

# 真空下での上吹き噴流制御による高効率 2 次精錬技術

## High Efficiency Secondary Refining Technology by Controlling Jet under Vacuum Pressure

奥山 悟郎 A. A. G. r. rFE スチール 経営企画部 海外事業統括室 主任部員 (部長)・博士 (工学)  
鷺見 郁宏 W. r. rFE スチール スチール研究所 環境プロセス研究部長・博士 (工学)  
鍋島 誠司 ABE H. A. B 水島合金鉄 B 事業推進部 主査・博士 (工学)

### 要旨

多くの製鋼精錬プロセスでは上吹き酸素が利用されており、その噴流挙動は冶金特性に影響をおよぼす重要な因子である。

査し、その結果をもとにノズル形状や噴流流速を適正化するために有効なモデル式を提案した。本モデルで設計したノズルを 350 t RH の RH-awasa に適用した。

Abstract

### 1. 緒言

多くの製鋼精錬プロセスにおいて、上吹き酸素が利用されており、その噴流挙動は冶金特性に影響をおよぼす重要な因子である。上吹き酸素は、一般的には  $a$  ノズルを介して超音速噴流となっている。大気圧下での噴流挙動はさまざまな研究報告がある<sup>1-5)</sup>。近年では数値計算の発展により、超音速噴流の数値シミュレーションが実施されている<sup>6-8)</sup>。転炉プロセスでは、多孔ノズルの上吹きランスが使用されており、その噴流挙動は非常に複雑であるが、複数噴流の相互作用などの影響を含む、複雑な噴流挙動についても数値解析が可能となっており、真空雰囲気

を適正化するために有効なモデル式を提案し、本モデルにより設計したノズルを実機 RH に適用したので報告する。

### 2. 実験および数値計算方法<sup>11)</sup>

#### 2.1 コールドモデル実験方法

真空雰囲気下での上吹き噴流の動圧を測定するための実験装置を図 1 に示す。上吹きノズルは単孔の  $a$  ノズルを用いた。真空槽内の雰囲気圧力はロータリーポンプにより調整した。ノズルからは窒素ガスを上吹きし、真空槽内に設置したピトー管および圧力センサーを用いて、噴流の動圧を測定した。実験条件を表 1 に示す。

Exp. 1 では、開口比 ( $A/A_t$ ) が 8.3 の単孔  $a$  ノズルを用いた。本ノズルはガス流量が  $29.4 \text{ m}^3/\text{min}$  の時、噴流が適正膨張する雰囲気圧力 (

下での噴流挙動を調査した。また、ノズル形状や噴流流速

式の有用性を評価した。

## 2.2 数値計算方法

数値計算は Ex. 1 と同じ条件で実施した。計算条件を表 2 に示す。数値流体計算は F E を用いた。

上述のように計算結果と数値計算結果を比較することで、本数値計算の有効性を評価するとともに、噴流流速に及ぼすガス流量の影響を調査するため、ガス流量を変化させた条件でも計算した。それらの結果を用いて、減圧下での噴流挙動をモデル化した。

における半径方向分

## 3. 実験および数値計算結果

図 2 および図 3 に Ex. 1 の条件における噴流のマッハ数の軸方向（ランス高さ方向）分布およびランス高さ 200

を設計し、上吹き条件を最適化する場合では多くのケースを計算する必要があり、膨大な時間を要する。そこで、ノズル形状と減圧下での噴流挙動の関係を容易に評価することができるよう、数値計算結果から得られた簡易的な数式を用いて減圧下の噴流流速のモデル化をした。

#### 4. 減圧下の噴流流速のモデル化

ポテンシャルコアの存在するノズルから近い領域では  $M/M_0$  は1になり、それ以降はノズルからの距離に反比例して低下することが知られている。そこで、噴流軸方向のマッハ数を(2)式と定義した。

$$\dots\dots\dots (2)$$

$M_0$  は数値計算から得られたノズル出口のマッハ数であり、ノズル形状や雰囲気圧などの条件により不適正膨張の影響を含んでいる。噴流が適正膨張している時のノズル出口におけるマッハ数の理論値は(1)式から得られる。また、 $K$  と  $\alpha$  はそれぞれパラメータであり、噴流の減衰が始まる見かけのポテンシャルコア長さ  $L_p$  は(2)式から  $K + \alpha$  となる。

図5に  $P_0/P$  と噴流マッハ数の減衰パラメータ  $K$  の関係を示す。霧道り餅・



の方が酸素噴流の動圧が高く、二次燃焼率は  $\phi_2$  は低位になる。しかしながら、送酸後半に雰囲気圧力が低下しても、 $\phi_2$  の噴流動圧の増加量は小さいため、 $\phi_1$  よりも動圧が低位になり二次燃焼率が高くなる。これより上吹き送酸中の  $\phi_2$  の二次燃焼率は  $\phi_1$  よりも増加した。

図 11 に RH 処理開始前 C 濃度と RH 処理中の溶鋼温度低下速度の関係を示す。 $\phi_2$  ノズルを使用した場合、 $\phi_1$  の場合と比べて、RH 処理中の溶鋼温度低下速度は約 2 倍に増加した。