

多様化するニーズに貢献する製鋼技術

Steelmaking Technologies Contributing to Steel Industries

田辺 治良 鉄鋼技術センター 製鋼技術開発部 部長
中田 正之 総合材料技術研究所 製鋼研究部 部長

Haruyoshi Tanabe
Masayuki Nakada

近年において当社の製鋼技術は、世界をリードする技術の創造と実用化により、高能率化、高品質化、および省資源化を達成することで、強い競争力を確保しつつ社会に対して貢献してきた。21世紀においては、社会がボーダーレス化に向けて加速する中で、これまでに培った技術をベースに、新たにスタートするJFEスチールの製鋼技術としてさらに発展させるとともに、今後多様化する世界のニーズに貢献できる技術の確立を推進するものである。

NKK developed steelmaking technology in the 20th century while considering its social responsibilities. NKK developed and applied highly efficient production technology and produced high quality steel products while reducing the generation of wastes. The 21st century will face a worldwide borderless society. Hence, the newly formed JFE Steel Corporation will develop new steelmaking processes and contribute to meeting diverse demands from around the world.

1. はじめに

近年における当社の製鋼技術開発を振り返ると、「たゆみなき理想の追求」により技術の創造と実用化を行い、社会のニーズに応えるという目的を達成してきた。すなわち、溶銑予備処理工程での高効率脱燐技術によるスラグ発生量の大幅な削減、連鑄工程における高速鑄造技術や品質制御技術、およびスラグの利材化などに代表される独自の技術開発により、世界最先端の優位技術の実用化を行ってきた。これらの技術は、新たにスタートするJFEスチールにとって、21世紀における社会的ニーズに応えるために重要な役割を果たしていくと考えられる。

本稿では、製鋼プロセスに関して、近年当社が開発してきた主要な技術を紹介し、当社の果たしてきた役割について総括する。

2. 精錬技術

2.1 予備処理技術

鋼の低燐化のニーズに応えることと、スラグ発生量の低減および鉄歩留りの向上を目的として1980年代に転炉精錬前に溶銑の脱燐を行う溶銑予備処理法の導入が国内各社で進んだ。しかし、この方法では脱燐が不十分であり、より効果的なプロセスが望まれてきた。

そこで、脱燐メカニズムを検討し、溶銑シリコンを極限まで低減することで脱燐石灰効率が飛躍的に向上することを解明し、これに基づき、1998年3月、当社福山製鉄所に世界で初めてオープンレードル式の鍋脱珪ステーションを建設した。脱燐前の溶銑中シリコンを徹底的に低減して脱燐石

灰効率を向上させ、プロセストータルのスラグ発生量を極限まで低減することに成功した。これは、溶銑段階で製品規格以下まで脱燐することで、転炉での脱燐のためのスラグを“0”化する「ゼロスラグ製鋼法(Zero Slag Process, ZSP)」と称しているもので、同年5月には京浜製鉄所にも展開し、当社全所で本プロセスを適用している¹⁾。Fig.1に福山製鉄所の場合の処理フローを示す。溶銑は脱珪ステーション、機械攪拌式脱硫(KR)設備、鍋型脱燐(New Refining Process, NRP)・転炉型脱燐(LD-NRP)設備の処理を経て転炉に装入される。この項では、ZSPの各要素技術について紹介する。

2.1.1 極低シリコン溶銑の大量溶製技術

高炉での安定した低シリコン操業(連続測温による低温操業など)により出銑時のシリコンを0.2%まで低減し、次工程の脱珪ステーションで、0.10%以下の極低シリコン溶銑の製造を行っている。

脱珪ステーションでは、脱珪材として気体酸素と酸化鉄を併用している。また、鍋型の反応容器形状であることに加え、溶銑中に浸漬したランスより石灰などをインジェクションすることで強攪拌が得られ、その結果、従来の鑄床脱珪に比べ脱珪酸素効率は飛躍的に向上し、極低シリコン溶銑を高効率で安定して供給することが可能となった。

2.1.2 溶銑脱燐技術

溶銑中のシリコンを低減することにより、初期の段階でシリカと反応して生成するカルシウムシリケート($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)の生成量を低減でき、直接カルシウムフォスフェイト($3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$)を生成することを確認した。実操業においても、送酸制御と温度制御により極低シリコン溶銑の脱燐技

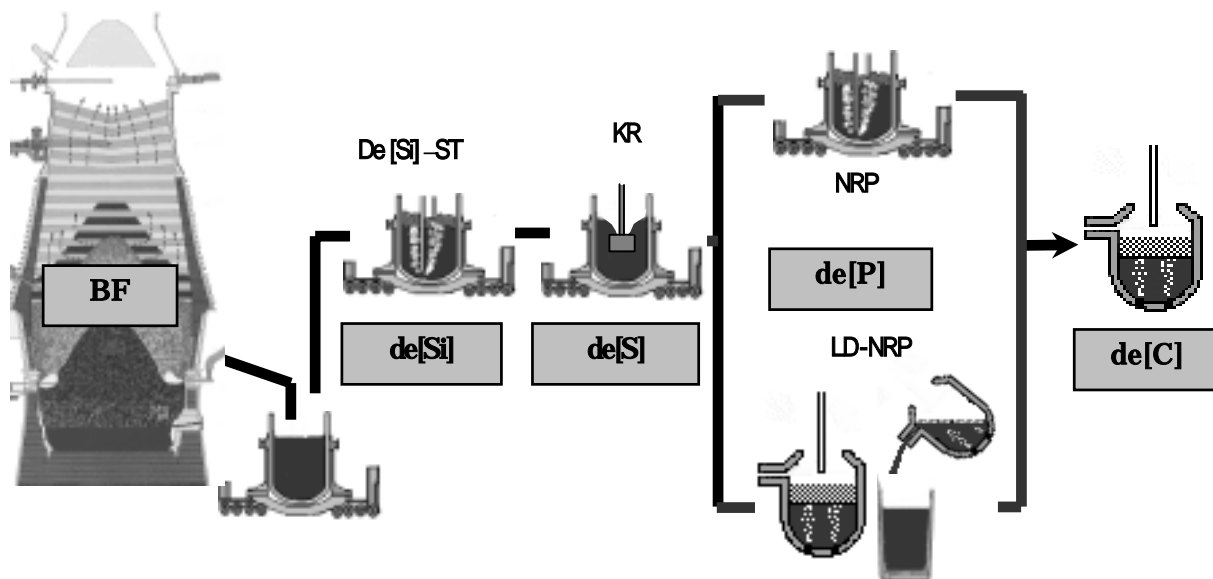


Fig.1 ZSP process flow at NKK Fukuyama Works

術を確立して、シリコンの低下とともに、脱磷石灰効率が向上し石灰原単位が大幅に削減され、処理後の磷濃度が安定化した。

鍋型脱磷（NRP）を採用している福山第2製鋼工場では、スラグ量の低減でスラグフォーミング現象などの処理阻害要因が排除され、溶銑輸送容器を用いフリーボードに限界のあったNRPの脱磷処理量は飛躍的に拡大した。

一方、福山第3製鋼工場では、前述のNRPとは異なり1995年より、転炉型のLD-NRPを適用している。炉代の前期を脱炭炉、後期を溶銑脱磷処理炉として運用し、極低シリコン溶銑を用い脱炭炉の操業ピッチに合った高速全量脱磷処理が達成されている。これらの技術開発による脱磷処理の高速化、高効率化に伴って脱磷処理比率は大幅に向上し、福山においては1000万トン/年の高生産下においても100%のZSP処理が可能となった。また、処理後の溶銑磷濃度は平均で0.012%以下と安定しており、脱炭炉で脱磷負荷のない操業が確立され、脱炭炉での媒溶剤の使用量は、耐火物を保護するために必要な極限值まで大幅に削減できた。

Fig.2に脱珪ステーション導入前後のスラグ発生量を示す。従来100kg/t以上のスラグ量が半減し、また、転炉で発生するスラグは10kg/t以下となった。

その結果、転炉でのMn鉍石の直接還元・歩留り向上によるMn合金の大幅削減、転炉炉体寿命の3000チャージ8500~9000チャージへの大幅延長が達成されており、加えて後述のように、アルミナ発生量の大幅低減など品質向上にも著しい効果が得られた。

また、スラグ組成が単純化され、スラグの利用拡大が可能となり、後述のように脱珪スラグのカリ肥料化、脱磷スラグのマリンブロック化（二酸化炭素の固定）などを事業化しており、環境問題と共生できる次世代製鋼プロセスへ展開している。

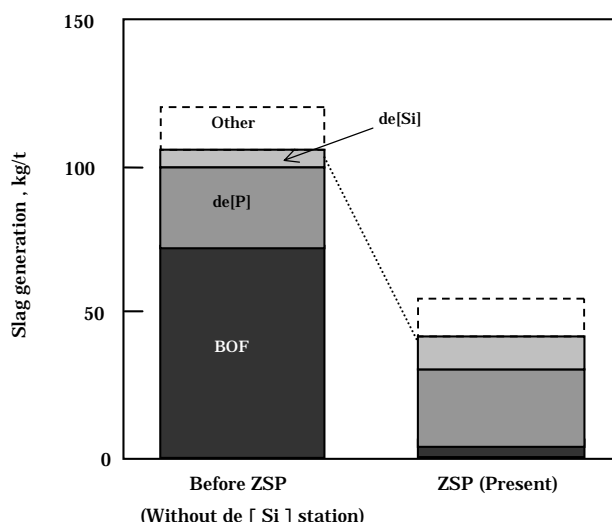


Fig.2 The effect of ZSP on slag generation

2.2 転炉技術

2.2.1 高速吹錬技術

1980年代、転炉は上下吹き吹錬法（NK-CB法）²⁾の開発・実機化を経たのち、前述したZSPの開発によりMn鉍石の直接還元を有効に実施できる脱炭専用（Mn鉍石直接還元）化が推し進められてきた³⁾。この条件下での転炉の主な課題は、スラグ量の極少化に起因する転炉吹錬中の鉄飛散、ダスト発生速度の増大による歩留りの低下、操業の不安定化であり、高生産性を目的とした高速吹錬の実現を阻害していた。そこで、当社においては、以下の技術開発により、高歩留り、高速吹錬を実現させ、吹錬時間の約25%短縮などが可能となった。結果として、転炉1炉での出鋼能力は480千トン/月（福山第3製鋼工場）以上となり生産性向上に大きく寄与している。

(1) ダストオンライン測定技術

転炉でのダスト発生は、転炉吹錬時にランスより吹き付けられる気体酸素の供給速度とランスノズルの形状などが複雑に絡み合っているため、ダスト発生挙動を定量的に予測することが難しい。また、直接的にダスト発生量・速度を評価する有効な手段はなかった。そこで転炉の湿式集じん設備の集じん水を連続的に採取し、光学的に計測することにより転炉ダストの発生量を連続的に計測できるオンラインダスト濃度計を開発した⁴⁾。当社福山製鉄所、第3製鋼工場転炉設備における測定システムの概要を Fig.3 に示す。これにより、転炉吹錬中のダスト発生挙動がオンラインで把握可能となり、送酸パターンなどの操業条件の最適化を行うとともに、転炉ランスノズルの迅速な開発が可能となった。

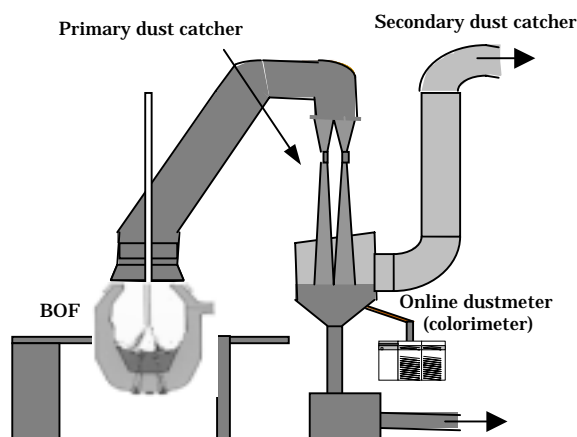


Fig.3 Schematic view of online-dustmeter

(2) 上吹き酸素の動圧制御技術

転炉における鉄飛散、ダスト発生速度は上吹き酸素ジェットの浴面動圧で整理されるため、ランスノズル形状や吹錬条件から得られる計算動圧を用いるダスト発生制御技術⁵⁾を開発した。実操業への適用にあたってはオンラインダスト濃度計を用いることでランスノズル形状や吹錬条件の適正化を迅速に行った。これらの技術で転炉ダスト発生量の低減と操業の安定化を可能とした (Fig.4)。

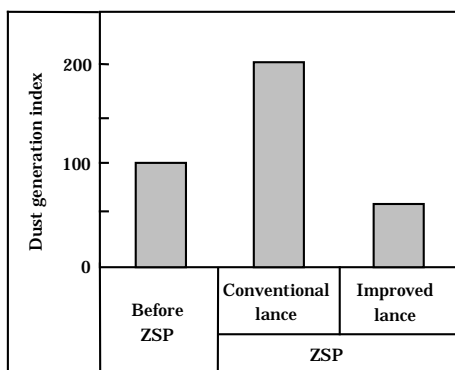


Fig.4 Amount of dust generation

2.2.2 ステンレス精錬

ステンレス製造プロセスの合理化を目的とし、1990年9月以降、ステンレス新精錬炉 (Stainless Steel Refining Furnace, SRF) を福山製鉄所にて稼働させている⁶⁾。当プロセスは、精錬を転炉1基方式で行い、Ni 鉱石および Cr 鉱石を炉内で直接還元する画期的な技術の特徴とする。Fig.5 にオーステナイト系ステンレスの製造フローの概念図を示す。溶銑を主原料として、Ni 鉱石の還元により含 Ni 溶銑を溶製した後、前述の溶銑予備処理設備にて脱燐を行う。その後、転炉に再装入し、Cr 鉱石の還元により含 Cr, Ni 溶銑を溶製する。出銑・全量排滓後、転炉へ再装入し脱炭吹錬を実施し、RH など二次精錬で最終成分調整を行う。

また、排ガス集じん系内に横型ホットサイクロンを設置し、発生ダストを分別回収し、Ni・Cr 源としてのダストリサイクルを可能としている。このように原鉱石を用いて高歩留り・安定操業を実現し、安価で高品質のステンレスを溶製できる技術を確立した。

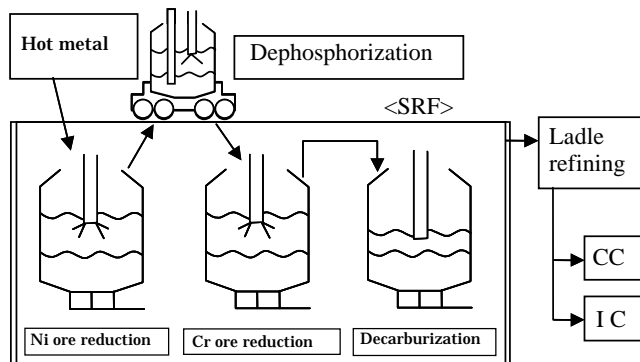


Fig.5 Process flow of new stainless steel refining process

2.3 二次精錬技術

近年、従来にも増して過酷な環境下での使用や省資源などの要求を需要家から受け、鋼の高品質化の必要性は益々高まっている。高品質化には材質特性の向上や製品欠陥の低減などがあり、その対応として溶鋼成分の高純度化や高清浄化が必要である。

自動車用薄鋼板に代表されるように深絞り性、耐時効性などの加工性向上や冷間圧延後の連続焼鈍プロセス適用の観点から極低炭素・極低窒素鋼の大量製造技術の開発を推進してきた。

極低炭素化については、RH 真空脱ガス装置での処理時の脱炭反応促進が必要であり、脱炭反応モデル⁷⁾を構築し、反応界面積、溶鋼環流量の増大が有効なことを解明した。そこで、RH 実機での RH 下部槽、浸漬管径の拡大と浸漬管からの環流 Ar ガスの大量吹き込みにより、鋼中炭素濃度の下限値を 30ppm から 20ppm 以下まで安定的に低減することが可能となった⁸⁾。極低窒素化について、RH では窒素濃度が 20ppm 以下では脱窒が進行しにくく、その原因が、浸漬

管を介して空気が溶鋼中に侵入してくることを突き止めた。そこで、浸漬管を Ar ガスでパージすることで安定して 20ppm 以下までの極低窒素を製造することが可能となった⁹⁾。

これらの技術により、Fig.6 に示すように、炭素、窒素濃度をともに 20ppm 以下まで安定し製造可能となり、現在約 150 千トン/月以上の製造を行っている。

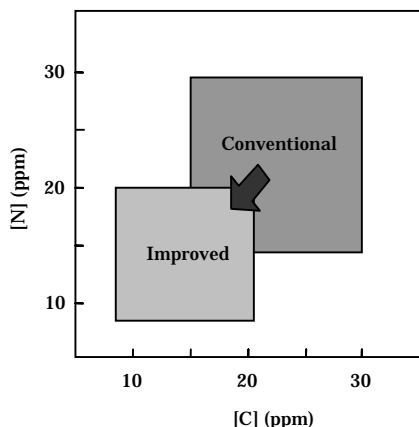


Fig.6 Effect of improved RH

清浄化対策としては、極低炭素鋼などが主体の薄板材では、アルミナ介在物性の欠陥が問題となる。このアルミナは転炉から出鋼時に流出した取鍋内のスラグ中の酸化物（主に FeO）が原因となつているが、前述した ZSP により転炉のスラグが極少化されたことと、スラグ改質と組成制御¹⁰⁾により大きく改善された。

一方、厚板材、特に耐サワー性が要求されるラインパイプ用鋼では水素誘起割れ（HIC）の低減が必要である。HIC の起点となる介在物の形態制御を容易にするためには極低硫黄濃度域まで脱硫することが有効であり、新取鍋精錬法（NKK Arc Process, NK-AP）¹¹⁾により、スラグを低酸化度、高脱硫能に組成制御し、さらに上吹きランスで強撹拌することにより、Fig.7 に示すような世界に先駆けて極低硫鋼の大量溶製を可能としている¹²⁾。

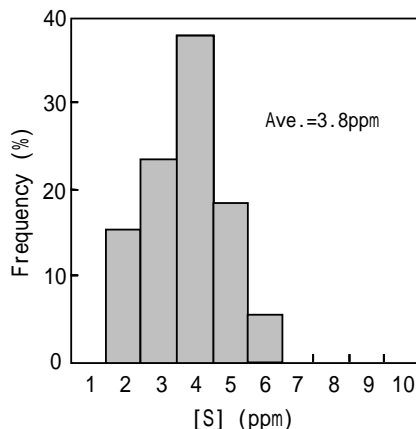


Fig.7 Final ladle analysis of [S]

3. 連続鋳造技術

当社では、高生産性と高品質の両立を目的に 1984 年 9 月に薄板専用連鋳機として福山第 5 連鋳機、1993 年 12 月に厚板主力・薄板兼用連鋳機として単ストランドの福山第 6 連鋳機を設置した。両連鋳機とも高速鋳造対応として、第 5 連鋳では 42m、第 6 連鋳では 49m の機長を有するとともに、鋳造中のひずみや熱応力を低減するためにロールピッチ狭小化や多点矯正、二次冷却のミスト化などの設備設計とした。また高清浄化対応としては 80 トン大型タンディッシュや 2.5m および 3.0m の垂直部を持つ垂直曲げ型式の採用で介在物の浮上分離を促進するとともに、徹底した断気鋳造で鋳造中の再酸化を防止している。これらの設備的な特徴に加え、当社が独自に開発した各種の技術により、高生産性と高品質とを両立する鋳造技術を確立した。以下にその概要を述べる。

3.1 高生産性鋳造技術

福山第 5 連鋳機は第 2 熱間圧延機の前に設置し¹³⁾、連鋳-熱間圧延機が直結した理想的なレイアウトのもとに操業を開始した。特に、熱延との同期化のために、鋳造速度 2m/min 以上の安定した高速鋳造技術の開発が必須であった。高速鋳造時の主な問題点としては、溶鋼吐出速度の増加に伴う湯面変動の増大やパウダー消費量低下によるブレイクアウトがある。

湯面変動低減対策としては、当社が開発した渦流式センサを用いた高精度湯面レベル制御技術に加え、後述の鋳型内流動制御による溶鋼表面流速の最適化を図り、高速鋳造下でも従来以下の湯面変動量に制御することが可能になっている。

パウダー消費量向上対策としては、ポジティブストリップ時間を長くした非サイン波形の鋳型振動の開発や¹⁴⁾、Li₂O を添加した高速鋳造用パウダーを開発し、高速鋳造においても安定鋳造に必要なパウダー消費量 0.3kg/m² 以上を確保できる鋳造技術を確立した。その結果、Fig.8, 9 に示すように低炭素鋼では 2.7m/min、極低炭素鋼では 2.4m/min の最大鋳造速度を実現し 2001 年に年産 360 万トン、2002 年 5 月に 355 千トン/月の生産量を達成している。

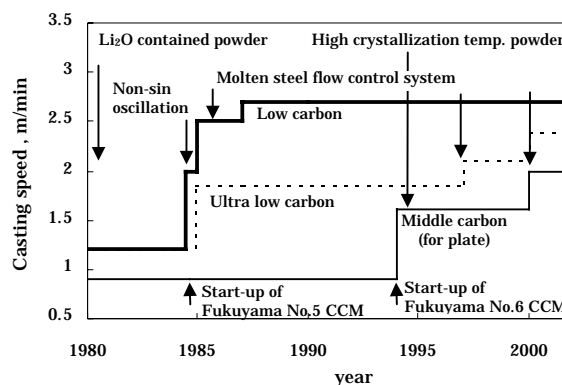


Fig.8 Change of casting speed at Fukuyama Works

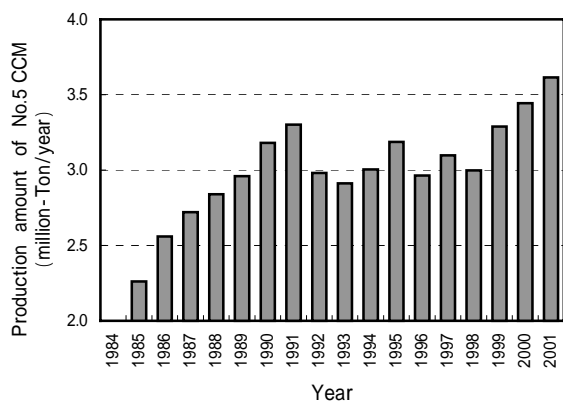


Fig.9 Annual production by No.5 CC at Fukuyama Works

福山第6連铸機は、単ストランドの厚板主力の薄板兼用連铸機である¹⁵⁾。厚板材は主に中炭素鋼であるため、高速铸造時には上記の課題に加えてさらに不均一凝固に起因する铸片表面縦割れが問題となる。そこで、結晶化温度を大幅に高めた緩冷却パウダーを開発するとともに、二次冷却においても均一冷却可能なミストスプレーを開発・導入し2m/minの高速铸造で完全に割れを防止できる技術を確認した¹⁶⁾。また、歩留り向上の目的で、220mm、250mm、300mmの3種類の厚みを有しており、連铸の稼働率向上のため厚み変更を20分以下の短時間でできる高速厚み替え技術を開発した。これらの結果、単ストランドで、月産160千トン以上の生産量と、厚板向けスラブの無手入率98%以上を実現した。

3.2 高品質铸造技術

高速铸造と同時に、铸片の高品質化を実現するには、連铸パウダーの溶鋼への巻き込みを防止する必要がある。連铸パウダーは、溶鋼表面流や渦流によって溶鋼中に巻き込まれるため、溶鋼表面流速を低減することによって防止できるが¹⁷⁾、逆に溶鋼表面流速が小さすぎるとパウダーへの熱供給が低下し、ノロカミなどの表面欠陥が問題となる。そこで、溶鋼表面流速を最適な条件にして铸造を行うため、当社独自の铸型内溶鋼流動制御技術¹⁸⁾を開発し、福山製鉄所第5、第6連铸機などに設備化、実生産に適用している。これは、铸型の高さ方向中央部に設置した交流電磁石により、幅方向に移動磁場を印加し、浸漬ノズルからの吐出流を制御して溶鋼表面流速を制御するもので、Fig.10に示すように、吐出流を減速する機能だけでなく、加速する機能もあり、前者をEMLS (Electromagnetic Level Stabilizer)、後者をEMLA (Electromagnetic Level Accelerator)と呼んでいる。この方式により、高速の定常部ばかりでなく、低速铸造を余儀なくされる非定常部も含めいかなる铸造条件に対しても表面流速を常に適正な状態に制御できるという大きな特長を有する。また、最近ではさらなる高速化・高品質化を目指すために、従来の铸造速度や铸片幅などの铸造条件で印加磁束が決まるスタティック制御に代えて、溶鋼の表面流速の直接測定によるダイナミック制御の開発にも取り組んでいる。

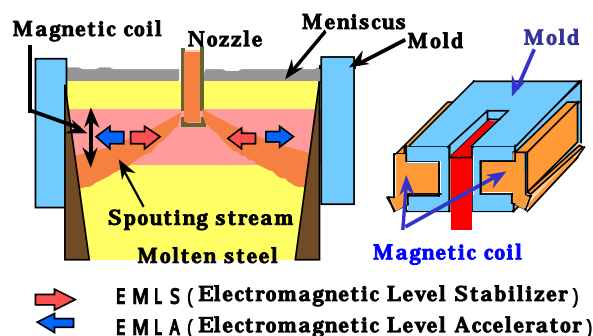


Fig.10 Molten steel flow control using traveling magnetic field

これらの技術と前述の精錬でのアルミナ低減による清浄化技術と相まって、Fig.11に示すように薄板材の90%以上の無手入化を実現した。

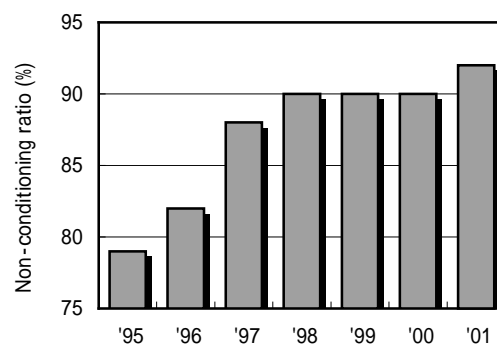


Fig.11 Slab non-conditioning ratio (Sheet products)

一方、厚板材やラインパイプ材などの铸造においては、偏析低減のため、軽圧下技術¹⁹⁾を開発し実機適用している。中心偏析は、凝固末期に凝固収縮などによる濃化溶鋼の流動が起ることが原因で発生するが、連铸最終凝固部のガイドロールの開度を凝固収縮量に見合う量だけ縮小することによって铸片を圧下し、未凝固溶鋼の流動を抑えることで防止できる。これにより、铸片厚中央部の連続した中心偏析だけでなく、不連続的に点在する直径数mm以下のセミアクロ偏析も軽減できる。また、ロールを小径化し、ロールピッチを狭くするとともに、铸片厚みや铸造速度などの铸造条件に適合した圧下量を選択することによって、この技術の効果を最大限に発揮することができる²⁰⁾。

当社ではこの技術をさらに発展させ、铸片幅方向の不均一凝固に対応するために、铸片を意図的にバルジングさせてから圧下を行うIBSR (Intentional Bulging Soft Reduction) 技術²¹⁾も開発した。この結果、後述する耐サワー鋼などを20千トン/月以上、安定して生産する体制を確立した。

3.3 シームレス用素材の直铸化技術

シームレス鋼管用の素材については、当社では1982年11月に京浜第5連铸機を、1983年に水平連铸機を稼働させ、170mm ~ 330mmの丸形状の铸片を直接铸造して、穿孔

圧延を実施する直鑄化プロセス技術を開発し、生産体制を構築してきた。京浜第5連鑄機では、丸鑄片の均一緩冷却のための高粘性パウダーの開発、M-EMSによる等軸晶化などの技術により、表面品質および内部品質を向上させた。また、水平連鑄機では、当初鑄片表面に初期凝固の際の溶着不良が存在していたが、ブレーキングの開発、新形状モールド²²⁾などの開発により、この課題を解決した。これらの結果、炭素鋼のみならず、合金鋼においても、直鑄化を達成した。

4. 高品質素材の製造技術

上述した精錬～鑄造にまたがる高品質化技術を組み合わせ、それぞれの要求品質にあわせたプロセス運用により、高品質素材を製造している。以下に代表的な品種の製造技術を概説する。

4.1 高級薄鋼板用素材 (自動車用鋼板, 缶用鋼板)

代表的な薄鋼板は自動車用鋼板と缶用鋼板であり、それぞれ極低炭素鋼(IF鋼)と低炭素アルミキルド鋼が用いられ、ともに微細なアルミナやパウダー起因の介在物を低減することが重要である。

主な製造フローは福山でのZSP(予備処理 転炉) RH第5連鑄機としており、精錬では前述のZSPによる転炉スラグの取鍋への流出抑制、スラグ改質²³⁾およびRHでの高潔浄度化技術が適用されアルミナ介在物の低減に効果を上げている。

鑄造工程では第5連鑄機を用いた前述の溶鋼表面流速の適正化技術に加えて、大型タンディッシュ¹⁵⁾や垂直部による介在物の浮上除去で介在物の低減を図っている。さらにIF鋼では初期凝固殻の成長が速くオシレーションマークの爪が深くなりこれが介在物のトラップサイトとなり、対応が必要である。このためオシレーションのハイサイクル・ショートストローク化に加えて、前述のネガティブトリップ時間の短い非サイン振動を適用してオシレーションマークの爪を浅くし健全な表層組織を有する無欠陥スラブを製造している。Fig.12に薄板材の格落ち発生率の推移を示すが、前述の鑄型内流動の最適化などによる連鑄パウダーの巻き込み防止、およびZSPによるアルミナ発生低減により、前述の無手入化に加えてコイルの大幅な格落ちの低減が達成された。さらに製品表面欠陥の原因を迅速に究明して操業条件の改善に反映できる「レーザICP」²⁴⁾や、薄板表面欠陥をオンラインで自動検出・マーキングできるシステム「デルタアイ」²⁵⁾などの独自開発技術を実操業ラインに適用し、製鋼～製品までの一貫品質保証体制を確立し、たとえばIF鋼は月間150千トン以上を安定した品質で製造している。

4.2 高強度ラインパイプ用素材

耐サワー性が要求されるラインパイプ用鋼では水素誘起割れ(HIC)の低減が重要である。

福山での主な製造フローはZSP(予備処理 転炉) AP

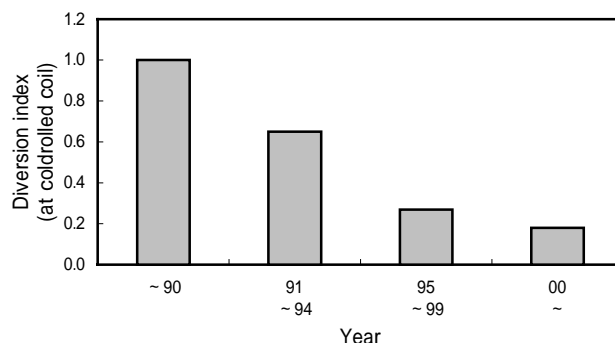


Fig.12 Trend of diversion index of cold rolled coils

RH第6連鑄機で、製鋼では20千トン/月以上の生産体制を確立している。精錬工程では、前述のZSPによる低燐化やAPにおける極低硫化技術¹²⁾により不純物元素の徹底的な低減を図っている。また、HICは偏析部のMnSを起点に発生し、偏析帯を伝播するので、APでのCaの狭範囲制御により介在物の形態制御²⁶⁾を実施している。鑄造工程では中心偏析に加えて数mm以下のセミマクロ偏析粒が問題になるため第6連鑄機を用いた前述のIBSR法²¹⁾を適用して、安定に製造している。

Fig.13にこれまでの耐HICラインパイプの生産量の推移を示す。上記技術を組み合わせることで、1983年以降においてより厳しい条件であるNACE基準にも十分に耐えうるAPI-X65以上の耐サワーラインパイプ用素材の製造を行っている。

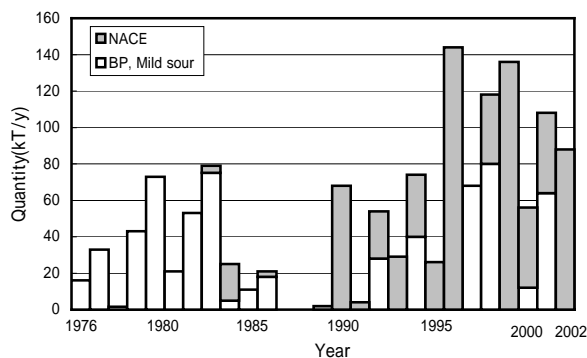


Fig.13 Annual production of sour gas line pipes

4.3 高機能材料用素材

高Ni鋼のアンバー材は低熱膨張性を利用してパソコンディスプレイや高級大型テレビのシャドウマスクに適用されているが、エッチング時の微小介在物による孔形不良や、ミクロ偏析に起因する筋状模様による画像ムラが問題となる。そのためにZSP操業と取鍋スラグ組成コントロールによる微小介在物の低減と、拡散処理によるミクロ偏析低減対策によりこれらの課題を解決した。この結果、下工程における高精度圧延技術との組み合わせにより、溶解からエッチング原板までの高品質・高歩留りの一貫製造体制を確立した。

5. 製鋼スラグ活用技術

ZSP の適用によってスラグ発生量を極限まで低減させるとともに、溶銑予備処理で生成するスラグは、工程ごとに特徴的な成分を有し、成分ばらつきの少ないものとなる。この結果、スラグ組成の特徴を活かした幅広い用途開拓が可能となった。本稿では、溶銑予備スラグを用いた新しい技術として、藻場造成礁（マリブロック）と緩効性珪酸カリ肥料を紹介する。

5.1 藻場造成礁（マリブロック）

製鋼工程から発生するスラグに含まれる CaO に着目し、スラグと炭酸ガスとを反応させることで、炭酸固化体（登録商標：マリブロック）を開発した。

マリブロック製造工程では、スラグに CO₂ を含む排ガスを吹き込みスラグ中の CaO と反応させ、生成した炭酸カルシウムがスラグ粒子を強固に結合、被覆した組織となる。したがって、製鋼スラグで課題であった膨張崩壊や海水の pH 上昇の問題が解決され、海中で非常に安定な構造体となる。すでに、重量約 5 トンのブロックの試作実績もあり、炭酸固化体としては、過去報告されている中で最大のものである。

1999 年 4 月には、Fig.14 に示すように、底面が 1m 角、高さが 50cm の炭酸固化体を、海底に積み上げて、大型海藻を含めた藻の植生や生物の状況を調査する試験を実施しており、海藻が繁殖し、その隙間に魚が多数蟄集するのを確認している²⁷⁾。また、マリブロックの製造工程では、スラグ 1 トン当たり最大 200kg の CO₂ を吸収可能であることを確認している。この値は、全国で発生する製鋼スラグの約 3 割にあたる 400 万トンマリブロックとして利用すると 80 万トンもの CO₂ が固定でき、地球温暖化防止に貢献できうる新技術として大いに期待されている。

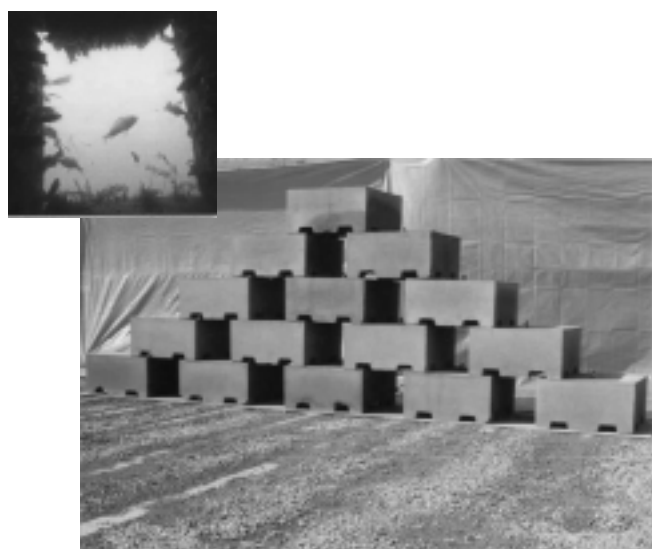


Fig.14 A pile of carbonated steelmaking slag blocks

5.2 緩効性ケイ酸カリ肥料製造技術

シリカ（二酸化珪素 SiO₂）は、水稻の病気や害虫に対する抵抗性を向上させるため、農業用肥料として注目されている。脱珪処理工程で発生するシリカを主成分とするスラグに着目し、脱珪スラグとカリ原料を反応させ、水に溶け難く緩やかに溶解する緩効性のケイ酸カリ肥料を開発した。

緩効性カリ肥料は、脱珪スラグとカリ原料を反応させ、シリカとカリウムを緩効性にした肥料である。緩効性カリ肥料の成分を Table 1 に示す²⁸⁾。

Table 1 Chemical composition of NKK potassium silicate fertilizer (%)

K ₂ O	SiO ₂	CaO	MnO	MgO	FeO	Al ₂ O ₃
22.1	37.7	21.3	3.7	0.9	3.1	3.5

本肥料は、作物に対する肥効試験の結果、市販ケイ酸カリ肥料ならびに塩化カリとケイ酸カルシウム（ケイカル）と同等以上の肥効を確認した²⁹⁾。

鉄鋼スラグを原料としたケイ酸カリ肥料については 2000 年 1 月に農林水産省が告示第九十一号で新たに肥料取締法に基づく肥料公定規格「熔成けい酸加里肥料」が交付された。当社は、2000 年 4 月に農林水産省に「マンガン入り 20.0 熔成けい酸加里肥料」として登録し、2001 年 12 月より販売している。

6. 今後の展望

以上述べてきた技術を中心に、今後は生産性のさらなる向上を進めるとともに、媒溶剤の理論原単位までの削減、無手入れ率 100%化の達成などの無欠陥鑄片の製造技術の完成、スラグの利用拡大による廃棄物のゼロエミッション化などを目指して技術開発を推進し、環境にやさしい究極の製鋼プロセスの構築を行っていく予定である。

7. おわりに

本稿では、当社の製鋼プロセスにおける近年の優位技術を紹介してきたが、これらの技術は今後の JFE スチール発足後も、世界のニーズに対して貢献していけるものと確信する。また、これまでに培ってきた開発力を元にさらに社会の変化に対応できる新技術の開発を推進していく所存である。

参考文献

- 1) 田中秀栄ほか。“ゼロスラグ新製鋼プロセスの確立”。NKK 技報. No.169, pp.6-10(2000).
- 2) 田口喜代美ほか。“上下吹き転炉法（NK-CB）の開発と実用化”。日本鋼管技報. No.95, pp.13-20(1982).
- 3) 山瀬治ほか。“福山製鉄所における溶銑予備処理とレススラグ吹錬技術”。日本鋼管技報. No.118, pp.1-7(1987).

- 4) 鷲見郁宏ほか. “転炉オンラインダスト測定装置”. NKK 技報. No.176, pp.55-58(2002).
- 5) 川畑涼ほか. “レススラグ吹錬でのダスト発生挙動”. CAMP-ISIJ. Vol.10, p.777(1997).
- 6) 滝千尋ほか. “ステンレス新精錬法の操業概要と反応解析”. NKK 技報. No.153, pp.6-11(1996).
- 7) 村井剛ほか. “RH 脱炭反応モデルと高速処理技術”. CAMP-ISIJ. Vol.8, p.271(1995).
- 8) 亀水晶ほか. “福山 2RH における極低 [C]・[N] 鋼溶製技術”. CAMP-ISIJ. Vol.8, p.270(1995).
- 9) 亀水晶ほか. “RH における吸室防止技術”. CAMP-ISIJ. Vol.7, p.243(1994).
- 10) 櫻井栄司ほか. “4RH の建設と操業”. CAMP-ISIJ. Vol.7, p.1118(1994).
- 11) 宮脇芳治ほか. “新取鍋精錬法 NK-AP)の開発”. 日本鋼管技報. No.99, pp.12-21(1983).
- 12) 田辺治良ほか. “上吹き脱硫による超低硫鋼の製造について”. 鉄と鋼. Vol.66, S-258(1980).
- 13) 小谷野敬之ほか. 福山第 5 連続機の建設と操業. 鉄と鋼. Vol.72, S2233(1986).
- 14) 鈴木幹雄ほか. 高速製造時の鑄型内伝熱と潤滑挙動におよぼす鑄型振動波形の影響. 鉄と鋼. Vol.78, No.1, pp.113-120(1992).
- 15) 栗林章雄ほか. 福山第 6 連続製造設備の建設と操業. NKK 技報. No.149, pp.1-8(1995).
- 16) 渡辺圭児ほか. 連続鑄型内伝熱におよぼすモールドパウダーの結晶化挙動. 鉄と鋼. Vol.83, No.2, pp.115-120(1997).
- 17) 鈴木真ほか. “移動磁界方式による鑄型内溶鋼流動制御特性”. CAMP-ISIJ. Vol.9, pp.616-617(1996).
- 18) 久保田淳ほか. “スラブ連続機の鑄型内溶鋼流動制御技術の開発”. までりあ. Vol.33, No.6, pp.793-795(1994).
- 19) 楯昌久ほか. “扇島 1号スラブ連続鑄造機の鑄片の品質”. 鉄と鋼. Vol.64, S207(1978).
- 20) 北川融ほか. “小径分割ロール軽圧下鑄造のセミマクロ偏析低減効果”. 日本鋼管技報. No.121, pp.1-8(1988).
- 21) 小林日登志ほか. “新軽圧下法による連続鑄造スラブの中心偏析制御”. CAMP-ISIJ. Vol.2, No.4, p.1158(1989).
- 22) 桑野清吾ほか. “継目無管素材製造への水平連続鑄造機の適用拡大”. NKK 技報. No.136, pp.9-15(1991).
- 23) 亀水晶ほか. “取鍋スラグ脱酸による極低炭素鋼の品質 向上”. CAMP-ISIJ. Vol.5, p.1288(1992).
- 24) 秋吉孝則ほか. “レーザ ICP 法による新分析装置の開発”. までりあ. Vol.36, No.5, pp.496-498(1997).
- 25) 杉浦寛幸ほか. “偏光を用いた薄板模様状欠陥検査装置の開発”. CAMP-ISIJ. Vol.15, No.2, p.251(2002).
- 26) 福味純一ほか. “耐水素誘起割れ鋼の製造(第一報:介在物低減)”. 鉄と鋼. Vol.69, S214(1983).
- 27) 高橋達人ほか. “鉄鋼スラグ大型炭酸固化体「マリンプロックの海中試験」”. NKK 技報. No.167, p.67-68(1999).
- 28) 渡辺圭児ほか. “鉄鋼スラグから製造した緩効性カリ肥料の特性”. CAMP-ISIJ. Vol.13, p.859(2000).
- 29) 八尾泰子ほか. “鉄鋼スラグを利用したケイ酸カリ肥料の肥効”. 日本土壌肥料学会誌. 72(1) p.25-32(2001).