

呉1製鋼におけるサブランスを用いた転炉操業改善

富田 祐志・磯部 昌浩・村松 利紀・芥屋 敬二・安井 潔・田中 和成

日新製鋼株式会社
日新製鋼技報 No.84 別冊
平成15年12月

|||||
技術資料
 |||||

呉1製鋼におけるサブランスを用いた転炉操業改善

富田 祐志* 磯部 昌浩** 村松 利紀**
 芥屋 敬二** 安井 潔*** 田中 和成****

Improving Basic Oxygen Furnace Operation by Using Sublance Systems in No. 1 Steelmaking Shop at Kure Works

Hiroshi Tomida, Masahiro Isobe, Toshinori Muramatsu, Keiji Akutaya, Kiyoshi Yasui, Kazunari Tanaka

Synopsis:

Our operation uses a BOF (basic oxygen furnace) to produce different types of special steels and steel alloys in small lots. However this type of production generally has a low productivity and high costs. To eliminate these drawbacks we installed a sublance system and improved the BOF operation.

The temperature measurement and carbon sampling performed by the sublance at the end of blow were automated. Developing a dynamic blow-end control model allowed us to achieve higher accuracy in blow-end carbon content and in temperature control. Further, developing a blow-end content prediction model for special steels allowed us to eliminate the blow-end sample analysis.

Taking these steps and contriving these models resulted in a lower reblow ratio, a higher direct-tapping ratio, a shorter setup time for tapping, a lower blow-end temperature and a longer BOF service life.

1. 緒言

呉1製鋼工場は特殊鋼および高級鋼を中心とした、多品種小ロット材の生産をメインにおこなっている。その成分範囲は、図1に示すように、炭素については極低炭素鋼から高炭素鋼（1.2%C鋼）まで、また合金成分については低合金鋼から13%Mn鋼や36%Ni鋼に至るまでをカバーしており、多品種の生産が可能となっている。¹⁾

その一方で1/2基稼働の転炉にはサブランス装置がなかったため、吹錬途中の情報を用いた吹錬調整ができず、吹錬終了（以下吹止）時点の炭素濃度・温度のばらつきが大きかった。特に特殊鋼は次工程であるRHにおいて昇熱および脱炭調整が困難なため、過度に温度を高くしたり、脱炭のための再吹錬が多いなどの課題があった。さらに测温・サンプリングのため炉前に倒炉し炭素

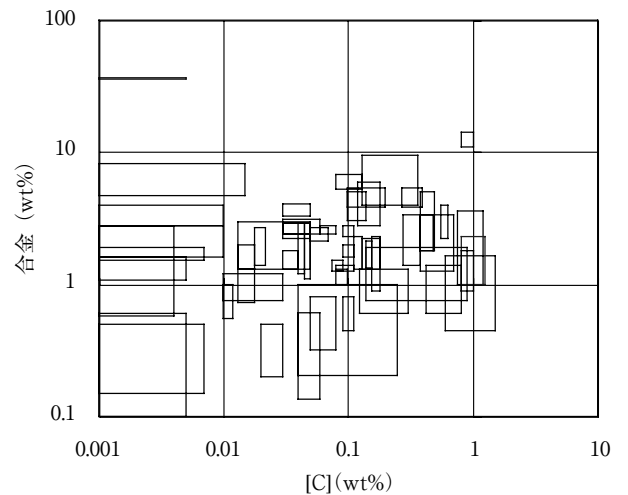


図1 製品レパートリー
 Fig. 1 Variety of products

*呉製鉄所 製鋼部製鋼技術チーム 主任部員 **呉製鉄所 製鋼部製鋼技術チーム
 呉製鉄所 製鋼部製鋼技術チームリーダー *呉製鉄所 製鋼部製鋼部長

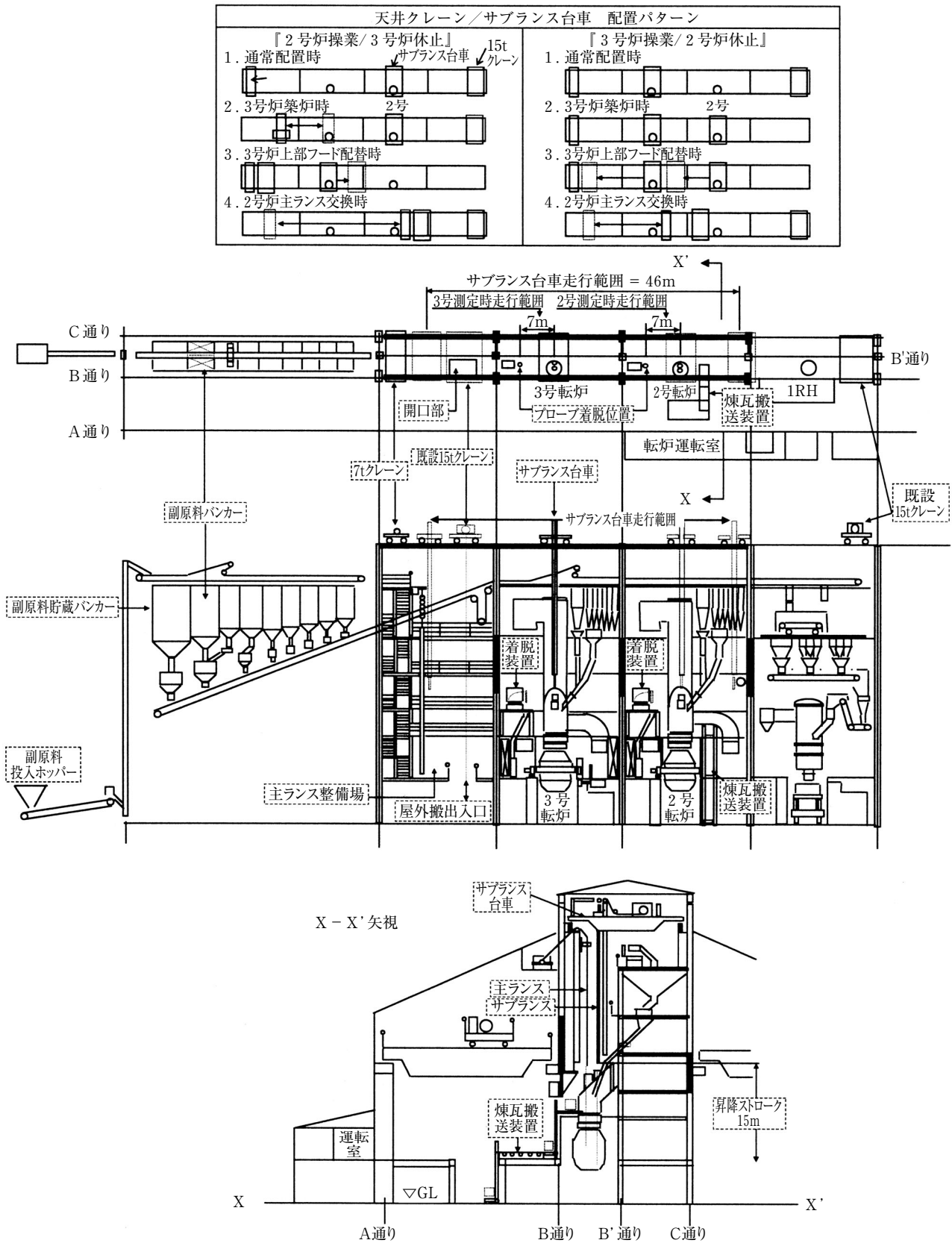


図2 サブランス概要図
 Fig.2 Schematic diagram of sublance systems

濃度やりん濃度を確認する必要があったため、出鋼準備時間の延長による生産能力の低下を招き、さらに炉腹れんがへの吸熱や放熱による温度ドロップの増加、およびこれらの影響による炉体寿命の低下など、製造コストの上昇を招いていた。

これらの課題を解消すべく、1999年8月にサブランス装置を導入した。サブランス装置を用いて測温とサンプリングを自動化する一方、ダイナミック吹錬制御モデルと特殊鋼りん推定式を作成し操業改善を実施した。その結果、吹錬制御精度向上による吹止温度低減と再吹錬比率低減、ダイレクトタップによる製鋼時間短縮、および転炉耐火物寿命向上などの効果を得ることができた。

本報告ではサブランス導入による操業改善とその改善効果について述べる。

2. サブランス設備概要

サブランス設備の概要および主仕様を、図2および表1にそれぞれ示す。

表1 サブランス主仕様
Table 1 Main specification of sublance system

(1) 型式	昇降装置搭載天井走行台車方式 (2炉兼用)
(2) プロープ着脱	自動着脱方式 (各炉専用)
(3) 測定機能	温度、炭素、湯面レベル、酸素、およびサンプル
(4) サイクルタイム	120秒 (測定～測定)
(5) 昇降	ストローク 14.8m 昇降速度 8～100m/min
(6) 走行	ストローク 7m, 走行速度 60m/min

1製鋼工場は転炉炉上部が狭いため、転炉れんがの築炉あるいは保全時に使用する天井クレーンの運搬作業に支障がでないようなサブランス昇降装置を設置する必要があった。また転炉炉上部の高さ制約や古い構造物の補強方法も含めて、数種類の方式から総合的に判断して天井走行台車方式のサブランス装置を導入することとした。

導入したサブランス装置は、天井クレーンガーターへ昇降装置搭載の走行台車(サブランス台車)を設置し、2号転炉と3号転炉兼用とした。また天井クレーンガーターに新規に7トンホイストを搭載し、ホイスト、サブランス台車、および15トンクレーンの順に並べた。さらに2号転炉築炉時のれんが運搬制約解消のために、2号転炉横にれんがパレット搬送装置を設置した。加えて、天井クレーンガーターを主体とする建屋の補強、吹錬ダイナミック制御に応じた副原料貯蔵バンカーの改造ならびに秤量器の大型化、および計算能力向上のための計算機更新なども実施した。

サブランス測定は次のサイクルによって行われる。まずプロープ着脱位置にてサブランス先端にプロープが装着され、サブランス台車は炉心上に向けて約7m走行する。台車はその位置で位置決めされ、サブランスが約15m下降してプロープが溶鋼に浸漬される。測温およびサンプリングがなされた後、サブランスは上昇して、台車が再びプロープ着脱装置に移動して、プロープが抜き取られる。以上サブランス測定のサイクルタイムは、プロープ装着開始から炉心移動まで約40秒、サブランス下降からプロープ抜き取りまで約80秒の合計約2分となっている。

ところで呉1製鋼には、地上から各階に通じる開口部は3号炉横側の1箇所しかなく、またひとつのクレーンガーター上にクレーンとサブランス台車が搭載されているため、15tクレーンを用いて行われる転炉れんが築炉、保全、および資材搬入時はクレーン同士が相互に干渉することが懸念された。

これを解消すべく、7トンホイストを設置し、また、2号転炉築炉時のれんが搬送装置を設置して、炉前かられんがを搬送することとし、築炉中にサブランスが使用できない頻度を大幅に減らす工夫がなされている。なお相互の接触防止対策として接近時の警報および走行停止機能を付与した。

3. 測定結果

サブランス測定により得られる溶鋼の[C]推定値(以下CD値)は重要な情報であり、採取されたサンプルの凝固温度を用いて計算される。前述のとおり呉1製鋼は[C]範囲はもちろん、合金成分についても範囲が広い(1)式に示すように、各成分の影響を補正する検量線を用いることとした。

$$CD値 = a_1 \times CDT + a_2 \times [\%Mn] + a_3 \times [\%Cr] + a_4 \times [\%Ni] + c_1 + c_2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、CDT:凝固点温度, a₁～a₄:各係数,
c₁:定数項, c₂:学習項

一方、数多くある鋼種を7つのグループに分類して、グループ毎に検量線を作成した。さらに検量線毎に学習項を決定した。

図3(次ページ)に、普通鋼の中間測定ならびに特殊鋼の吹止[C]判定として重要である[C]≥0.5%の領域におけるCD値と分析[C]値の関係を示す。図3には分析[C]=CD値に対して、±5%の範囲を実線で示しているが、ほぼこの範囲内に収まっている。また36%Niについても同様の精度が得られており、ダイナミック制御あるいは出鋼判定に用いることができる精度

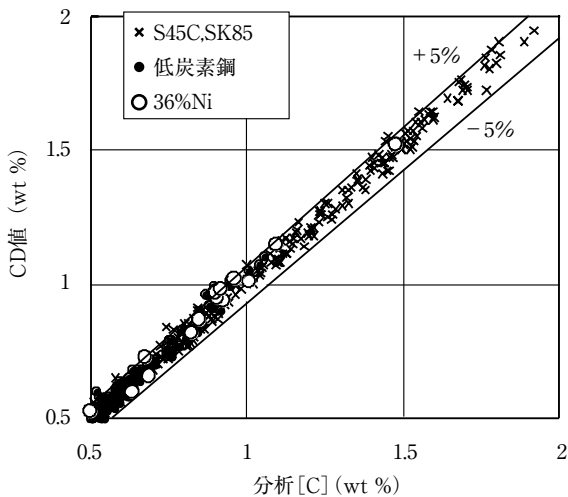


図3 CD値の精度
Fig. 3 Estimation accuracy of carbon determinater

であることを確認した。

さらに、従来行ってきた倒炉による温度ドロップの影響を調査すべく、サブランスで温度測定後、速やかに炉前に倒炉して手動にて测温を実施した。その結果を図4

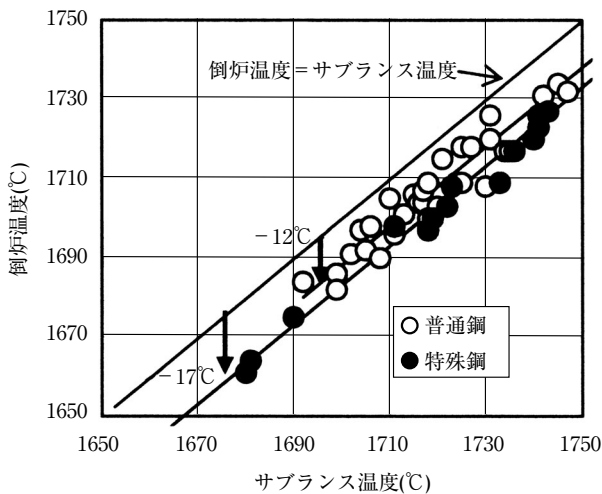


図4 倒炉による温度ドロップ
Fig. 4 Temperature loss after rotation of the converter

に示す。この図から特殊鋼で平均17°C、普通鋼で平均12°Cそれぞれ倒炉によって温度ドロップしていたことがわかった。

4. 操業改善

4.1 ダイナミック制御

サブランスを活用することにより、吹錬途中の溶鋼温

度およびCD値を用いて、スタティック吹錬制御の軌道修正を行うダイナミック制御が可能となる。ダイナミック制御では(2)、(3)式に示す酸素および温度モデルの連立方程式の解として中間測定～吹止までの所要酸素量および冷却材の投入量を決定する。

$$\Delta O/W = F(\Delta C, \text{換算CaO}, \Delta \text{冷却材}, \dots) \dots (2)$$

$$\Delta T = G(\Delta O/W, \text{HMR}, \Delta \text{冷却材}, \dots) \dots (3)$$

ここで、Wは主原料合計、 ΔO 、 ΔC 、 Δ 冷却材はそれぞれ、中間測定～吹止の所要酸素量、脱炭量、冷却材量である。

CD値の検量線と同様にして温度と成分の範囲に応じて、鋼種を20種類のモデル区分にグルーピングした。さらに呉2製鋼で導入済みの多段階指数平滑法²⁾を用いて学習することとした。

ダイナミック制御による温度制御およびC制御の精度を、図5、図6にそれぞれ示す。なお鋼種による影響を調べるため、各々の図の(1)～(3)に低炭素鋼、S45C相当、H8SK5(以下SK85)相当の鋼種に分けて示し、サブランス導入前後、すなわち、ダイナミック制御有無による目標値と実績値の差異を比較して示した。

図5に示すように、温度に関してはばらつきが低減したに加えて、特殊鋼においては従来目標+20°Cと過度に高くしていた吹止温度を目標+10°C以下とすることができている。一方、図6に示すように、[C]についてもバラツキを低減することができ、この結果、従来に比べて[C]を低炭素鋼とS45Cでは約0.02%、SK85では約0.01%高目に吹止めることができるようになった。

4.2 特殊鋼りん推定式

前述のとおり、1製鋼転炉では種々の成分の鋼種を吹錬しているが、未脱珪溶銑の吹錬時に炉壁にりん濃度の高いスラグや地金が付着する。これが特殊鋼吹錬時に溶鋼中に混入し、復りんする場合があるが、特殊鋼の吹止[C]域では脱りんはほとんど進行しないため、りん外れを発生させる要因となっていた。図7(次々ページ)に特殊鋼における吹錬前後の[P]の変化を示す。吹止で[P]が低くなる場合もあるが、高くなる場合も同程度あり、[P]のピックアップが大きい場合、0.01%上昇することもある。

このため従来は吹止サンプルを採取した後直ちにりん成分を確認し、高い場合には再吹錬するなどしてりん外れを防止していた。この場合、吹止後から成分確認後出鋼まで約7分を要するため、温度ドロップや転炉

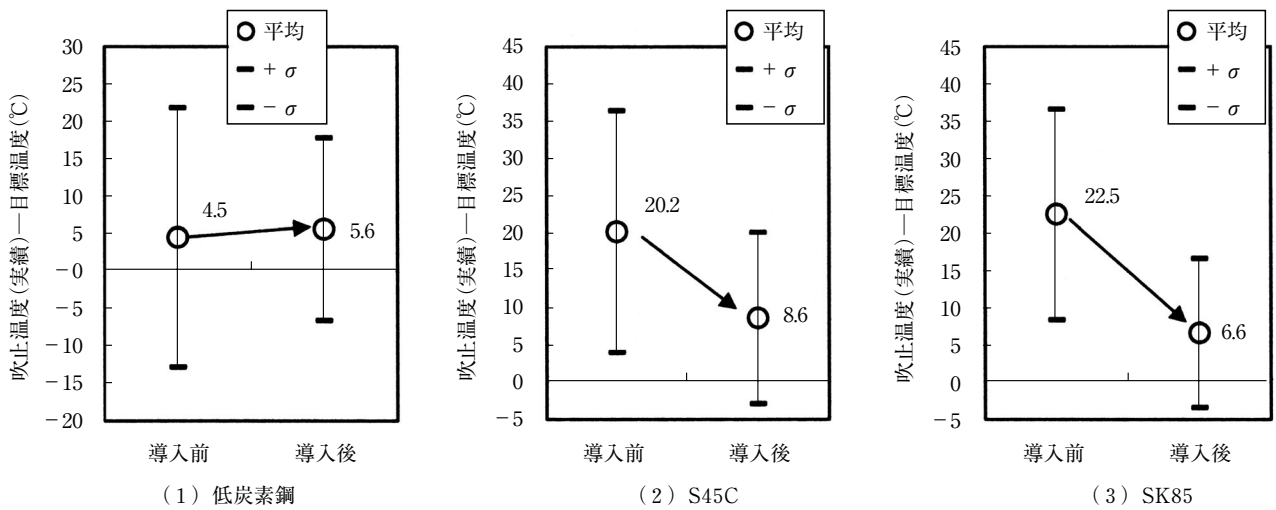


図5 サブランス導入前後の温度バラツキ変化

Fig. 5 Accuracy of BOF blow-end temperature control by sublance

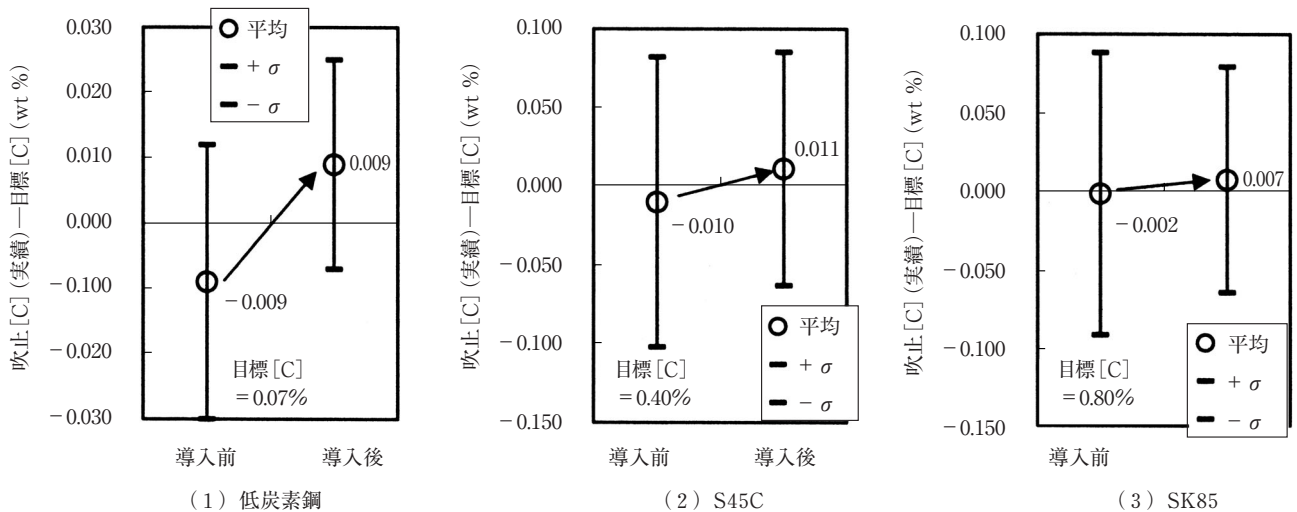


図6 サブランス導入前後の [C] バラツキ変化

Fig. 6 Accuracy of BOF blow-end carbon control by sublance

タップの延長のみならず、高温の溶鋼が装入側の炉腹に接触することにより炉腹れんがの溶損などの弊害があった。

サブランスによるダイレクトタップを行うためには、このりん成分の確認を排除することが必要であったため、(4)式に示すりん推定式を作成し、吹止成分を未確認で出鋼することを試みた。

吹止推定 [P]

= 転炉装入溶銑 [P] + 転炉[P]ピックアップ

= 転炉装入溶銑 [P] + (a₀ + a₁ × 吹止 [C] + a₂ × 吹止温度

+ a₃ × 前CH吹止 [P] + a₄ × Mn 鉱石 + a₅ × FeCr) …… (4)

この式を用いることで、りん成分を未確認で出鋼してもりんが外れないと推定されたため、実操業にて適用した。その結果成分未確認によるりん外れを発生させることなく、ダイレクトタップが可能となった。

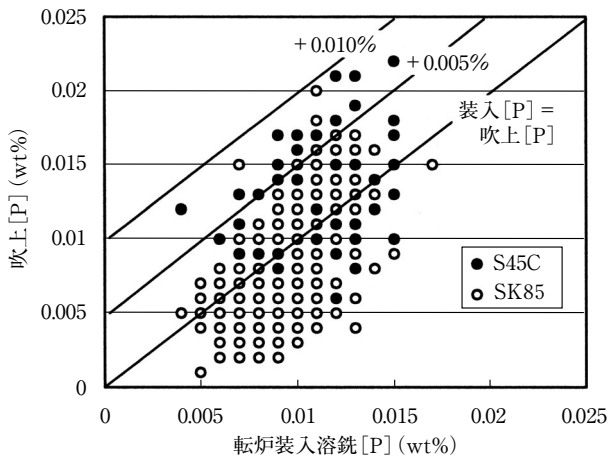


図7 転炉装入 [P] と吹止 [P] の関係
Fig.7 Relation of [P] between before blowing and blow-end

5. 改善効果

5.1 再吹錬および温度調整比率の低減

4章で述べたようにサブランス導入による吹錬制御精度向上により再吹錬比率が大幅に低減した。その変化を図8(1)~図8(3)に示す。

低炭素鋼においては従来の8%から2%に、S45Cお

よびSK85相当鋼種においては30%強から2%程度にまで大幅に低減した。

5.2 ダイレクト出鋼

代表的鋼種のダイレクトタップ比率の推移を図9に示す。吹錬制御精度の安定、およびCD値と特殊鋼のりん推定式を活用した成分未確認出鋼により、ダイレクトタップ比率を向上させてきた。低炭素鋼は約半年で、また特殊鋼については約1年半かけて改善し、直近では約85%程度のダイレクトタップ比率となった。

ダイレクトタップ比率向上にともない、吹止から出鋼開始までの出鋼準備時間は図10に示すとおり、普通鋼で約4分から1.4分に、特殊鋼については7分から1分弱にまで短縮することができた。これにより温度ドロップ低減のみならず、転炉タップの大幅な短縮を実現した。

また、従来は出鋼待ち時間に、炉前に傾動して待機していたため、炉腹に高温の溶鋼が接触することで、耐火物の溶損を助長していた。この耐火物溶損についても軽減されるようになった。

5.3 吹止温度低減

4.1の吹錬制御精度向上により目標温度に対する差異やばらつきが小さくなった。このため、従来、吹止温度が低くなった場合を想定して平均値(目標値)を高くしていたものを低減することが可能となった。

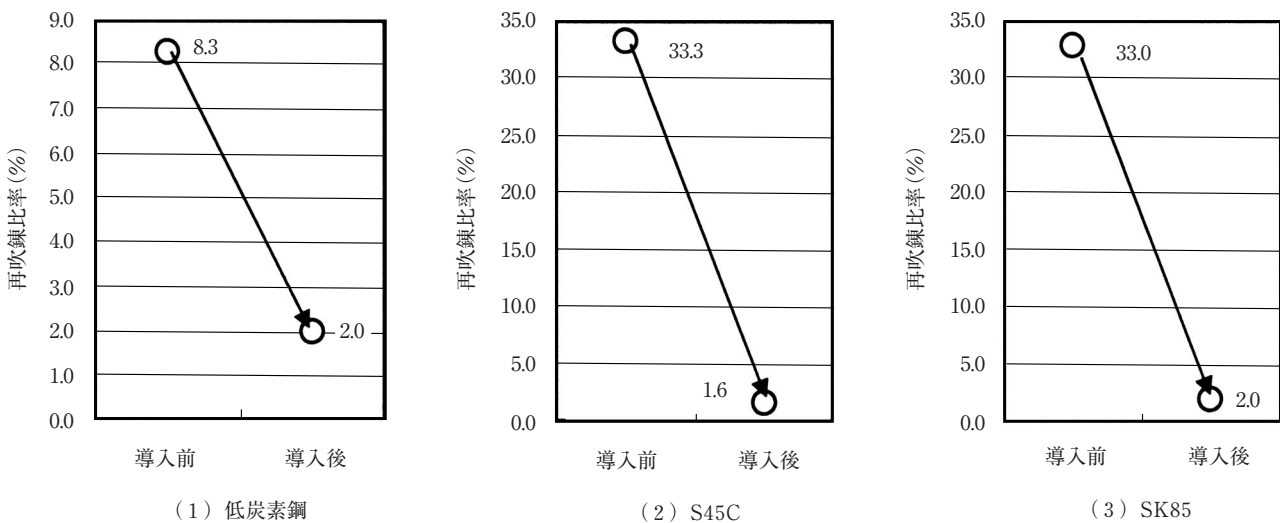


図8 再吹錬比率の変化
Fig.8 Change of reblow ratio

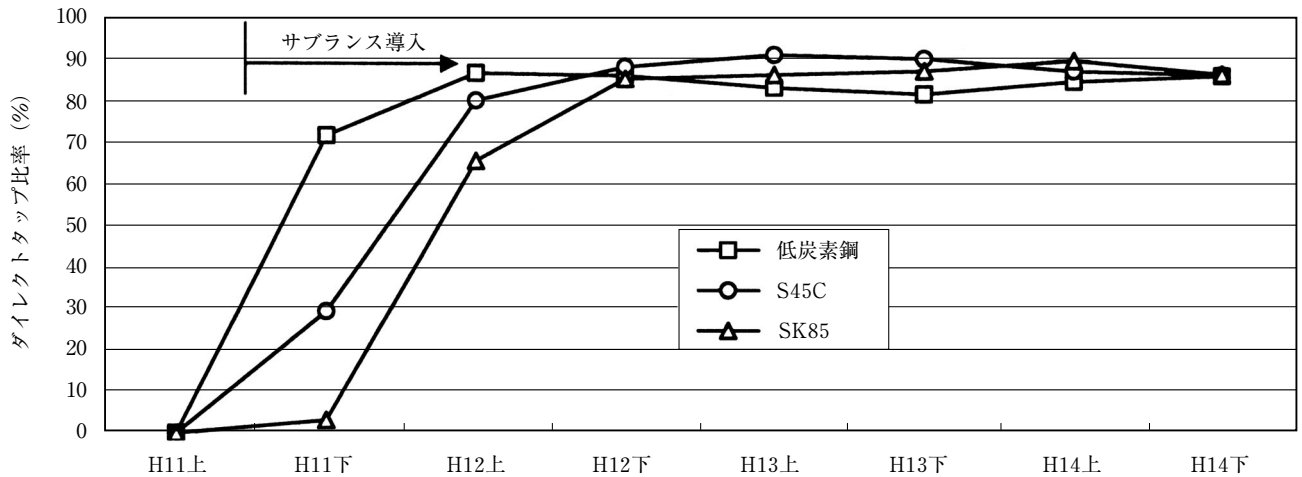


図9 ダイレクトタップ比率の推移
Fig.9 Change of direct tapping ratio

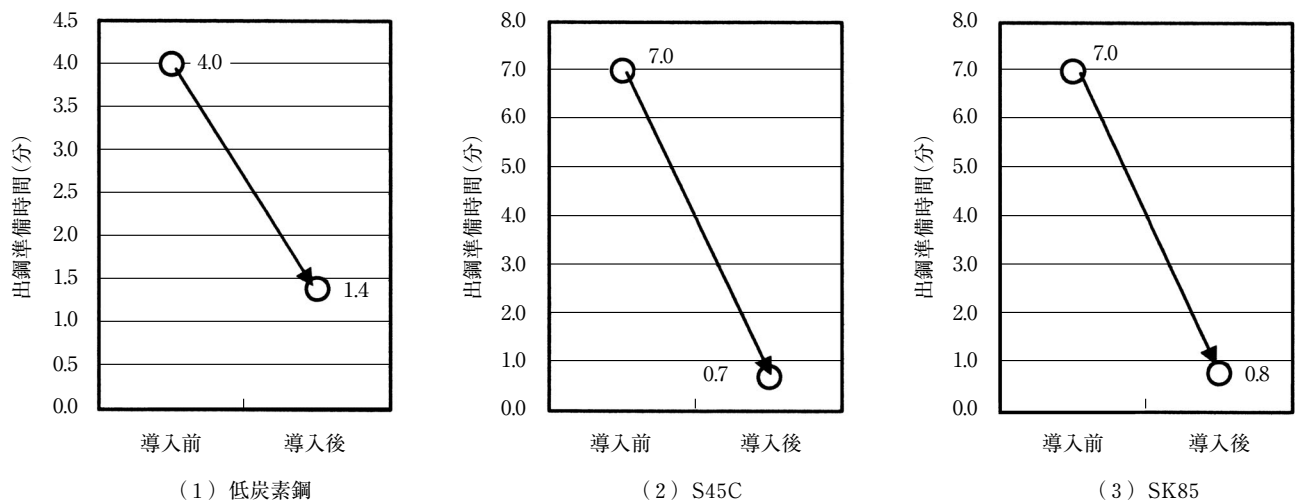


図10 サブランス導入前後の出鋼準備時間の変化
Fig.10 Change of preparation time for tapping after sublance installation

また、ダイレクトタップ比率向上により、転炉炉腹への吸熱ならびに待機中の放熱などの温度ドロップが小さくなったことも重なり、吹止温度を低減することができた。

図11(次ページ)に代表的鋼種における吹止温度の推移を示す。なお、サブランス導入前後で测温するタイミングが炉傾動後から吹止直後に変化しているため、3項で示した測定タイミングによる温度差の平均でその影響を補正している。

低炭素鋼の吹止温度については1年程かけて約20℃

低減させ1710℃に、一方、特殊鋼は2年程度かけて段階的に温度を下げていき、S45Cで約30℃低減し1690℃弱まで、SK85では約30℃低減し1670℃弱にまですることができた。

5.4 炉体寿命と耐火物コスト

炉体寿命と耐火物コストの変化を図12(次ページ)に示す。上述のとおり、吹止温度の低減ならびに出鋼時間の短縮により、従来寿命ネック部位であった装入側の炉腹の溶損を大幅に軽減させることができた。これにより

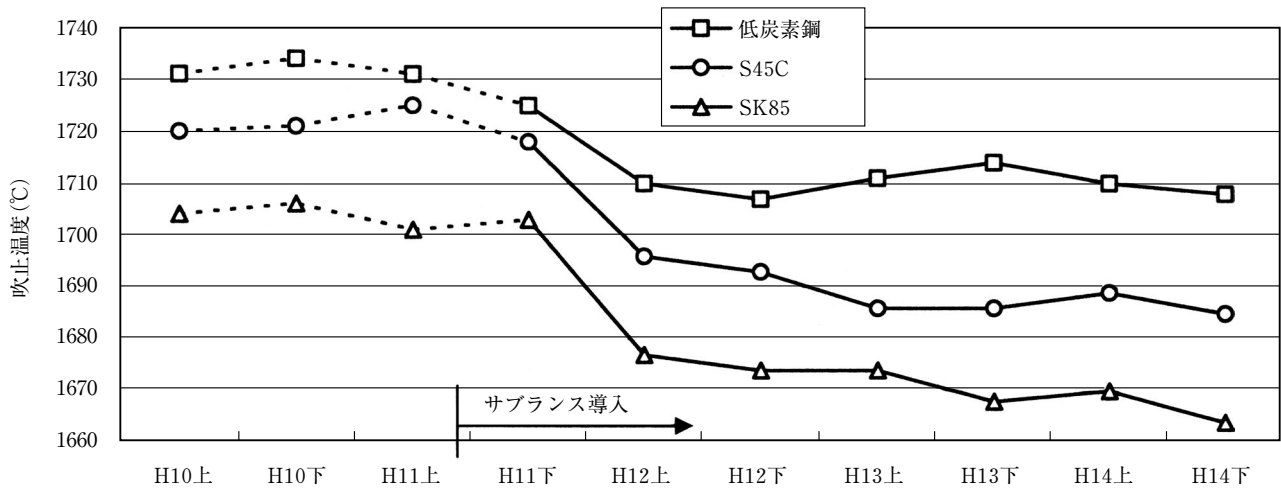


図11 吹止温度の推移

Fig.11 Change of blow-end temperature

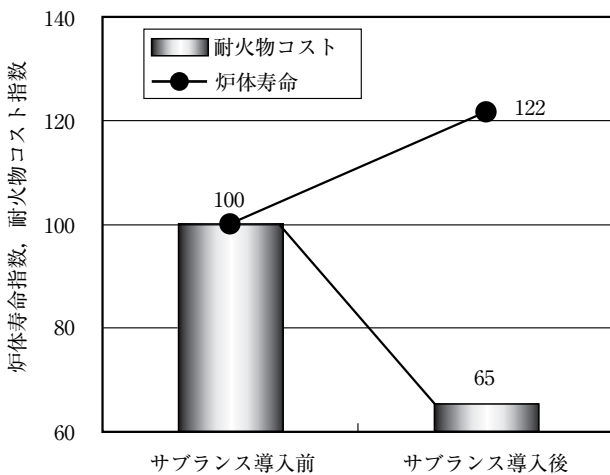


図12 転炉耐火物の寿命およびコスト変化

Fig.12 Improvement of life and cost of BOF refractories

炉体寿命は約20%向上した。一方、コストは安価品の積極使用も可能となり約35%低減させることができた。今後、さらなる寿命延長およびコスト低減のために、現在のネック部位である炉底、特に羽口周りの溶損を抑制し寿命を延長させる必要がある。

6. 結 言

呉1製鋼にサブランス装置を導入し、测温とサンプリングを自動化する一方、ダイナミック吹錬制御モデルと特殊鋼りん推定式を作成し操業改善を実施した。

その結果、以下の効果を得た。

(1) 再吹錬比率を低炭素鋼で8.3→2.0%、S45Cで33.3→

1.6%、およびSK85で33.0→2.0%と低減することができた。

(2) ダイレクトタップ比率を約85%にすることができた。また、出鋼準備時間を低炭素鋼で4.0→1.4分、S45Cで7.0→0.8分、およびSK85で7.0→0.7分と短縮することができた。

(3) 吹止温度を低炭素鋼で1730℃→1710℃、S45Cで1720→1685℃、およびSK85で1700→1665℃と低減することができた。

(4) 炉体に関しては、羽口寿命ネックは残るものの炉腹ネックを解消し、寿命を約20%向上させ耐火物コストを約35%低減させることができた。

参考文献

- 1) 磯部昌弘, 國島孝之, 富田祐志, 長谷川淳, 原隆康, 品川裕明: 日新製鋼技報, 75(1997), 26
- 2) T.Hara, H.Nakamura, M.Tawara, T.Yamagami: Steelmaking Conference Proceedings, (1989), 155