

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-CaF<sub>2</sub>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

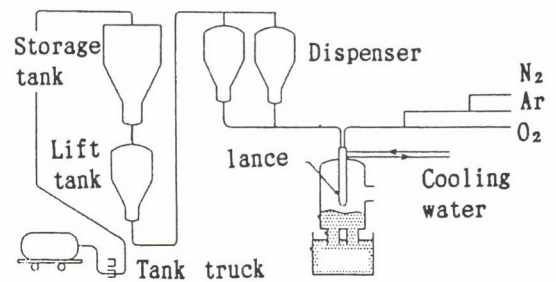


図2.9 RH-PB設備の概観図  
(CAMP-ISIJ, 9 (1996), 701.)

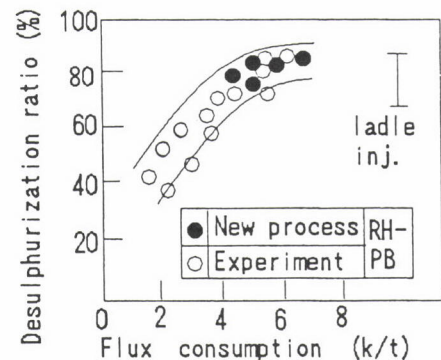


図2.10 脱硫率とフラックス原単位の関係  
(CAMP-ISIJ, 9 (1996), 701.)

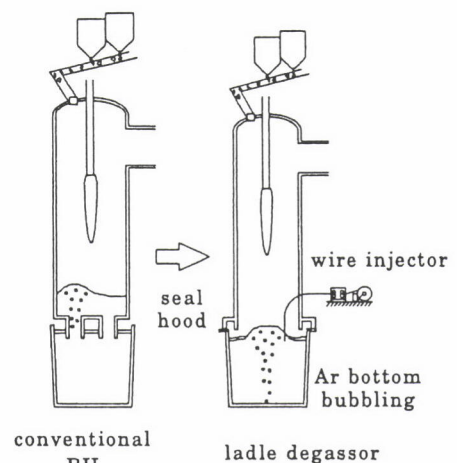


図2.11 取鍋脱ガス炉の特徴  
(CAMP-ISIJ, 14 (2001), 912.)

示す (SIVA (Simplified all-round Vacuum treatment) 法)。RH脱ガスの下部槽を真空蓋に改造し、取鍋全体を真空排気する構造となっており、取鍋底部からArガスで溶鋼を攪拌でき、ワイヤ投入設備を具備している。取鍋全体を真空排気することで、スラグを完全改質できて再酸化を防止し、高纯净度を確保できるため、従来LF (Ladle Furnace)、RH脱ガス、Ca添加の3つのステーションでの処理を1ステーションに集約可能となり、熱ロス低減などに寄与している。

#### 2.4.3 DH (Dortmund Hörder Union Process) 脱ガス、大気処理プロセスの発展

真空処理では、DH脱ガス法を改造し浸漬管を大きくして直胴型とした、REDA (Revolutionary Degassing Activator) 法が開発された (図2.12)。真空槽を減圧にし、取鍋底部に埋設されたプラグよりArガスを流して溶鋼を循環させる方法である。プラグの位置が真空槽の中心から偏心しており、少量のガスで効果的に溶鋼を攪拌することができ、単純な構造のため耐火物の補修も容易などの特徴があり、RH脱ガスと同等の脱炭能力を有する。当技術は、ステンレス鋼にも適用されており、低炭素低窒素などの高純度鋼の安定溶製を可能としている。

一方、大気処理の方では、CAS-OB (Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling-Oxygen Blowing) に減圧機能が付加されたプロセスも開発された (減圧CAS-OB法)。溶銑予備処理技術と連動して発展した技術であり、転炉での吹錬末期のスラグの過酸化を抑制するため、転炉では高炭素域で吹き止めて、CAS-OBに脱炭機能を分割するプロセスである。300torr程度の軽減圧下で、[C] : 700ppmが約6分で400ppmまで低減し、低炭アルミキルド鋼の効率的な製造技術となっている。

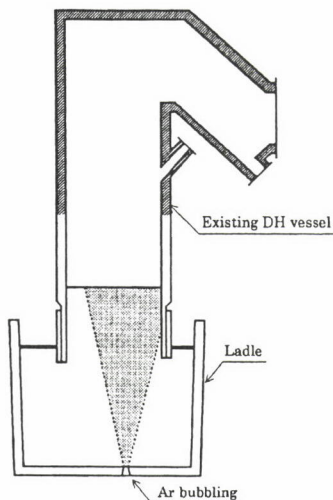


図2.12 REDA法の概観図  
(CAMP-ISIJ, 11 (1998), 758.)

また、極低硫化の技術が確立したLFでも、処理時間短縮のため、スラグ組成の制御、スラグ酸化度の低減、ダブルポーラス化によるスラグ・メタル攪拌の強化などにより、[S] : 5ppm以下の極低硫鋼の安定溶製が可能となった。

#### 2.4.4 高純度・高纯净鋼への対応

極低炭素化については、RH脱ガス処理中での脱炭反応サイトを考慮した脱炭反応解析が進み、脱炭処理中の溶鋼中の[C]分布も数値解析により計算されている。さらに、取鍋内溶鋼だけでなく、自由界面の形状を加味して真空槽内の溶鋼流動も考慮した気泡挙動の考察も行われており、安定溶製の指針となっている。

脱水素については、大きな進展はみられなかったが、低位安定溶製のためには、スラグ・メタル間反応も無視できず、溶鋼中の水素分圧を熱伝導度法で測定する迅速分析計をRH脱ガスに設置し、一貫した品質管理も実施されている。また、脱窒素に関しては、粉体上吹投射や吸窒防止浸漬管などの開発が行われ、極低窒素鋼製造に対応してきた。

また、鋼材特性だけでなく製品欠陥と直結する場合が多いため、歩留まり向上の観点からも介在物低減、清浄鋼溶製のニーズは大きい。取鍋精錬段階においては、RH処理中の除去促進と、スラグ中の酸化鉄などで溶鋼中Alが酸化されて生成するアルミナを低減する再酸化抑制技術が進歩した。乱流下での脱酸速度は、脱酸生成物の凝集、分離が律速と言われており、溶鋼を強攪拌する技術が重要である。介在物除去のシミュレーションも発達し、RH処理中の介在物粒径変化の挙動も解析され、粒径の大きな介在物から除去される測定値と良く一致することも明らかにされており、効率的な除去のための実操業の安定溶製に貢献している。

さらに、転炉から混入したスラグ中 (FeO)、(MnO) などによる溶鋼中Alの再酸化については、これらの低級酸化物の低減が重要であり、出鋼時のスラグカット以外にも、出鋼時および出鋼後にCaOとAlなどの還元剤を添加したスラグ改質を実施している。

#### 2.4.5 2次精錬プロセスの今後の展開

鋼材の用途は今後も多様化し、品質要求も高度化すると思われるが、さらにグローバル化により国際間の競争も激しさを増し、高品質化と低コスト化の両立が、益々重要になると思われる。そのためには、溶銑予備処理、転炉、2次精錬と機能分化した製鋼工程のプロセスの最適化をさらに推進し、目的に応じたプロセスの選択とプロセス自体の効率化および簡略化・集約化を図る必要がある。

これらのプロセス開発以外にも、高度化する品質を保証・管理する技術も要求されてくるため、成分の極低化および狭

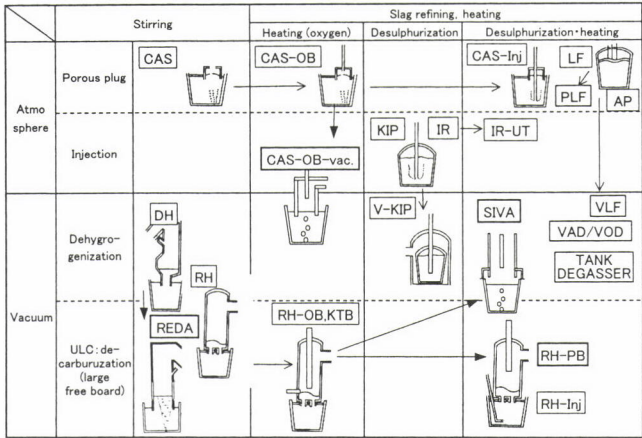


図2.13 2次精錬プロセスの分類図

範囲制御のためのセンシング技術も重要になると思われる。たとえば、多量の溶鋼を対象とした迅速で高精度の介在物オンライン測定法が開発されれば、プロセスへのフィードバックだけでなく、品質保証・管理にも展開される可能性がある。

また、環境問題も今まで以上にクローズアップされ、従来の製造法の制約を受ける可能性もある。地球温暖化の問題となっているCO<sub>2</sub>削減のため、スクラップ利用が拡大する場合には、Cu、Snなどの不純物の増加が懸念され、工業的規模での除去技術が望まれている。また、スラグの発生量の低減やリサイクルも含めた資源の有効活用も望まれており、効率的なプロセスや精錬能の高いスラグ成分、リサイクル容易な処理方法などの開発も急務である。

機能と雰囲気圧で大別した2次精錬プロセスの分類図を図2.13に示す。従来の単機能から酸素付加、粉体インジェクションなどの機能を付加して、多機能なプロセスへ変遷してきた。今後も様々な課題に対応するために、製鉄所の生産量、現有設備、鋼種構成などの諸条件を鑑みて、各所での最適プロセスを選択し、製鋼工程の中で前後のプロセスと調和を取りながら、2次精錬プロセスも発展してゆくと思われる。

## 2.5 連続 casting

我が国の鋼の連続 casting 比率は、80年代に95%を超え一見成熟期に入ったように思われる。それでも、最近10年間に、国内で新しく設置された連続 casting 機は、15基余りに達し、改造された連続 casting 機は30基を超える。

### 2.5.1 高速 casting 化

図2.14に、我が国のスラブ連続 casting 機の最高 casting 速度と稼働年との関係を示す。通常の200 mmから300 mm程度の厚みのスラブ連続 casting 機の最高 casting 速度は、最近10年で大きく変化

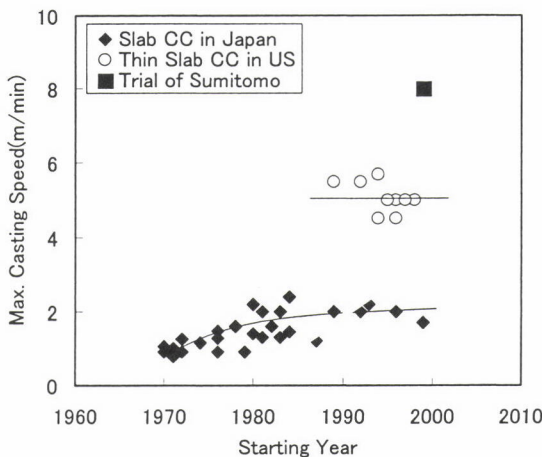


図2.14 連続 casting 機稼働年と最高 casting 速度との関係 (CAMP-ISIJ, 13 (2000), 115.)

していない。最高 casting 速度は上昇していないが、難 casting 鋼種や品質厳格品の casting 速度の上昇、 casting 準備時間の短縮などによって、連続 casting 機の生産性は着実に向上した。その結果、2ストランド連続 casting 機において、300 kt/mを超える生産も一般的になった。

一方、欧米で実用化され、我が国以外のアジアでも普及しているスラブ厚が40 mmから120 mm程度の薄/中厚スラブ連続 casting 機の場合は4～6 m/min程度である。試験 casting においては、スラブ厚が40～50 mmの条件において8 m/min～9 m/minの高速 casting が実現している。

最高 casting 速度の上昇は、連続 casting 機の設計に大きな自由度を与え、あらゆるニーズに対応する種々の連続 casting 機の設計が可能になった。現在においては、包晶鋼や合金鋼、自動車用鋼板等の品質厳格材の casting 速度を上昇させるための技術開発にターゲットは移行した。

ピレット連続 casting 機においては、新しい考え方のモールドテーパーなどの新技術によって、3～4 m/minでの casting が容易に行われるようになった。

### 2.5.2 電磁ブレーキ、電磁攪拌

多くの高生産性のスラブ連続 casting 機には、電磁ブレーキを装備している。電磁ブレーキには、全幅1段方式、全幅2段方式、移動磁場方式などがある。

一方、鋳型における電磁攪拌装置については、ブルーム連続 casting 機やピレット連続 casting 機においては一般的であったが、近年、スラブ連続 casting 機へ設置する動きが盛んである。これは、主に不均一凝固現象の防止や鋳型表面への気泡、介在物の補足の防止を目的としており成果を上げている。

### 2.5.3 タンディッシュ技術

タンディッシュの多数回使用は、耐火物コストの低減に有