

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 原子核工学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(Engineering)
学生氏名： Student's Name	Zablackaite Giedre		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	准教授 木倉宏成	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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ブル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、ブル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て、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ブル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同時に、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、ブル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ブル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、ブルスクラビングコードで採用されている値とオーダ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ブル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 をブル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性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、減圧時にブル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ため、ブル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。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、ブル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。よって、本論文は、ブル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同時に、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、ブル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するものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 原子核工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(Engineering)
学生氏名： Student's Name	Zablackaite Giedre		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	准教授	木倉宏成
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In the existing pool scrubbing codes, the FP aerosol transport model and the bubble hydrodynamic model are combined to evaluate the efficiency of the pool scrubbing effect. In the codes, Decontamination Factor (DF) used for pool scrubbing efficiency evaluation is obtained from FP aerosol removal mechanisms, inertial impaction, gravitational sedimentation, Brownian diffusion, and steam condensation, which depend on the bubble diameter and bubble rising velocity. In the codes the single bubble model has been adopted, but the physical basis for the representative bubble diameter selection has not been clarified. This dissertation demonstrates the necessity of introducing Sauter Mean Diameter (SMD) as representative bubble diameter in the existing codes for analysing pool scrubbing effects, since SMD is defined as the ratio of the total volume of the bubbles that is proportional to the amount of FP inside the bubble and the total surface area of the bubbles that governs mass transfer of FP particles. The bubble behaviour of the rising bubbles prior to wetwell venting (constant pressure condition) and during wetwell venting (depressurization conditions) was observed and evaluated under the prototypical severe accident conditions of temperature, non-condensable gas content, submergence, downcomer diameter and pressure. The data base of SMD and bubble rising velocity corresponding to SMD was obtained and used for evaluation of the effects of varied parameters and investigation of the order of removal mechanisms. Proposed SMD was validated by using direct DF measurement data under a wide range of conditions presented in the reference. Based on the present experimental results, SMD is much more appropriate than arithmetic mean bubble diameter for single bubble model in pool scrubbing codes and is strongly suggested to adopt in the future updates of the pool scrubbing codes. Moreover, experimental data collected under depressurization were used for evaluation of depressurization condition effect on bubble parameters and evaluation of pool scrubbing deterioration under depressurization condition. Based on the experimental results, recommendations were proposed for severe accident management concerning wetwell venting.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).