

OpenFOAM による溶湯循環型アルミ連続溶解槽での流動シミュレーション

中川慎二^{1†} 木倉崇²

¹富山県立大学 ²北陸テクノ株式会社

CFD simulation of molten aluminum in continuous flow bath using OpenFOAM

Shinji NAKAGAWA^{*†} Takashi Kikura^{**}

^{*}Toyama Prefectural University ^{**}HokurikuTechno CO., LTD

Abstract

Flow of molten aluminum in the continuously processing melting bath was simulated using OpenFOAM. Flow was driven by a gas bubbling filtration treatment. Buoyancy driven upward flow was modeled using mean velocity force. Movement of molten aluminum, air and the interface between them was obtained with VOF method using interFoam solver.

Keywords: OpenFOAM, Gas Bubbling Filtration, molten aluminum, VOF, interFoam

1. はじめに

アルミニウム製品の製造工程のはじめに、固体のアルミニウムを溶解する作業が必要となる。溶解した液体のアルミニウム（溶湯）の内部には、不純物や溶存水素が存在する。溶存水素量等は、固化したアルミニウム製品の品質に大きく影響[1]する。これらを除去するための溶湯処理について、多くの研究[2, 3]が報告されている。

溶湯処理方法の1つに、溶湯内に不活性ガスの気泡を通す Gas Bubbling Filtration (GBF)がある。GBF では、ガスを導入するノズルを回転させ、剪断力によって基本を微細化することが行なわれる。ガスの流量やノズル形状および回転速度などによって、発生する気泡および生じる流れが複雑に変化[4]する。

本研究は、GBF 装置によって生じた溶湯の流れを利用して、連続的に溶湯処理を可能とする「溶湯循環型アルミ連続溶解槽」を対象とする。この槽内に発生する溶湯流れを、OpenFOAM を利用して再現する。

GBF 処理部は高速回転および微小気泡が発生することから、その物理現象を直接計算することは大きな計算負荷を要する。そのため、本研究ではその効果を模擬する体積力を与えるモデル化を実施した。これにより、槽内全体に発生する循環流の挙動を再現することが目的である。

2. 計算方法

Fig.1 に計算対象となるアルミ溶解槽の概略図およびメッシュを示す。槽はおよそ 0.5m×1.3m×0.6m の大きさである。x 方向の中央、y 座標 0.9m 付近に、ローター（緑）が存在する。ローターは任意の回転数で回転しながら、その底部からガスを噴出する。回転流による溶湯表面の波立ちを抑えるためにステーター（白）が設置されている。

気泡による流れを模擬するために、ローター付近に円筒型の cellZone を作成した。OpenFOAM の fvOption 機能の1つである meanVelocityForce を使い、この領域に上昇速度を与えた。なお、OpenFOAM の標準機能では、x, y, z の各方向の速度を指定することができるが、回転速度を与えることはできない。本報告では、ステーターの働きによって回転成分が相殺されることから、単純な上昇速度だけを与えるモデル化を採用した。回転流の付与は今後の課題である。

槽の側面および底面は固体壁条件とし、上面は大気開放条件とした。なお、ローター表面には、rotatingWallVelocity 境界条件を設定することで、回転数に応じた速度を付与した。

温度変化は考慮せず、OpenFOAM v1712 の interFoam ソルバを使用した。溶湯の体積は槽の 80% とし、溶湯表面上の気相も計算対象とした。文献から求めた空気の水素および溶融アルミの水素物性値を使用した。

[†] E-mail address of corresponding author: opencae.toyama@gmail.com

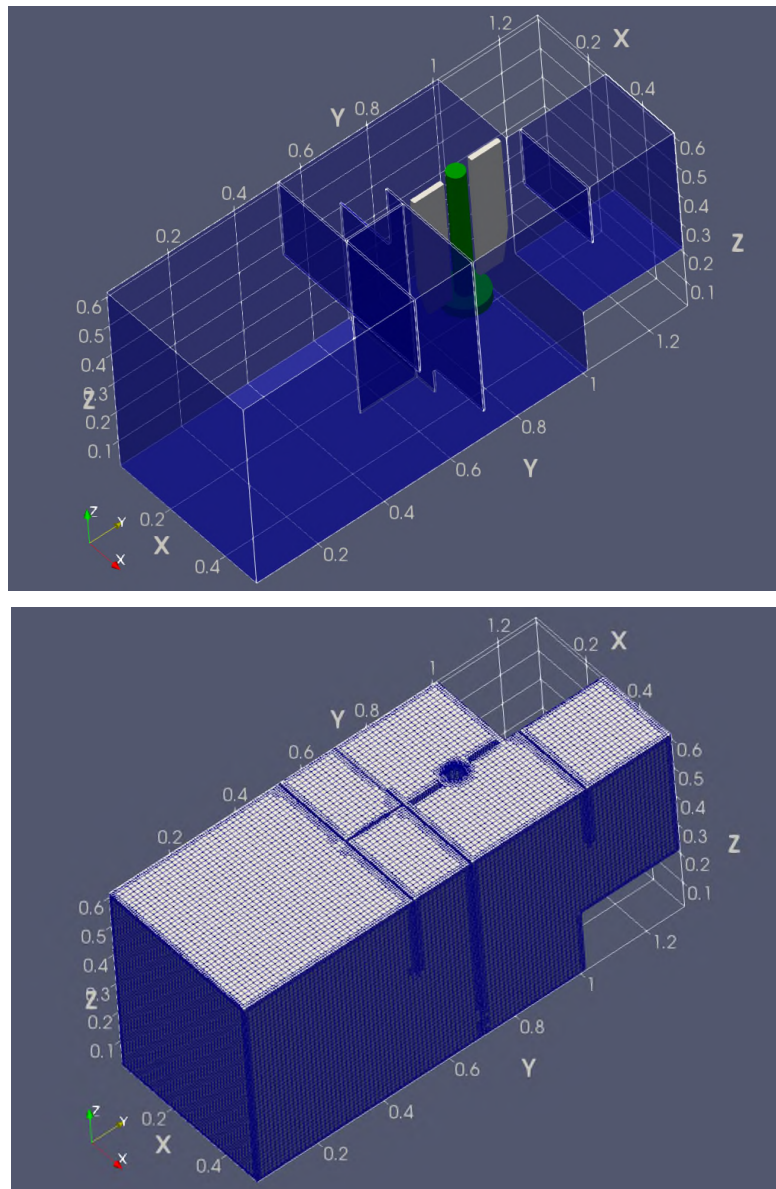


Fig. 1 Overview and mesh of test section; Blue, bath walls; White, stator; Green, rotor.

3. 計算結果

Fig.2 に計算結果の一例を示す。流線および流線上の速度を示すベクトルを表示したものである。与えた上昇速度によって、槽全体に流れが生じていることが分かる。GBF 装置以外の付加機能を使うことなく、溶湯の流れを作り出すことで、多くの溶湯を連続的に処理できる可能性がある。

槽に設けた仕切り板によって、GBF 部と湯だまり部が形成されている。湯だまり部に流入する流量等を計算結果から算出した。発表では、これらの詳細および実験で観察される流れについて報告する。

Fig.3 に、湯たまり部入口から導入した粒子の拡散の様子を示す。粒子の色は流れ投入してからの経過時間を示す。

4. まとめ

OpenFOAM の標準機能を活用することで、アルミ溶解槽での GBF 処理によって生じる溶湯流れを再現した。計算条件の詳細、実験との比較検討等については、講演時に報告する。

参考文献

- [1] C. Lee, T. So, K. Shin, Effect of Gas Bubbling Filtration Treatment on Microporosity Variation in A35

6 Aluminium Alloy, *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, 29(7), 638-646 (2016).

- [2] 大塚良達, アルミニウムの溶解と溶湯処理, 軽金属 Vol.44, No.8, 461-471 (1994).
- [3] L. Zhang, X. Lv, A.T. Torgerson, M. Long, REMOVAL OF IMPURITY ELEMENTS FROM MOL TEN ALUMINUM: A REVIEW, *Mineral Processing & Extractive Metal/. Rev.*, 32, 150-228 (2011).
- [4] M. Saturnus, Influence of impeller shape on the gas bubbles dispersion in aluminium refining process, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol.55 No.2, 285-290 (2012).

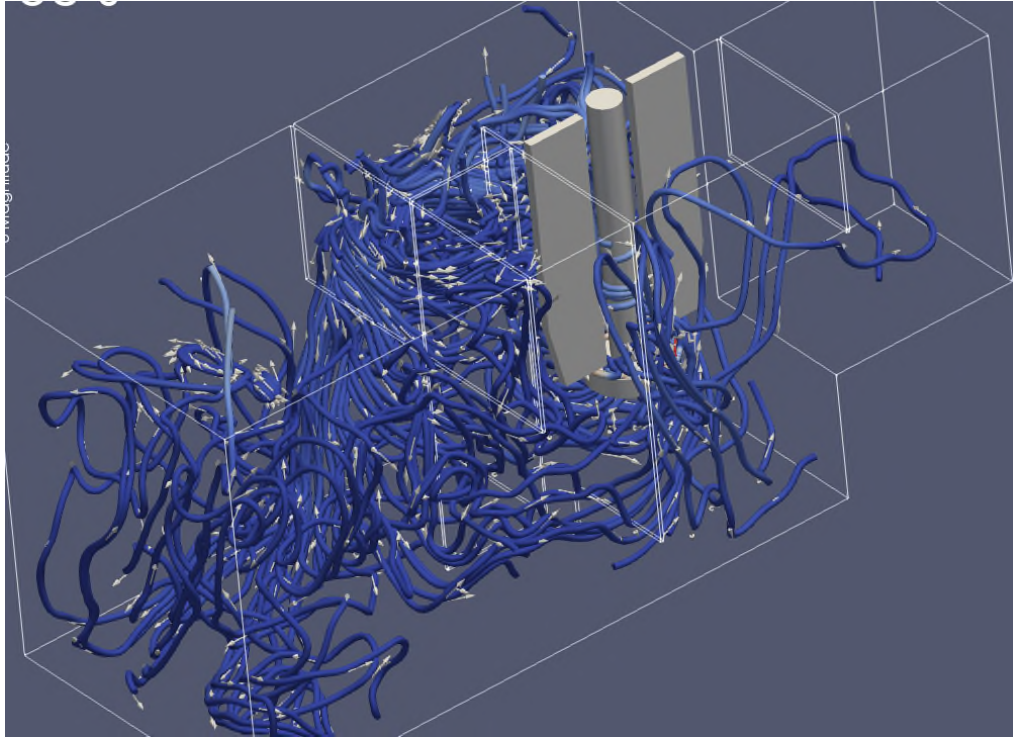


Fig. 2 Streamlines and velocity vectors

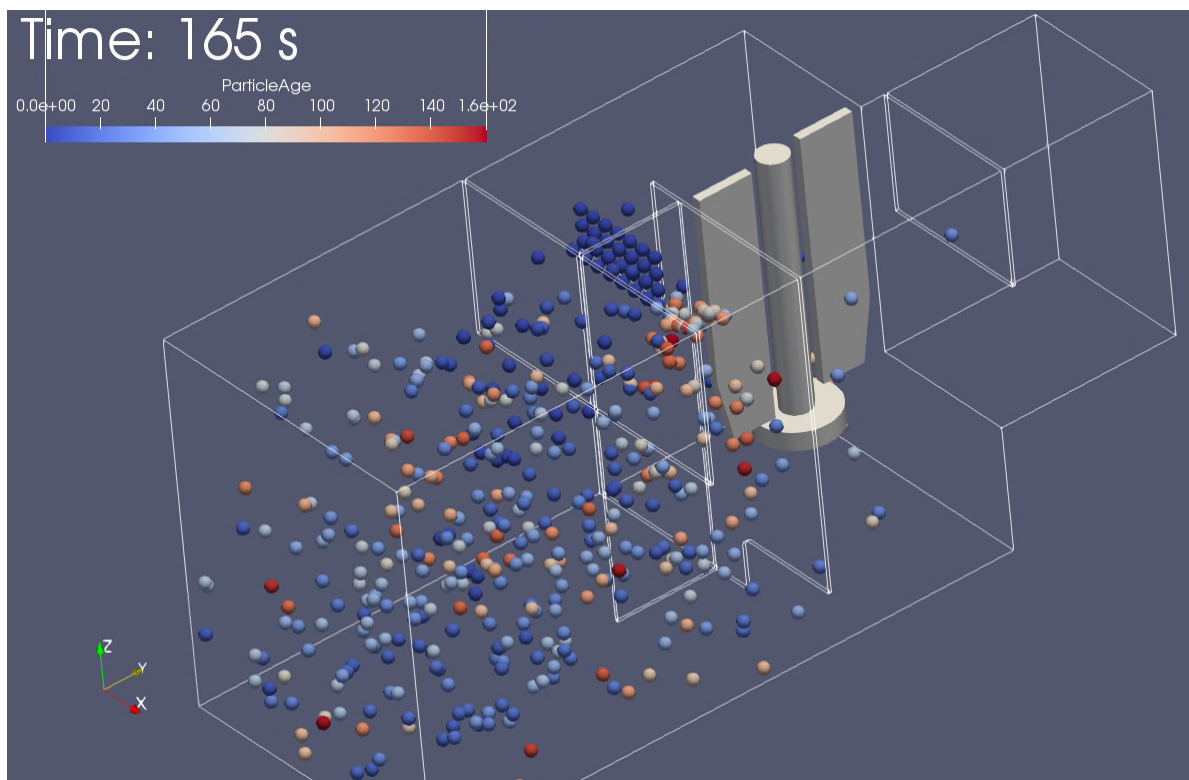


Fig. 3 Particle distribution injected from the inlet of liquid reservoir. Color show the particle age.