

名古屋製鐵所における高級鋼量産技術の開発

Development of High Grade Steel Manufacturing Technology on Mass- Production at Nagoya Works

福田 佳之*

Yoshiyuki FUKUDA

佐渡 達也

Tatsuya SADO

松本 周

Hiroshi MATSUMOTO

小野山 修平

Shuhei ONOYAMA

吹上 和徳

Kazunori FUKIAGE

今井 正

Tadashi IMAI

國武 意智

Okitomo KUNITAKE

務川 進

Susumu MUKAWA

高木 信浩

Nobuhiro TAKAGI

抄 録

1980年代初頭より、自動車の防錆強化のニーズに応えるため、名古屋製鐵所においてはRH真空脱炭処理高速化・効率化を主としたIF鋼の安定量産技術を開発するとともに、転炉方式による大量溶銑予備処理技術を開発した。更に、1990年代以降、自動車の軽量化に伴う高強度鋼比率の拡大に対応するため、溶銑脱りん脱硫分離プロセスの開発を行い、低硫黄鋼の量産プロセスを確立してきた。更に、耐サワー性能を要求される極低硫黄鋼の量産化のため、RHを用いた極低硫黄鋼精錬技術を開発した。

Abstract

Form the beginning of 1980's, demand for high corrosion resistance steel sheet for automobile were increased. In Nagoya Works, to satisfy these demands, development was focused on the improvement of productivity of IF(Interstitial Free) steel by improving RH decarburization performance and refining cycle time to match sequential casting. Skull removing equipments system and enlargement of snorkel diameter and introduction of pre-evacuation system were effective counter me sears. Second issue was the development of converter type hot metal pre-treatment system, which enabled simultaneous desiliconization and dephosphorization treatment. After that, demand for mass production of low sulphur steel for high tensile strength steel for automobile elimination of weight to match CO₂ reduction, separated process between desulphurization and dephosphorization, ORP II process, was developed. For anti-sour steel production, such as line pipe, RH desulphurization technology was developed for ultra low sulphur steel on mass production.

1. 緒 言

中部地区は、国内の自動車産業の集積地であることから、新日本製鐵名古屋製鐵所は薄板製品の需要に応えることを最大の使命として発足、発展して来た。特に、1980年代以降、自動車の防錆性強化が求められ、高品質厚目付け亜鉛めっき鋼板の需要が増大した。これに応えるため、IF(Interstitial Free) 鋼のニーズが拡大し、精錬プロセスにおいては、転炉型大量溶銑予備処理プロセス、極低炭素鋼の量産化を主とする高純度鋼の効率の量産化、また、鑄造工程においてはH型タンディシュ、鑄型内電磁力利用技術の開発等を行ってきた。

最近では、地球温暖化対策の観点から自動車の燃費向上

のため、高強度鋼化のニーズが拡大しており、製鋼プロセスにおいては低硫黄鋼の量産化等、一層の高度化が求められている。

本報では、名古屋製鐵所製鋼工場において行った精錬プロセスの開発について述べる。

2. 精錬技術の変革

2.1 IF 鋼の大量溶製技術

1980年代より、亜鉛めっき鋼板用素材としてのIF鋼のニーズが高まったことから、真空脱ガス装置における脱炭処理能力の向上に取り組んだ。IF鋼の多連続連続鑄造(以後連々鑄造と略す)を可能にするためには、連続鑄造(CC)機のサイクルタイムに合わせたRH真空脱ガス装置

* 名古屋製鐵所 製鋼部長 愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686

の多チャージ連続処理を可能にすることが必要となる。特に、名古屋製鐵所においては、2機の2ストランド連続鑄造機により月産40万t以上の高速鑄造を行っており、サイクルタイムは短い。

図1にRH処理連続処理数と処理後の到達炭素濃度の関係を示す。この図から、処理チャージ数の増加とともに、到達炭素濃度が低下する傾向がある。これは、炭素濃度の高い厚板材の脱水素処理により真空槽内に付着した地金からの炭素ピックアップによると考えられ、また、少なくとも4チャージ程度影響が及ぶことが分かる。そのため、極低炭素鋼の安定溶製のためには、まず、地金の影響を無くするため、真空槽への地金付着を低減する対策が重要である。そこで、図2に示す酸素ガスによる地金切りランス設備を導入した¹⁾。更に、より積極的に真空槽内面を高温に維持することを目的に、図3に示すトップバーナーを設置した²⁾。

一方、RHでの脱炭挙動は、初期の脱炭速度が大きい第I期と、脱炭速度が低下する第II期とに分けられる。これ

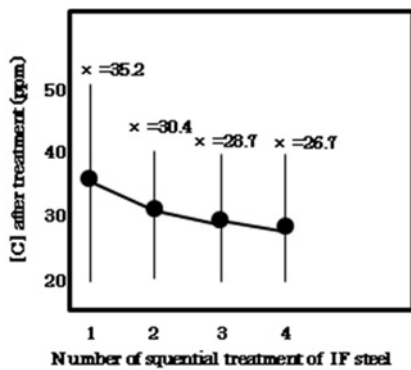


図1 処理チャージ数と到達炭素濃度の関係
Relation between number of treatment charges of IF steel and C after treatment

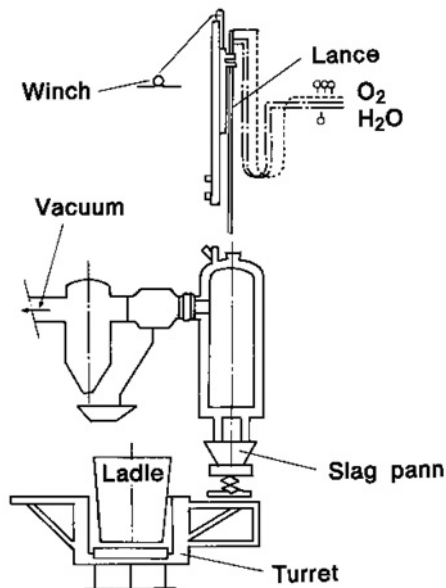


図2 真空槽内地金切り酸素ランス装置¹⁾
Oxygen lance equipment for skull cutting

は、初期はCOガス気泡生成の過飽和圧が大きく、内部脱炭が主であるが、第II期には、自由表面からの脱炭反応が主要なサイトとなるためと解釈される⁶⁾。溶鋼の還流量⁷⁾増加により脱炭速度が増大することは二槽モデルから想像されることである⁸⁾。名古屋製鐵所No.2 RH脱ガス設備においては当初、内径600mm径であった浸漬管径を順次拡大し、1984年には730mm径に拡大した。

その結果図4に示すように溶鋼の推定還流量は110t/minから160t/minまで増加し、第I期、第II期の脱炭速度定数を大きく改善した^{9,10)}。なお、真空槽内部へのガス吹き込みにより、特に第II期の脱炭速度が増大する効果が認められるが、槽内地金付着、ガスコストとの兼ね合いで最適化が必要である。第I期の脱炭速度増大には、真空排気速度の増加が重要である。そのため、1993年には図5に示す真空予備排気系を設置した¹¹⁾。その結果、図6¹²⁾に

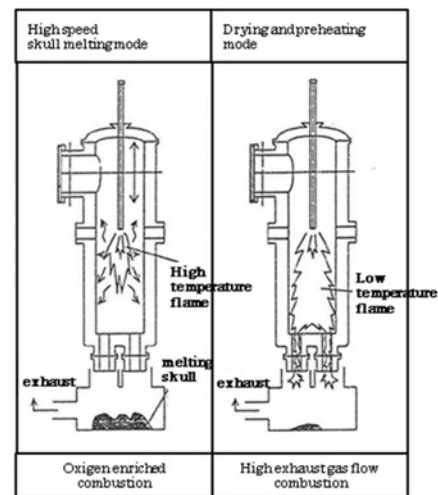


図3 トップバーナー設備と機能概要²⁾
Function of top burner equipment

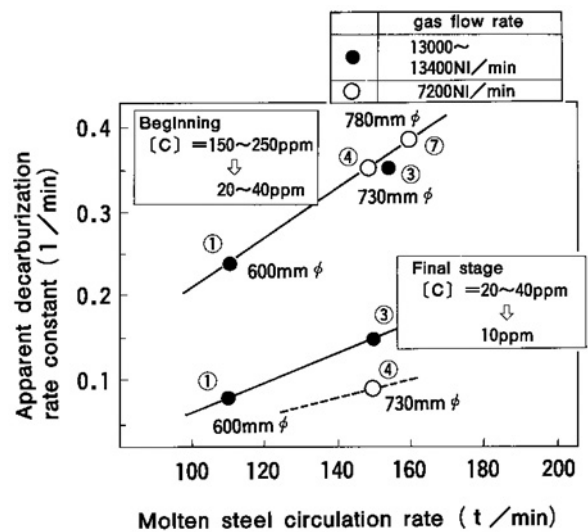


図4 溶鋼還流量と脱炭速度定数の関係⁹⁾
Relation between molten steel circulation rate and apparent decarburization rate constant

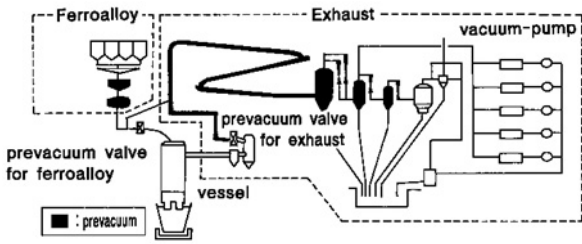


図5 予備真空排気設備概要¹¹⁾

Schematic illustration of prevacuum valve equipment

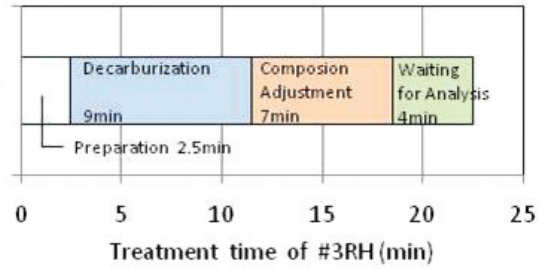


図7 No. 3RHにおける処理時間の内訳¹³⁾
Items of treatment time a No.3-RH

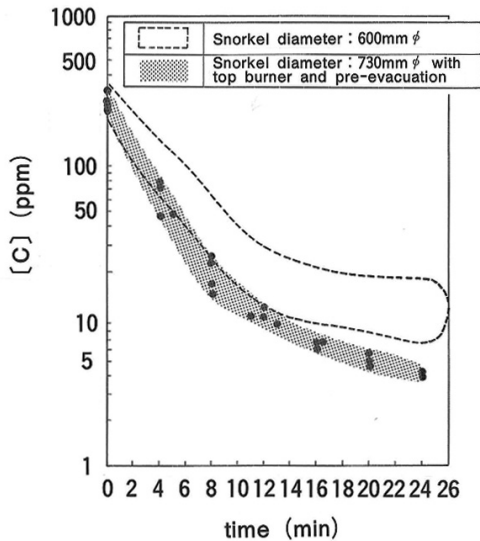


図6 RH脱炭処理中の炭素濃度の推移¹²⁾

Transition of carbon content during decarburization treatment at RH

示すように処理時間12分で炭素濃度10ppm以下に到達し得る高速脱炭処理技術を確立した。

その後、浸漬管径を800mm径まで拡大した。No. 2 RHにて開発された高速脱炭技術は、2007年に建設したNo. 3 RHにトランスファーし、図7, 8に示すように1槽ながら、高速マシンであるNo. 2 CC向け多連続処理により、IF鋼の大量生産体制を確立している¹³⁾。

2.2 大量溶銑予備処理技術の開発

名古屋製鐵所においては、1980年のNo. 2 CC稼働以来、旧第一製鋼工場のNo. 2, No. 3 転炉→造塊, 旧第二製鋼工場のNo. 4, No. 5 転炉→No. 1, No. 2 連続铸造機の物流において、連続化比率の上昇に伴い、No. 2, No. 3 転炉の稼働率が低下していた。そこでこれら、低稼働率の転炉を用いた溶銑予備処理プロセスの開発に着手した。即ち、1980年代、高炉溶銑の珪素濃度は0.2%台と低く、旧第一製鋼工場の転炉を用い、大きなフリーボードと強撈拌を利用し、予備脱珪を全く行わずに脱りん処理を行う方法の検討を行った。また、2.1にも述べたように、名古屋製鐵所では、精錬のサイクルタイムが短く、旧第二製鋼工場の転炉吹錬時間を短縮するとともに、転炉1基の稼働

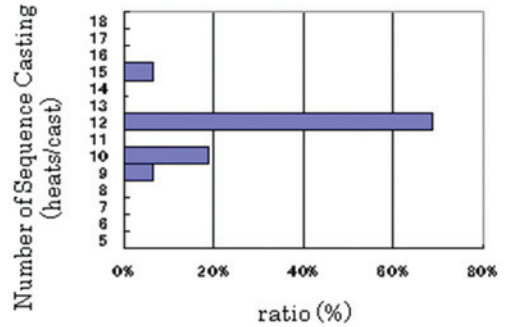
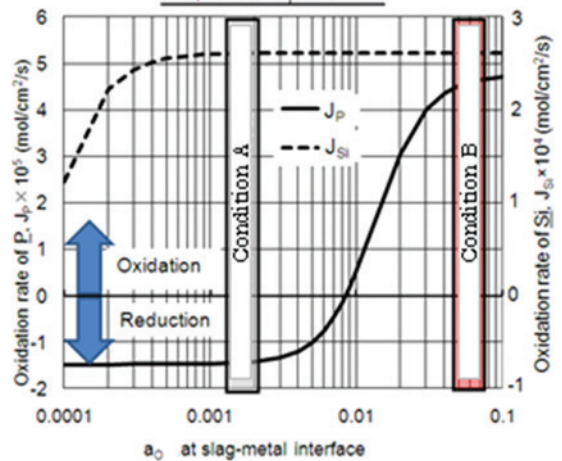


図8 No. 2CC向けIF鋼における連々鑄回数¹³⁾
Distribution of sequential casting number of IF steel at No.2CC

calculating conditions

(%CaO)/(%SiO ₂)	1.0
(%FeO)	15
k_{-} (cm/s)	0.3
k_{+}/k_{-}	10
temperature(°C)	1350



Condition A : Weak stirring and low oxygen supply rate.
Condition B : Strong stirring and high oxygen supply rate

図9 スラゲー溶銑界面の酸素活量とSi, Pの酸化速度の関係^{14, 15)}
Relation between oxygen activity at slag-metal interface and the rate of oxidation of Si, P

率向上による高効率操業の確立が重要な課題であった。

転炉方式における同時脱珪脱りん処理の基本的な考え方を図9に示す^{14, 15)}。転炉の高送酸、強撈拌条件を利用すると、スラゲー溶銑界面における酸素活量を高位に維持することにより、脱珪と同時に脱りん処理が可能になることが

競合反応モデル^{16,17)}により予想される。更に、強攪拌下ではスラグ-メタル界面の酸素活量をスラグバルクの酸素活量に近づけることが可能となるため、送酸速度を適正化することにより、低塩基度であっても比較的低いFeO濃度で脱りんが可能となる。また、低FeO濃度では、固体2CaO·SiO₂相の晶出が増加し、りんが固溶して固定される¹⁸⁻²⁰⁾ため、脱りんスラグを排滓することなく、脱硫剤を吹き込むことにより、復りんを抑制しつつ脱硫処理が可能となる。ここで、一つの転炉により、脱珪脱りん→脱硫を連続して行う処理プロセスをORP I プロセスと称する。

本プロセスは1989年に実機化した^{15,21,22)}。本予備処理炉は炉底からCaCO₃を吹き込み、熱分解で生じるCO₂を利用して攪拌を行うLD-PB炉である^{23,24)}。

強攪拌が必要な脱りん期には、CaCO₃を底吹きし、引き続き行う脱硫処理時には脱硫剤底吹きを行った。上方からの塊状CaO源添加方式にて10分程度の短時間処理を行う場合、図10、図11に示すように、CaOの滓化速度が脱りん反応の律速段階の一つと考えられることが競合反応モデルによる解析結果、および脱りん処理中のスラグ組成推移の調査から明らかになっている^{19,25)}。そのため、現在は、低塩基度、高FeO条件で脱りんを行っている。

その後、特に、薄板の高強度鋼化比率の増加とともに、

低硫黄鋼の所要が増加したため、2010年には、更なる反応効率の向上を目的に、脱りんと脱硫処理を分離するため、休止していたNo.1転炉を復旧し、溶銑脱硫炉として利用し、既存のNo.2,3転炉を脱りん専用炉とするORP II プロセスを実機化した²⁶⁾。

本プロセスの特徴は、脱硫炉において、脱硫スラグを毎チャージ排滓せず、繰り返し利用することにある。図12に示すように、炉内反応においてはほぼ、(1)式による脱硫反応が処理途中までは100%に近い効率が得られていることが確認され、極めて高い脱硫効率を得られることが分かる²⁶⁾。脱硫処理後に生成するスラグの塩基度が高く、固相率が高い場合には、スラグ内にCaS粒子が無数にトラップされている様子が観察される²⁷⁾。このCaSは、吹き込まれた脱硫剤中のCaOが(1)式の反応にてCaSに変化したと考えることができる。一方、(1)式による反応でCaO粒子表面に生成するCaS層の厚みは数十μm程度であるため、一回の反応ではCaOの反応効率は数%に留まる。しかし、炉内にスラグを残して繰り返し使用することによりCaS層厚みが増大し、反応効率が100%近い結果が得られているものと推定される。



また、図13に示すように、後吹き脱硫の解消により脱

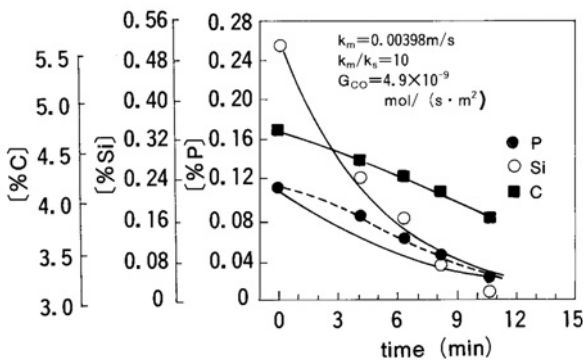


図10 溶銑中成分の時間変化²⁵⁾
Changes in hot metal composition with time

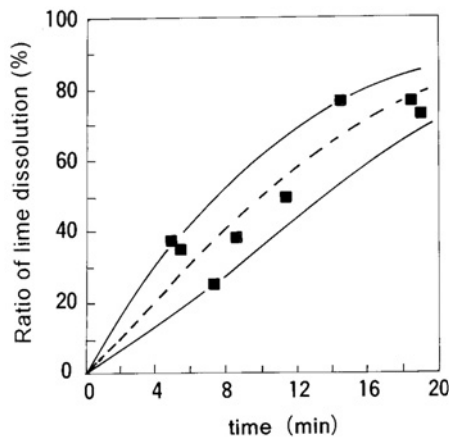


図11 CaOの滓化率の時間変化²⁵⁾
Change in lime dissolution ratio with time

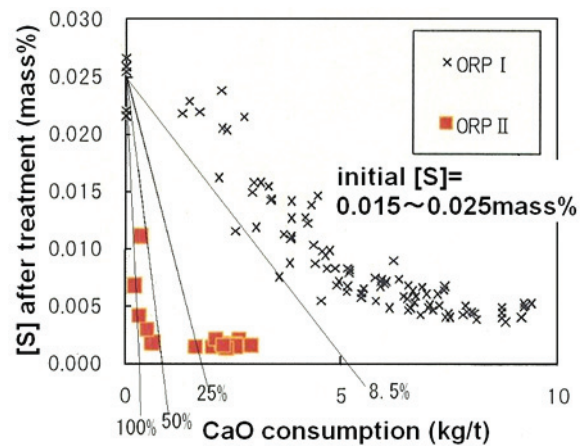


図12 CaO原単位と処理後Sの関係²⁶⁾
Relation between lime consumption and S after treatment

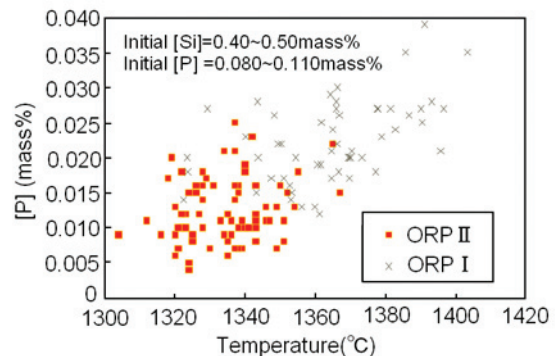


図13 吹き止め温度と出湯後Pの関係²⁶⁾
Relation between temperature and P at end point

りん後の温度を下げることによる脱りん効率改善がはかられる²⁶⁾。

LD-ORPの開発、導入、改善により、図14²⁸⁾、図15に示すように、Tap-to-Tap時間短縮とヒートサイズ増大が可能となり、転炉の生産性が向上した。また、図16に示すように、精錬剤削減効果が得られた。

更に、ORP IIを導入し、脱硫専用炉を設けることによりトーピードカーにおける脱硫処理が完全に省略可能となったため、図17に示すように、トーピードカーの回転率が向上した。

2.3 RH-PB法による極低硫黄鋼精錬技術の開発

名古屋製鐵所においては、中径電縫鋼管を製造しており、特に、使用環境の厳しい材料に対しては耐サワー性が

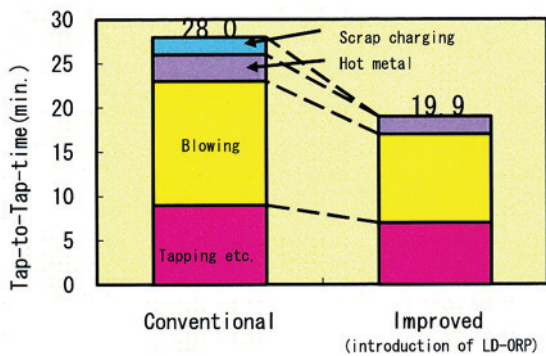


図14 LD-ORP導入による転炉tap-to-tap時間変化²⁸⁾
Changes of tap-to-tap time at the converter by introduction of LD-ORP

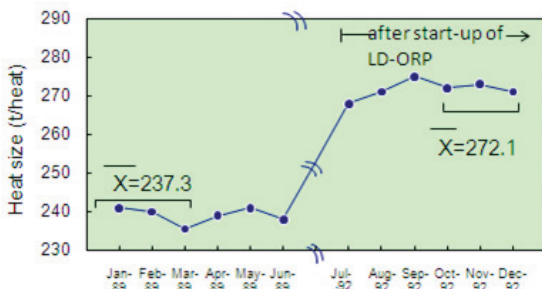


図15 LD-ORP導入によるヒートサイズ増大効果
Increase in heat size of the converter by introduction of LD-ORP

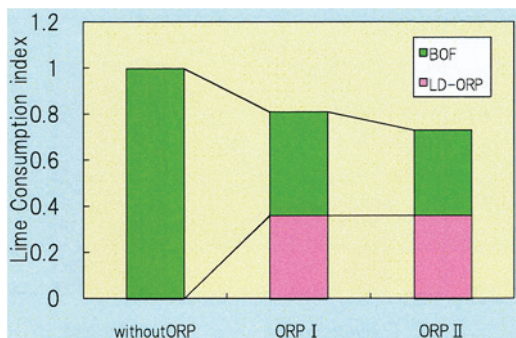


図16 LD-ORPによるCaO削減効果
Reduction of lime consumption by introduction of LD-ORP

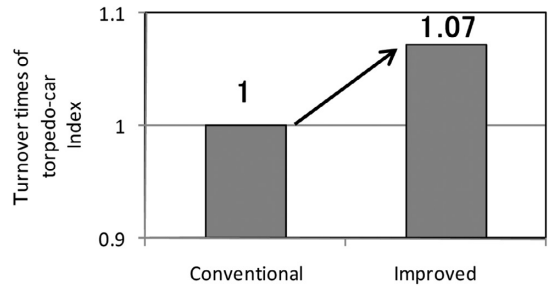


図17 トーピードカー回転率の変化
Changes of turnovertime of torpedo-car

求められる。この場合、精錬工程においては硫黄濃度を10ppm以下という極低硫黄レベルまでの低減が求められる。

溶鉄予備処理工程における脱硫処理プロセスにおいて、脱硫処理直後の硫黄濃度は10ppm以下に低下するケースもあるが、脱りん工程、脱炭工程を経て二次精錬に至るまでの間、炉内付着スラグや副原料からの硫黄ピックアップがあるため、鑄造工程にもっとも近い精錬の最終工程において、更なる脱硫処理が必須となる。また、この場合、最終製品で10ppm以下の極低硫黄濃度を保証するためには二次精錬での極低硫黄域への効率的な脱硫方法とともに、スラグからの復硫防止が重要な課題になる。

一方、これらの製品は短納期での出荷が必要なプロジェクト材が多く、連々鑄による集中製造が必要となるため、量産プロセスでの極低硫黄化が必要である。名古屋製鐵所においてはRH-CC工程での極低硫黄鋼製造プロセス確立のため、RHでの極低硫黄鋼精錬技術を開発した。開発の初期段階では、真空槽内部に塊状の脱硫剤を添加することによる脱硫処理を行っていたが^{29,30)}、更なる効率化を目指し、図18に示すように、RHの下部槽に粉体吹き込みノズルを設け、微粉脱硫剤を直接溶鋼に吹き込むRH-PB法を開発した³¹⁻³⁴⁾。脱硫フラックスとしてはCaO-CaF₂系フラックス^{35,36)}を用いている。

下部槽へのフラックス吹き込みにおいて、その吹き込み位置によって脱硫効率に違いがあることが明らかとなっている。即ち、図19に示すように、浸漬管直上の強攪拌領

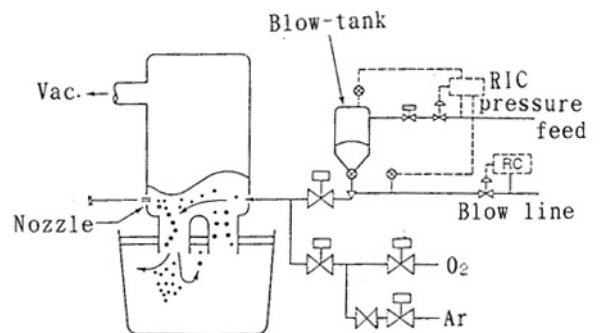
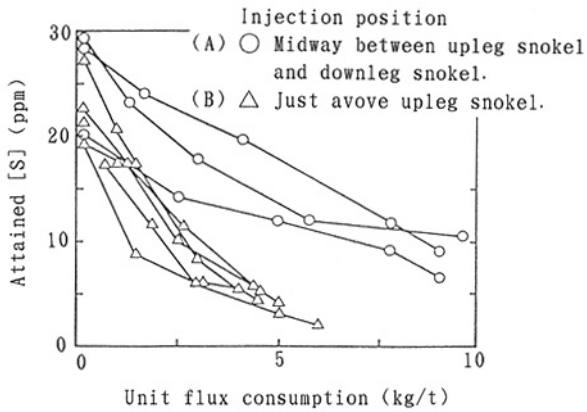


図18 RH-PB法概要^{31,37)}
Schematic illustration of RH-PB process

図19 脱硫剤原単位と硫黄濃度の関係^{31, 37)}

Relation between unit consumption of flux and attained S

域に吹き込んだ場合の方が、浸漬管の間の弱攪拌領域に吹き込んだ場合に比べ脱硫効率が著しく高いという差異を生じる。この現象は、強攪拌により、フラックス粒子の溶鋼中へ分散性が向上するためと考えられる³⁷⁾。

3. 結 言

1980年代初頭より、名古屋製鐵所においては自動車用極低炭素鋼量産ニーズ、更にその後の高強度鋼比率増加のニーズに対応するべく、継続的な精錬プロセスの変革、改善を行って来た。その主たるものは、RHにおける高速連続脱炭処理、脱硫処理プロセスの開発であり、一次精錬においては、転炉の強攪拌、高送酸を利用した大量溶銑予備処理プロセスの導入と、脱硫改善を主とした改善であった。

今後は、環境調和の視点からのスラグ系外排出削減とともに、更なる高効率化を目指した改善、開発を継続する。

参考文献

- 1) 東和彦 ほか:鉄と鋼.73,S188(1987)
- 2) 高木信浩 ほか:新日鉄名古屋,第91回熱経済技術部会資料.日本鉄鋼協会,1992,私信
- 3) 高木信浩 ほか:材料とプロセス.5,1243(1992)
- 4) 國武意智 ほか:材料とプロセス.5,1244(1992)
- 5) 新日鉄名古屋:第107回製鋼部会提出資料.日本鉄鋼協会,1992,私信
- 6) 北村信也 ほか:鉄と鋼.80,213(1994)
- 7) 桑原達朗 ほか:鉄と鋼.73,S176(1987)
- 8) 住田則夫 ほか:川崎製鉄技報.15,152(1983)
- 9) 東和彦 ほか:材料とプロセス.3,168(1990)
- 10) Murayama, N. et al.: Proc. 6th IISC. Nagoya, 1990, p. 107
- 11) 國武意智 ほか:材料とプロセス.7,216(1994)
- 12) 矢野正孝 ほか:新日鉄技報.(351),15(1994)
- 13) 新日鉄名古屋:第141回製鋼部会提出資料.日本鉄鋼協会,2009,私信
- 14) 水上義正 ほか:平成3年度学術討論会講演予稿集.日本鉄鋼協会日本金属学会東海支部,1991,p.28
- 15) 新日鉄名古屋:第104回製鋼部会提出資料.日本鉄鋼協会,1991,私信
- 16) Ohguchi, S. et al.: Ironmaking Steelmaking. 11, 202 (1984)
- 17) Kitamura, S. et al.: ISIJ-Int. 31, 1322 (1991)
- 18) 伊藤公久 ほか:鉄と鋼.68,342(1982)
- 19) 務川 進:鉄鋼協会生産技術部門製鋼部会スラグ極少化研究会最終報告書.日本鉄鋼協会,1999,p.57
- 20) 佐々木直人 ほか:鉄と鋼.88,300(2002)
- 21) 加藤 郁 ほか:材料とプロセス.4,1153(1991)
- 22) 加藤 郁 ほか:材料とプロセス.4,1154(1991)
- 23) 森正晃 ほか:鉄と鋼.72,S171(1986)
- 24) 吉田学史 ほか:鉄と鋼.72,S172(1986)
- 25) 務川 進 ほか:鉄と鋼.80,207(1994)
- 26) 新日鉄名古屋:第145回製鋼部会提出資料.日本鉄鋼協会,2011,私信
- 27) 務川 進 ほか:材料とプロセス.20,830(2007)
- 28) 加藤 郁 ほか:材料とプロセス.4,1302(1991)
- 29) 小舞忠信 ほか:鉄と鋼.69,238(1983)
- 30) 大西保之 ほか:鉄と鋼.69,A41(1983)
- 31) 東和彦 ほか:鉄と鋼.72,S1107(1986)
- 32) 新日鉄名古屋:第93回製鋼部会提出資料.日本鉄鋼協会,1986,私信
- 33) 嶋 宏 ほか:鉄と鋼.73,S934(1987)
- 34) 今井 正 ほか:材料とプロセス.4,1243(1991)
- 35) 小舞忠信 ほか:製鉄研究.(312),59(1984)
- 36) 遠藤公一 ほか:鉄と鋼.71,S284(1985)
- 37) 新日鉄名古屋:第93回製鋼部会提出資料.日本鉄鋼協会,1986,私信



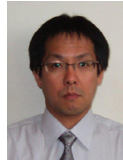
福田佳之 Yoshiyuki FUKUDA
名古屋製鐵所 製鋼部長
愛知県東海市東海町 5-3 〒 476-8686



吹上和徳 Kazunori FUKIAGE
名古屋製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ
グループリーダー



小野山修平 Shuhei ONOYAMA
大分製鐵所 製鋼部長



國武意智 Okitomo KUNITAKE
海外事業企画部 マネジャー



今井 正 Tadashi IMAI
技術総括部 部長 Sc.D



高木信浩 Nobuhiro TAKAGI
名古屋製鐵所 エネルギー資源化推進部
マネジャー



務川 進 Susumu MUKAWA
名古屋技術研究部 主幹研究員 工博



松本 周 Hiroshi MATSUMOTO
名古屋製鐵所 製鋼部 精錬課長



佐渡達也 Tatsuya SADO
名古屋製鐵所 工程業務部
グループリーダー