

討14 新製鋼プロセスにおける最適操業法の確立

大同特殊鋼(株) 知多工場 小沢正俊, 中山 傑, 新貝 元

1. 緒 言

近年、高級鋼の品質，生産性向上およびプロセスの安定のため、取鋼における溶鋼処理法が実用化されつつある。当社当工場でも昭和57年6月にLFを導入し、電炉（EAF）-LF-RH-CCのELVACプロセスを確立した。本報ではELVACプロセスにおけるEAFおよびLFの精錬上の役割および特性を述べるとともに、さらにLF精錬技術の展開としてLF-DS法（Duplex-Stirring）およびLF-インジェクション法についても若干の考察をくわえた。

2. 新製鋼法の確立

2-1 新製鋼プロセス

当社は昭和57年6月に取鋼精錬（Daido Ladle Furnace refining）設備を設置し、既存のRH真空脱ガス設備との組合せによる新製鋼法ELVACプロセスを完成させた。（図1）にELVACプロセスの概念図を示す。

当プロセスにコンピューターを利用した各工程のタイムスケジューリングや取鋼含熱量による溶鋼温度OGC（Operator guidance control）システム等を導入することにより安定した高品質・高生産体制を確立した。

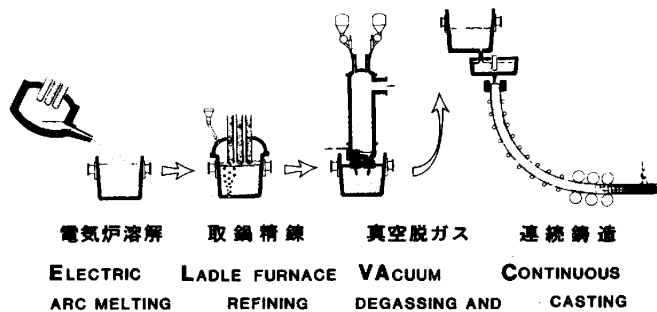


図1. ELVACプロセスの概念図

2-2 取鋼精錬導入目的

当社知多工場では、品質競争力の強化，原価低減および製鋼能力の増強を目的にLFの稼働を開始した。

（図2）にLFの機能および位置づけを示す。LFの機能のうち重要なものは昇温機能および還元精錬機能である。従来、EAFで行っていた還元精錬をLFに移行することによりEAFの負荷は軽減され生産能率は著しく向上する。また、成分や温度を厳密にコントロールできるため鑄込条件の難しい特殊鋼のCC化に必要・不可欠なものである。

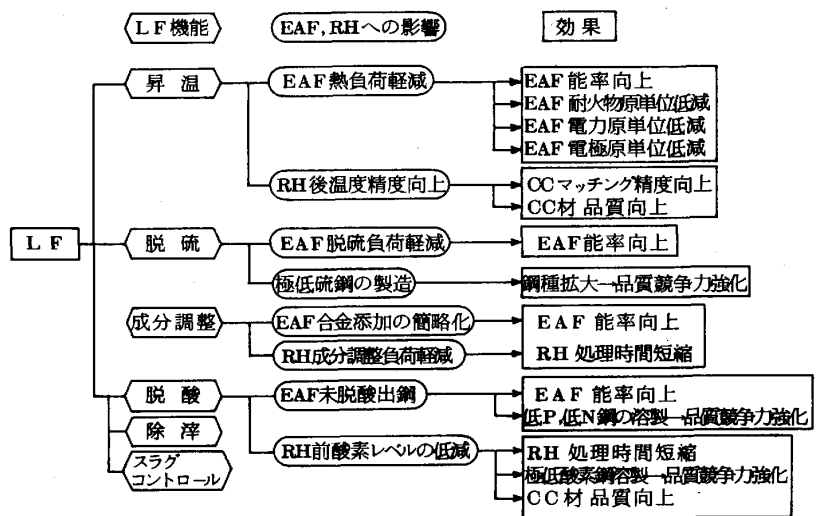


図2. LFの精錬機能と位置付け

3. 新製鋼プロセスにおける電炉操業法

LFの導入により、従来EAFで行なっていた還元精錬をLFに移行するため、酸化滓を除滓することなく出鋼する未脱酸出鋼を実施している。

未脱酸出鋼後の溶鋼中Ceqとスラグ中(FeO)との関係を(図3)に、従来法と対比して示す。(図3)より明らかに、未脱酸出鋼の場合、従来のEAF操業では得られなかったスラグ中(FeO)の低減が得られている。従来のEAF操業ではランシング攪拌程度であるのに比べ、未脱酸出鋼の場合、出鋼時の強攪拌が付加されるため、CO平衡に近づいたためと考えられる。還元精錬が容易に行なえるLFとEAF未脱酸出鋼との組合せにより平衡値に近いメタル回収が可能となった。

(図4)にEAF(未脱酸出鋼)-LF操業における合金歩留としてSiの歩留を従来法と対比して示す。

従来法に比べてSi歩留は向上しており、出鋼攪拌という強攪拌によりスラグ中(FeO)の低減、さらには溶鋼中の[O]の低減効果が現われている。

また、未脱酸溶鋼の脱酸状態がそれにつづくLF精錬に及ぼす影響は大きなものがある。(図5)にLF精錬下での脱硫分配比Lsに及ぼすCeqの影響を示す。当然のことながら酸素レベルの増加によりLsは低下してくる。このLF処理前の酸素レベルのバラツキを吸収してLFでの精錬の安定を図るべく当社が開発した特殊攪拌法であるLF-DS法(LF-Duplex Stirring)は、ポーラスバブリングのみの場合に比較してLsの大幅な向上が図れる有効な操業方法である。(図5)

なお、LF-DS法操業下においても、ポーラスバブリング法と同様にLF処理前のCeqによりLsの値が影響を受けている。従って、未脱酸出鋼-LF操業における最適操業法は、EAF操業そのものと、それにつづくLF操業を加味した形で決定すべきである。

EAF操業そのものとしてはCeqは小さい程有利であるが合金歩留、脱硫費等を考慮した場合のコスト比較を(図6)に示す。Ceqが高い程操業コストは低下するが、Ceq > 0.10での低減効果は小さい。また一般にEAFでCeqを上げる場合、生産性が低下するため、EAF操業の最適操業としては、当工場の場合Ceq 0.10%近傍にあり、それを目標に操業している。

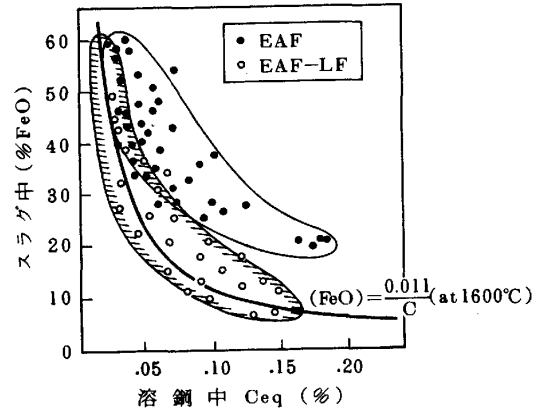


図3 溶鋼中Ceqとスラグ中(%FeO)との関係

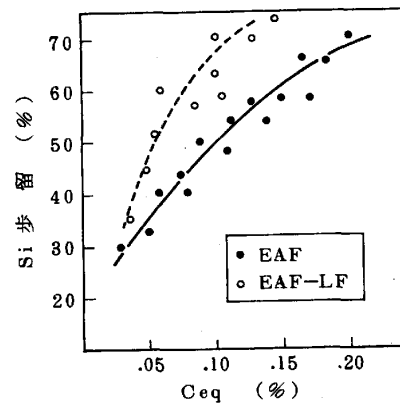


図4 溶鋼中Ceq(%)とSi歩留の関係

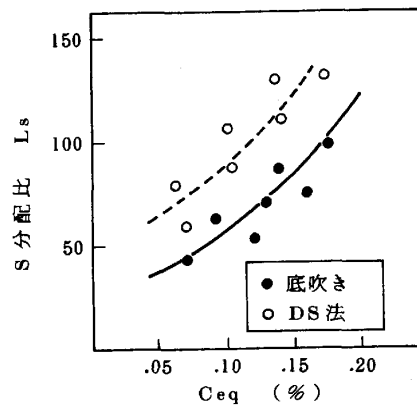


図5 CeqとLsとの関係

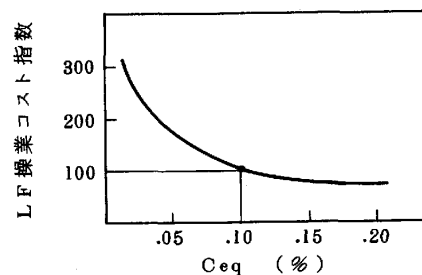


図6 CeqとLF操業コスト指数の関係

4. 取鋼精錬における脱燐・脱硫

4-1 脱 燐

LF導入によりアーク炉の低温・未脱酸出鋼が可能となり出鋼脱燐およびスラグカットにより低P鋼(P 50ppm以下)の溶製はより容易になった。(図7)に低P鋼溶製時の[P]の挙動を示す。極低P鋼溶製の場合(P: 20ppm以下) Na系Fluxを用いた方が有利であり、P規格に応じて使い分けを行っている。

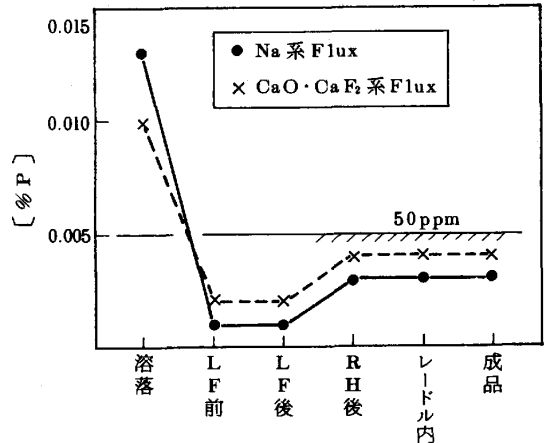


図7 低P鋼溶製時の[%P]挙動

4-2 脱 硫

LF実操業における脱S率を(図8)に示す。アーク加熱および処理末期の強攪拌により安定した高脱硫率・脱硫速度を得ている。さらに当工場ではLFの脱硫速度向上を目的にDS法を開発し、低硫鋼溶製時に活用している。

脱硫速度式

$$-\frac{d[\%S]}{dt} = K([\%S] - \frac{\%S}{L_s}) \dots \dots \dots (1)$$

K: 反応容量係数 L_s: 平衡分配比

DS法は装置制約(ポラスプラグからの底吹きガス流量、取鋼フリーボード等)による攪拌限界に左右

されず(1)式のKを高める画期的な方法であり、脱硫速度向上に大きく貢献した。(図9)に攪拌エネルギーと反応容量係数との関係、(図10)にスラグ塩基度とS分配比との関係を示す。反応容量係数Kを上げるべく、上吹

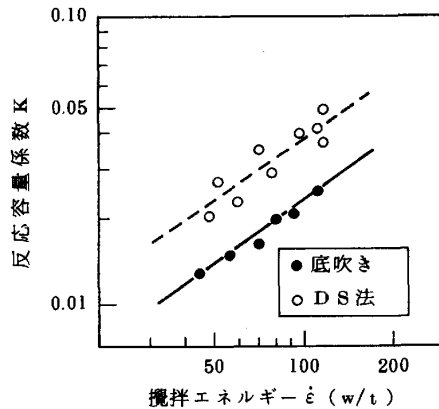


図9 攪拌エネルギーと反応容量係数との関係

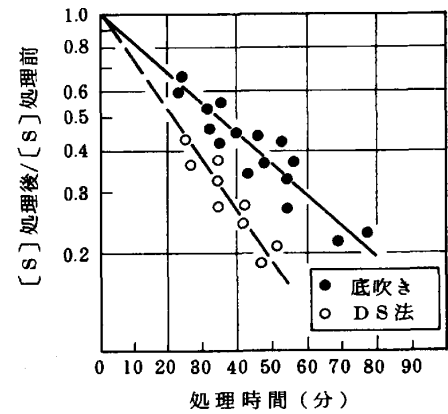


図8 LF操業における脱硫率

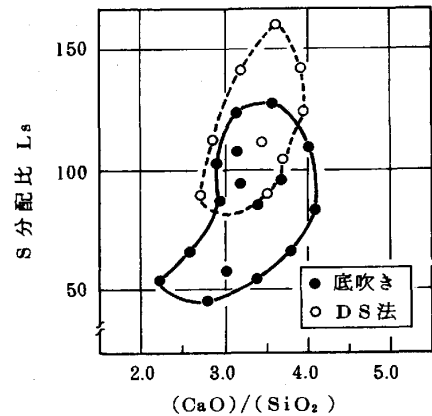


図10 スラグ塩基度とS分配比との関係

きを併用したLF-DS法の実施により脱硫速度は向上し、さらに同一塩基度におけるS分配比も増加し、短時間で高脱硫率を得ることができる。

5. 取鋼精錬における攪拌法の考察

5-1 水モデル実験

LFでの強攪拌が反応に及ぼす優位性を調査すべく水モデルを用いてスラゲーメタル間の物質移動を種々のパターンで測定し、取鋼内溶鋼強攪拌の反応に及ぼす影響を調査した。(図11)水モデル実験における底吹きガス流量と容量係数Kとの関係を示す。

- Ⅰ) 底吹きガス流量の増加に伴ない容量係数は増加し、ある臨界点を越えるとその傾きは小さくなる。これは吹抜け現象による攪拌エネルギーの低下によるものと考えられる。
- Ⅱ) ガス底吹きの場合と浸漬ランスによるガス吹込みとを比較した場合、同一ガス流量における容量係数に相違はなく、物質移動は攪拌エネルギーで整理できる。
- Ⅲ) 水モデルにおいてもDS法を実施した場合、実操業と同様容量係数は増加した。これはDS法により界面攪乱現象が生じ、スラグ-メタル接触界面積の増加によることが観察された。

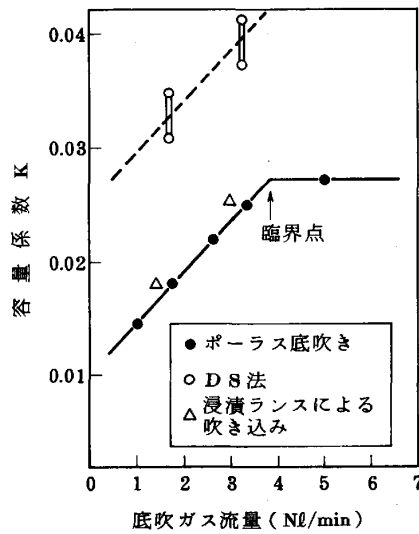


図11 水モデルにおける底吹きガス流量と容量係数との関係

5-2 水モデルと実操業の比較

(図9)からわかるように脱硫速度は攪拌エネルギーの強化、さらにLF-DS法の開発により著しく向上した。しかし実操業においては水モデルでみられた臨界点までは上げることができず、装置制約のある操業下ではLF-DS法といえども攪拌力強化の点で限界がある。

6. インジェクション技術の開発

LFでの攪拌制約による精錬機能の限界を改善すべくLF-Powder Injection技術を開発した。(図12)にその操業結果を示す。脱S率は大きくばらついておりInjection技術の早期確立が望まれる。

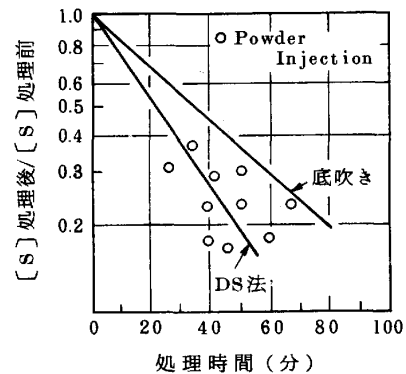


図12 Powder Injection操業における脱硫率

$$\text{transitory reaction } \frac{[X]}{[X]_0} = \exp(-KS)$$

$$\text{permanent reaction } \frac{[X]}{[X]_0} = \frac{1}{1+KS}$$

$$K: \left(\frac{[X]}{[X]_0} \right)_e, S: \frac{W_s}{W_m} \text{ (} W_{s,m}: \text{slag, metal weight)}$$

(表1)からわかるようにPowder Injectionによりtransitory reactionが促進されれば造滓材使用量が低減でき、さらに滓化促進による脱硫速度の向上が期待できる。

表1 $\frac{[X]}{[X]_0}$ 50%におけるKS, S

	KS	S = $\frac{W_s}{W_m}$
transitory reaction	0.7	0.007
permanent reaction	1	0.01

7. 結 言

ELVACプロセスにおいて、EAFおよびLFの特性・役割を検討する中で、最適操業法を確立した。また、LF精錬技術の展開として、LF-DS法、LF-インジェクション法を開発・適用を図り、安定かつ効率的な精錬を行なっている。