

(54)

A S E A - S K F 取鍋精錬炉内溶鋼の環流速度について

川崎製鉄 技術研究所

○藤井 徹也 松野 淳一

工博 大井 浩

1. 緒言 精錬炉内溶鋼の流動、混合状況は、溶鋼の精錬効果や脱酸速度に影響し、装置特性として重要な因子であるにもかかわらずその研究は少なく、特に、電磁誘導攪拌されている炉内溶鋼の流動に関する報告は数少ない。著者らは、水島製鉄所電炉工場に設置された A S E A - S K F 方式取鍋精錬炉の溶鋼中に R I を挿入し、浴表面にてその応答を検出し、混合モデルによる解析を併用して電磁誘導攪拌時の炉内溶鋼の混合、および、環流速度の定量的表示を試みた。

2. 実験設備と方法 設備概要を表 1 に示す。本設備は、それぞれ 90° の位相をずらした 4 段の低周波誘導コイルが 100 t 取鍋の周囲に設置されている。これらのコイルは溶鋼中に進行磁場と誘導電流を生じ、磁場と電流の相互作用によつて炉壁近傍の溶鋼は上向きの電磁力を受け、図 1 に示す溶鋼の流動が生ずる。 ^{198}Au または ^{60}Co を鋼製カプセルに封入し、ストッパー挿入用マニピュレーターを使用して溶鋼中に挿入した。R I 挿入後、10~30 sec 間隔でポンプサンプルを採取し、放射能測定用の試料とした。R I 挿入位置およびポンプサンプル採取位置は、後述の混合モデルによる解析が容易なように、底部中心と浴表面中心とした。なお、予備実験にて R I を封入した鋼製カプセルの浴中での溶解所要時間を求め、 40 ± 5 sec なる値を得た。

3. 実験結果 実験結果の一部を計算値とともに図 3 に示す。底部中心に R I を挿入し、浴表面にて放射能測定用の試料を採取した No 2~5 の実験ではカプセルの溶解後 50~70 sec で放射能強度にピークが見られ、80~100 sec で $C(t)/C_\infty = 1$ となり、挿入された R I は浴中に均一に分散した。No 1 の実験では、誘導攪拌装置を作動させずに実験を行ない、カプセル溶解後 240 sec の試料においても放射能が検出されなかつた。

底部側壁近傍に R I を挿入した No 6, 7 の実験、および、電磁誘導攪拌の方向を逆にセットした No 8, 9 の実験においても挿入された R I が浴中に均一に分散するに要する時間は、80~100 sec であり、No 2~5 の実験と同様な結果が得られた。以上から、浴中には滞留部が存在しなく、浴内溶鋼は誘導攪拌の方向に依存せず、十分に混合攪拌されていることがわかつた。

4. 取鍋内溶鋼の混合のモデル解析 滞留部が存在しなく、溶鋼はほぼ均一に攪拌されているという実験結果を考慮に入れて、装置内の流体の混合モデルとして比較的一般的な完全混合槽列モデルと拡散モデルを採用し、両モデルに基づいて実験結果を解析する。

4.1 完全混合槽列モデル モデルの概略を図 2 に示す。浴内を n 個（取鍋半分を対象とする）の完全混合槽にわけ、これら n 個の完全混合槽の連結で溶鋼の流動状態を近似する。図中の m は下降流部の完全混合槽の数を示し、装置の形状から決定すると $m = n/3$ である。挿入された R I は力

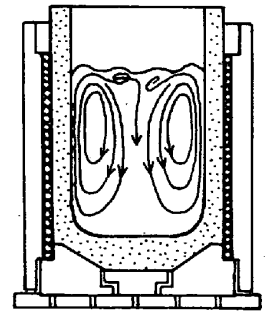


図 1 炉内溶鋼の流動様式

表 1 設備概要

処理能力	100 t/ch
加熱用変圧器	定格 8000 kVA
電極	12 inch ϕ
取鍋	鉄皮内径 3250 mm 全高 4450 mm
誘導攪拌コイル	内径 3450, 高さ 3100 mm
低周波発振器	周波数 0.9~1.2 Hz 350 kVA \times 2 MG 式

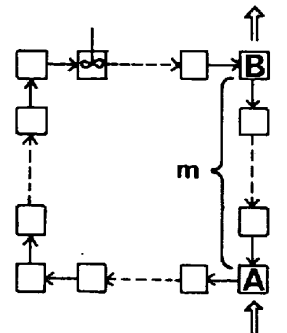


図 2 完全混合槽列モデル

プセルの溶解後デルタ関数的にA点に入るものとすれば、B点、すなわち浴表面における放射能強度の経時変化 $C(t) / C_{\infty}$ は(1)式で求まる。

$$\frac{C(t)}{C_{\infty}} = 1 - \eta(-1)^m \exp\{-2(\phi - \phi_L)\} + 2 \sum_{k=1}^{\ell} \cos\left\{n(\phi - \phi_L) \sin \frac{2\pi k}{n} + \frac{2\pi k}{n}(1-n+m)\right\} \exp\left\{-n(\phi - \phi_L) \left(1 - \cos \frac{2\pi k}{n}\right)\right\} \dots (1)$$

ただし、 n が偶数の場合、 $\eta = 1$ 、 $\ell = n/2 - 1$ 、 n が奇数の場合、 $\eta = 0$ 、 $\ell = (n - 1)/2$ である。

4.2 拡散モデル 取鍋内の溶鋼の流動状態は位置によらず一定であるとすると、浴中に挿入されたRIの挙動は(2)式で表わされる。

$$\partial c / \partial t = E_z (\partial^2 c / \partial z^2) - U (\partial c / \partial z) \dots (2)$$

応答実験の条件を考慮して(2)式を解くと、浴表面中心の放射能強度の経時変化は(3)式で求まる。

$$\frac{C(t)}{C_{\infty}} = 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \cos\left\{2\pi k(Z_0 + \phi - \phi_L)\right\} \exp\left\{-\frac{(2\pi k)^2}{Pe}(\phi - \phi_L)\right\} \dots (3)$$

5. モデルと実験結果との比較

5.1 モデル中のパラメータの決定 実測応答パターンと

(1)、(3)式による計算応答パターンとを比較し、モデル中のパラメータ n 、 m 、 Pe 、 Z_0 、 ϕ_L を決定した。その際に、応答パターンの特性値としてピーク位置 t_s 、ピーク幅 t_w 、および、ピーク高さ H の無次元値を採用し、 $t_w / t_s > 0.9$ 、 $H = 1.2 \sim 1.4$ なる条件を満たすようにパラメータを決定し、表2に示す値を得た。

5.2 環流速度および混合拡散係数

環流速度： 実測応答パターンの t_w と(1)、(3)式による ϕ_w とを比較し、環流速度 Q を求め、表2の結果を得た。RH環流脱ガス装置における環流速度は、取鍋に流入、流出する溶鋼量であり、表2に示す環流速度とは異なるが、参考のために比較すると、従来RH環流脱ガス装置の環流速度として報告されている値、 20 t/min (処理溶鋼量 $60 \sim 100 \text{ t}$)、および、 40 t/min ($150 \sim 200 \text{ t}$) と比較して、本装置の環流速度は2~4倍大きい。

モデルと実験との応答パターンの比較： 表2の値を使用し、(1)、(3)式の無次元時間を有次元表示して測定値と比較し、両モデルに対して図3(a)、(b)を得た。両モデルとも、計算値と測定値間にはよい一致が得られた。この際に、モデル化によつて生じる時間遅れ L は計算値と測定値のピーク位置を一致させることで推定した。

表2 パラメータと計算結果 (*:(4)式による逆算値)

混合拡散係数： 他の装置との比較のために、混合拡散係数 E_z を用いて溶鋼の混合の強さを表示し、表2の結果を得た。ただし、 n と Pe の関係には次式を使用した。

$$Pe = 2(n-1)^2 / n \dots (4)$$

[記号] $C(\phi)$ 、 C_{∞} : B点、および、完全混合後の放射能強度、 L : 時間遅れ、 Pe : ペクレ数、 t : 時間、 V : 溶鋼体積、 Z : 距離、 Z_0 : 無次元RI挿入位置、 Z : 無次元距離、

$\tau = V/Q$: 循環時間、 $\phi = t/\tau$: 無次元時間、 ϕ_L : 無次元時間遅れ、 ϕ_w : 無次元ピーク幅

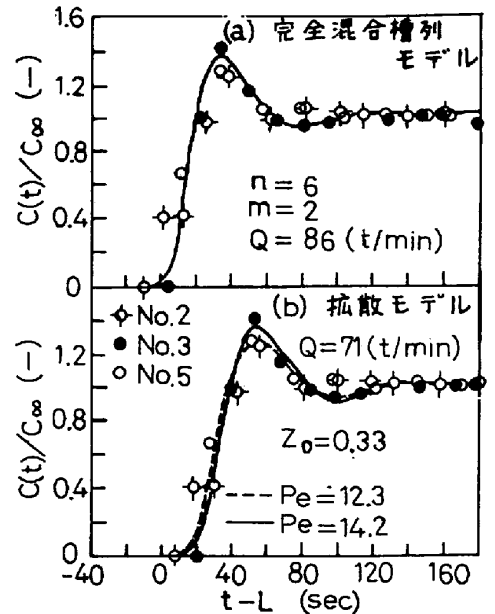


図3 測定値と計算値との比較

モデル	パラメータ				環流速度 (ton/min)	混合拡散係数 ($\times 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$)
	n	m	Pe	Z ₀		
完全混合 槽列モデル	5	2	6.4*	-	91	4.4
	6	2	8.3*	-	86	3.1
	7	2	10.3*	-	81	2.4
拡散モデル	7*	-	10.3	0.40	71	2.1
	8*	-	12.3	0.33		1.8
	9*	-	14.2	0.33		1.5
	10*	-	16.2	0.25		1.4