吹錬鋼種構成は1・2号炉は低炭素鋼を主体とした鋼種が連続的に配列されているが、3号炉は低炭素鋼・中炭素鋼・高炭素鋼が不連続に配列されているため、サブランス使用する前は3号炉は1・2号炉より温度適中率は低い傾向を示していたが、サブランス使用により全く逆転し、3号炉が著しく好成績を残している。

1・2号炉は 1969 年 12 月上旬・下旬にそれぞれ操

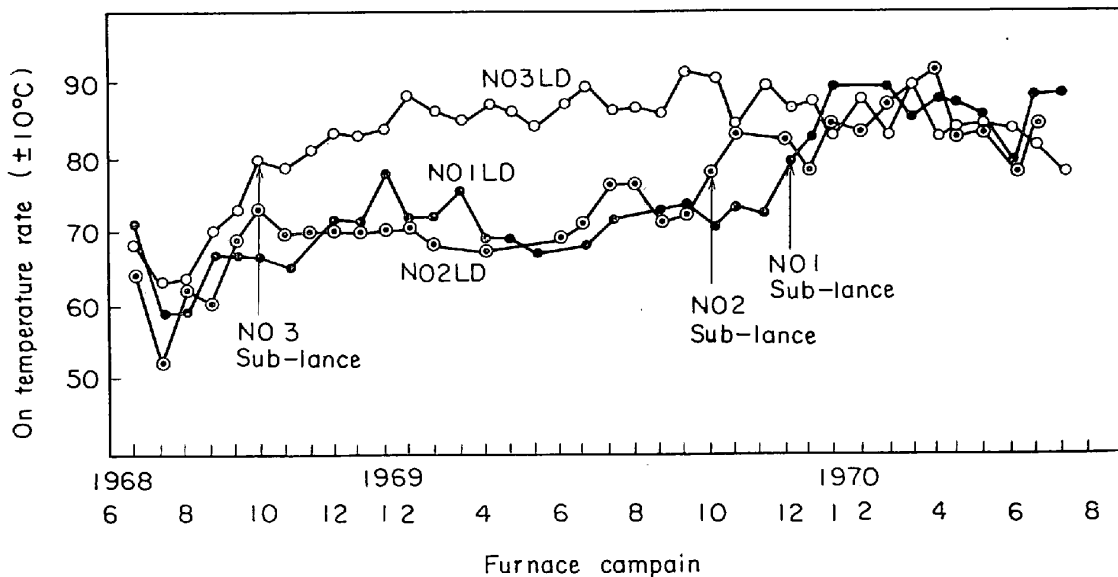


Fig. 9. Progress of end point temperature control (Average in each furnace campaign).

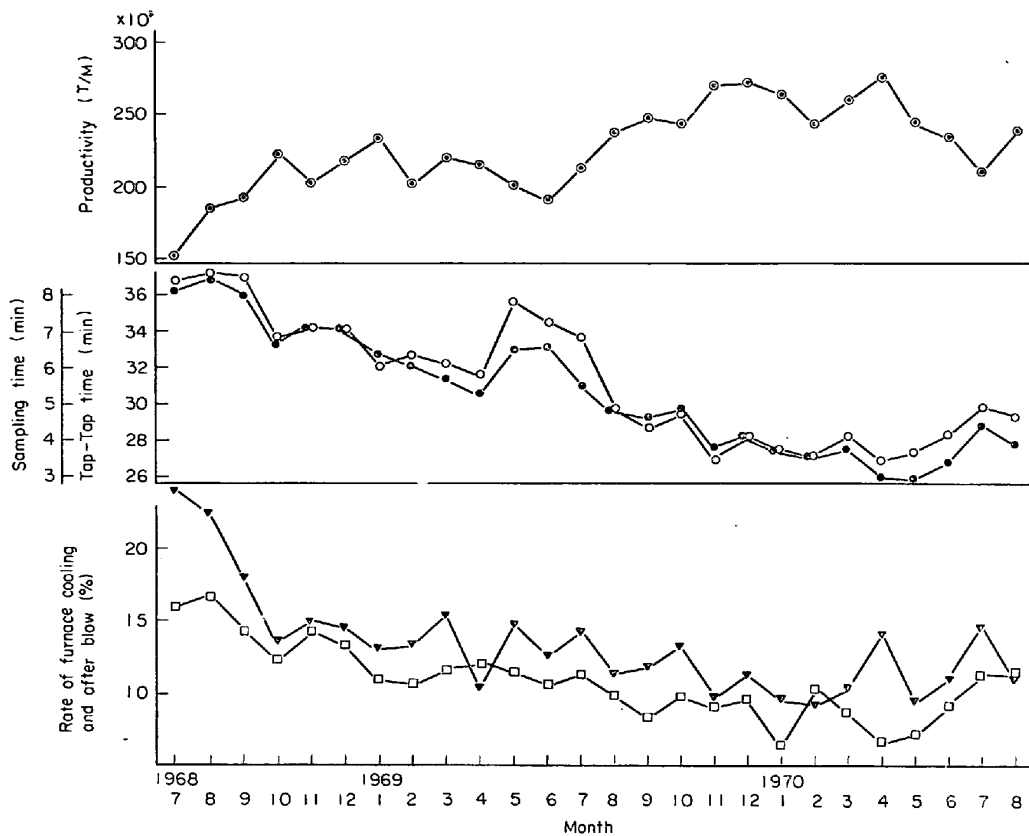


Fig. 10. Progress of productivity.

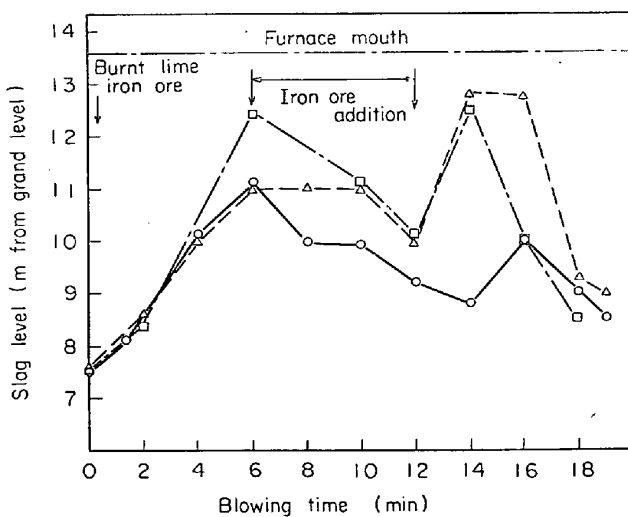


Fig. 11. Change of slag foaming level during blowing.

業へ適用し、同様な好成績を得て平均 85% に達している。

温度適中率の向上は、操業面では後吹き、鋼浴再冷却率が減少し测温サンプリング時間短縮となつてあらわれている。Fig. 10 にこの間の進歩を図示したが、操業能率向上のための諸対策、工場全員の意気高揚と相まってこの期間に测温サンプリング時間・製鋼時間が大幅に減

少している。同時に月間出鋼回数が増加し、1970年4月には 100 ヒート/日以上を4日含んで月間は出鋼回数の世界新記録 2762 ヒート/月を樹立した。

6. サブランスの応用

現在サブランスによる動的制御は終点温度の制御のみであるが、今後のサブランスの応用としては次のような方法が考えられる。

- (1) 吹錬中の鋼浴よりの試料採取
- (2) 凝固点测温より鋼浴カーボン量の測定
- (3) 湯面位置検出

以上の応用のうち、(1)、(2)は現在開発の途上にあるが、特に(2)は終点カーボンの動的制御として有力な武器となろう。

(3)についてはサブランスの先端に特殊な検出端をつけ炉内に降下し、吹錬中あるいは吹錬終了後の鋼浴面・鋼滓面位置を検出する方法を考案した。Fig. 11 に吹錬中の鋼滓面位置の変動をサブランスを利用した調査した例を示した。この方法により鋼滓の泡立ち状況 (Foaming) が把握できるので、吹錬反応・スロッピング (Slopping) 機構等の解析調査に役立つ。なお湯面位置測定の自動化も可能と考えられそのオンライン化を進めている。

7. 結 言

室蘭製鉄所第二工場 (100 t 転炉 2/3 基) において終点制御の改善を目的としてサブランスを設置し、終点温度制御のオンライン化に成功した。

サブランス本体は水冷鋼管 (2 $\frac{1}{2}$ B) であり、ガイドレールに沿って垂直に挿入される。先端には消耗型熱電対が装着され、測温値は鋼前操作室内に指示記録される。サブランスによつて吹錬中に通酸を中断することなしに測温できるので鋼浴温度の「ダイナミックコントロール」が可能となり、実操業に取り入れた。

サブランスは吹止予定酸素量より 350Nm³(約 1 min) 手前で炉内に降下され、鋼浴温度を測定しその中間温度情報により鋼浴温度の軌道修正を行ない、所定の終点温度を得るよう制御している。

オンライン操業の結果として

(1) サブランスによる終点温度制御によつて吹止温度適中率は約 15~17% 向上した。

(2) 吹止温度適中率の向上は更に測温・サンプリング時間の短縮をもたらし、操業能率の向上につながった。1970年4月には2762ヒート/月という高能率な成績を上げているが、サブランスによる終点温度制御の向上がその大きな支えとなつている。

さらにサブランスは終点温度制御のみではなく、転炉のプロセス制御・操業の解析などへの応用の可能性を持つていることが示されている。

終わりに、サブランスの設置開発に尽力された室蘭製鉄所技術管理部、工務部の諸氏、終点温度制御への応用に多大な努力を払われた第二製鋼工場の関係者、開発途

上にはたゆまぬ指導をいただき、また今回本稿発表を許可された室蘭製鉄所幹部諸氏に深甚の感謝の意を表します。

文 献

- 1) S. TSUZUKI, T. KUWABARA, and T. FURUSAKI: International Conference on The Science and Technology of Iron and Steel, Sept. (1970), "End Point Control at Muroran LD Plant"
- 2) S. TSUZUKI and T. TAKAHASHI: 鉄と鋼, 56 (1970), S 401
- 3) VOEST: 33 magazine, Dec. (1969), p. 67~79
- 4) 長野裕, 岩尾範人, 馬場猛, 塩田久仁夫, 森田俊人: 鉄と鋼, 56(1970), p. 147~152
- 5) P. N. DASTUR, C. B. GRIFFITH, and G. W. PERBIX: Iron Steel Eng. March(1968), p. 77~83
- 6) D. W. KERN and P. D. STELTS: Amer. Iron Steel Inst., May 23(1968), p.1~23
- 7) J. DUMONT-FILLON, P. VAYSSIERE, and B. TRENTINI: J. Metals, June(1964), p. 508~511
- 8) 野坂康雄: 鉄鋼業のコンピューターコントロール (1970), p. 81~120, (産業図書)
- 9) CHARLES H. WELLS: IFAC Kyoto Symposium on System Engineer Approach to Computer Control, April(1970), Optimum Estimation of Carbon and Temperature in A Simulated
- 10) H. W. MEYER and J. A. GLASGOW: Blast Furn. Steel Pl., July(1966), p. 595
- 11) 古茂田敬一, 岡崎有登, 越川隆雄: 鉄と鋼, 53 (1967), p. 281
- 12) 山本信公, 橋本英文, 松永省吾, 年高: 住友金属 17(1965), p. 38~45