
鉄鋼生産の基盤を支え続ける製鉄・製鋼技術

Ironmaking and Steelmaking Technologies as Fundamentals for the Steel Production

上谷 年男(Toshio Uetani) 別所 永康(Nagayasu Bessho)

要旨：

川崎製鉄の製鉄および製鋼プロセスの近年の技術開発動向と将来展望について総括した。製鉄分野においては安価原燃料の多量使用技術の開発に取り組み、コークス部門では配合炭中微粘炭比 53%，原料処理部門では焼結粉鉱石中ピソライト比 40% を達成し溶鉄コストの低減に大きく寄与している。また，高炉においては装入物分布制御技術などをベースとして生産性，燃料比においてフレキシブルで安定した操業を継続している。さらに，高炉の設備面の改善と安定操業により高炉寿命は飛躍的に延びており，現状は炉寿命 20 年以上を達成している。製鋼分野においては普通鋼精錬での溶鉄予備処理，底吹きあるいは上底吹き転炉と RH 真空脱ガスのプロセスフローの構築により，極低炭素鋼に代表される高纯净度鋼の経済的な大量溶製法を確立している。ステンレス鋼精錬では Cr 鉱石熔融還元炉，高速脱炭用上底吹き転炉，VOD のプロセスフローとダスト処理用 STAR 炉などの技術開発により高純度鋼の効率的な安定溶製を達成している。また，連続鑄造では垂直曲げ型連続鑄造機の採用，鑄型内流動制御の高度化などにより，製品の品質，材質特性の向上，熱間圧延工程との同期化に大きく貢献している。

Synopsis：

Recent R&D activities of ironmaking and steelmaking technologies at Kawasaki Steel are reviewed and the prospect for the 21st century is discussed. In the ironmaking field, efforts to utilize more inexpensive raw materials, such as the application of the high blending ratio of low cost semi-soft coal up to 53% at the cokemaking process and ore blend containing high levels of pisolite ore ratio of 40% at the sintering process have contributed to the cost reduction of hot metal. In the blast furnace technology, stable furnace operations at various levels of productivity and fuel rates have been achieved by the advanced burden distribution control. Owing to stable furnace operations and technological development of furnace equipment and maintenance, the service life of a blast furnace has drastically extended and reached more than twenty years. In the steelmaking process for plain steel grades, economical mass production of clean steel, e.g., ultra low carbon steel for automobile use, has been established by the combination of refining steps including hot metal pretreatment, bottom blowing or top-and-bottom blowing converter refining and RH degassing. In the stainless steelmaking process,

effective and stable production system of high purity stainless steel has been achieved by the development of a new process flow including the smelting reduction process that directly uses fine chromium ore, the top-and-bottom blowing converter process with high decarburization rate and VOD process. This process is linked with a smelting reduction process for recycling chromium containing dust (STAR process). In the continuous casting process, the introduction of a vertical-bending type continuous caster and the advanced method for molten steel flow control in a casting mold have been making a great contribution not only to high surface and internal quality and improved mechanical properties, but also to the synchronization with hot rolling process.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Ironmaking and Steelmaking Technologies
as Fundamentals for the Steel Production上谷 年男
Toshio Uetani
技術総括部 主査(課長)別所 永康
Nagayasu Bessho
技術総括部 主査(部長)・工博

要旨

川崎製鉄の製鉄および製鋼プロセスの近年の技術開発動向と将来展望について総括した。製鉄分野においては安価原燃料の多量使用技術の開発に取り組み、コークス部門では配合炭中微粘炭比 53%、原料処理部門では焼結粉鉱石中ピソライト比 40% を達成し溶鉄コストの低減に大きく寄与している。また、高炉においては装入物分布制御技術などをベースとして生産性、燃料比においてフレキシブルで安定した操業を継続している。さらに、高炉の設備面の改善と安定操業により高炉寿命は飛躍的に延びており、現状は炉寿命 20 年以上を達成している。製鋼分野においては普通鋼精錬での溶鉄予備処理、底吹きあるいは上底吹き転炉と RH 真空脱ガスのプロセスフローの構築により、極低炭素鋼に代表される高纯净度鋼の経済的な大量溶製法を確立している。ステンレス鋼精錬では Cr 鉱石溶融還元炉、高速脱炭用上底吹き転炉、VOD のプロセスフローとダスト処理用 STAR 炉などの技術開発により高純度鋼の効率的な安定溶製を達成している。また、連続鑄造では垂直曲げ型連続鑄造機の採用、鑄型内流動制御の高度化などにより、製品の品質、材質特性の向上、熱間圧延工程との同期化に大きく貢献している。

Synopsis:

Recent R&D activities of ironmaking and steelmaking technologies at Kawasaki Steel are reviewed and the prospect for the 21st century is discussed. In the ironmaking field, efforts to utilize more inexpensive raw materials, such as the application of the high blending ratio of low cost semi-soft coal up to 53% at the cokemaking process and ore blend containing high levels of pisolite ore ratio of 40% at the sintering process have contributed to the cost reduction of hot metal. In the blast furnace technology, stable furnace operations at various levels of productivity and fuel rates have been achieved by the advanced burden distribution control. Owing to stable furnace operations and technological development of furnace equipment and maintenance, the service life of a blast furnace has drastically extended and reached more than twenty years. In the steelmaking process for plain steel grades, economical mass production of clean steel, e.g., ultra low carbon steel for automobile use, has been established by the combination of refining steps including hot metal pretreatment, bottom blowing or top-and-bottom blowing converter refining and RH degassing. In the stainless steelmaking process, effective and stable production system of high purity stainless steel has been achieved by the development of a new process flow including the smelting reduction process that directly uses fine chromium ore, the top-and-bottom blowing converter process with high decarburization rate and VOD process. This process is linked with a smelting reduction process for recycling chromium containing dust (STAR process). In the continuous casting process, the introduction of a vertical-bending type continuous caster and the advanced method for molten steel flow control in a casting mold have been making a great contribution not only to high surface and internal quality and improved mechanical properties, but also to the synchronization with hot rolling process.

1 緒言

日本鉄鋼業の年間粗鋼生産量は、1973年に約1.2億トンのピークに達した後は石油危機、円高などの影響で減少し、ここ10年は1億トンのレベルで推移している。現在の日本の鉄鋼業はこの数量の低下に加えて、販価の軟化および需要家の製品品質の高級化および短納期生産の要求に対応すべく、技術開発およびコスト競争力の一層の強化が求められている。さらに、従来から取り組んできた環境対策に加えて、資源枯渇化、資源リサイクル問題など新たな重要課題も発生してきている。

本稿では、鉄鋼業の競争力の鍵を握る製鉄、製鋼分野の当社における技術開発事例を紹介するとともに、その将来展望について述べる。

2 製鉄、製鋼分野における技術課題

当社の鉄鉄と粗鋼年間生産量の推移を Fig. 1 に示す。90年以降現在に至るまで、千葉、水島製鉄所合計でおおむね鉄鉄1200万吨、粗鋼1000万吨の生産量である。

こうした生産量の停滞期が続く中、鉄鋼メーカーに対して、(1) 国内および国外メーカーに対する競争力の確保、(2) 需要家の厳しい材質および品質要求への対応が求められている。まさしく、鉄鋼業は1973年以前の「量的拡大の時代」から、それ以降現在に至るまでは「高品質鋼の安価量産技術の時代」へと変革してきたと言える。このような環境下において製造コストおよび品質が製鉄・製鋼分野に依存する度合は高く、本分野には、高品質・高機能製品素材をより効率的に安定して下工程に大量供給する使命が、強く求められている。

当社製鉄分野においては、量的拡大が期待できない条件下でコスト競争力を向上させるため、設備の高効率化や安価原料へのシフトが技術開発目標となっている。前者では高炉、コークス炉の長寿命化と高炉、焼結機の生産能力の向上が主要課題である。後者においては原料市場の動向を考慮しつつ主に安価原料の多量使用技術の開発を進めてきた。

製鋼分野においては、鉄鋼製品の品質、材質向上および生産性向上のための技術開発を実施してきた。精錬分野では(1) 溶鋼の高清浄化(C, P, S, N, Oの低減)、(2) 副原料および合金原単位の低減、(3) 鉄歩留まり向上を、連続鋳造分野では(1) 铸片表面、内部品質の改善、(2) 連々数の増加などを目的とした技術開発を推進してきた。

3 製鉄分野における技術動向

3.1 コークス部門

コークス部門の最重点課題は、コスト削減に直接繋がる安価な微

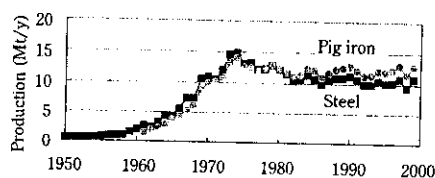


Fig. 1 Trend of pig iron and steel production

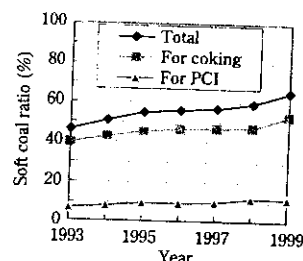


Fig. 2 Soft coal ratio in purchased coal

粘炭の配合比率増加である。Fig. 2に最近の購入石炭中の微粘炭比率の推移を示す。微粘炭比率は年々増加しており、1999年度見込みでは配合炭中で約53%、微粉炭吹き込みを加えると全体で約63%に達する。一方で、配合炭中での微粘炭の多量使用はコークス強度を低下させるため、これを維持するための嵩密度向上対策として調湿炭装束設備(CMC)を導入し、装束炭水分制御技術を開発した³⁾。またコークス強度の推定精度向上を目的として、原料炭配合条件とコークス炉操業条件からコークス気孔構造指数を中間指標として、これを推定する数学モデルを開発し、配合設計に活用してきた⁴⁾。さらに、最近では炭種間の相互作用を考慮したコークス強度推定モデルを新たに開発し、安価劣質炭の多量使用に貢献している。このモデルは多銘柄の配合炭を2炭種の組み合わせとしてとらえ、コークスの強度をこの2炭種の単味の強度の相互作用も考慮した荷重平均として計算するものである⁵⁾。

コークス部門のもう一つの重要課題は炉寿命の延長である。千葉製鉄所5コークス炉の稼動年数34年を筆頭に当社のコークス炉も老朽化が進行している。操業面での押し詰まりは炉寿命を縮める最大の要因と考えられるがハードウェアとしてガラスコーティング、カーボンスカーフナーなどの対策を実施している。また、ソフトウェアとしては炉壁とコークスケーキ間のクリアランスの推定や押し出し時のコークスケーキの安定性を評価する数式モデル⁶⁾などを開発し、これを石炭配合に適用している。これらの改善の結果、水島製鉄所では押し詰まりをなくすことに成功している。保全面では窯口溶射装置の開発、溶射材の改善、窯口レンガの短期間積み替えなどによる炉体補修を推進し、寿命延長を図っている。

自動化については1997年に千葉製鉄所6,7コークス炉で完全自動化を行い⁷⁾、現在は無人化を達成している。水島製鉄所5コークス炉においても1996年12月には装炭車の無人化を行っている⁸⁾。

3.2 原料処理・焼結部門

原料処理・焼結部門における主要課題である原料ハンドリングコストの低減、焼結での安価鉱石の多量使用、未利用資源のリサイクルの推進を目標に技術開発を押し進めてきた。

原料のハンドリングに関しては1995年の水島製鉄所における大型連続式アンローダー1号機(荷揚げ能力鉱石3300t/h、石炭2200t/h)に続き1998年には同能力の2号機を導入し荷揚げ能力の向上、滞船料の削減に寄与している⁹⁾。

焼結部門においては安価鉱石としてピソライト鉱石の配合増大に取り組み成果をあげている。Fig. 3にピソライト鉱石比率(購入ピソライト鉱石/購入粉鉱石)の推移を示す。1993年以降ピソライト比率は上昇し1995年には50%を超えた。しかし、1996年以降は後述するようにコスト低減のために処理鉱比率を低下させることを優先させておりピソライト比率はやや低下している。

ピソライト鉱石は多孔質で結晶水を多く含む特徴があるため、こ

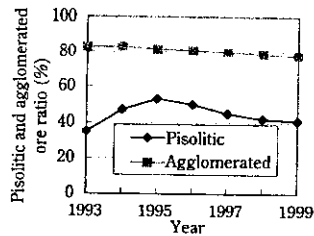


Fig. 3 Pisolitic and agglomerated ore ratio

れを多量使用するには焼結時の融液の物理特性改善とベッド下部への水分凝縮対策が重要となる。融液特性に関しては、X線CT焼結実験装置を用いた解析によりピソライト鉱石を多配合した場合融液の流動性が低下することで塊状化が停滞し、焼結鉱の強度が低下する。この融液の流動性の改善にはミルスケールが有効であることが実機でも確認されている¹⁰⁾。また、ベッド下部の水分凝縮に関しては、この水分が上昇し原料層の通気抵抗が大きくなることで通気性が悪化する。これに対しては原料下部に通気スリットを設け通気性を改善する技術を開発し実機化している¹¹⁾。

また、生産性向上対策としては磁気偏析装入装置を開発し¹²⁾、当社のグループ会社であるPSC (Philippine Sinter Corp.)を含め全社の焼結工場に導入している。同装置は磁力を利用し焼結原料中の磁性を有する原料(ミルスケール、返鉱など)の装入時の速度を低下させるものであり、これによりベッドへの装入嵩密度が低下し通気改善を図ることが可能となる。さらに、ミルスケール、返鉱は易溶融性でありこれらを上部に偏析させることにより上部の歩止改善が期待できる。

これ以外にも「2段装入法」と称する生石灰製造設備¹³⁾や断熱型サイドウォールも導入され、歩止改善に効果を発揮している。

資源リサイクルに関しては溶鉄予備処理設備での脱P能力の向上の結果、転炉スラグを焼結の100%リサイクルすることが可能となった。従来利用が困難であった所内発生湿ダスト、スラジ類についても焼結での利用可能性を検討し、転炉湿ダスト、圧延スラジ、酸洗スラジなどを焼結ミキサーにスラリー状態で搬送し使用している。

3.3 高炉部門

高炉の最重点課題は安定操業を基盤としたコストダウンの追求である。Fig. 4に高炉の出鉄比の推移を示す。1996年10月以降の千

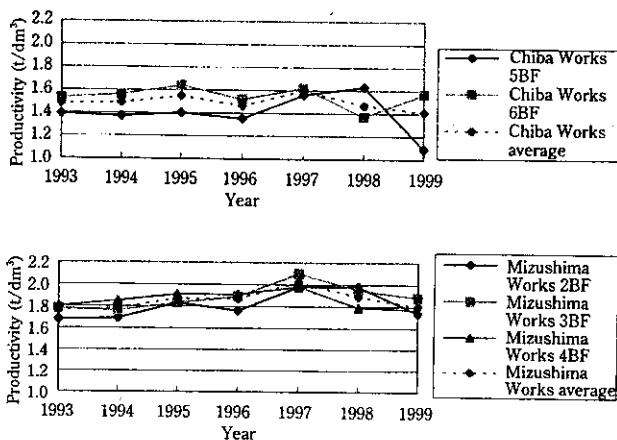


Fig. 4 Trend of productivity

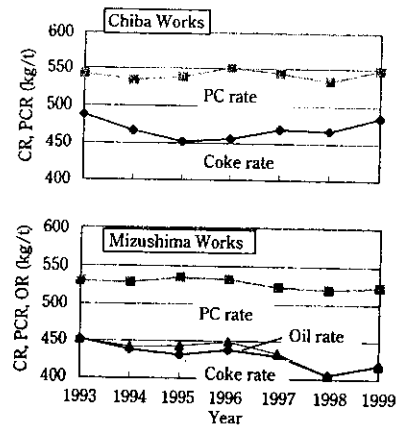


Fig. 5 Trend of coke, PC and oil rates

葉製鉄所から水島製鉄所への生産のシフトと需要増により、水島製鉄所において1997年には高出鉄レベルを達成し、その後はやや減産傾向にある。1997年の高出鉄比操業時(出鉄比 2.1 t/dm^3)には従来の増産時に比較して処理鉱比の増加を抑えとともに、特にコークス品質を向上させずに安定操業を達成している¹⁴⁾。一方、千葉製鉄所第5高炉においては1998年以降出鉄比を大きく低下させ1999年には約1.0の超低出鉄比操業を行っている。超低出鉄比操業時の課題であった出鉄Siの上昇を、高炉羽口前理論燃焼温度を低下することにより抑止し、低処理鉱比安定操業を達成している¹⁵⁾。

Fig. 5に燃料比の推移を示す。1998年2月の水島製鉄所第2高炉の微粉炭吹き込み開始により、全社で微粉炭吹き込み設備が稼動した。コストダウンとコークス炉の負荷軽減の観点から、現状では微粉炭吹き込みはほぼ能力最大で操業されている。燃料比に関しては千葉製鉄所は水島製鉄所に比べて $10\sim 20\text{ kg/t}$ 高めで推移しているが、これは千葉製鉄所においては発電に用いるためのガスをより多く発生させる操業を行っているためである¹⁶⁾。

当社では高炉装入物の分布制御技術を高炉の安定操業と安価原料(細粒原料)の多量使用、高出鉄比操業のキーとなる技術と位置付け新装入装置の開発と分布制御技術の確立を進めてきた。

細粒原料の多量使用には異なった粒度、品質の装入物を別々に装入する多バッチ装入が必要でありこのために1990年6月水島製鉄所第3高炉(3次)に3パラレルバンカー(3PB)を設置した¹⁷⁾。これにより同高炉では多バッチ装入を行なうことで細粒焼結鉱を17%まで使用する技術確立した¹⁸⁾。

さらに、水島製鉄所第3高炉の実績をふまえて1998年には千葉製鉄所第6高炉(2次)に新装入装置を導入した。Fig. 6にその概要を示すようにこの新装入装置は、従来の3PBに加え逆傾動装入、落下軌跡の垂直化などの新機能を取り込んだ設備となっている¹⁹⁾。同高炉ではこの新装入装置を活用することで処理鉱比を大きく低下させ(2000年2月実績67%)コストダウンに寄与している。

高炉の長寿命に関しては近年飛躍的な進歩が認められる。Fig. 7に現在稼働中の高炉の稼働履歴を示すが1980年以前は5年前後と短命であったが、現状はほぼ20年以上の炉寿命が期待できるようになっている。千葉製鉄所第6高炉(1次)は20年9ヶ月という当時の世界最高寿命を達成し、1998年3月に吹き卸された。その後水島製鉄所第2高炉(3次)は1999年12月に千葉製鉄所第6高炉(1次)の高炉寿命の世界記録を更新し、現在もこの記録を更新中である。従来から、高炉の寿命を決定する要因は炉体冷却設備の損傷と炉底レンガの浸食といわれている²⁰⁾。千葉製鉄所第6高炉、水島製鉄所第2高炉においてはこれらの設備面の改善と安定操業を

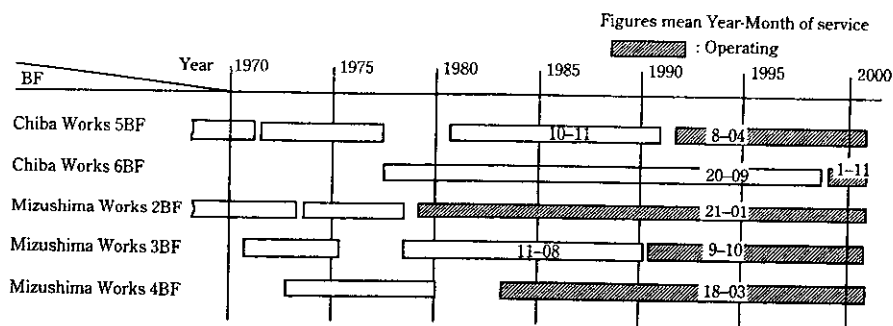


Fig. 7 Transition of the lives of the blast furnaces in operation in Kawasaki Steel (as of April, 2000)

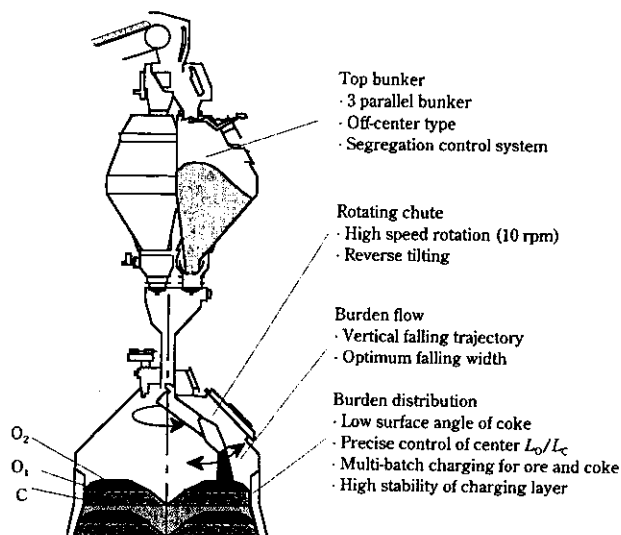


Fig. 6 New top charging system equipped to No. 6 BF at Chiba Works

ベースとした炉内ガス流分布制御技術などの向上により長寿命を達成している。

また、高炉の改修においては従来の短期改修でも 100 日前後を要していた。1998 年の千葉製鉄所第 6 高炉の 2 次改修では大ブロック法の開発により改修期間 62 日間の超短期改修を実現した。大ブロック工法とは旧炉体大ブロックで解体し事前に大ブロック化しておいたリング状の新炉体をジャッキアップ方法で組み立てる方法である。

3.4 新製錬

新製錬の分野では 1994 年に 2 段羽口式コークス充填層型還元炉 (STAR 炉) を千葉製鉄所において実機化した²⁰⁾。STAR 炉は、製鋼のステンレス精錬ダストを塊成化 (ブリケット) セず粉状のまま直接処理するプラントであり、高歩止でダスト中の Cr, Ni などの有価金属分の回収が可能となっている。これにより現在ではステンレス精錬ダストは全量再利用され、後述するようにステンレス精錬コスト低減に寄与している。

また、同様のコークス充填層型還元炉を用いて電気炉のダストから亜鉛と鉄を回収するプロセスであるエネルギー創生型先進ダスト製鉄炉 (Z-STAR 炉) も水島製鉄所において開発が進められ実機化されている²²⁾。

3.5 製鉄技術の将来展望

製鉄分野の今後のニーズは (1) 生産量、燃料比などが変動する条

件下での高度安定操業の確立、(2) 安価原料の使用などによるさらなる溶銑コストの低減、(3) 設備の長寿命化、(4) 資源リサイクル、環境対応技術の開発である。

コークス部門においては課題は炉体延命と環境改善を進める中でコストダウンの追求である。このコストダウンのベースは使用側である高炉の必要とする品質の設定の明確化とさらにそれを達成するための石炭の配合理論の構築である。また、稼働炉の炉命延長の実施とともに、SCOPE21 (次世代コークス製造技術開発に関する国家プロジェクト) のような現状のコークス炉に変わる次期プロセスの確立も必要となる。

焼結原料面では良質の鉄鉱石 (豪州ブロックマン鉱石) が枯渇し、結晶水の多いピソライト鉱石、微粉が多いマラマンバ鉱石の比率が増加していくことが予想される。したがって、焼結部門の課題はこのような原料条件が悪化する中で生産性の向上および高炉で求められる品質 (高強度、高被還元性など) 向上である。

高炉においては今後のコークス炉の寿命を考えれば、低コークス比へのニーズは高まるといえる。さらに、生産の弾力性という面からは高出鉄比操業が要求されることとなる。このためには必要とされる原料品質の造り込み技術をベースとして高炉の装入物分布、出鉄率などの技術のレベルアップが不可欠となる。また、高炉の長寿命化に関しては現状 20 年以上を達成しているとはいえ改修コストは莫大な投資となるため今後とも更なる炉命延長技術の開発を継続して行く必要がある。

4 製鋼分野における技術動向

4.1 溶銑予備処理

高純度鋼 (低酸素濃度鋼、高純度鋼) の大量安定溶銑を目的に、転炉精錬での脱 P 機能を分化し、事前に脱 P、脱 S を実施する溶銑予備処理プロセスを、千葉製鉄所 (1984 年)、水島製鉄所 (1988 年) 両製鉄所にそれぞれ導入した^{23,24)}。溶銑予備処理比率は年ごとに増加し、現在では千葉、水島製鉄所ともに約 90% の値を示している。水島製鉄所の溶銑予備処理プロセスの概要を Fig. 8²⁰⁾ に示す。高炉の鉄床では、ダストなどの酸化鉄をプラスチックする鉄床脱珪設備が設置されている。高炉—転炉工場間の溶銑予備処理センターでトビードカーを反応容器とした脱 P および脱 S 処理を実施する。脱 P には、生石灰、鉄鉱石などを溶銑浴中に吹込み、それに続く脱 S 時には石灰系脱硫剤あるいはソーダ灰を吹込む。当社では、溶製鋼種に応じた各種の底吹きあるいは上底吹き攪拌型転炉を有しており、予備処理溶銑吹錬のメリットを効果的に享受することができる。溶銑予備処理の適用により、(1) 転炉副原料、合金鉄原単位の低減、(2) 鉄歩留まり向上、(3) 転炉スラグ量の低減、(4) 取鍋ス

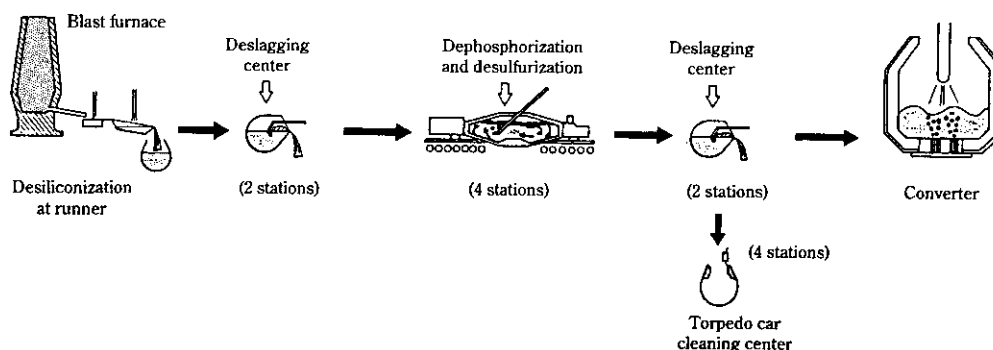


Fig. 8 Hot metal pretreatment process at Mizushima Works

ラグの改質による溶鋼の清浄度向上などのメリットを得ることができる。

4.2 転炉精錬

当社の先達が、精錬プロセスの重要要素技術は「溶鋼の攪拌」であるという信念のもと、1977年千葉製鉄所に底吹き転炉を導入した²⁵⁻²⁷⁾。以来、当社の技術開発事例が牽引車の役を担い、世界の転炉精錬技術が目覚ましい発展を遂げたといっても過言ではない。底吹き転炉は従来より反応性の面からは上吹き転炉を凌駕するものと予測されていたが、当時炉底寿命が高々500ヒート程度のものでしかなかった。当社においては、以下の各種技術開発による転炉耐火物寿命の延長を実現し、底吹き転炉を大量生産可能な高生産性転炉へと進化させた。

(1) 吹錬自動制御法の開発²⁵⁻²⁷⁾

底吹き転炉にセンサーランスを設置し、吹き止め時の鋼浴炭素濃度、温度の同時的中を目的とした動的吹錬終点制御システム、SMART (system for measuring and attaining the refining target) を開発した。鋼浴炭素濃度、温度の同時的中率は1979年2月には98.8%に達し、再吹錬比率も1.2%と極めて低いレベルにまで減少できた。

(2) 迅速出鋼法の開発²⁵⁻²⁷⁾

SMART法をさらに発展させて、鋼浴Mn、P濃度などの推定制御法も確立し、転炉吹き止め後、鋼浴温度・成分の測定を実施せずに、直ちに倒炉・出鋼する迅速出鋼法QDT (quick and direct tapping) を開発した。

(3) 羽口耐火物の開発²⁵⁻²⁷⁾

底吹き転炉の羽口耐火物として、(a) 耐スポーリング性に優れる、(b) 熱伝導率が高く、弾性率が高い、(c) スラッグの浸食に耐える、耐火物が要求とされた。こうした要求に対し、加熱時に発生する耐火物の亀裂を測定するAE (acoustic emission) 測定システムの活用、5t試験転炉での確性実験を経て、MgO-20%C羽口レンガが開発され、炉底寿命延長に大きく貢献することとなった。

上記、(1)～(3)の技術開発により、底吹き転炉の炉底寿命は2000ヒート以上に向上し、大量生産に適合した高生産性プロセスを構築することができた。転炉の底吹き化により得られるメリットを以下に示す。

(1) 脱炭素効率が高く、転炉内スラッグが過酸化になることはない。(2) スロッピングなどがないため操業の安定性が確保される。(3) 鋼およびMn歩留まりの向上、脱酸剤原単位の低減が可能である。(4) スラッグ/メタル間の反応が促進され、同一スラッグ濃度では脱P、脱Sが促進される。(5) 鋼浴およびスラッグの成分・温度が均一であり、炉内反応の再現性に優れる。(6) スピットング、スロ

ッピングがないため、炉口とフードを連結するスカート部の間隙を小さく設定でき、転炉排ガス回収効率を大幅に向上することができる。

このような底吹き転炉法の成功は従来の上吹き転炉に底吹き機能を具備させた上吹き転炉法波及の契機となった。千葉製鉄所、水島製鉄所においても、底吹き転炉以外に上吹き転炉^{27,28)}として、炉底より少流量の不活性ガスを単管集合体より吹込むLD-KGC法、あるいは炉底の2重管羽口より酸素を吹込むK-BOP法が採用され、普通鋼ばかりでなくステンレス鋼の精錬にも活用されている。

4.3 2次精錬 (取鍋精錬)

自動車用薄板材に代表されるように、製品の加工性向上および冷間圧延後の連続焼鈍プロセスの適用のために、極低炭素鋼 (C < 20-30 ppm) の大量溶製ニーズが高まった。こうした要求に応え、RH (真空脱ガス装置) における高速脱炭技術の開発が進められた。1988年千葉製鉄所3RHで真空脱ガス槽内に水冷式の酸素ランスを上部より挿入し、溶鋼面に酸素を吹き付けるプロセス (KTB法²⁹⁾, Fig. 9) が工程化された。本法は、脱炭反応速度の促進、真空槽内での二次燃焼による溶鋼の熱補償を図ることができ、転炉出鋼温度の大幅低減、出鋼炭素濃度の高め設定が可能となった。その結果、鉄歩留まり向上、転炉耐火物寿命の延長などのメリットを得ることができた。さらに、RHプロセスでの溶鋼脱炭速度に及ぼす環流管径、真空下部槽内溶鋼表面積、取鍋容量などの装置条件の影響を明らかにし³⁰⁾、この解析結果に基づき1991年千葉、水島製鉄所で環流管径および下部槽径をそれぞれ従来の1.25、1.4倍にしたRH装置が設置された。これにより、極低炭素鋼の高速大量溶製が可能となった。

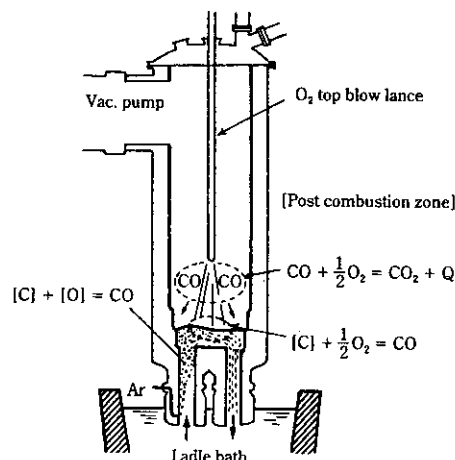


Fig. 9 Schematic illustration of KTB

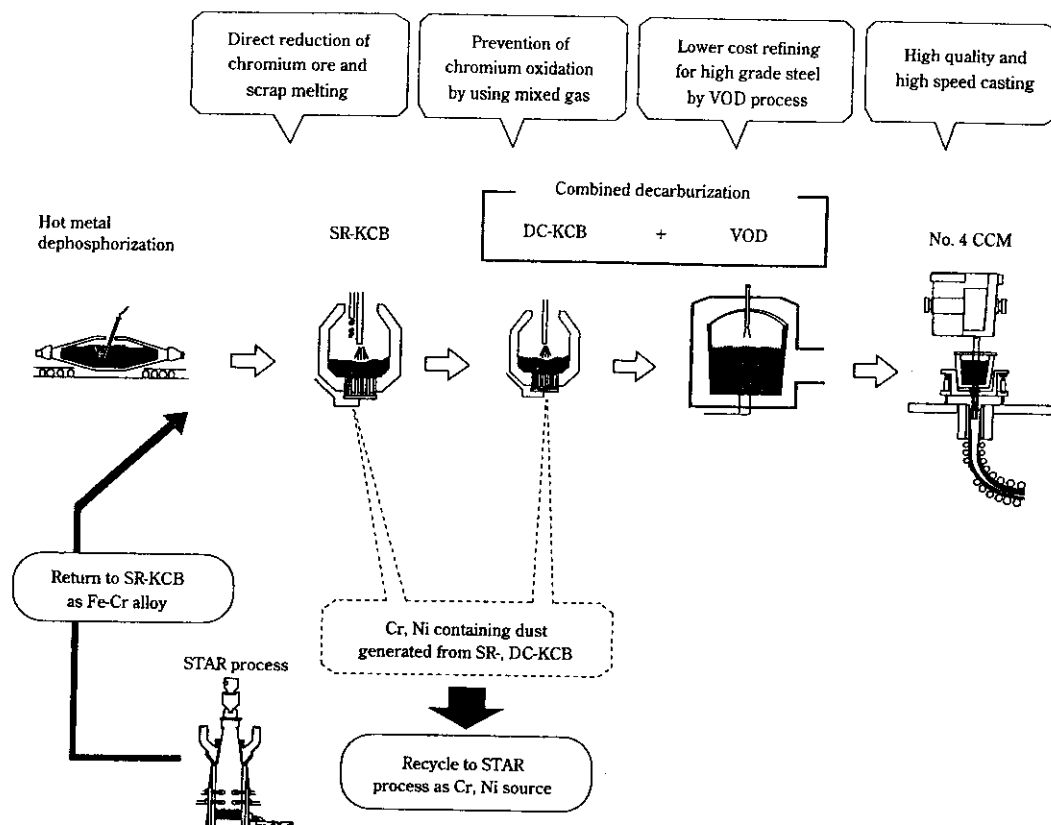


Fig. 10 Outline of stainless steelmaking process

4.4 ステンレス精錬

千葉製鉄所のリフレッシュ（千葉製鉄所第4製鋼工場および第3熱間圧延工場の建設を含む）が1991年より5年の歳月をかけて実施された³¹⁾。製鋼部門では能力・品質の面で限界に近づきつつあった第1製鋼工場の代替として、1994年、ステンレス鋼を中心とした特殊鋼専用の新製鋼工場（第4製鋼工場）が建設された。第4製鋼工場のステンレス鋼製造プロセスの概略をFig. 10³²⁾に示す。そのプロセスの特徴は、(1) 石炭エネルギーによるクロム鉱石溶融還元法を採用し、原料選択の自由度の高い溶製プロセスを確立したこと、(2) 溶融還元炉—高速脱炭炉—VODプロセスでの製・精錬機能分化による高純度（極低炭素、極低窒素、極低硫鋼）フェライト系ステンレス鋼の溶製プロセスを確立したこと、(3) ステンレス鋼ダスト処理専用炉であるSTAR炉を建設し、ダスト中のCr、Niを溶解、還元し、ステンレス原料としてリサイクル可能なものとし、環境を重視した都市型製鋼工場としたことにある。

4.5 連続 casting

(1) 普通鋼薄板用スラブ連続 casting 機

前述した自動車用薄板材に代表される極低炭素鋼素材の供給に際し、連続 casting 工程においては高生産性を維持したうえで铸片表面および内部品質の厳格化が要求された。こうした背景から、1993年水島製鉄所第4連続 casting 機が建設された。本機は介在物の浮上分離を促進する意味から、大容量70tタンディッシュを備え、垂直部3mを有する垂直曲げ型連続 casting 機である³³⁾。他の主な特徴を以下に示す。

(a) タンディッシュ熱間再使用：タンディッシュ内の残鋼を排出して短時間のうちに熱間再使用する技術である。タン

ディッシュ加熱を実施する場合は窒素ガスジェットバーナーを用い、付着地金の酸化を防止し、铸片ボトム品質の向上に努めている。

(b) 連続 casting—圧延間の铸片輸送：熱間圧延工場と連続 casting 工場を、保温室構造を有した熱片無人搬送台車（Dライナー）で結び、加熱炉への850°C以上の高温铸片装入を可能としている。

(c) 铸型内溶鋼流動制御技術：铸型内の溶鋼流動は铸片品質と密接に関係している。当社では铸型内溶鋼流動の制御法として铸片全幅均一に上下2段の静磁場を铸型内溶鋼に印加するFCモールド（flow control mold）³⁴⁾が1991年千葉製鉄所第3連続 casting 機で、ついで1993年水島製鉄所第4連続 casting 機で工程使用されることとなった。

普通鋼製品の表面および内部品質は、上述した手法以外に、取鍋あるいはタンディッシュ内溶鋼の再酸化防止、浸漬ノズル形状・材質の改善、ロールピッチ短縮による内部割れ防止、2次冷却の最適化、などにより大幅に向上した。一例として冷間圧延鋼板の製鋼起因表面欠陥発生率の推移をFig. 11³⁵⁾に示す。最近の7～8年で欠陥率は1/10に低減していることが分かる。

(2) ステンレス鋼、高炭素鋼用スラブ連続 casting 機

ステンレス鋼、高炭素鋼の高品質化と高速 casting 化の両立を目的として、1994年千葉製鉄所第4連続 casting 機が建設された³⁶⁾。铸片品質の確保のため、ステンレス鋼では世界初の垂直—曲げ型連続 casting 機を採用している（Fig. 10）。曲げ点数の多数化、ロールピッチ短縮、幅切り制御可能なミスト式2次冷却方式の採用、浸漬ノズル形状改善などにより表面割れ、内部割れを防止し、かつ介在物含有量の少ない铸片を高速で casting している。ま

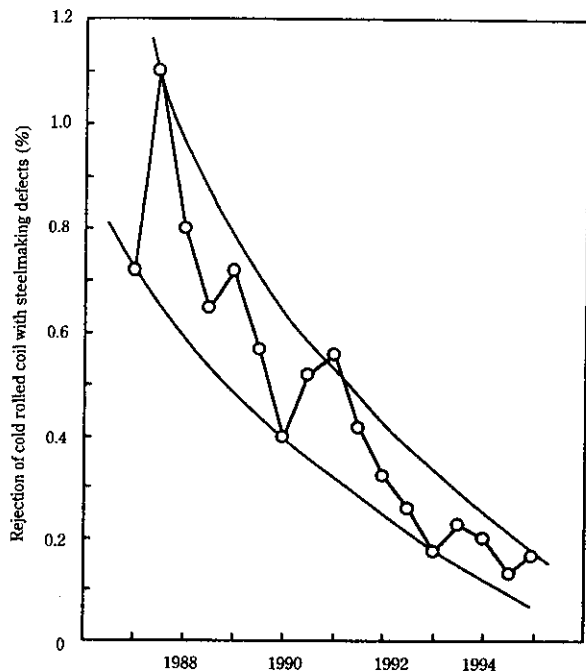


Fig. 11 Improvement of surface quality of cold rolled coil with steelmaking defects

た、ステンレスアルミキルド鋼種の高清浄化を目的に脱酸能力の高い遠心分離タンディッシュが工程使用された。ちなみにSUS304, 430の量産鋼種の最大製造速度はそれぞれ1.6, 1.3 m/minと、世界で最高速のレベルを達成している。さらに13Cr シームレスパイプ用素材、メタルハニカム素材用20Cr-5Al鋼の高速安定製造も実現化されている。

(3) 連続鍛圧法によるブルーム铸片の偏析制御

凝固末期の铸片を一对の金型を用いて連続的に大圧下する連続鍛圧法が1990年、水島製鉄所第3ブルーム連続铸造機に設置された²⁹⁾。本プロセスは中心偏析およびセンターポロシティの解消に効果を挙げており、線棒製品の高機能化に貢献している。

4.6 製鋼技術の将来展望

精錬分野の今後のニーズは(1)生石灰などの精錬剤の利用効率向上、(2)精錬反応速度倍増による設備集約および高生産性の確保、(3)ダスト・スラグの発生量削減とリサイクル技術の開発、および省エネルギーなどの環境対応技術と考えられる。この20~25年間の精錬プロセスは、ガス吹込み、粉体吹込みのまさしく「強撈拌力利用とインジェクションメタラジーの時代」であった。今後それら

に代わる要素技術、たとえば広空間強磁場利用などのシーズ技術の創製とそれを安価でシンプルなプロセスへ実現させるための技術開発が熱望されている。

連続铸造分野の今後の課題は、高生産性、铸片品質の向上、短納期生産の極限を追求したものであろう。そのためには以下の技術的ブレークスルーが期待されている。(1)铸片表面および内部品質を向上させた無欠陥铸片の製造、(2)注湯速度倍増技術によるストランド集約、生産能力の柔軟性確保、(3)非定常部を極小化するための異鋼種混合防止技術の確立、(4)铸型潤滑、初期凝固铸片の緩冷却、铸型内溶鋼への巻き込み防止などの多くの機能を合わせ持つ高機能モールドパウダーの開発。

5 結 言

鉄鋼素材を下工程に供給し、鉄鋼業の基盤を支え続けている製鉄および製鋼プロセスの近年の技術開発動向と将来展望について総括した。製鉄、製鋼分野の技術開発は今後とも地域社会との環境調和を図りつつ、高品質・高機能鉄鋼製品素材を短納期で安定・大量生産することを目的に進めていくものと考えられる。

製鉄分野においては

- (1) 鉄鉄コスト低減のために、安価原料の多量使用技術の開発に取り組み、現状配合炭中微粘炭比53%、焼結粉鉱石中ピソライト比40%を達成している。
- (2) 装入物分布制御技術などをベースとして生産性、燃料比においてフレキシブルで安定した高炉操業を継続している。
- (3) 高炉の設備面の改善と安定操業により高炉寿命は飛躍的に延びており、現状は炉寿命20年以上を達成している。
- (4) ステンレス鋼精錬ダストや電気炉ダストを再資源化するためのコークス充填層型還元炉を開発し、千葉、水島の両製鉄所で実機化している。

製鋼部門においては

- (1) 普通鋼精錬分野では、(a)溶鉄脱P、脱S予備処理、(b)底吹きあるいは上底吹き転炉、(c)高速脱炭、熱補償可能なRH真空脱ガスのプロセスフローの構築により、極低炭素鋼に代表される高純度鋼の経済的な大量溶製法を確立した。
- (2) ステンレス鋼精錬分野では(a)Cr鉱石溶融還元炉、(b)高速脱炭用上底吹き転炉、(c)VODのプロセスフローと(d)ダスト処理用STAR炉の採用などの技術開発により原料選択の自由度の高い効率的な高純度鋼の溶製法を確立している。
- (3) 連続铸造分野では、(a)垂直曲げ型連続铸造機の採用、(b)铸型内流動制御の高度化などにより、铸片の表面および内部品質を向上させ、製品の品質・材質特性の向上、熱延工程との同期化に大きく貢献している。

参 考 文 献

- 1) 鈴木孝久、藤森寛敏：川崎製鉄技報，29(1997)1, 1
- 2) 板谷 宏：川崎製鉄技報，31(1999)1, 1
- 3) 坂本誠司、井川勝利、反町健一：材料とプロセス，9(1996), 40
- 4) 坂本誠司、井川勝利、反町健一：材料とプロセス，9(1996), 652
- 5) 坂本誠司、井川勝利：材料とプロセス，11(1998), 97
- 6) 渡壁史朗、原 義明、武田幹治、板谷 宏、杉辺英孝：材料とプロセス，10(1997)154
- 7) 渡辺宗一郎、鎌野秀行、松本敏行：材料とプロセス，10(1997), 158
- 8) 本間道雄、浜木 誠、伊藤正治：材料とプロセス，11(1998), 845
- 9) 大神正道、細見和夫、林岡卓也：川崎製鉄技報，29(1997)1, 19
- 10) 主代晃一、大山伸幸、井川勝利：川崎製鉄技報，29(1997)1, 24
- 11) 主代晃一、小西行雄、井川勝利：鉄と鋼，83(1997)1, 413
- 12) 大山伸幸、主代晃一、井川勝利：材料とプロセス，11(1998), 225
- 13) 佐藤曉彦、安田素郎、石原直樹：材料とプロセス，10(1997), 192
- 14) 川出 修、山本哲也、木口 満、山内 豊：材料とプロセス，10(1997), 871
- 15) 塩沢 亨、高嶋暢宏、鎌野秀行、西村博文、松本敏行：材料とプロセス，12(1999), 712

- 16) 安野元造, 西村博文, 小林敬司, 大西慎吾, 佐久間義朗: 材料とプロセス, 6(1993), 44
- 17) 宮川昌治, 武田幹治, 田口整司, 森本照明, 藤田昌男, 藤森寛敏: 川崎製鉄技報, 23(1991)2, 130
- 18) 沢田寿郎, 上谷年男, 谷吉修一, 菅原英世, 山崎 信: 鉄と鋼, 78(1992), 1337
- 19) 野中泰平, 佐藤 健, 武田幹治, 河合隆成: 材料とプロセス, 11(1998), 895
- 20) 秋本栄治: 日本鉄鋼協会第 146・147 回西山記念講座 (1993), 129
- 21) 長谷川伸二, 国分春生, 原 義明: 川鉄製鉄技報, 29(1997)1, 51
- 22) 石渡夏生, 佐藤 健, 宮川昌治, 原 義明, 板谷 宏: 材料とプロセス, 10(1997), 980
- 23) 鍋島祐樹, 田岡啓造, 山田純夫, 田村 望, 清水益人: 川崎製鉄技報, 22(1990)3, 157
- 24) 水藤政人, 相沢完二, 有吉政弘, 永井亮次, 西川 広, 大宮 茂: 川崎製鉄技報, 22(1990)3, 143
- 25) 川名昌志: 第 100, 101 回西山記念技術講座, (1984 年 11 月), 1
- 26) 今井卓雄: 第 100, 101 回西山記念技術講座, (1984 年 11 月), 161
- 27) 太田豊彦, 三枝 誠, 永井 潤, 数土文夫, 中西恭二, 野崎 努, 内村良治: 川崎製鉄技報, 12(1980)2, 209
- 28) 永井 潤, 山本武美, 山田博右, 武 英雄, 橋 林三, 大森 尚, 中西恭二, 飯田義治: 川崎製鉄技報, 14(1982)3, 240
- 29) 亀山恭一, 西川 広, 荒谷 誠, 朝穂隆一, 田村 望, 山口公治: 川崎製鉄技報, 23(1991)2, 136
- 30) 加藤嘉英, 藤井徹也, 末次精一, 大宮 茂, 相沢完二: 鉄と鋼, 79(1993), 1248
- 31) 山田博右: 川崎製鉄技報, 28(1996)4, 199
- 32) 鍋島祐樹, 小倉 滋, 山田純夫: 川崎製鉄技報, 28(1996)4, 206
- 33) 蓮沼純一, 馬田 一, 松川敏胤: 川崎製鉄技報, 28(1996)1, 7
- 34) 井戸川聡, 北野嘉久, 戸澤宏一: 川崎製鉄技報, 28(1996)1, 46
- 35) 反町健一, 蓮沼純一: 川崎製鉄技報, 28(1996)1, 1
- 36) 杉澤元達, 小倉 滋, 荒谷 誠: 川崎製鉄技報, 28(1996)1, 14
- 37) 小島信司, 溝田久和, 梶田宏一: 川崎製鉄技報, 26(1994)1, 1