

溶解炉における 固体アルミニウム原料の 加熱溶解シミュレーション ～実験に替わる操業最適化手法の検討～

研究・開発機関 : 株式会社UACJ
 利用施設 : 自社内解析PC
 計算規模 : 解析格子数17391、計算時間6時間(32並列)
 利用ソフトウェア : OpenFOAM

Before

- 原料の溶解工程にはさまざまな操業条件が含まれますが、実際の溶解炉を用いた実験は負荷が大きいため、これまで十分な検証が行われてきませんでした。
- また、高温の炉内の状況を観察することは安全上困難であり、操業条件が適正かどうかを判断することも容易ではありませんでした。

After

- オープンソースの流体解析ソフトウェアであるOpenFOAMを用いることで、溶解炉内におけるアルミニウム原料の加熱溶解のシミュレーションが可能となりました。
- シミュレーションによって実操業での溶解完了時間の予測が可能となり、溶解操業の検証、最適化にかかる負荷が大幅に低減しました。

■背景と目的

私たちの身の回りにはアルミニウム製品(図1)には、純粋なアルミニウム地金をはじめ、さまざまな種類の原料が使われています(図2)。さらに今後は、環境負荷の低減を目指して、使用済みアルミニウム缶などのリサイクル材料の利用が増えると予想されています。アルミニウム製品を製造する際、まず原料を高温の溶解炉で溶かさなければなりません。この工程では多量の燃料が消費されます。環境への負荷を減らすためには、より効率的な溶解方法の開発が重要です。そのためには、原料の投入/炉内装入方法や、バーナーの燃焼方法など、さまざまな操業条件を精査する必要がありますが、実際の溶解炉でこれらの実験を行うには非常に大きなコストや手間がかかるため、これまで具体的な取組が行われてきませんでした。

そこで、溶解炉内での加熱、溶解の様子をシミュレーションで解析する方法を構築しました。シミュレーションを活用することで、溶解化炉のさまざまな運転操作条件を同時に安全に検証することが可能となりましたので、その事例を紹介します。



図1 主なアルミニウム製品

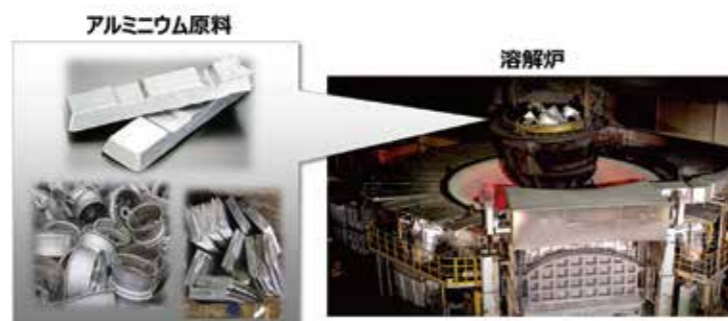


図2 アルミニウム原料と溶解炉

■利用成果

実スケール(幅6.9メートル、奥行き6.4メートル、高さ3.5メートル)のアルミニウム合金用の溶解炉のモデルを作成し、炉内の原料溶解の挙動を解析しました。炉壁部分は熱伝達を考慮した境界面とし、溶解炉の上部には、燃焼用LNGバーナーと排気煙道を模擬した入口と出口を配置しました。計算負荷を減らすため、燃焼に関する詳細な反応計算は行わず、燃料の流量と空燃比(空気と燃料の比率)を基にバーナー火炎の燃焼温度と流速を推定し、入口にその温度と速度を付与しました。

炉内での空気の流れや熱の移動については、ナビエ-ストークス式をはじめとする基本的な物理式をもとに計算を行い、炉壁からの輻射熱や固体から液体への相変化も考慮しました。また、気体、液体、固体それぞれの物理的性質(密度、熱伝導、比熱など)を実験データから定義し、物性値の温度依存性も考慮しました。

図3は、溶解開始から1時間後、2時間後、3時間後、4時間後の固体原料の形状と温度分布をシミュレーションした結果です。時間が経つにつれて、原料の温度が上昇し、形状が変化している様子が確認でき、加熱によって原料が溶けていく過程が再現されています。図4では、図3のシミュレーションにおける固体原料の体積と溶解速度の時間変化を示しています。

このシミュレーションでは、約50トンのアルミニウム合金がすべて溶けるまでに約4時間かかると計算されました。この結果は、実際の溶解時間(約4.3時間)とほぼ一致しており、今回のシミュレーション手法は妥当であると判断されました。今後は、複雑な原料形状や原料の酸化ロスのモデル化に着手し、より実操業に近いモデルでの解析を通して溶解工程の操業最適化に取り組んでいく予定です。

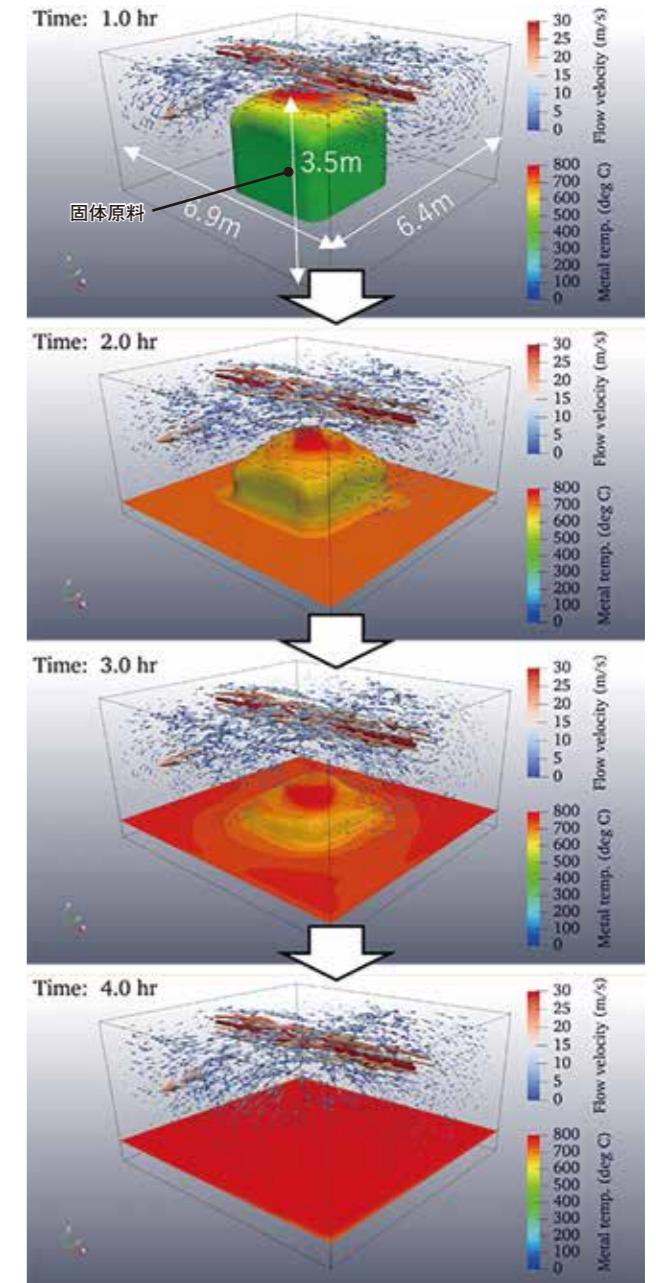


図3 アルミニウム固体原料の加熱溶解シミュレーション結果

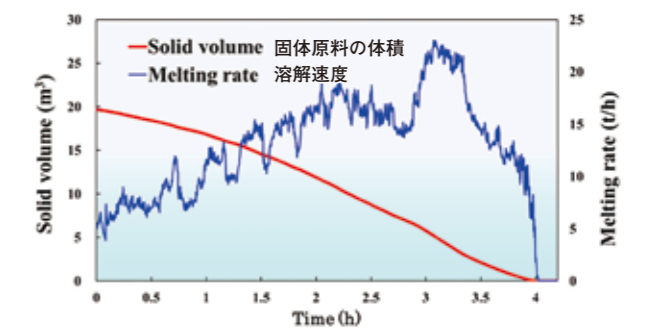


図4 固体原料の体積と溶解速度の時間変化