

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Microscopic Hydrodynamic Bubble Behaviour in Suppression Pool during Wetwell Venting
著者(和文)	ZablackaiteGiedre
Author(English)	Giedre Zablackaite
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11992号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,小原 徹,赤塚 洋,近藤 正聡,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11992号, Conferred date:2021/3/26, 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	Zablackaite Giedre	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	木倉 宏成	准教授	近藤 正聡	准教授
	審査員	小原 徹	教授		
		赤塚 洋	准教授		
		相楽 洋	准教授		

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Microscopic Hydrodynamic Bubble Behaviour in Suppression Pool during Wetwell Venting」と題し、5章より構成されている。

第1章「Introduction」では、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故のシビアアクシデント進展を概観し、事故進行中に実施されたウェットウェルベント時のプールのスクラビング効果は想定された効率と比べて低く、環境への多量の核分裂生成物(Fission Products: FP)の放出が生じたことを述べている。また、プールのスクラビング効果を解析する既存のコードにおいて、FPエアロゾル輸送モデルと気泡流体モデルを組み合わせ、気泡径と気泡上昇速度に依存する慣性衝突、重力沈降、ブラウン拡散、水蒸気凝縮のFPエアロゾル除去機構によりプールのスクラビング効果を評価する際に、単一気泡モデルが採用されているが、従来の代表気泡径の取り方に物理的根拠が乏しいことを示している。そこで、代表気泡径の取り方として、FP閉じ込め量を支配する気泡群の体積の総和と物質輸送において重要な気泡の表面積の総和の比として定義されるザウター平均気泡径(Sauter Mean Diameter: SMD)の導入の必要性を示すとともに、サブプレッションプールにおけるウェットウェルベント時の気泡の微視的水力学的挙動を実験的に明らかにし、プールのスクラビング効果の予測精度の向上とアクシデントマネジメントの改訂に資する本研究の位置づけ、意義及び目的を述べている。

第2章「Bubble Behavior under Prototypical Severe Accident Conditions」では、典型的なシビアアクシデント条件下での圧力、プール水温度、非凝縮ガス含有量、ダウンカマ管径、ダウンカマ管浸水深さ等の試験パラメータにおける気泡の微視的水力学的挙動を明らかにすることを目的に、現象の本質を見極めた実験装置の設計の考え方を述べている。実験装置は、ダウンカマ管、蒸気発生器、空気圧縮機、熱交換器に接続されたドライウェルとウェットウェルから構成されている。気泡挙動はバックライトシャドウグラフィ法によりウェットウェルのプール表面近傍及びダウンカマ管出口付近で観測されることを示し、シビアアクシデント条件下のプールのスクラビング時の気泡の微視的水力学的挙動を観察評価している。定圧下では、空気などの非凝縮ガス含有量がSMDに与える影響は小さく、非凝縮ガス含有量の増加に伴って気泡上昇速度が低下することを明らかにし、サブプレッションプール水温度の上昇に伴い、SMDと気泡上昇速度が共に低下することを明らかにしている。また、温度成層化はSMDと気泡上昇速度にほとんど影響を与えないことを示し、以上のパラメータの影響を物理的に考察している。測定されたSMDとこれに対応する気泡上昇速度 $v_b^{SMD}$ は、プールのスクラビングコードで採用されている値とオーダーは概ね一致しているが、試験パラメータにより定まる既存コードにおける代表気泡径をプールのスクラビングコードの代表気泡径とした際と同様の試験パラメータにおいて実験で得られたSMDをプールのスクラビングコードの代表気泡径とした際にそれぞれ解析して得られた慣性衝突、重力沈降、ブラウン拡散、水蒸気凝縮のFPエアロゾル除去速度は異なることを示し、代表気泡径の取り方は重要であることを確認している。

第3章「Validity of Sauter Mean Diameter Selection for Single Bubble Model in Pool Scrubbing Codes」では、従来報告されているエアロゾルを用いた本研究と同様の装置を用いて実測した除染係数(Decontamination Factor: DF)とを比較することでSMD選定の妥当性を検証することを目的に、実験で得られた気泡径と気泡上昇速度のSMDと $v_b^{SMD}$ を用いた場合とそれぞれの算術平均値を用いた場合で各DFを推定している。SMDに基づくDFはダウンカマ管浸水深さの増加に伴い増加するが、ダウンカマ管の管径、プール水温度及び非凝縮ガス含有量への依存性は低く、圧力には依存しないことを述べた上で、これらの傾向は、実験で測定された従来のFP直接測定データと定量的に一致していることを示している。一方で、実験で得られた気泡径と気泡上昇速度それぞれの算術平均値に基づくDFのオーダーは実測値よりも大きく、ばらつきも大きいため、試験パラメータの効果は実験結果とは異なることを明らかにしており、単一気泡モデルの解析コードではSMDの採用が推奨されることを示している。

第4章「Depressurization Effect on Decontamination Factor during Wetwell Venting」では、減圧条件下でのDFの劣化評価を目的に、減圧時にプールのスクラビング効果が劣化する現象理解が重要であることを示し、この評価のため、減圧下での気泡径と気泡上昇速度のデータを実験にて収集している。その結果、第2章で述べた定圧条件と比較をして、減圧条件では小さな気泡が多く発生するため、SMDが小さくなる傾向があることを明らかにしている。また、蒸気の凝縮効果は、低サブクーリング条件を除いて、支配的なFP除去メカニズムであることを述べている。減圧下では蒸気の凝縮が無い場合、プールのスクラビング効果が著しく劣化し、ブラウン拡散が支配的な除去機構となるが、ブラウン拡散効果は減圧下では変化はわずかであることを示している。また、蒸気凝縮がある場合の定圧下の条件と比べて、減圧下では蒸気凝縮が無い場合にはDFが1/100まで劣化することを明らかにしている。また、減圧時のDFは減圧前圧力を変えても概ね変化しないことを明らかにしており、本研究の圧力は福島第一原子力発電所事故の圧力よりも低いが、福島第一原子力発電所事故の場合においても減圧時に同様の現象が発生していたものと推察される。

第5章「Conclusions」では、サブプレッションプールにおけるウェットウェルベント時の気泡の微視的水力学的挙動に関する各章で得られた成果を総括し、プールのスクラビング効果の予測精度の向上とアクシデントマネジメントの改訂に資する本論文の結論をまとめている。

これを要するに本論文は、プールのスクラビング効果を解析する既存のコードにおいて、代表気泡径の取り方としてSMDの導入の必要性を示すとともに、サブプレッションプールにおけるウェットウェルベント時の気泡の微視的水力学的挙動を実験的に明らかにし、プールのスクラビング効果の予測精度の向上とアクシデントマネジメントの改訂に資する提案をしており、工学上およ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、東工大リサーチリポジトリ(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。