

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study on Joule-heating Flow and Diffusion Flow in Glass Melter Models
著者(和文)	ZhouJiaju
Author(English)	Jiaju Zhou
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10969号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,竹下 健二,赤塚 洋,筒井 広明,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10969号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Zhou Jiaju		
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	木倉 宏成	准教授	審査員	相楽 洋	准教授
	審査員	竹下 健二	教授			
		赤塚 洋	准教授			
		筒井 広明	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study on Joule-heating Flow and Diffusion Flow in Glass Melter Models」(ガラス溶融炉モデル内ジュール加熱対流及び拡散流に関する研究)と題し、6章より構成されている。

第1章「Introduction」では、高レベル放射性廃棄物処理におけるガラス固化工程において、ガラス溶融炉の炉内流動不安定性や炉形状複雑性がガラス溶融炉の運転に影響を及ぼすことから、炉内流動の解明に資する流動挙動の実験的・数値解析的手法の開発が求められていると述べ、従来の実験的・数値解析的手法を概観した上で、よりガラス溶融炉形状設計に近い Sloping bottom cavity を用いた実験手法、磁場の影響を考慮した Generalized Simplified Marker and Cell - Finite Element Method (GSMAC 有限要素法) 及び混相流拡散モデルを考慮した Volume of Fluid (VOF) 法を適用した数値解析手法がガラス溶融炉の炉内流動挙動であるジュール加熱対流及び拡散対流の予測に有望であることを述べている。また、数値解析の信頼性を向上するためには数値計算境界条件と同様なモデル実験を行い、データの比較検証が不可欠であると述べ、GSMAC 有限要素法及び VOF 法のバリデーションが必要であることを示し、本研究の位置づけ、意義及び目的を述べている。

第2章「Experimental investigation of Joule-heating flow in a glass melter model」では、Sloping bottom cavity と名付けたガラス溶融炉の2次元形状モデルを用いて、グリセリン水溶液を作動流体として、ジュール加熱対流の流動挙動を実験的に考察している。不安定なジュール加熱対流を計測するためには、速度分布の過渡計測が必要であり、超音波流速分布計測法 (Ultrasonic Velocity Profiler Method, UVP 法) によるキャピティ鉛直中心での一次元速度分布計測及び粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry, PIV 法) による二次元速度分布計測を行い、キャピティ内では電極が設置している上部領域に不安定なジュール加熱対流が発生することを明らかにしている。また、電極部及び上部領域の冷却条件を変更することにより、ジュール加熱対流の発生領域及び安定性が冷却条件と関連性があることを明らかにしている。

第3章「Numerical investigation of Joule-heating flow in a glass melter model」では、GSMAC 有限要素法を用いて第2章と同じ境界条件でジュール加熱対流を計算し、流速分布の一次元・二次元数値解析結果を実験結果と比較するとともに、温度経時変化の比較を行い、GSMAC 有限要素法がジュール加熱対流計算に対して有効であることを示し、さらに速度変動の周波数解析を行い、ジュール加熱対流の不安定性を数値的に明らかにしている。また、GSMAC 有限要素法を用いて実炉における溶融ガラスのジュール加熱対流挙動の数値計算を行い、ガラス溶融炉内では下部領域には大きな流れが生じず、上部領域では加熱開始直後は流れが安定であるが、一定の加熱時間が経過すると流れが不安定になることを明らかにしている。また、対流の浮力、ローレンツ力及び粘性力を計算し、主に影響を与える力は浮力になるが、加熱開始時にはローレンツ力の影響も大きいことを明らかにしている。

第4章「Experimental investigation of feeding flow diffusion lead by concentration and density difference」では、高レベル放射性廃棄物がガラス溶融炉内への投入過程を作動流体が異なる濃度を持つグリセリン水溶液からなる簡略化実験モデルを用いて、投入後の挙動を電気抵抗トモグラフィ法 (Electric Resistance Tomography, ERT 法) を用いて濃度分布計測を行うとともに、UVP 法を用いて速度分布計測を行っている。その結果、投入した流体の濃度分布および速度分布の経時変化を明らかにするとともに、投入流体は濃度が減少しつつ沈殿することを明らかにしている。また、投入流体の密度・粘度の相関性を調べ、投入流体の膨張は粘度に相関があり、沈殿速度は密度・粘度両項と相関することを明らかにしている。

第5章「Numerical investigation of feeding flow diffusion lead by concentration and density difference」では、VOF 法を用いて、第4章と同じ境界条件で拡散流を計算し、二次元流れ場を実験結果と比較するとともに、キャピティ内の投入流体分布を実験結果と比較検討し、さらに、投入流体の粘度から投入挙動に与える影響を実験結果と比較検討している。その結果、VOF 法は混相流モデル内で液液二相流となる高レベル放射性廃棄物がガラス溶融炉内への投入過程を予想するのに有効であることを示すと同時に、同じ液液二相流となるガラス溶融炉内のイエローフェース分布の予測に対しても有望であることが明らかにしている。

第6章「Conclusions」では、各章で得られた成果を統括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、ガラス溶融炉2次元形状モデルを用いてグリセリン水溶液を作動流体としたジュール加熱対流を実験的に考察し、モデル実験結果を用いて GSMAC 有限要素法の有効性を示すと同時に、ガラス溶融炉内のジュール加熱溶融ガラスの対流挙動を数値解析にて明らかにしている。また、高レベル放射性廃棄物がガラス溶融炉内への投入過程になる液液二相流をモデリングし、VOF 法を用いたガラス溶融炉内液液二相流数値解析の有効性を示しており、これらよりガラス溶融炉内流動挙動の解明に寄与することにより、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポータル

(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。