

さらに、交流・直流磁場重畳印加の湯面振動抑制効果試験により一層の改善効果を得た。②溶融金属の清浄化技術：水銀モデル実験を経て、スラブベンチ実験で超電導磁石によるブレーキ効果により介在物レベルを高速鋳造下でも低速鋳造下並みに抑えられることを確認した。③電磁流速センサーを開発し、電磁力作用下でメニスカス流速を精度良く測定できることが判った。以上のような成果を得て、プロジェクトは2001年3月に当初計画どおり、成功裏に終了した(CAMP-ISIJ, 14 (2001), 889)。

2.3 溶銑予備処理／転炉操業

需要家からの鋼材の要求特性の高度化に対応するための溶銑予備処理—転炉—二次精錬の分割精錬を基軸とした高純度鋼溶製プロセスは、1980年代までに鉄鋼各社でほぼ確立された。しかしながら、その後の厳しい経済環境下におけるコスト競争力の向上と環境規制強化に対応し、さらには最近の鉄鋼需要拡大による高生産の状況下においても高効率精錬を維持するため、この10年は精錬工程の再構築とそのための新たなプロセス、技術の開発がなされてきた。

最近10年間の溶銑予備処理法の開発動向を総括すると、以下の3点の特徴が挙げられる。

- i) 溶銑脱硫工程の分離や脱りん精錬の改善による更なる精錬効率化
- ii) 熱的尤度の拡大によるスクラップ使用量の上方弾力性向上
- iii) 事前脱珪の徹底、反応効率化、スラグリサイクル等による発生スラグ量の低減

溶銑脱硫工程は、従来は適切なフラックスと酸素ポテンシャルの選定により、トピードカー等の同一容器内で脱りんとともに行われるケースが多かった。しかしながら、主要元素の中で唯一の還元精錬であり、より効率的な高温、低酸素ポテンシャル下での精錬が可能な溶銑脱りん前での処理へと再び工程分離が進行した。脱硫法としては、90年代前半までに導入が進んだ高い脱硫能を持つCaO-Mg系フラックスインジェクションによる脱硫法に加えて、この10年では機械攪拌方式であるKR (Kanbara Reactor) 法の精錬効率の高さが見直され、多くの製鉄所で新規導入または増強された。なお、メタルの顕熱を利用してMgOの還元によりMg蒸気をその場で製造し脱硫するような新しい方法なども提案されつつある。

溶銑脱りん工程についても、この10年は精錬効率を高め

たり、設備を増強することで大量処理を可能とし、処理比率が高められていった。1980年代から90年代にかけての予備処理法の普及は、高純化ニーズに応じた低りん低硫溶銑の安定製造を可能にした。その反面、低温精錬を必要とするため転炉脱炭工程における熱的尤度を奪い、スクラップ消費量に著しい制約を受けるようになった。そのため、最近では、フリーボードが大きいために強攪拌下での高速脱りん精錬が可能であるとともに、スクラップ溶解能力も高い、転炉型の脱りん処理法がローカリティに応じた操業形態で採用されてきている。従来から転炉型であったH炉^{*1} (1987年)、SRP^{*2} (1990年)、LD-ORP^{*3} (1991年)に加えて、近年新たに多くの製鉄所で転炉方式の脱りん処理が導入された。溶銑配合率を下げ、スクラップ消費量を拡大して生産性を向上したい場合には有利な方式と言える。一方で、トピードカーでの脱りん処理においても、流滓処理による低塩基度脱りんや酸素分散供給などの改善が施され、充分な溶銑供給下での大量生産下脱りん処理体制が確立された。

また、埋め立て用地の枯渇や有効利用先の限定により、発生スラグ量の低減が近年の重要な課題の一つとなった。脱りん、脱硫を適正条件で処理する溶銑予備処理法は、本来総スラグ発生量が低減するプロセスであり、各社で予備処理設備が稼働し始めて以降、一旦はスラグ原単位は減少した。しかしながら、高級鋼種の増加に伴い精錬負荷が増大するとともに、脱りん反応効率化に有効であったフッ素の規制問題もあり、スラグ発生量は増加する傾向にあった。製鋼スラグの発生量は、脱りんの負荷によるところが大きく、スラグ量低減のためには、フラックスの利用効率も含めた脱りん精錬効率向上や低温での脱りん能を有している脱炭滓のリサイクル利用が有効な手段である。

その中で、鍋脱珪プロセスの導入により脱りん前のSiを徹底除去し、Siフリーでの全量溶銑脱りん処理と転炉の脱炭専用化を可能としたゼロスラグ製鋼法(ZSP:Zero Slag Process)が開発された(1998年)。図2.7にその概要を示す。オープンレードル型鍋での効率的な攪拌により脱珪酸素効率を向上させるとともに、酸素ガスと酸化鉄の併用により脱珪処理後の温度制御を可能とし、熱ロスを抑えつつ0.1%以下の極低Si溶銑を安定的に供給する。極低Si溶銑を用いることで脱りん初期の段階で生成するSiO₂と反応して2CaO・SiO₂を生成するのに消費される生石灰を低減し直接3CaO・P₂O₅を生成させることが可能となるため、脱りん石灰効率の向上が図られ、大幅なスラグ量低減を達成している。また、本プロセスでは、脱珪、脱りんを完全に分離、連

*1 粉体吹き込み用ランスを転炉内溶銑に浸漬させて処理を行うプロセス

*2 2基の転炉を組み合わせ、脱炭用転炉で発生したスラグを溶銑予備処理用の転炉で再利用するプロセス

*3 脱りん剤底吹きによる低塩基度脱りん処理に引き続き脱硫剤底吹きを行う脱Si、P、S同時処理プロセス

続処理するため各工程で発生するスラグは単純な組成であり、例えば脱珪スラグは SiO_2 主体で緩効性肥料に、脱りんスラグは CaO 主体であり CO_2 吸収によりブロック成型を行い海洋での藻場材にと、その高付加価値化による利材化も推進されている。

脱炭滓のリサイクル利用については、向流精錬を指向して開発された2基の転炉を利用するSRPが代表例であるが、H炉でもその効果が確認されている。トピードカーを利用した溶銑脱りん処理においても、設備増強により全量予備処理体制を確立するとともに脱炭滓を全量リサイクルすることでスラグ量が低減されている。

また、転炉に脱珪脱りんの予備処理機能を集約し、同一炉で連続して脱珪・脱りん、中間排滓、脱炭を行う多機能転炉法（MURC：Multi-Refining Converter）も開発された（2002年）。図2.8にその概要を示す。本プロセスは、転炉の持つ強攪拌と高速送酸機能を利用して高酸素ポテンシャル下、低塩基度スラグでの高速脱りんを行うが、脱珪・脱りん期には意識的にスラグ中 FeO 濃度を高めてスラグをフォーミング状態に制御し、転炉を傾動して自然排滓を行う。その後連続して脱炭を行い出鋼に至るが、脱炭後のスラグは一部を炉内に残し、ホットリサイクルとして次の脱りん吹錬へ使用するため、スラグ量も大幅に低減可能である。転炉型脱りんのため酸化鉄使用量を抑えることができ、スラグのホットリサイクルによる熱の再利用も可能なことから、溶銑配合率は普通銑吹錬と同等以上の低減が可能である。一連の処理

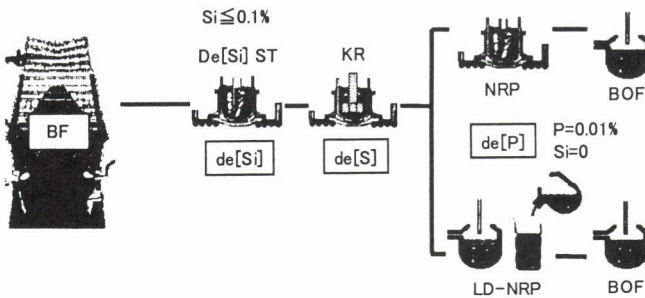


図2.7 ZSP (Zero Slag Process) のプロセスフロー (CAMP-ISIJ, 13 (2000), 52.)

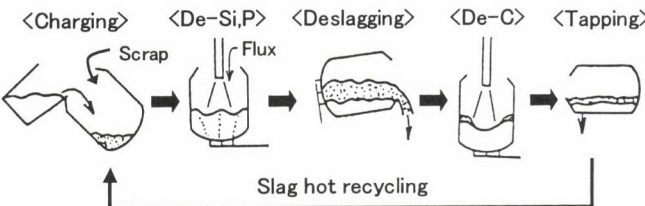


図2.8 MURC (Multi-Refining Converter) プロセスの概要 (CAMP-ISIJ, 13 (2000), 88.)

を連続して行うため、脱珪、脱りん、脱炭のトータルの処理時間も大幅に短縮される。本法は脱りん後のスラグを炉傾動により排出するため、脱炭精錬へのキャリーオーバースラグの影響から極低P鋼の溶製には不向きであるが、反面熱ロスを極少化できるという特徴を持つ。

上述のように、転炉を用いた溶銑予備処理法においても種々の操業形態が取られているが、豊富な溶銑供給下で徹底的にスラグ発生量を低減したいケースや、 Si の潜熱を最大限スクラップ溶解に利用したいケース、低P鋼を大量安定製造したいケースなど、環境やローカリティに応じた形で進化していったと言える。

製鋼スラグ量の低減に向けた取り組みは、1997～1999の間、高炉、電炉メーカー12社と5大学が参画した産学共同の「スラグ極少化研究会」においても行われた。その結果、現場データの大学側への提示によるプロセスシミュレータの構築や各社データの共有による統一課題整理と議論等、産学一体となった運営による成果が得られ、鉄鋼各社の具体的取り組みの契機になったと思われる。

現在、更なる脱りん精錬効率化やスラグ量低減に向けて、フラックスの滓化挙動やスラグ中の固相の寄与に関する研究が着目されている。特に、フッ素規制環境の下での生石灰やリサイクルした脱炭滓の迅速滓化技術や、固相を含むマルチフェーズフラックスの最大限の活用技術、スラグ／メタル反応界面における酸素ポテンシャルの早期確保技術などの確立が重要な課題であろう。

溶銑予備処理銑の脱炭精錬が中心となった転炉操業に関しては、この10年では特に生産性を向上させるための技術やセンシング技術に進歩が見られた。

高速送酸下でもダスト発生量を抑制するための技術として、多孔からの噴流同士が干渉しないようにノズルを千鳥配置とし、更に隣り合うノズルを異径化する改善を加えたランスや噴流の不適正膨張挙動を活用したランス、湯面衝突位置での噴流動圧が低減するように設計したランスなどが提案・開発されている。近年、これらのランス最適化には数値計算手法も用いられるようになってきている。集塵水の光透過度からオンラインでダスト発生速度を計測する技術も開発され、ランスノズル形状とともに吹錬パターンの最適化にも活用されている。

非吹錬時の製鋼作業の合理化・時間短縮を狙いとした技術開発もなされており、二次燃焼ランスを利用した地金付着防止技術や出鋼時のスラグ流出検知の高度化がその例である。

また、冶金反応特性の向上のために、底吹きガスを高圧化することで攪拌強度を上げて脱炭酸素効率を増大したり、CB羽口のガス組成を変更することで冷却能を制御し、底吹きガスを安定して流量可変としたりする技術開発も行われて

いるが、同時に電気パルス法による羽口損耗量のオンライン測定からガス切替えパターンを最適化する試みもなされている。

さらに、操業安定性や精錬精度の向上に関しては、マイクロ波による湯面検知や音響レベル、ランス振動などを利用したスラグフォーミング予知技術が確立されたことに加え、消耗型光ファイバーや可視ファイバーを利用して連続的に転炉内溶鋼の温度を計測する技術も実用化されつつある。

今後も、量産体制下での更なる精錬効率や精錬制御性の向上に向けたセンシング・モデリング技術の開発と、それらを活用した操業技術の改善が行われていくであろう。

2.4 2次精錬

2.4.1 2次精錬プロセスの進展

鋼材の使用用途の拡大とともに、強度、靱性などの材質特性の向上や安定性の保証、および加工工程の簡素化などが要求され、ここ10年間で品質の厳格化への要望は増加の一端を辿ってきた。延性や絞り性などの加工性が重要な薄板では、低位安定した極低炭素化処理が要求され、また、低温や耐サワーガスなどの苛酷な環境下での使用が多い厚板では、極低硫黄、りん、水素化などの安定溶製が望まれている。さらに、低コスト化のために歩留まり向上を目的とした、品質安定化、製品の欠陥率低減の要求は大きい。

これらのニーズに対応するため、2次精錬プロセスは既存設備への機能付加、従来機能の強化などを行い、同時に各要素技術が熟成したことで、プロセスの集約化、改良が進展した。

2.4.2 RH脱ガス (Ruhlstahl & Heraeus) の多機能化

真空精錬処理の代表的な設備であるRH脱ガスは、導入時以降から種々の機能が付加されてきたが、新たな機能付加や従来機能の拡大が行われた。機能強化の一例として、多機能バーナーの開発が挙げられる。処理中は真空槽に設置されたランスより酸素を上吹きし、非処理中は待機位置で液化天然ガスなどの燃料ガスを燃焼させて、真空槽内の耐火物温度の低下を抑制させて、槽内の地金付着を防止する方法である。地金付着量が低減することで炭素の汚染が減少し、極低炭素鋼が安定的に溶製することが可能となった。また、転炉での低温・高炭出鋼による効果以外にも、前チャージの影響が無くなることで鋼種のスケジュール管理が容易となり、他品種の生産管理面への寄与も大きい。

さらに、RH脱ガスへの機能付加として脱硫処理がある。従来から、上昇管の下方に浸漬させたランスや、真空槽下部の耐火物中に埋設された羽口を介してCaO-CaF₂系フラ

ックスの粉体を吹き込み方法が行われてきたが、真空槽の上吹きランスから粉体を投射することで、吹き込みノズルが溶鋼と直接接触しない方法が開発された (RH-PB (Powder Blowing) 法、図2.9)。脱硫率とフラックス量の関係を図2.10に示すが、フラックス原単位が5 kg/t程度で脱硫率80%となり、脱硫処理後の[S]は4ppm以下が得られている。

また、RH脱ガスを改造し、真空脱ガスとスラグ改質を同時に行うプロセスも開発され、その設備の概要を図2.11に

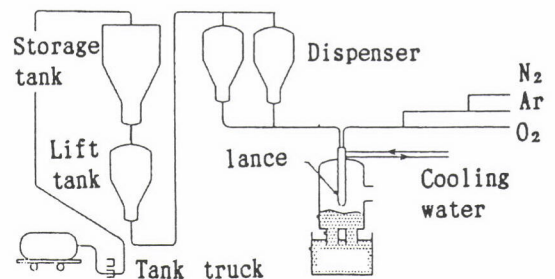


図2.9 RH-PB設備の概観図
(CAMP-ISIJ, 9 (1996), 701.)

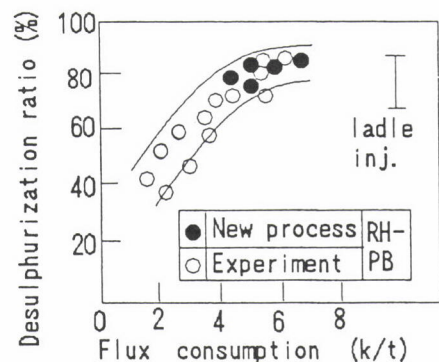


図2.10 脱硫率とフラックス原単位の関係
(CAMP-ISIJ, 9 (1996), 701.)

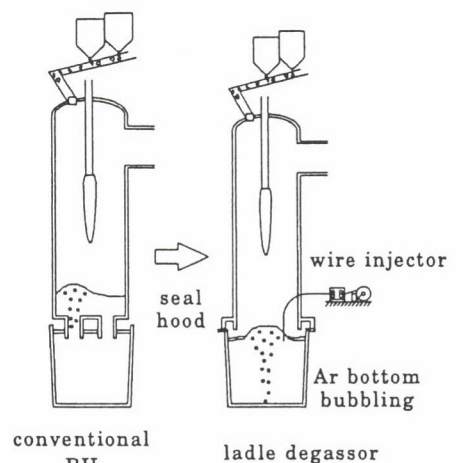


図2.11 取鍋脱ガス炉の特徴
(CAMP-ISIJ, 14 (2001), 912.)