

〈論文〉

溶融スラグを用いた難燃物処理装置の流動解析

The Flow Simulation of the Fire Retarding Substances Furnace by Using the Molten Slag

宇多信喜^{1*}, 佐川 寛¹, 松田健志², 瀧口智志², 朝倉祝治³¹三菱重工業(株)神戸造船所²三菱重工業(株)高砂研究所³横浜国立大学大学院工学研究院Nobuki Uda^{1*}, Hiroshi Sagawa¹, Takeshi Matsuda², Satoshi Takiguchi² and Shukuji Asakura³¹ Kobe Shipyard and Machinery Mitsubishi Heavy Industry Co. Ltd.² Takasago Research and Development Center Mitsubishi Heavy Industry Co. Ltd.³ Graduate School of Engineering Yokohama National University

Abstract

The prototype furnace, which adopted the new technique for combusting the fire retarding substances, was manufactured. In this furnace, the fire retarding substances such as rubber, vinyl chloride and so on were put on the molten slag. The ash, generated at the surface of the fire retarding substances, dissolved into melt, which promoted the surface combustion of the fixed carbon.

From test results, it was found that the processing rate increased due to a large quantity supply of the fire retarding substances which were cut small and the slag stirring. As one of the causes, it was supposed that the contact area between the fire retarding substances and the molten slag increased since substances with a small bulk density could spread on the slag surface and move into the molten slag.

In order to understand the phenomena, the CFD (Computational Fluid Dynamics) code, which could solve the slag flow field with high accuracy, was developed. The flow field was treated as the 3 phase flow which consisted of the slag, the stirring air and substances without considering the heating and combustion of the substances. For the purpose of solving the interface phenomena of each phase, the CFD code adopted the CIP (Cubic Interpolated Pseudo-particle) method and the MARS (Multi-interface And Reconstruction Solver) method. As results, it was found that the small size substances moved violently on or in the stirring slag. This tendency became more remarkable when the stirring air flow rate increased. The predictions obtained by the CFD code were in agreement with the experiments. Therefore, the CFD code was considered to be effective in understanding the substances behavior on the molten slag.

Key Words : combustion and melting furnace, fire retarding substances, molten slag, CFD

1. はじめに

ゴム, 塩化ビニール等に代表される難燃物は燃焼発熱量が少なく, 灰分含有率が大きいことから持続的燃焼が容易でないものが多い。その為に燃焼用空気流速を増加して, 焼却処理が行われることが多い。しかし, ダストの飛散量が増加し, オフガス系の規模, 負荷が大きくな

る問題が見受けられる。

そこで, 無機物の保温材料, 焼却灰等を溶融する溶融炉内で難燃物中の有機物の焼却及び難燃物中の灰分の溶融処理を行うことを考えた。この効果として焼却灰に代表される不燃物と難燃物の統合処理による高い減容効果と処理コストの低減を図るとともに, 処理速度向上及び難燃物中灰分の飛散抑制など, 難燃物の処理プロセスの改善を試みた。著者らが提案する処理システムを **Fig. 1** に示す。焼却灰等を溶融したスラグに難燃物をバッチ投入し, 少ない空気流量, 低い酸素濃度条件で燃焼させると

* 〒 652-8585 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-1
TEL: 078-672-5666 FAX: 078-685-2399
E-mail: nobuki_uda@mhi.co.jp

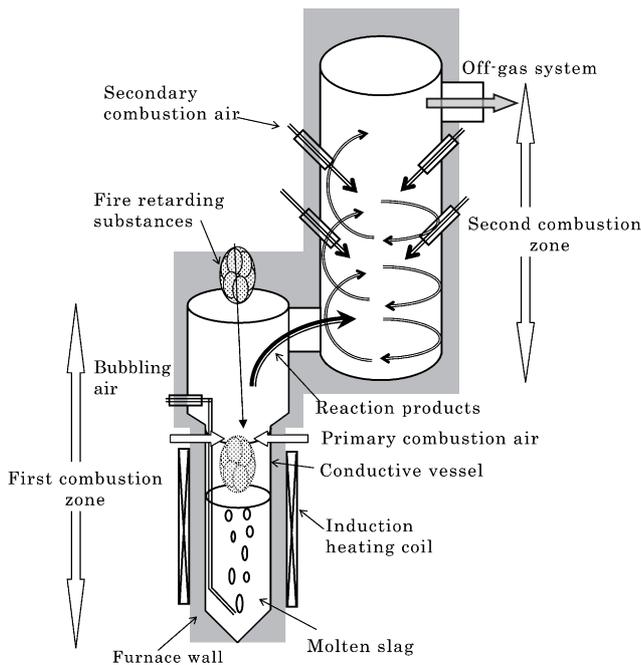


Fig. 1 Processing system.

ともに難燃物中の灰分はスラグに溶融する。燃焼炉で生成した未燃ガス及び未燃固形分は下流の2次燃焼室で完全燃焼を行う^{1),2)}。難燃物中の灰分を積極的に溶融することで、難燃物中炭素の燃焼速度の向上を図るとともにダストの飛散を低減し、オフガス系の規模及び負担を低減することを期待した。

本研究では実機規模の低酸素燃焼試験炉を製作し、難燃物の燃焼処理速度を評価した。その結果、難燃物を数mm程度に破碎し、バッチ式で多量投入するとともにスラグを空気攪拌することで燃焼処理速度が向上した。この要因の一つとして、一般的な空気燃焼炉では灰分含有率が大きい難燃物が表面燃焼した後、難燃物中の灰分が表面に生成し、難燃物内部に分布する炭素と酸素との接触が妨げられ、炭素の燃焼速度が低下すると考えられる。一方、スラグ溶融方式では難燃物中の灰分がスラグに溶融するため、炭素と酸素との接触が顕著になり難燃物中の炭素の燃焼速度が向上すると考えられた³⁾。

本研究では燃焼処理速度向上の要因として、スラグ面における難燃物の挙動に着目した。すなわち、スラグ上における難燃物の分散性、巻き込み性が良好で難燃物とスラグとの接触面積が増加すると考えた。そこで、スラグ面での難燃物の挙動を理解するために、スラグの流れ場を流動解析により求めた。スラグ温度を一定とし、難燃物の加熱、相変化を考慮しない条件で、スラグ、攪拌空気及び難燃物からなる固気液3相の流れ場を対象とし

た。このような流れ場は多相流であることから界面における表面張力効果を精度良く求めることが重要である。その為に、移流項の解法にはCIP法^{4),5)}を表面張力の評価はMARS法^{6),7)}を採用した解析コードを作成した。

まず初めに水を空気で攪拌した流れ場を対象に解析コードの精度を検証した。次に実機規模のスラグ流れ場を対象にスラグの流動性、すなわち、スラグの波高を高くするための条件について検討した。最後に難燃物の大きさ及びスラグ攪拌空気流量をパラメータに難燃物の分散性及び巻き込み性について検討を行った。

2. 実機規模低酸素燃焼炉試験

実機規模の難燃物低酸素燃焼炉の試験結果を示し、流動解析に対する課題を明らかにした。

2.1 試験方法

1) 試験試料

難燃物の灰分含有率が処理速度に影響を及ぼすことを別途基礎試験³⁾で確認しているため、灰分含有率の大きな難燃物としてゴムを灰分含有率の小さな難燃物としてポリスチレンを選定した。それぞれの性質をTable 1に示す。難燃物の大きさ及び質量をTable 2に示す。30, 50, 100mmの大きさの難燃物を準備し、大きさと処理速度の関係を把握した。3mmの大きさの難燃物を所定の質量

Table 1 Properties of samples

	Polystyrene	Rubber
Specific gravity	1.0	1.4
Ash (wt%)	0	30
Theoretical air volume for perfect combustion (Nm ³ /kg)	10.3	5.6

Table 2 Amounts of samples supplied

Samples	Size (mm)	Amount supplied (g/batch)
Polystyrene	30	17
Polystyrene	50	80
Polystyrene	100	630
Rubber	30	22
Rubber	50	100
Rubber	100	830
Polystyrene/Rubber	3	100, 250, 500, 1000

分、袋詰めした。そして、1回あたりの投入量と処理速度の関係を把握した。ゴムの灰分の主成分は塩基性酸化物であるCaOとMgOである。スラグの主成分は42%SiO₂-23%CaO-22%Na₂O-5%MgO-4%Al₂O₃で、酸性酸化物SiO₂の割合が多いことから、灰分はスラグへ容易に溶解すると思われる。なお、スラグには融点降下剤としてNa₂Oを含む。試験中にNa₂Oの蒸発が起こるが、スラグ融点及び粘性に大きな変化を与えないことを確認している。

2) 試験装置

試験装置をFig. 2に示す。この試験装置は難燃物の燃焼処理速度の評価を行うために製作した。未燃ガス及び未燃固形分の完全燃焼は本装置の下流部で行った。高周波誘導加熱にて直径400mm、高さ1500mmの導電性容器を高温に保持し、この内でスラグを溶融した。この上に難燃物を投入し、発生したガスの時間変化を燃焼炉出口のガスモニターで計測した。難燃物燃焼時の様子を観察できるように炉上部にはカメラを設置した。スラグ内にはスラグを攪拌するために空気または窒素を供給した。炉下流には送風機を接続し、バルブを用いて炉内へ流れ込む空気流量及び炉内圧を調整した。

3) 試験条件

スラグ温度はスラグの融点が約950°Cであることと容器の耐久性を考慮し、1100°Cにした。スラグを攪拌する空気は0~15Nm³/hの範囲に設定した。スラグの深さは約500mmとした。難燃物の投入方法はバッチ方式とした。難燃物の大きさと1回あたりに投入する質量をTable 2に示す。3mmの難燃物は所定の質量を袋詰めし、スラグに投入した。30mm以上の難燃物は1個ずつ単独

でスラグに投入した。

2.2 試験結果

燃焼処理速度に対する影響因子を把握するために難燃物の大きさ、1回あたりの投入量及びスラグ攪拌空気流量を変えて発生ガスの時間変化を計測した。

2.2.1 燃焼処理速度の導出方法

難燃物の燃焼処理速度を評価するにあたり、3mmの難燃物と30mm以上の難燃物は異なる評価方法を適用した。

1) 30mm以上の難燃物の燃焼処理速度

30mm以上の難燃物の場合、燃焼処理速度は次式をもとに算出した。

$$\text{燃焼処理速度} = \frac{\text{低酸素燃焼炉内に投入した難燃物質量}}{\text{処理時間} \times \text{初期の難燃物断面積}} \quad \dots(1)$$

スラグ上の難燃物の燃焼状態を目視で確認できるため、燃焼が完了した時間を処理時間とした。単位面積当たりの燃焼処理速度を算定するにあたり、難燃物を1個ずつ投入するので、処理前の難燃物の断面積を処理断面積とした。

2) 3mmの難燃物の燃焼処理速度

3mmの難燃物の燃焼処理速度は次式をもとに算出した。

$$\text{燃焼処理速度} = \frac{\text{低酸素燃焼炉内に投入した難燃物質量}}{\text{処理時間} \times \text{処理断面積}} \quad \dots(2)$$

3mmの難燃物をスラグに投入した場合、煤である黒い煙が燃焼炉内に充満するために難燃物の燃焼状態を目視で観察できなかった。そこで、反応生成ガスの計測結果から処理時間を類推した。その考え方をFig. 3(1)(2)に示す。難燃物が燃焼している間、燃焼炉出口において計測される反応生成ガス濃度は増加し続け、燃焼が終了すると反応生成ガス濃度は減少し、燃焼炉内に拡散した反応生成ガスが完全に排気されるとガス濃度はゼロになると考えた。従って、処理時間は反応生成ガス濃度がピークを有するまでの時間(以下、ピーク濃度時間と呼ぶ。)とした。この妥当性の確認は模擬ガスとしてCO₂をFig. 2に示すスラグ表面から矩形の流量になるように供給し、燃焼炉出口において当該ガス濃度の時間変化を計測することで実施した。難燃物処理時の反応生成ガスの発生パターンは必ずしも矩形にはならないが、ここではFig. 3(1)に示す時間、反応が起こると考えた。そして、この代表的な処理時間と試験条件との関係を把握するこ

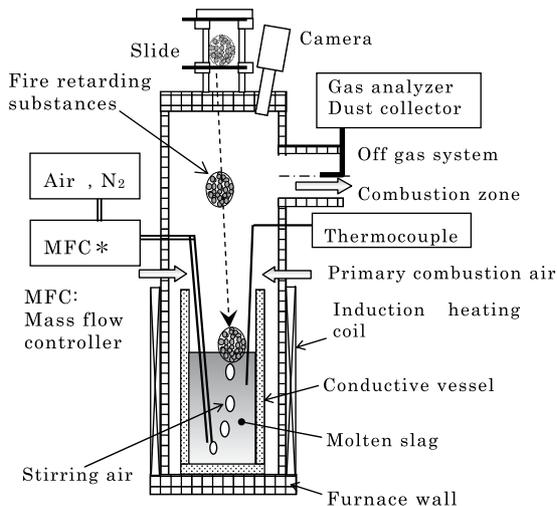


Fig. 2 Schematic of test device.

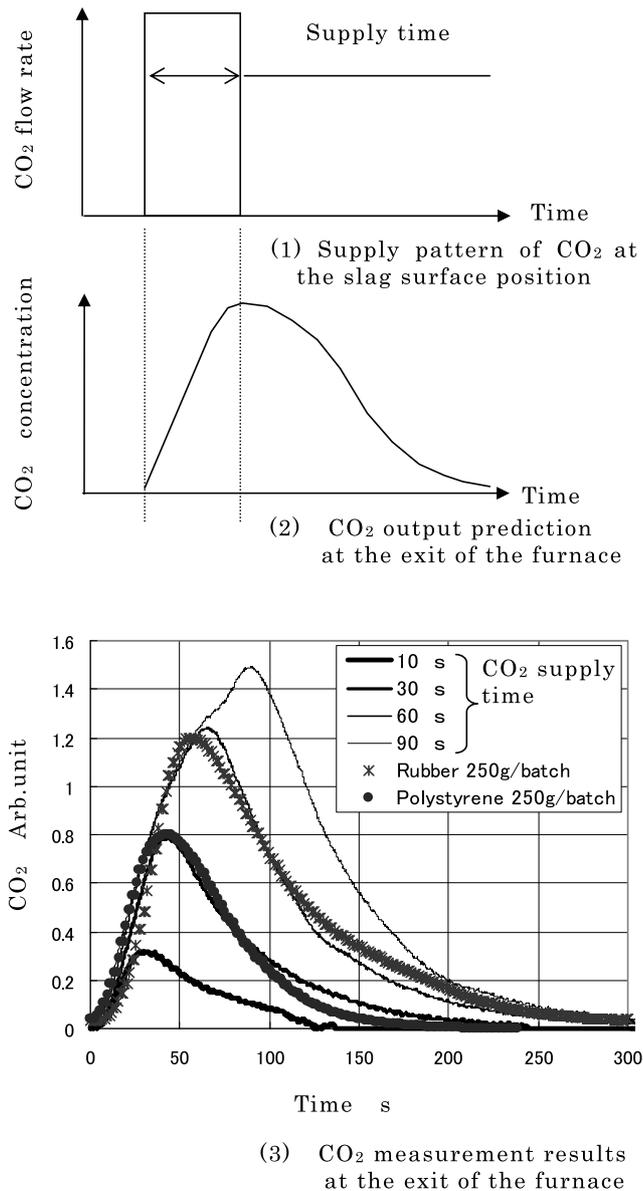


Fig. 3 CO₂ supply and output.

とにした。

Fig. 3 (3) に難燃物をスラグで処理した時の CO₂ の時間変化と模擬ガスをスラグ面から供給した時の CO₂ の時間変化を示す。両者は比較的良好に一致した。また、難燃物をこのピーク濃度時間ごとに複数回投入した時、燃焼炉出口における各ガス濃度が投入毎にほぼ同じ値になることからピーク濃度時間による処理速度の算定は妥当であると判断される。

処理断面積はスラグ表面の面積とした。これは、難燃物は投入後、スラグ表面に均様に分散すると考えたからである。

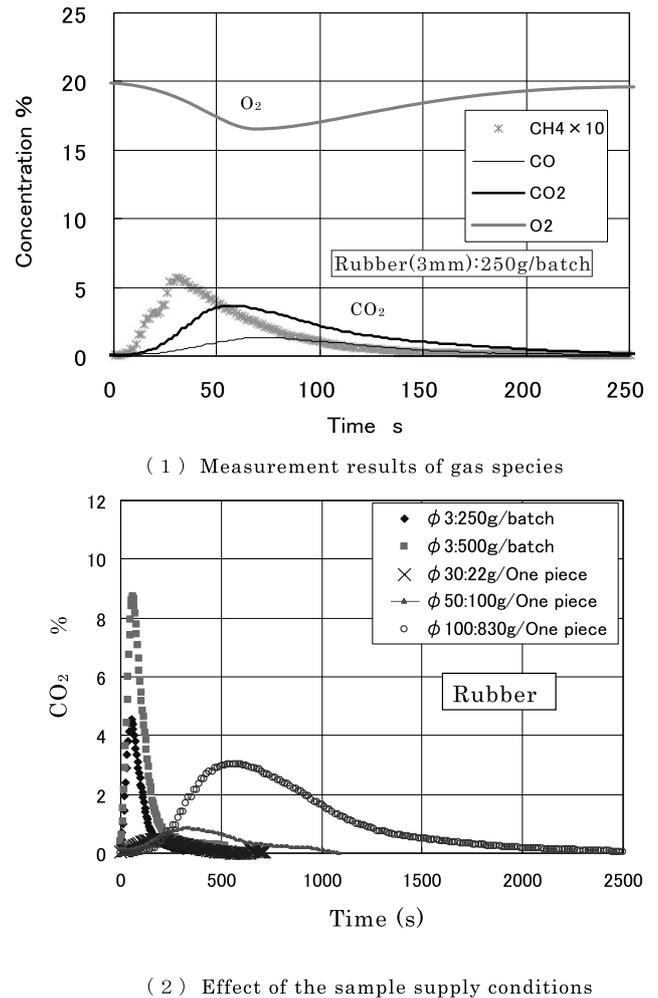


Fig. 4 Change of gas concentrations from the combustion zone. Symbol: size: Amount supplied.

2.2.2 反応生成ガスの特性

反応生成ガスの時間変化を Fig. 4 に示す。難燃物はゴムである。Fig. 4 (1) は難燃物のサイズが 3mm、1 回あたりの投入量が 250g の場合である。CH₄ は 10 倍して表記している。Fig. 4 (2) は難燃物のサイズ及び投入量を変えた時の CO₂ の時間変化である。いずれの試験条件も攪拌空気流量は 5Nm³/h、炉内に流入する空気流量は 250Nm³/h である。

Fig. 4 (1) に着目すると CH₄ 濃度がピークになった後、CO、CO₂ 濃度がピークになった。これらの傾向は他の試験条件においても概ね同じであった。以下ではガス濃度の変化幅が大きい CO₂ の計測結果を示した。

Fig. 4 (2) より、難燃物のサイズが 30、100mm と大きくなると CO₂ の発生時間が長くなり、処理時間も長くなった。直径 3mm の難燃物では 1 回あたりの投入量が

250, 500g と他の条件と比較して多いが CO₂ の発生時間及びピーク濃度時間が短かった。なお, CO, O₂ 等, ガス濃度の変化幅が大きい主たるガス種についても同様の傾向が得られた。

2.2.3 燃焼処理速度の評価

難燃物の大きさと燃焼処理速度との関係を Fig. 5 に示す。同図には別途実施した 2 ~ 5mm の難燃物 1 個を対象にした燃焼処理速度の評価結果を示す³⁾。これより難燃物のサイズが大きくなると単位面積当たりの処理速度が小さくなることがわかった。

3mm の難燃物について, 1 回あたりの投入量と燃焼処理速度の関係を求めた。評価結果を Fig. 6 に示す。1 回当たりの投入量が多くなると燃焼処理速度が大きくなった。これは Fig. 4 (2) に示すように 1 回あたりの投入量が 3mm で 250 から 500g に多くなると, ピーク濃度時間は長くなるが, その増加分は投入した難燃物質量の増加分程, 長くないからである。また, スラッグを攪拌するために供給する空気流量を多くすると燃焼処理速度が大きくなった。

2.3 考察

以上の結果より, 難燃物の燃焼処理速度は難燃物を小さく破碎すること, 1 回あたりの投入量を多くすること, スラッグを攪拌する空気流量を多くすることで増加することがわかった。なお, 攪拌空気の効果は窒素を用いた場合も同様の結果が得られていることから難燃物を燃焼させる効果だけでないとい推測される。この効果として, か

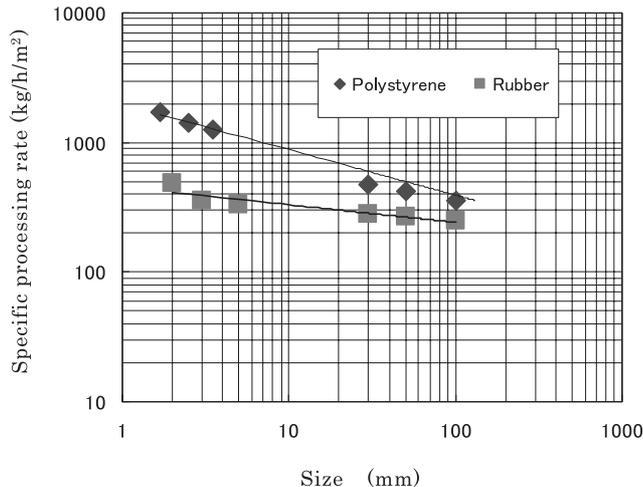


Fig. 5 Size dependence of specific processing rate.

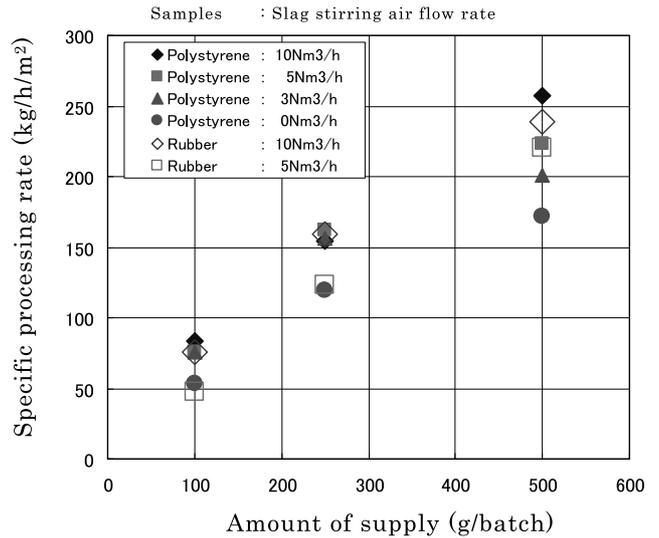


Fig. 6 Specific processing rate (Size: 3 mm).
Symbol:sample:Slag stirring air flow rate.

き密度の小さい難燃物がスラッグ上にかさ張ることなく, スラッグ上を分散し, スラッグ内に巻き込まれることで反応面積が増加するからと考えた。従って, 以下ではスラッグの流動解析を行い, 難燃物のスラッグ上での挙動について検討を行った。

3. 計算方法

本研究の対象は界面を含む多相流であることから, 界面現象をシャープに解く手法を導入した。移流の扱いは CIP 法を用いた。本手法はメッシュ間の補間を物理量の勾配も考慮して行うことでより高精度な計算が可能となる。物理量の勾配も保存式から求めることが特徴である。表面張力を高い精度で求めるために界面追跡手法として MARS 法を用いた。本手法は流体体積率の輸送を扱う点で, VOF (Volume Of Fluid) 法の一種と言える。通常の VOF 法では界面の輸送が格子に斜めに進む場合, 界面が格子に垂直化する点が指摘されているが, MARS 法では任意の界面の傾きを扱うことで, 格子依存性を回避し, 高い解像度が得られる特性を有している。

3.1 基礎式

基礎式は 2 次元 Navier-Stocks 方程式, 連続の式, エネルギー及び多相 m 流体の保存式よりなる。それぞれを以下に示す。なお, 温度は一定とした。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{F}_{sv} + \nu \Delta \mathbf{u} + \mathbf{g} \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \rho = -\rho \nabla \cdot \mathbf{u} \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) P = -\gamma P \nabla \cdot \mathbf{u} \quad \dots(3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} + \sum \nabla \cdot (\mathbf{F}_m \mathbf{u}) = 0 \quad \dots(4)$$

ここで、 \mathbf{u} は流速、 ρ は密度、 P は圧力、 ν は動粘性係数、 \mathbf{g} は重力加速度、 γ は比熱比である。 \mathbf{F}_{sv} は表面張力項である。 \mathbf{F}_m は相 m の流体の体積分率で平均流体率は次式で求められる^{6),7)}。

$$\mathbf{F} = \sum \mathbf{F}_m \quad \dots(5)$$

物性値 ϕ は各相の平均値として次式で定義される。

$$\phi = \sum (\mathbf{F}_m \phi_m) \quad \dots(6)$$

3.2 時間分割

時間分割は基礎式左辺の移流項と右辺の非移流項に分けて考える。すなわち、 \mathbf{u} の解はまず非移流項で新たな \mathbf{u} を求めた後、その解を移流させる。 ρ も同様に求める。 P は上式を変形して求めた次式により求める。

$$\nabla \left(\frac{\nabla P^{n+1}}{\rho^n} \right) = \frac{P^{n+1} - P^n}{\gamma P^n \Delta t^2} + \frac{\nabla \cdot \mathbf{u}^n}{\Delta t} \quad \dots(7)$$

ここで、 n は時間ステップを意味する。この式を線順法で反復的に解く。 P が決定すると \mathbf{u} 及び ρ が算出される。これが全体として数値計算の1ステップとなる。

3.3 表面張力

表面張力は CSF (Continuum Surface Force) モデル⁸⁾ による体積力として考慮する。評価式を以下に示す。

$$\mathbf{F}_{sv}(\mathbf{x}) = \sigma \kappa(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{n}(\mathbf{x}) \cdot \rho(\mathbf{x}) / \rho \quad \dots(8)$$

ここで、 σ は表面張力係数、 κ は単位法線ベクトル \mathbf{n} から求められる界面曲率、 ρ は界面上での平均密度である。 $\kappa(\mathbf{x})$ 、 $\mathbf{n}(\mathbf{x})$ 及び $\rho(\mathbf{x})$ は界面上の位置 \mathbf{x} における値を示す。

4. 解析コードの検証

2次元水槽における水の空気攪拌を対象に解析コードの精度を検証した。

4.1 コード検証試験

実験装置の概略を Fig. 7 に示す。幅 300mm、奥行 300mm のアクリルケースに水を 300mm の深さになるように満たした。空気の吹き込みは底部 L 型パイプを用いて行った。空気流量は 30L/min である。

4.2 解析条件

解析範囲は Fig. 7 に示した検証試験と同じ範囲とした。幅 300mm、水の深さを 300mm、空気の範囲を 300mm とした。メッシュ数は幅方向に 100、高さ方向に 200 である。気体、液体の物性は 20°C の空気、水の物性を用いた。

4.3 可視化結果

Fig. 8 に PIV⁹⁾ (Particle Image Velocimetry) 試験の結果を示す。同図には解析結果として密度分布を示す。出力の間隔は 1/25 秒である。解析では気泡が分裂、結合を

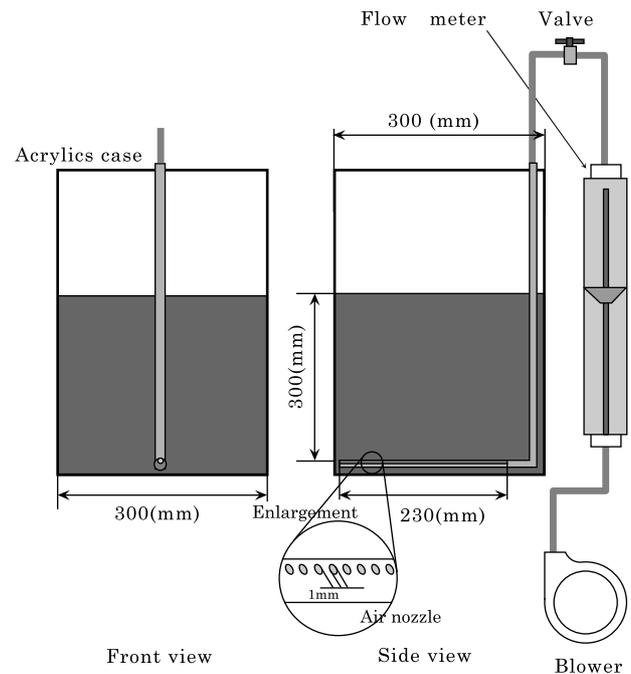


Fig. 7 Verification test apparatus.

繰り返しながら全体として揺らぐ様子まで適切に再現できた。中心軸から外れた領域において、気泡の巻き込みが生じているが、試験及び解析結果ともに同様の傾向が得られた。

4.4 速度分布及び波高比較

Fig. 9は解析とPIV試験の鉛直方向速度分布を比較したものである。ノズル出口(y=0mm)から水面(y=300mm)までの内、3断面(y=60, 240, 300mm)で比較した。これより、試験と解析の速度分布はほぼ同じ分布を示した。波高の比較結果をFig. 10に示す。波高Hは次式に基づき求めた。

$$H = 2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (h_i - \bar{h})^2} \quad \dots(1)$$

ここで、 h_i は格子番号*i*での界面の高さである。総和は水平方向の格子に対して行った。

これより、波高についても解析結果は試験結果とよい一致を示すことがわかる。以上より、本解析コードは多相流について、十分な解析精度を有しているものと判断された。

5. 実機規模低酸素燃焼炉のスラグ流れ場

実機規模低酸素燃焼炉を対象にしたスラグ流れ場の数値計算では、まず初めに難燃物がない条件でスラグの流動性に対する空気攪拌の効果を確認した。次に難燃物をスラグ表面に投入した時のスラグ内への巻き込み性について検討を行った。

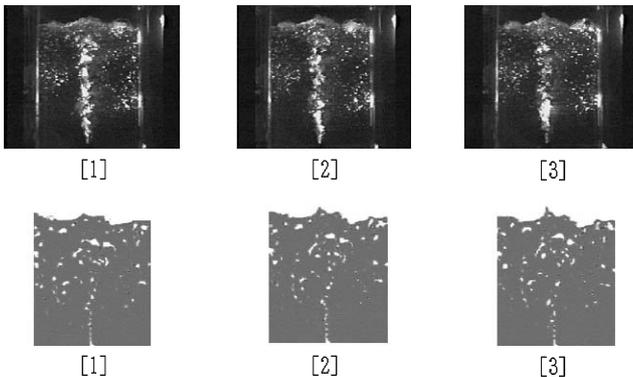


Fig. 8 Comparison of the flow field (upper: PIV, lower: CFD).

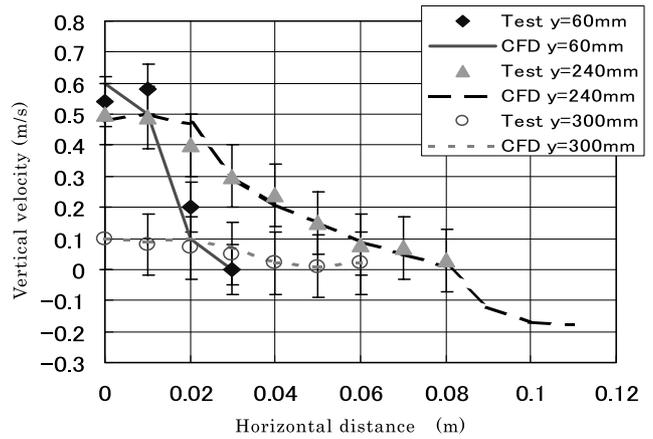


Fig. 9 Comparison of the velocity profile. (X=0 means the center of the acrylics case.)

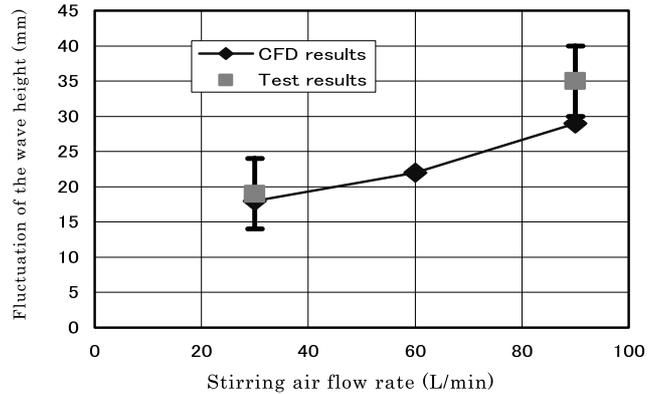


Fig. 10 Comparison of the wave height.

5.1 計算対象

計算対象をFig. 11に示す。解析対象は2次元で幅400mm、スラグ深さ500mm、容器高さ1000mmである。攪拌空気は容器底から内径10mmのノズルにて供給した。ノズルは1本で中心に配置した。ノズル本数の効果を確認するためにノズルを3本配置したケースについても流れ場を評価した。ノズル部には攪拌空気流量に応じた流速を与えた。スラグ温度は1100°C、スラグ密度は2500kg/m³、粘性係数は0.45μPa·s、表面張力は400mN/m¹⁰である。難燃物の密度はゴムを想定して1500kg/m³とした。

難燃物の大きさは3, 10, 30mmと変えて解析を行った。投入量は500gを想定し、3層重ねた状態で、スラグ表面に一様に分布させた。3mmと10mmではFig. 11に示す範囲で解析を行ったが、難燃物の挙動をより詳細に

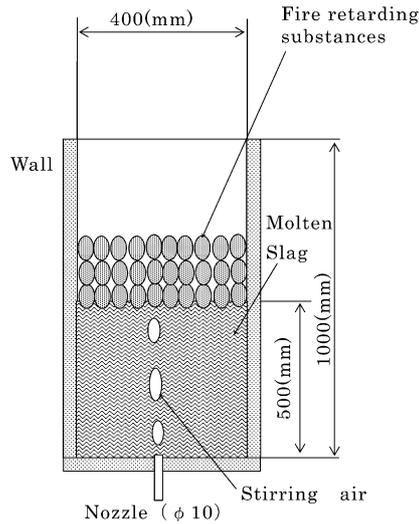


Fig. 11 Analytical condition.

観察する目的で、難燃物を10～15個並べた狭い範囲でも解析を行った。この結果は Fig. 11 の範囲で行った結果と有意な差はないことから、難燃物周りの狭い領域で

の解析結果を以下に示す。メッシュ数はいずれの条件についても同じで、高さ方向、幅方向にそれぞれ200、100メッシュである。

5.2 解析結果

1) スラグ流れ場の評価

難燃物がない状態で攪拌空気流量とノズル本数を変えてスラグ流れ場を求めた。密度分布を Fig. 12 に示す。出力の間隔は1/25秒である。攪拌空気によりスラグ表面は全面にわたり波立つことがわかる。同じ空気流量ではノズル1本の方が3本よりもスラグ表面の波立ちは大きい。これはノズルが1本の方がスラグの一部の波高が高くなり、スラグ全面に伝わるからと考えられる。攪拌空気流量と波高の関係を Fig. 13 に示す。波高の算出方法は4.4節と同じである。攪拌空気流量が5Nm³/h以上になると波高が高くなった。波高は10mm程度の大きさである。同図には攪拌空気を3箇所から供給したケースを示す。複数本数のノズルから空気を供給するよりも1本で同じ

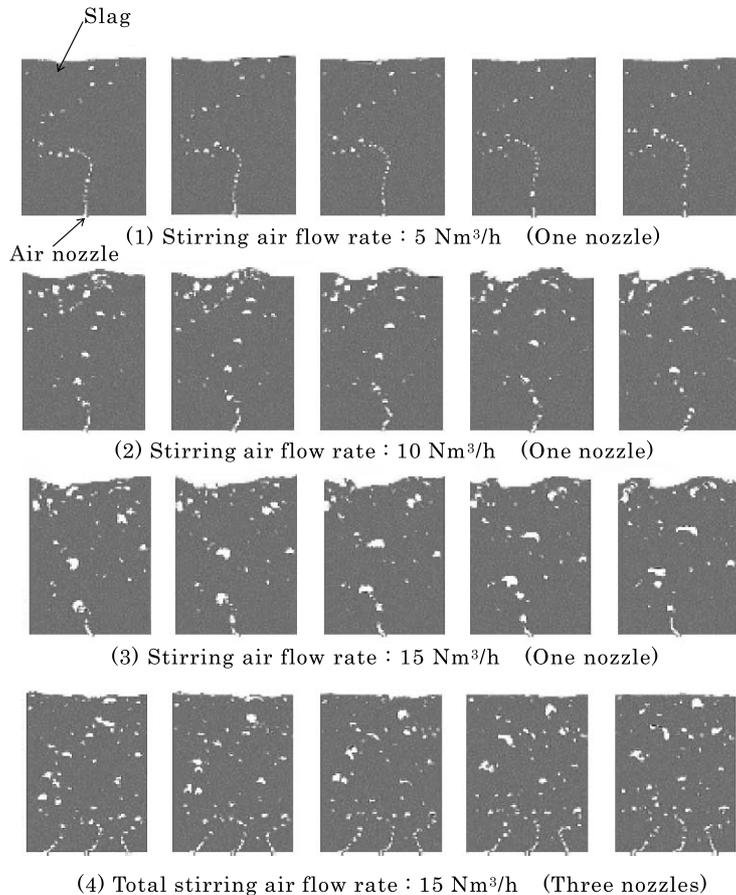


Fig. 12 Analytical results without the fire retarding substances Influence of the stirring air flow rate and nozzle layout.

空気流量を供給する方が波高は高かった。

2) 難燃物のスラグ上での挙動

空気攪拌しているスラグに異なる大きさの難燃物を配置した時の密度分布を Fig. 14 に示す。いずれも 15 個程度の難燃物を並べた条件での解析結果である。3mm の難燃物は気泡により激しく上下及び左右に移動するとともに、スラグ内へ巻き込まれるものが見られる。30mm の難燃物では気泡径が粒子径に対して小さく、上下に若干運動はするが巻き込むまで進んではいない。

Fig. 15 に攪拌空気流量を変えて行った解析結果を示す。難燃物の大きさは 10mm である。全てのケースで難燃物は両端に押しつけられるが、特に 15Nm³/h の解析ではスラグ中への難燃物の巻き込みが確認される。攪拌空気流量が多い方が難燃物は激しく移動した。

以上より、数 mm 程度の難燃物を多数同時に投入し、スラグを攪拌した場合、難燃物はスラグ内へ巻き込まれた。スラグ内への難燃物の巻き込み性が良くなるとスラグと難燃物との接触面積が大きくなり、難燃物への伝熱及び難燃物中灰分のスラグへの溶融が促進できるものと考えられる。

6. まとめ

溶融スラグを用いた難燃物処理装置の燃焼処理速度を評価した結果、難燃物を小さく破碎すること、1 回あたりの投入量を多くすること、スラグ攪拌空気流量を多くすることで燃焼処理速度が向上することがわかった。この要因として難燃物のスラグ内への巻き込みによる伝熱

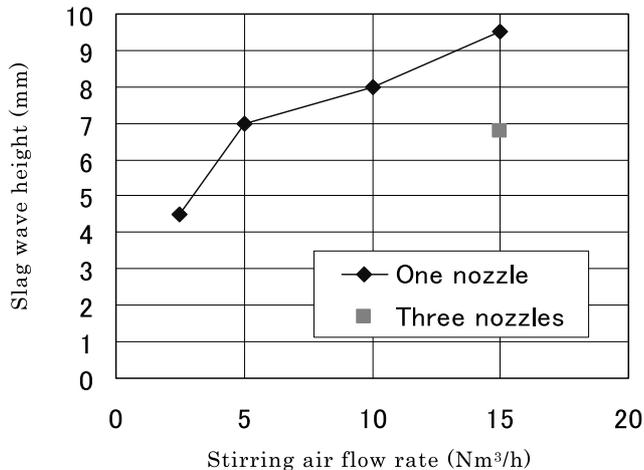


Fig. 13 Relation between the slag wave height and stirring air flow rate.

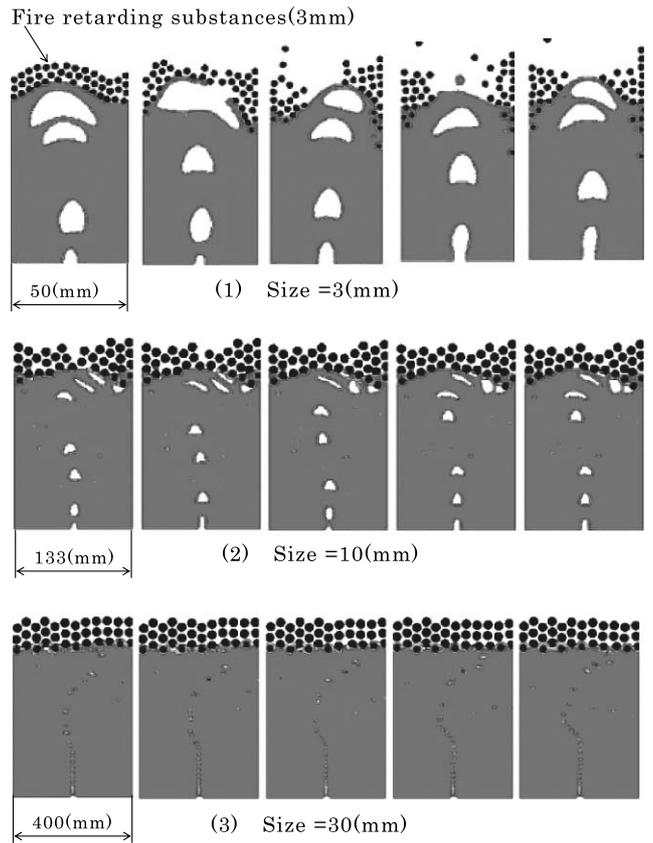


Fig. 14 Analytical results Influence of the fire retarding substance size Stirring air flow rate: 5(Nm³/h).

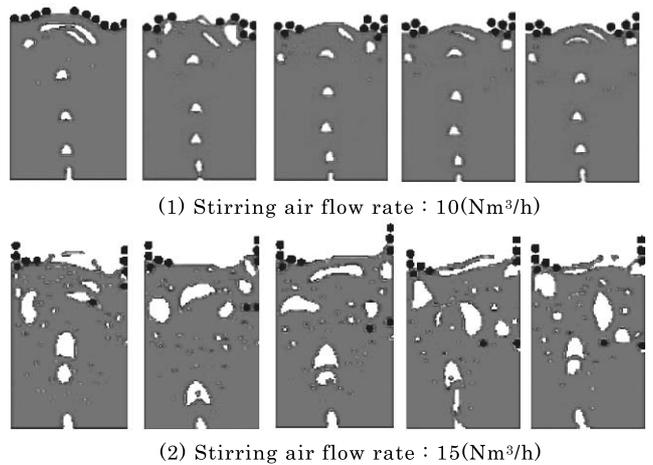


Fig. 15 Analytical results Influence of stirring air flow rate The fire retarding substances size = 10(mm).

及び反応促進効果を考えた。温度が一定で難燃物の加熱、相変化を考慮しない条件でスラグ、攪拌空気及び難燃物からなる流れ場を対象に流動解析を行い、難燃物の巻き込み性に関する検討を行った。主な成果を以下に示す。

1) 多相流の流れ場を高い精度で解く為に移流項の評価

- にCIP法を表面張力の評価にMARS法を採用した解析コードを作成した。水を空気攪拌した流れ場を対象に流速及び波高を比較した結果、十分な精度を有することを確認した。
- 2) 実機規模のスラグ流れ場を対象にスラグの空気攪拌効果を確認した。5Nm³/hの攪拌空気流量でスラグ全面における流動性が確認された。そして、攪拌空気流量を多くすることで10mm程度の波高を有した流況が得られた。
- 3) 難燃物の大きさを変えて、スラグへの巻き込み性を評価した結果、大きな難燃物はスラグへの有効的な巻き込みが見られなかった。一方、難燃物が3mm程度に小さくなるとスラグの流動によって、難燃物は激しく移動し、スラグ内への巻き込みが確認された。
- 4) 3)の傾向はスラグを攪拌する空気流量を増加すると顕著になった。

[参考文献]

- 1) 佐川寛, 宇多信喜他, 日本原子力学会 2000年春の年会要旨集, D43.
- 2) 佐川寛, 宇多信喜他, 日本原子力学会 2000年春の年会要旨集, D44.
- 3) 宇多信喜, 朝倉祝治他, 溶融スラグを用いた難燃物処理装置の開発(燃焼特性評価基礎試験), 廃棄物学会論文誌, Vol. 16, No. 3 (2005掲載予定).
- 4) T. Yabe, F. Xiao, Nucl. Eng. Des., 115, 45-53 (1995).
- 5) T. Yabe, Rev. Laser Engrg., 20, 691-696 (1992).
- 6) 斎藤直, 功刀資彰, 芹澤昭示, リング型気泡生成の数値シミュレーション, 第13回数値流体力学シンポジウム.
- 7) 功刀資彰, 日本機械学会論文集B編, 63巻, 609号, 1576-1584 (1997-5).
- 8) J.U. Brackbill, D.B. Kothe, C.J. Zemach, Comput. Phys., 100, 335-354 (1992).
- 9) 木村一郎, 植村知正, 奥野武俊他, 可視化情報計測, 近代科学社.
- 10) 日本鉄鋼協会編, 鉄鋼便覧I基礎, 丸善.

(受付 2004. 12. 22)

(受理 2005. 2. 10)