

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.4 (1970) No.1

取鍋精錬炉の建設と操業経過

Construction of Ladle Refining Furnace (LRF) and Operational Experiences

西岡 武三郎(Takesaburo Nishioka) 江本 寛治(Kanzi Emoto)

要旨：

高級鍛錬用鋼塊および厚板向き鋼塊の製造を目的とした 100t LRF (ASEA-SKF プロセス) は水島製鉄所電炉工場の第 1 期工事として建設され、1970 年 3 月に稼働した。将来 100 t 電炉が建設されるまでは、母溶鋼は約 3 km 離れた 180t 転炉から通常セミキルド鋼の状態で供給され、LRF で最高 12%までの合金鉄が投入されて諸鋼種に転換される。1971 年 4 月から 30t 電炉が稼働し、LRF を併用して EF-LRF も可能になった。標準操業は、加熱－脱ガスの 2 工程であるが、加熱と攪拌のみによって十分低酸素レベルが得られるので、脱水素を特に必要としない鋼種では脱ガス処理を省略できる。標準処理時間は、炭素鋼では 1.5～2hr, 合金鋼では 2～3hr である。得られる製品の品質はすぐれており、安定度が高く、酸素レベルは 10～25ppm, 脱ガス後の溶鋼中水素値は平均 1.4ppm, 脱窒率はセミキルド処理のとき 10～50%に達する。1 年余の操業によって、この精錬法の優秀性が立証された。

Synopsis：

A ladle refining furnace (ASEA-SKF process) with a capacity of 100t/charge was completed and went into operation in March 1970 at Mizushima Works. This furnace had been under construction as part of the first construction plan of electric arc furnace shop with a purpose of producing high grade carbon steel and alloy steel for forging and heavy plates. In the LD-LRF process, mother metal is transported to LRF as semi-killed steel from the distant No.1 LD shop about 3km away, and is converted in LRF into steels of various grades by adding alloys up to 12% maximum. In April, 1971, a 30t electric arc furnace was started up and the EF-LRF process was put into practice. The standard practice consists of heating-degassing, but the degassing may be omitted in case the steel is of such grade that it is little affected by hydrogen, because a sufficiently low oxygen level can be attained only by heating and stirring. The refining of 100t takes 1.5 to 2h for carbon steel and 2 to 3h for alloy steel including 30min of degassing. All the steel product obtained by this process possess superior quality, free from variation. The oxygen level of the slab for heavy plates and forging ranges between 10 and 25ppm, and the hydrogen level in the molten steel after degassing is 1.4ppm on an average. Further, nitrogen is reduced to 40 to 50% of its initial content. The superiority of this refining process was not only confirmed by the actual experience from more than a year's

operation, but has also been receiving good evaluation from users. This paper presents briefly some features of the subject plant, operational experiences, and the gas content of the steel thus obtained.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

取鍋精錬炉の建設と操業経過

Construction of Ladle Refining Furnace (LRF) and Operational Experiences

西岡 武三郎*

Takesaburo Nishioka

江本 寛治**

Kanzi Emoto

Synopsis :

A ladle refining furnace (ASEA-SKF process) with a capacity of 100t/charge was completed and went into operation in March 1970 at Mizushima Works. This furnace had been under construction as part of the first construction plan of electric arc furnace shop with a purpose of producing high grade carbon steel and alloy steel for forgings and heavy plates.

In the LD-LRF process, mother metal is transported to LRF as semi-killed steel from the distant No.1 LD shop about 3km away, and is converted in LRF into steels of various grades by adding alloys up to 12% maximum.

In April, 1971, a 30t electric arc furnace was started up and the EF-LRF process was put into practice. The standard practice consists of heating-degassing, but the degassing may be omitted in case the steel is of such grade that it is little affected by hydrogen, because a sufficiently low oxygen level can be attained only by heating and stirring. The refining of 100t takes 1.5 to 2h for carbon steel and 2 to 3h for alloy steel including 30 min of degassing.

All the steel products obtained by this process possess superior quality, free from variation. The oxygen level of the slab for heavy plates and forgings ranges between 10 and 25ppm, and the hydrogen level in the molten steel after degassing is 1.4ppm on an average. Further, nitrogen is reduced to 40 to 50% of its initial content.

The superiority of this refining process was not only confirmed by the actual experience from more than a year's operation, but has also been receiving good evaluation from users.

This paper presents briefly some features of the subject plant, operational experiences, and the gas content of the steel thus obtained.

1. 緒 言

昭和43年9月、水島製鉄所電炉工場の第1期工事として、100t LRF（一般には、ASEA-SKFプロセスと呼ばれているが、当社ではLadle Refining Furnace“取鍋精錬炉”を略称してLRFと呼んでいる）の建設が決定された。将来、これに溶鋼を供給するための100t電気炉を建設する

ことを前提として、当面既設第1製鋼工場の180t転炉と結んで1/2ch.を受鋼し、これを処理して鍛錬、圧延向けの高級炭素鋼および合金鋼の生産を行なうべく、同年10月から土木工事に着手、昭和45年3月26日に初出鋼した。その後、同年7月にストリッパーヤードを併設、次いで本年4月小ロット受注用として30t電気炉を建設し、100t LRFを併用してEF-LRFも可能になり、電炉工場として広範囲の鋼種を生産できる体制が一応整った。

* 水島製鉄所製鋼部副部長

** 水島製鉄所製鋼部電炉課電炉掛長

Bochumer-Verein の真空鋳造法を発端とする溶鋼の真空処理は、大量処理方式としてのDH法、RH法などを代表とする各種のすぐれた装置が開発され、製鋼技術上の一つの変革をもたらしたが、その目的は当初の脱水素を主眼にした考え方が一応の成果を取め、しだいに脱酸に重点がおかれるようになってきた。脱酸に対する真空処理の優位性は、CO気泡の生成により生成物が溶鋼中に残留しないことにあるが、通常使用されている鋼材には、ほとんどSiとMnが共存し、結晶粒度調整、その他の目的からAl、Tiなどの成分元素が添加されることが多い。したがって、取鍋内溶鋼中に非金属介在物がけん濁することは避けられず、これを分離するには比重差による浮力に依存せざるを得ないが、その速さは静止浴よりも攪拌浴の方が大きいことが実験によって確認されており、かつ浴面を溶融スラグで被うことによって浮上した介在物を吸着せしめるのが効果的である。

一方、脱ガス処理による温度降下はかなり大きく、かつ変動するため、従来の方法では脱ガス終了温度を目標値に一致させるために脱ガス時間に制約を受け、これによる脱ガス効果の変動は避けられない。

取鍋精錬法は、これらの2つの重要な問題を電磁誘導によるスターラーとアーク加熱を従来の取鍋脱ガス法に加えることによって解決したものであり、次のようなすぐれた特徴を備えている。

- (1) 合金鉄を大量に添加し、炭素鋼から合金鋼まで広範囲の鋼種を生産できる。
- (2) 注入温度を正確に調節できる。
- (3) 攪拌により取鍋内溶鋼の成分偏析が少ない
- (4) 取鍋耐火物が十分蓄熱するため、精錬終了から注入までの温度降下が少なく、かつ攪拌により溶鋼温度が均一である。
- (5) 適切なfluxを使用することにより、脱硫が可能である。

ちなみに、同種設備は現在世界で18基が稼働または建設中であるが、当社の設備は9基目で、わが国では最初の設備であり、容量も昨年夏に稼働したOxelösunds (Sweden) のKaldo炉と組み合わせた140t炉に次ぐ大型である。

2. 設 備

2.1 設備配置

LRFの設備配置図をFig. 1に示す。Photo. 1は、Fig. 1の矢印の位置から撮影したもので、本設備の主要部に当る。主要設備は、すべて脱ガスヤード内に設置され、取鍋台車線を境にして、北側2階に8000kVA炉用変圧器、1階に油圧ユニットを収容し、その東側に平行して第1段ブラスターを水平におき、第2段ブラスター以降をejector towerとしてその北側に配置した。南側2階に操作室を設けて、加熱、脱ガス両設備が見通せるようにし、その屋上を利用して副原料バンカーを設け、1階には工場全体の電源設備とともに、スターラー用MGセット、純水循環装置、コンバーター冷却ファンなどを配置した。これらの設備が12.5m×56mのヤード内に収容されている。

第1製鋼工場の180t転炉で溶製された母溶鋼は、リレードルを行なう場合には普通の100t取鍋、直受の場合は、LRF専用取鍋により約3kmの行程を運搬され、造塊ヤードに搬入される。リレードルの場合はあらかじめLRFの取鍋台車に積載された専用取鍋に100φのノズルから移し替えられる。リレードルが完了すると、取鍋台車は脱ガスヤードに引きこまれ、ここで加熱、脱ガスされる。処理を完了すると再び台車により造塊ヤードに移動し、ここで初めてストッパーが装填され、以後通常の造塊作業を行なう。

2.2 設備概要

2.2.1 一般仕様

(1) 処理容量

LD-LRFの場合、100t/ch.を標準とし、最大110t/ch.、最小60t/ch.が可能である。最小処理量は加熱装置の電極のストロークから見れば、60tまで可能であるが、スラグ・ライン用の高価な塩基性煉瓦を広範囲にライニングすることは、経済性の点から好ましくないことと、サンプリングが

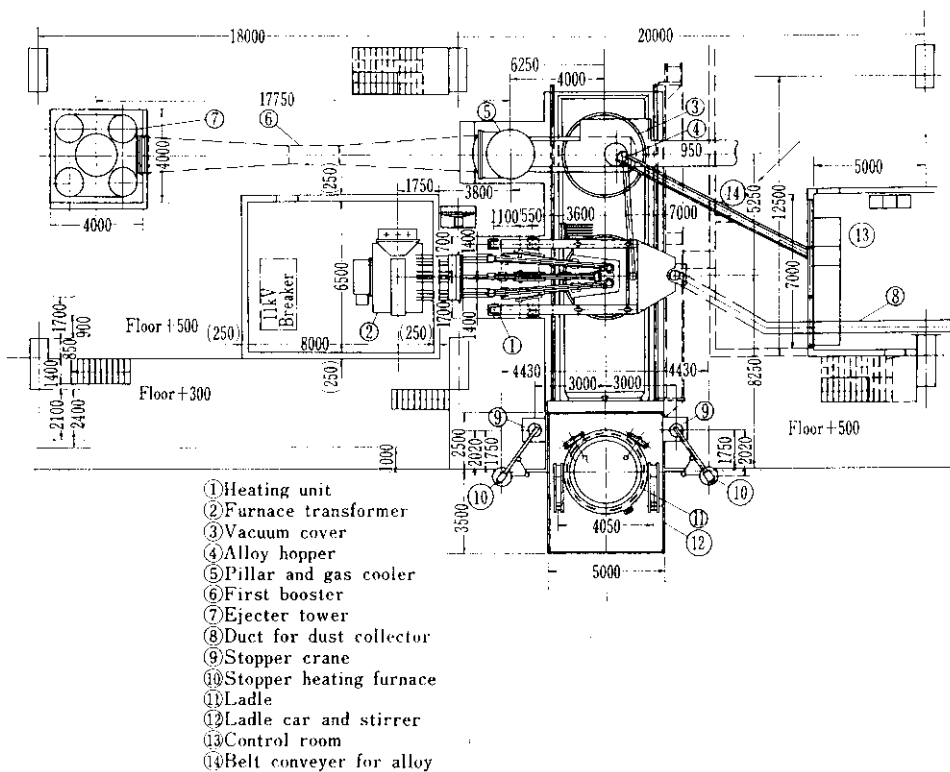


Fig. 1 Layout of 100 t ladle refining furnace

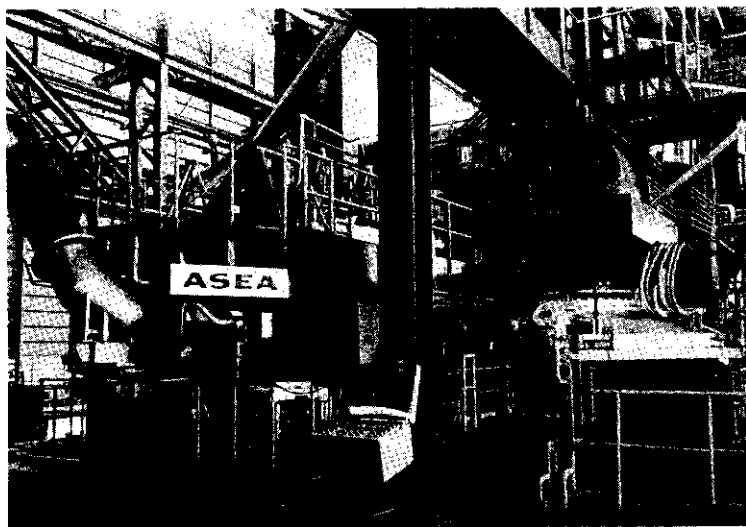


Photo. 1 100 t ladle refining furnace
 (View from arrow position of Fig. 1)

困難なため、80 t 程度を下限にしている。

25~34 t/ch. の範囲が処理可能である。

30 t 取鍋により EF-LRF で処理する場合には、

(2) 鋼 種

ので、内側と上部はアルミナセメントとシャモット粉の混合物でライニングされ、外側を珪素鋼でラミネート状に被って外部への磁束漏洩を抑えている。コイルの内径は 3,450 mm であり、取鍋鉄皮とのギャップは片側 75 mm である。

低周波発生装置を概念的に示せば、Fig. 3 のとおりである。低周波発電機で 90° 位相差をもった 1~1.2 Hz の低周波を発生させ、その出力を磁気増幅器およびエキサイターで増幅した後、それぞれ 2 台の 350 kVA 発電機の界磁巻線に加え、その出力で回転磁界をつくる。溶鋼の運動方向は、取鍋壁に沿って上昇、中心で下降する正転とその全く逆の運動をする逆転のいずれでも可能であるが、通常は正転を常用している。

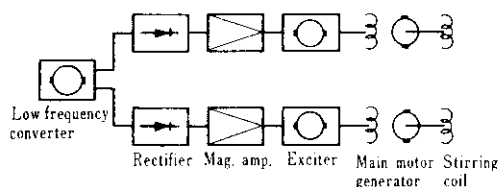


Fig. 3 Schematic diagram of stirring system

スターラーの主な仕様は、次のとおりである。

(1) スターラー

形状 内径 3,450 mmφ
 外径 3,900 mmφ
 高さ 3,100 mm
 給電 水冷ケーブル (4 本)

(2) 低周波コンバーター

発電機 2 台
 型式 KA-97
 定格 350 kVA, 1,180 rpm
 260 V, 1,350 A
 周波数 1~1.2 Hz 可変

電動機 3 相誘導電動機

定格 345 kW, 1,180 rpm
 3,300 V, 3φ, 60 Hz

(3) エキサイター

発電機 2 台
 型式 LAT-180
 定格 4.2 kW, 55 V, 76 A

電動機 3 相誘導電動機

定格 12.5 kW, 1,740 rpm
 440 V, 3φ, 60 Hz

(4) スターラー冷却装置

型式 純水循環式 (熱交換器付)

ポンプ 容量 200 l/min

圧力 6 kg/cm²

(5) コンバーター冷却装置

冷却ファン フィルターおよび熱交換器付

電動機 定格 34.5 kW, 1,740 rpm

2.2.5 脱ガス装置

脱ガス装置は、取鍋自体を真空容器とし、真空カバー、排気ダクトと支持構造物を兼ねたリッドブリッジ (lid bridge)、ピラー (pillar)、蒸気エジェクター、および合金鉄ホッパーなどから構成され、ピラー上半部にダストコレクター兼ガスクララーが内蔵されている。その全体系統図を Fig. 4、計算による排気特性曲線を Fig. 5 に示す。設計条件は次のとおりである。

(1) 到達真空度 操作中 0.05 Torr

(2) 排気速度 保証値 乾燥空気換算
 40 kg/hr at 0.05 Torr

(3) Ar 吹込併用 15 kg/hr 以下

(4) ユーティリティ

冷却水 海水使用 (高炉ポンプ所から送水)
 温度 最高 30°C
 水圧 エジェクター直近 F.L. で
 2 kg/cm² 以上

蒸気 工場ネットワークによる蒸気
 乾き度 97% 以上
 圧力 エジェクター元弁付近で
 9~14 kg/cm²G
 駆動圧 8~9 kg/cm²G

蒸気エジェクターは第 1 ブースター (1a) のみ独立して、ejector tower と pillar の間に水平に取付けられているが、第 2 段~第 5 段は完全に垂直に設置され、ejector tower として、コンデンサー、蒸気弁などとともに高さ約 18m の塔内に収められている。また、第 2 段ブースターと第 3 段ブースターはそれぞれ 4 本が並列に接続されて、第 1 コンデンサーを中心にして塔の支柱を兼ね、

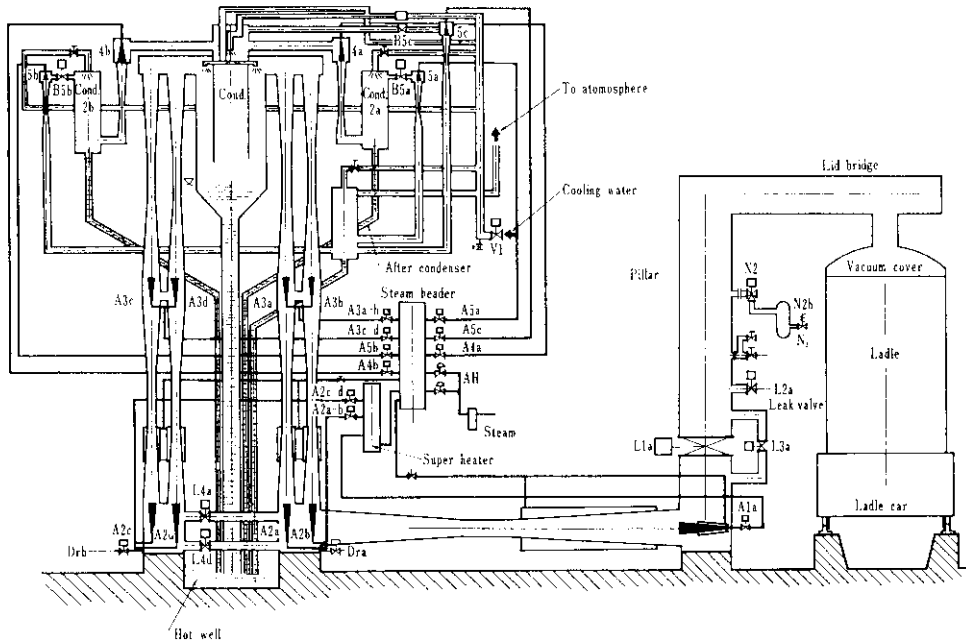


Fig. 4 Schematic diagram of degassing system

その周囲に第4段、第5段エジェクターおよびバルブスタンドなどが配置されている。コンデンサ

ーはいずれも高所に配置して、大気脚を利用し、海水はホットウエルを設けて自然流出式とした。

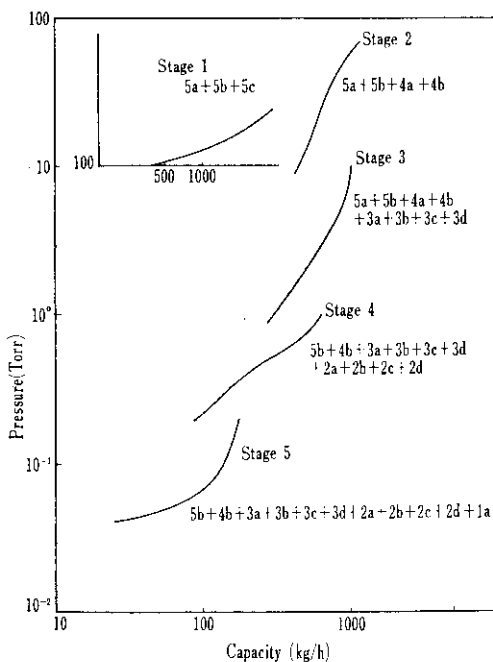


Fig. 5 Pumping capacity of steam ejector

2.2.6 ストッパー装てん装置

ストッパーは空鍋であらかじめ合わせておき、装てんまで予熱炉に装入し、約 350°C で予熱された後、処理終了後、ストッパークレーンによって取鍋内溶鋼中に挿入され、マニプレーターに固定される。ストッパークレーンおよび予熱炉の仕様は次のとおりである。

(1) ストッパークレーン

型式 昇降 油圧シリンダー
ストローク 4,300 mm
旋回、ストッパーつかみ 手動式
荷重 アーム先端にて 500 kg
昇降速度 上昇 160 mm/sec
下降 115 mm/sec

(2) ストッパー予熱炉

型式 電熱式円筒炉
出力 36 kW (12 kW × 3 段)
最高温度 400°C

2-2-7 付属設備

(1) 集塵装置

加熱中は若干の赤煙あるいは白煙を発生するため小規模の集塵装置を設けた。

型式 吸引式バッグフィルター（テترون製バッグ）

排風機 能力 200 m³/min. 450 mmAq
at 130°C

電動機 55 kW, 1,175 rpm
440 V, 3φ, 60 Hz

集塵室 3室 濾過面積 270m²

バッグ 160φ×3,200ℓ
180本

(2) 副原料秤量設備

操作室屋上に設けられた 2 m³×12 槽のバンカーから電磁フィーダーまたはベルトフィーダーにより切り出された副原料を秤量器に受けて計量した後、計量ホッパーからベルトフィーダーによりベルトコンベアーに切出し、これを切換シュートに投入する設備であり、加熱、脱ガスのいずれの装置にも随時遠隔操作により合金鉄、石灰などを投入できる。

(3) 工業用水昇圧ポンプ

各機の冷却水供給圧が 4 kg/cm² を要求されたため、昇圧ポンプを設置した。主な仕様は次のとおりである。

ポンプ 型式 横軸片吸込型渦巻ポンプ
口径 吸込、吐出とも 150 mmφ
容量 150 t/hr
揚程 45m
圧力調節装置付

電動機 37 kW, 1,800 rpm

ディーゼル 日産 U D-334

(4) 取鍋乾燥予熱設備

主な仕様は次のとおりである。

燃料 C重油またはミナス重油

バーナー Q-PAK（蒸気噴射式）

加熱温度 4～5 hr で 850°C

3. 操 業

3-1 標準プロセス

LD-LRFの組合せにおける標準プロセスはFig. 6 のとおりであるが、第2加熱は特別な場合を除いて省略される。EF-LRF の場合も、LRF の精錬については同様であるが、電気炉の精錬法は、鋼種、特に P, S の規格に応じて、1-スラグ除滓出鋼、2-スラグリレードルなどの方法をとる。また、脱水素の必要性が余りない鋼種では脱ガスを省略して加熱、攪拌のみによって精錬を終了する。

加熱開始からストッパーセット完了までの精錬時間は、炭素鋼が、1.5～2 hr/ch., 合金鋼が 2～3 hr/ch. である。

3-2 操業概要

3-2-1 加 熱

加熱初期に石灰石、ボーキサイトなどの flux を添加し、加熱中に、Si, Al, Ti, Zr, B などの成分元素を除く合金鉄はすべて投入され、分析値を確認した後、脱ガスに移行する。平均昇温速度は、初期温度(Fig. 7 参照) および合金鉄添加量に左右されるが、おおむ

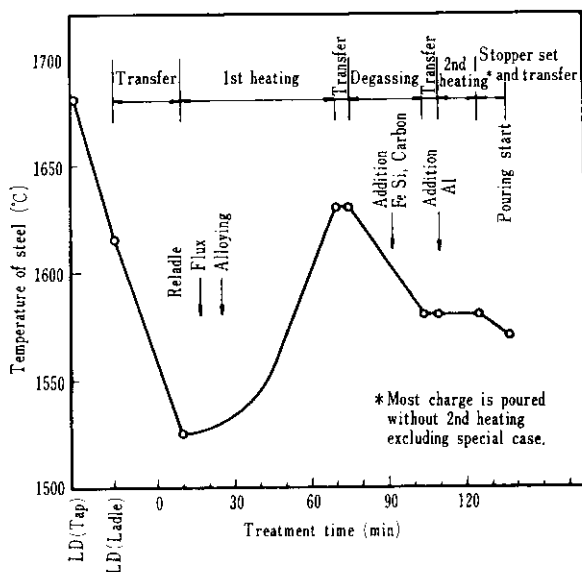


Fig. 6 Practice of refining in ladle furnace

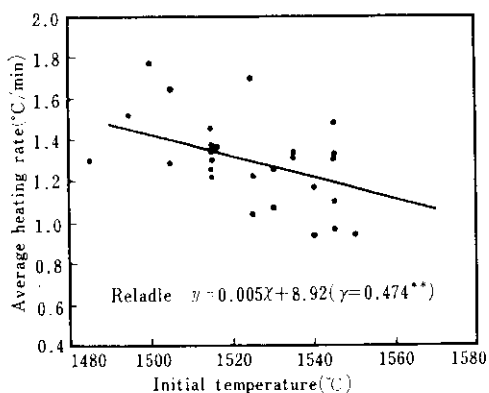


Fig. 7 Relation between heating rate and initial temperature

ね 1~1.7°C/min の範囲である。

P の挙動については、当然のことながら、脱 P は望まれず、復 P が問題になるが、実績では最大 0.003% 以内に収まっている。S については、脱硫が可能であり、3~4 kg/t の石灰添加により、最高 40% までの低下が可能であるが、転炉工場における溶銑脱硫が実施されている現状では、特殊な例を除いて、LRF における脱硫は余り重要ではなく、むしろ脱水素効果を上げるため、flux 使用量は必要最小限にとどめている。

3.2.2 攪 拌

溶鋼の攪拌速度は周波数に比例し、攪拌力は周波数に反比例することが知られているが、1~1.2 Hz 程度の変換範囲では溶鋼の動き（肉眼的観察による）にも酸素含有量にも差が認められない。したがって、現在 1.1 Hz を標準とし、一定値で操業している。供給電流は 1,000~1,250 A で最高出力の 80~95%，でリレードル完了とともに攪拌を開始し、（リレードル中に加炭する場合にはその間も攪拌する）測温時以外は常時スターラーを運転している。

攪拌速度については、合金鉄の溶解混合状況から見ると、添加量にもよるが、Fe-Mn, Fe-Si では 5~10 min, Fe-Cr, Fe-V では 15~25 min, Fe-Ni のような大きな铸塊では、30 min 程度で均一になる。

3.2.3 脱 ガ ス

脱ガス時のボイリングは、セミキルド処理の場合、200~150 Torr, キルド処理では 30~20 Torr 付近から活発になり、10~1 Torr でピークに達し、以後鎮静していくが、セミキルド処理では 15~20 min 間強いボイリングの持続が見られる。ボイリングがほぼ止まる 20~25 min 後に Fe-Si を添加し、10~5 min 間攪拌した後、脱ガスを終了する。脱ガス時間は、100 t 取鍋では 30 min であるが、30 t 取鍋では 15 min で十分である。

Al は、操業当初は脱ガス中にショットの形で添加していたが、歩留まりが不安定なため、現在では脱ガス後に鋼浴中に突込み、5 min 以上攪拌した後、出鍋する方法に切替え、Fig. 8 に示すように比較的安定した歩留まりが得られている。

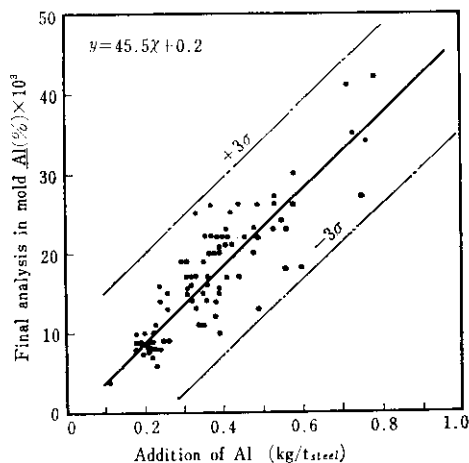


Fig. 8 Yield of Al on adding after degassing

3.2.4 注 入

溶鋼が成分、温度ともに目標値に達すると、スターラーを停止してストッパーを装てんする。処理中ノズルにはスチールウールおよび黒鉛と砂の混合物が充てんされており、注入直前にこれらを除去して溶鋼を流出させ、ノズル内部を洗った後、正常な注入流になるのを確認してノズルを閉塞する。以後の作業は通常の造塊作業と何ら変わるところはない。操業前は、このような変則的な

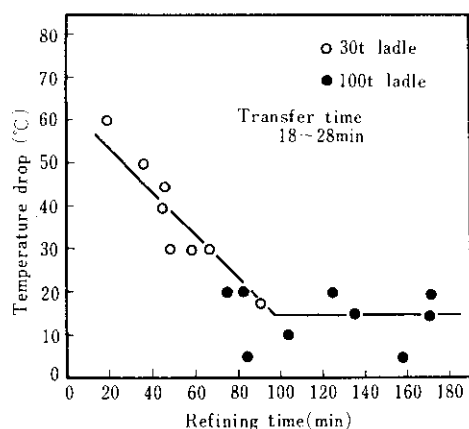


Fig. 9 Temperature drop during transfer after refining

ストッパーセットによる注入事故が懸念されたが、ストッパー事故率は0~0.5%程度で推移しており、駆動モーターおよび制御盤の保守を確実にこなせば信頼度は著るしく高い。

アーク加熱を有するため、注入温度の管理は容易であり $\pm 5^{\circ}\text{C}$ に十分調節できる。また、精錬終了から注入までの溶鋼の温度降下はFig. 9に示すように、精錬時間と関係があり、およそ100minを超えると、ほぼ一定値を示し、約 15°C 程度で

ある。このデータは精錬終了から注入までの移動時間が長い铸鋼について集めたものであるが、実際の鋼塊注入における移動時間は平均13min程度（ノズル開孔時間を含む）であるから、温度降下はこれより少ないものと推定される。

3.2.5 耐火物

取鍋は精錬炉と注入取鍋を兼ねるため、溶鋼の滞留時間は著るしく長く、かつアーク加熱と攪拌の影響を強く受けるので、これに使用する耐火物の選定はきわめて重要な問題である。操業以来、各種の煉瓦を試用した結果、現在Table 1に示す煉瓦を常用しているが、耐用回数は、100t取鍋の場合、スラグ・ラインが8~14回、その他の壁、敷が20~24回、30t取鍋ではそれぞれ16~24回および30~35回になっており、まだ満足すべき状態に達していない。したがって、さらに経済的な耐火物を選定すべく鋭意研究を重ねている。加熱装置の炉蓋は間欠操業のためスポーリングが懸念されたが、現在Table 1に示す煉瓦を使用し、安定して150~200回の寿命を得ている。

Table 1 Refractory for ladle refining furnace

Quality	Use	Ladle		Heating cover	
		Wall, bottom	Slag line	Ramming	Brick
Refractoriness	(SK)	≥ 38	≥ 38	1800°C	≥ 37
Apparent porosity	(%)	26.7	14.7	—	—
Bulk density		2.45	2.92	2.6	2.53
Compression strength	(kg/cm ²)	—	855~1280	—	550
Strength under load	($T_1^{\circ}\text{C}$)	>1520	1700		>1700
	($T_2^{\circ}\text{C}$)	—	1740		
Expansion ratio	(%)	+0.94(1500°C)	+2.15(1500°C)		
Chemical analysis	SiO ₂	22		15	24
	Al ₂ O ₃	73		77	72
	Fe ₂ O ₃	1.1			1.1
	CaO		6~8		
	MgO		88~89		

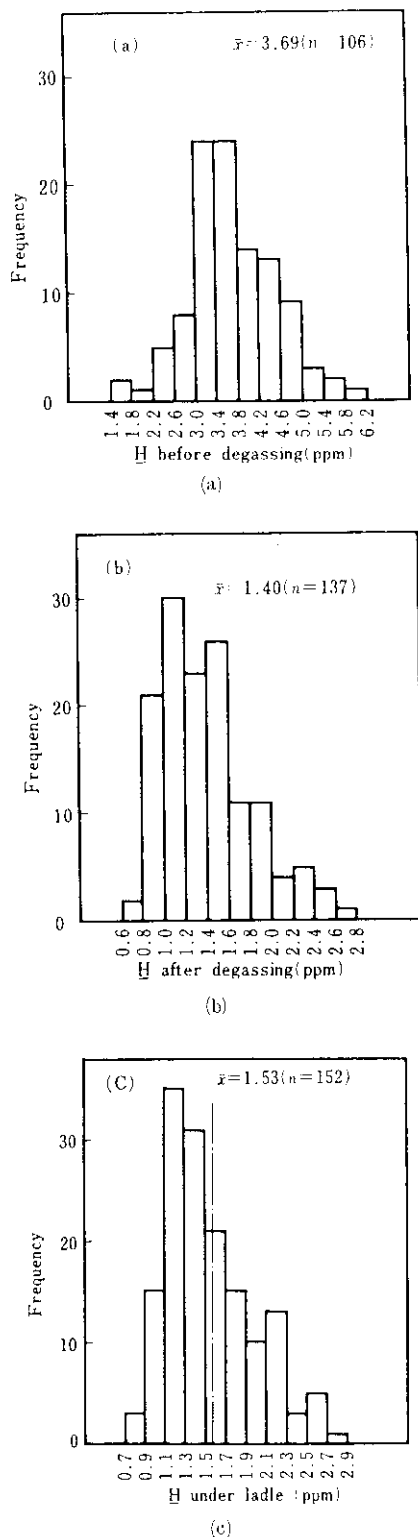


Fig. 10 Hydrogen content in molten steel

4. 品質特性

4.1 水素含有量

LD-LRFにおける水素含有量の推移を Fig. 10 (a)~(c) に示す。本データは脱ガス前の Si が 0.03~0.10% のセミキルド処理ヒートを集めたものであり、サンプリング法は銅モールド注入法 (15φ)、分析は真空加熱抽出法によった。本図によれば、脱ガス後の水素値は平均 1.4ppm で約 90% が 2 ppm 以下に収まっている。脱ガス終了後から注入までの水素の吸収は平均 0.13 ppm であるが、第 2 加熱および取鍋内スラグ層を介する大気からの吸収の他にサンプリング中に受ける大気湿度の影響があるものと推定される。

4.2 酸素含有量

精錬中の溶鋼内酸素の挙動は、Fig. 11 (C 0.1~0.5% の鋼種で Al 添加なし) に示すとおりである。キルド処理の場合には脱ガス前の加熱・攪拌によってすでに低酸素レベルまで到達しており、脱水素を特に必要としない鋼種の場合には脱ガス工程を省略することができる。

一方、溶鋼中の非金属介在物の挙動を調査した結果を Table 2 に示す。非金属介在物の大きさ

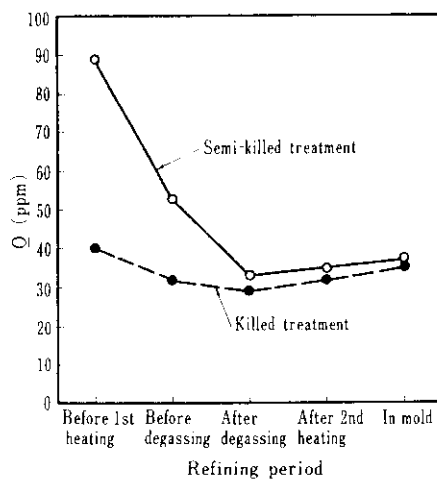


Fig. 11 Behavior of oxygen in steel during refining and pouring

Table 2 Distribution of inclusion size in molten steel during treatment

Deoxidation	Sampling period	Size of inclusion	Number of inclusion (per 6.25 mm ²)				n
			6~12.5 μ	12.5~25 μ	25~50 μ	$\geq 50\mu$	
S.K (No Al)	1		3	0	0	0	3 chs.
	3		5	0	0.3	0	
K (No Al)	1		11	2.5	0	0	2 chs.
	2		2.5	0	0	0	
	3		2.5	1	0.5	0	
K (Al add.)	1		4.3	2	0	0	3 chs.
	2		1	0	0	0	
	3		1.3	0.7	0	0	

Sampling period

1 : Before degassing

2 : After degassing

3 : In ingot case

Deoxidation

S.K : Semi-killed before degassing

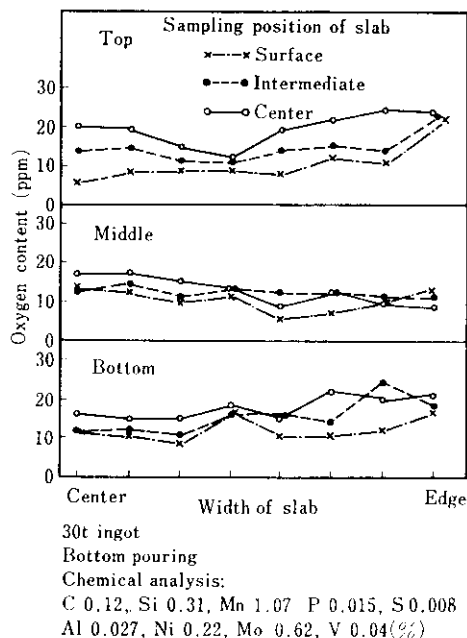
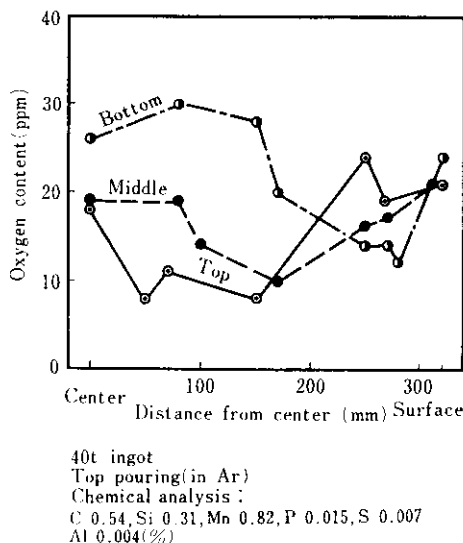
K : Killed before degassing

は、溶鋼からポンプサンプルを採取し光学顕微鏡で測定した。いずれの場合も脱ガス前にすでに大型介在物は認められず、慎重な造塊作業を行なうことによって清浄な鋼塊を得ることができることを示している。

次に製品の酸素分析値を厚板向けスラブ(270 mm 厚さ)および鍛鋼ブルーム(700 ϕ)について **Fig. 12** および **Fig. 13** に示す。Al が添加されている厚板向けスラブの酸素値は底部でも 10~25 ppm ときわめて低い値を示しており、鍛鋼ブルームも底部沈澱品帯相当部にやや高い領域がある他は 25 ppm と低値を示し、従来真空処理材の酸素レベルより良好な水準である。

Table 3は原子炉炉芯材 A533B の 170 mm 厚板の清浄度を示したものであるが、いずれの部位も良好な成績である。

このような結果は、LRF による製品が非金属介在物に起因する欠陥

**Fig. 12** Oxygen distribution in slab for heavy plate**Fig. 13** Oxygen distribution in large forged bloom

が非常に少ないことを裏づけており、厚板の場合におけるボトムスラブの超音波探傷成績がほぼ100%合格に近いこと、鍛鋼品の砂疵発生はほとんど無視できる程度に軽減されていること、SC棒鋼の段削試験成績などでも立証されている。特に従来からむづかしい問題とされてきたAl添加鋼塊の底部におけるアルミナクラスターによる超音波不良に対しては、本プロセスの適用と下注あるいは完全なAr造塊の実施によって飛躍的に改善されたと言える。

4.3 窒素含有量

キルド処理の場合には、窒素はほとんど減少しないが、セミキルド処理では、Fig. 14に示すように処理前の窒素含有量が高いほど脱窒率が大きく、処理前100ppmのときは約50%に達する。

4.4 成分のパラツキ

本プロセスの特徴として攪拌による取鍋内容鋼成分の均一化と成分調整の精密化が挙げられるが

Table 3 Cleanness of heavy plate

Sampling position			$dA_{60 \times 400}$	$dB_{60 \times 400}$	$dC_{60 \times 400}$	$d_{60 \times 400}$
Top	Center	Surface	0.019	0.019	0	0.038
		¼	0.050	0.006	0	0.056
		Center	0.044	0.013	0	0.057
	¼	Surface	0.031	0.025	0	0.056
		Center	0.019	0.013	0.006	0.038
	Edge	Surface	0.044	0.006	0.006	0.056
		Center	0.031	0.006	0.006	0.044
Middle	Center	Surface	0.044	0.019	0	0.063
		¼	0.050	0.013	0	0.063
		Center	0.031	0.019	0	0.050
	¼	Surface	0.031	0.006	0.006	0.044
		Center	0.038	0.013	0	0.051
	Edge	Surface	0.038	0.013	0	0.051
		Center	0.038	0.013	0.006	0.057
Bottom	Center	Surface	0.019	0.006	0	0.025
		¼	0.019	0.006	0	0.025
		Center	0.019	0.019	0	0.038
	¼	Surface	0.025	0	0	0.025
		Center	0.025	0.044	0.006	0.075
	Edge	Surface	0.013	0.013	0	0.026
		Center	0.037	0.019	0	0.056

Chemical analysis: (%)

C 0.19 Si 0.30 Mn 1.35 P 0.013 S 0.007
Ni 0.69 Mo 0.54 Al_{sol} 0.032 O 0.0013~0.0026

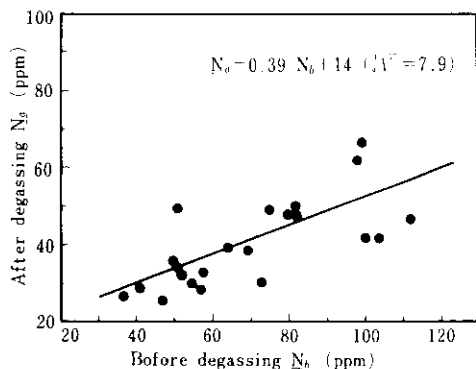


Fig. 14 Elimination of N in steel during degassing

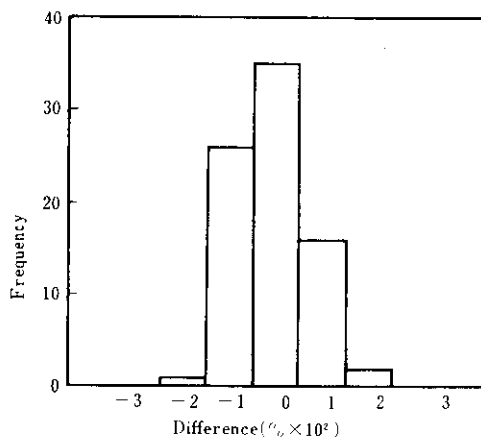


Fig. 15 Difference between aim and ladle analysis of C

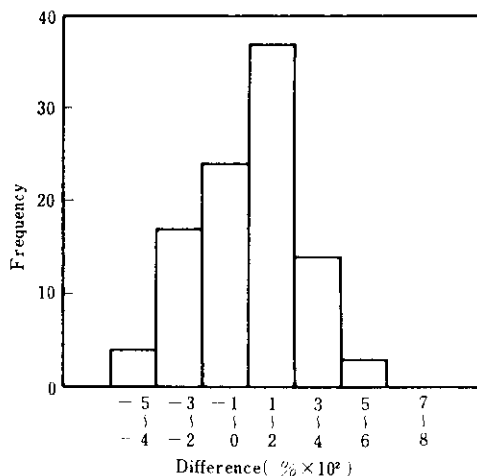


Fig. 16 Difference between aim and ladle analysis of Si

成分調整の状況を実績で見ると Fig. 15 から Fig. 17 に示すとおりである。C は $\pm 0.02\%$, Si $\pm 0.05\%$, Mn $\pm 0.08\%$ は十分満足されるだけでなく入念な調整を行なうことによってこれより狭い範囲に調整可能である。また、造塊代表分析値の定盤間の差はほとんど認められない。

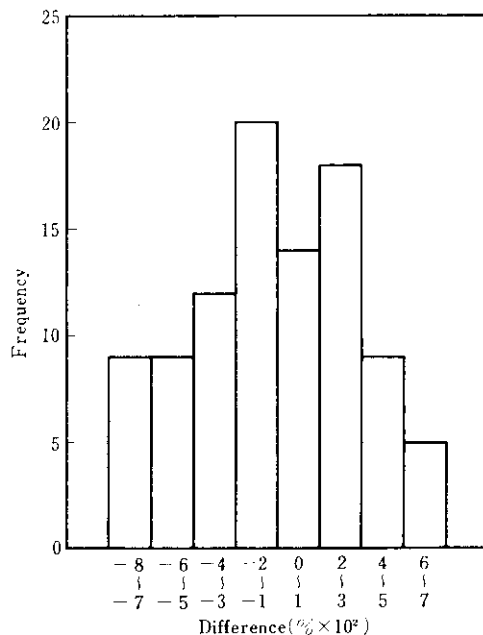


Fig. 17 Difference between aim and ladle analysis of Mn

5. 結 言

わが国で初めて導入された取鍋精錬炉は非金属介在物の軽減という所期の目的に対してその優秀性が立証されるとともに各種合金鋼の厳しい品質要求に対して充分対処し得ることが明らかになり着実に実績を挙げつつある。

おわりに、建設ならびに操業にあたってご協力いただいた関連部課の担当者に心から謝意を表します。