

# プールスクラビング研究

安全研究センター 熱水力安全研究グループ



## 研究背景と研究目的

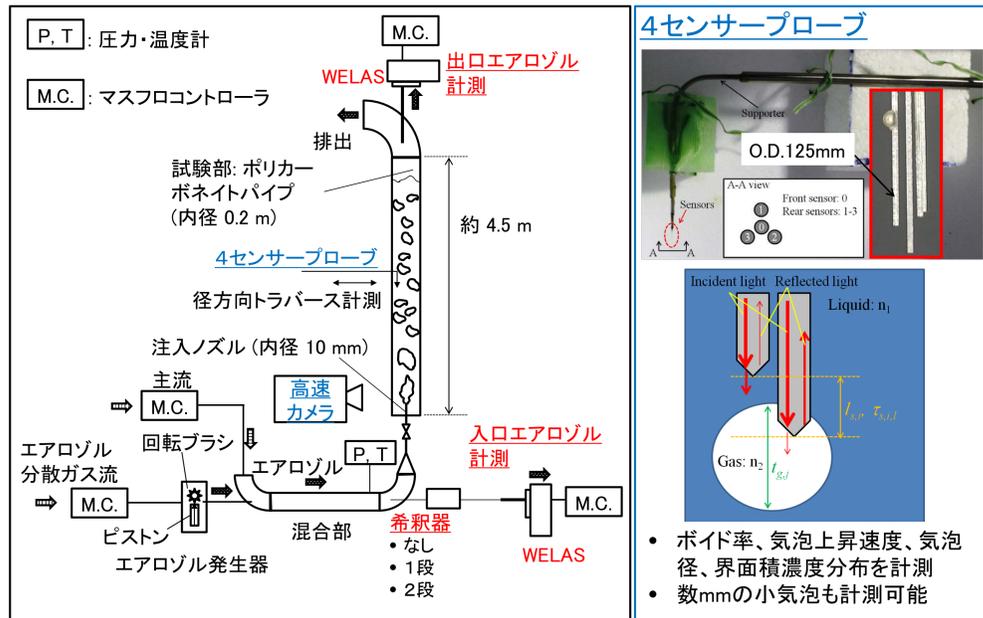
- 軽水炉の重大事故時に、格納容器の過圧破損を避けるとともに、エアロゾル状放射性物質の閉じ込めに有効な対策の一つがプールスクラビングである。
- 既存スクラビングモデルでは、界面変形がなく、単一径の気泡を仮定した単純な気液2相流モデルに基づいて構築されており、予測精度が依然低い。
- 詳細な気液2相流計測と高精度なエアロゾル計測に基づき、既存スクラビングモデルの検証を行うとともに、機構論的モデルを構築することが目的である。

エアロゾルが気液界面に付着し、閉じ込められる。

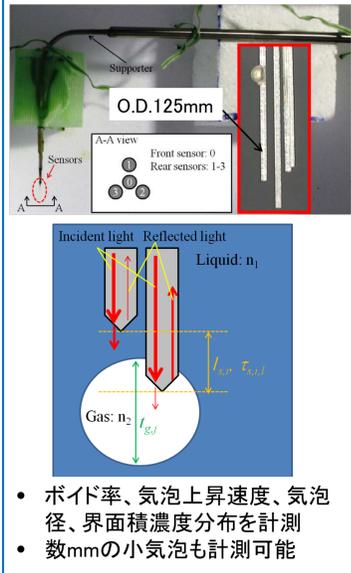


エアロゾルを伴うガス流

## 試験装置

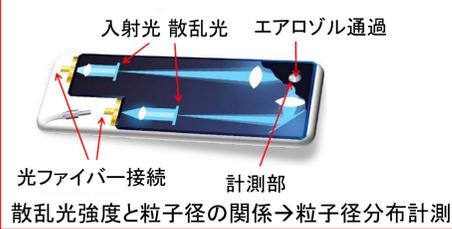


### 4センサープローブ

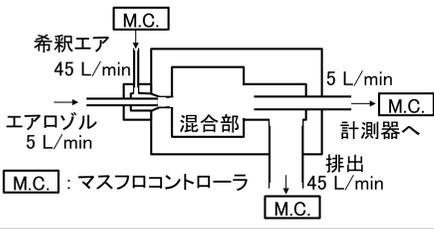


- ボイド率、気泡上昇速度、気泡径、界面濃度分布を計測
- 数mmの小気泡も計測可能

### エアロゾル計測器WELAS



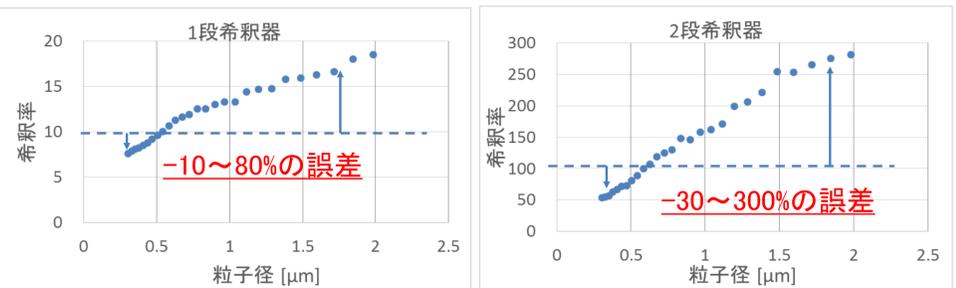
### 希釈器 (10倍ガス希釈)



## エアロゾル計測

### 希釈器の希釈率計測

同じ濃度のエアロゾルに対して、希釈器を経由するケースとしないケースの粒子径分布をそれぞれ計測し、希釈率を算出する。

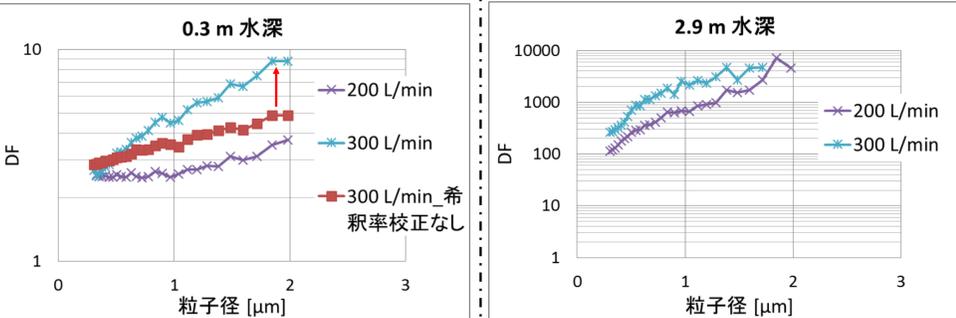


- 希釈率は粒子径に依存して変化し、粒子径の増加に伴って増加する。
- 10倍や100倍のガス希釈率をそれぞれ1段と2段の希釈器に用いる場合、多大な誤差が生じる。

### プールスクラビングの除染係数DF計測

- 水深: 0.3, 2.9 m水深
- ガス流量: 200, 300 L/min
- 入口・出口のエアロゾルを計測し、DF算出

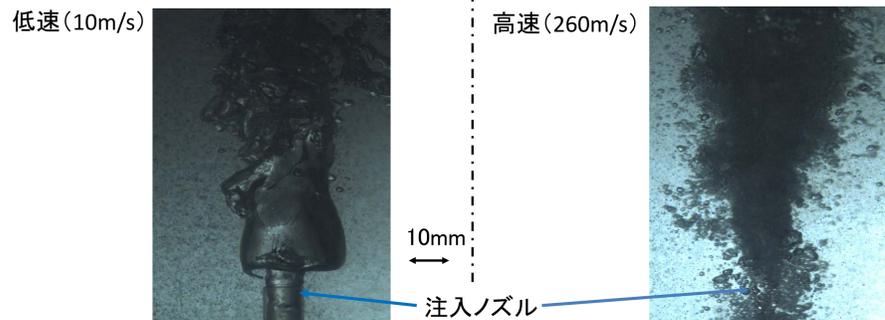
$$DF = \frac{\text{入口の各粒子径の粒子数}}{\text{出口の各粒子径の粒子数}}$$



- 希釈率校正の効果を確認
- 小さい粒子は拡散支配のため、空気流速に伴うDFの変化はほぼない。
- 大きい粒子は慣性衝突支配のため、空気流速の増加に伴ってDFが増加した。
- ガス流量の増加に伴って、DFは増加した。→流量の増加に伴って、気泡滞在時間の減少によるDF減少への効果よりも、界面積増加もしくは乱流混合の促進によるDF増加への効果の方が大きいことを示唆。

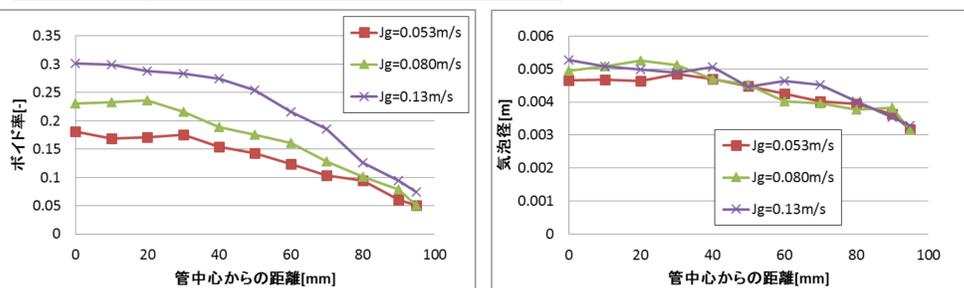
## 気液2相流計測

### ガス注入領域 (高速カメラ可視化)



- 界面変動が穏やかなGlobule
- 界面変動が激しいJet
- 小気泡が多数発生

### 気泡上昇領域 (4センサープローブ計測)



- 気泡は管中心に集中する。
- 平均気泡径は4mm程度である。

## 今後の予定

- 他のエアロゾル計測手法を用いて、エアロゾル計測結果を検証し、結果の信頼性を一層向上させる。
- 気液2相流の各流動様式に対するDFデータを取得し、流動様式ごとのスクラビングモデルを構築する。

## プールスクラビング研究

日本原子力研究開発機構 安全研究センター熱水力安全研究グループ

軽水炉の重大事故時に、格納容器の過圧破損を避けるとともに、エアロゾル状放射性物質の閉じ込めに有効な対策の一つが、水中にエアロゾルを伴う気相を吹き込んで除染するプールスクラビングである。既存プールスクラビングモデルでは、界面変形がなく、単一径の気泡を仮定した単純な気液 2 相流モデルに基づいて構築されており、予測精度が依然低い。そこで、本研究の目的は、詳細な気液 2 相流計測と高精度なエアロゾル計測に基づいて、既存プールスクラビングモデルの検証を行うとともに、気液 2 相流挙動に着目した機構論的プールスクラビングモデルを構築することである。

熱水力安全研究グループにおいて、プールスクラビング実験を行う試験装置を構築した。試験部は内径 0.2m、全長約 4.5m のポリカーボネイト製パイプである。発生したエアロゾルは、主流と混合し、内径 10mm の注入ノズルを通して上向きに試験部へ注入される。気液 2 相流計測は、高速カメラと 4 センサープローブによって行われる。4 センサープローブは、外径 125  $\mu\text{m}$  の光ファイバー 4 本で構成されており、気液の光の屈折率差を利用して各ファイバー先端の気液相を判別し、ボイド率、気泡上昇速度、気泡径、界面積濃度等の分布を計測できるものである。プールスクラビングにおいて、小気泡の方が高いエアロゾル除去効率を有すると考えられており、数 mm の小気泡も計測できる 4 センサープローブは非常に有効である。一方、エアロゾルは、散乱光強度と粒子径の関係を利用した WELAS で計測され、高分解能な粒子径分布を計測できるのが特徴である。除染係数 DF を算出するために、試験部の入口・出口両方でエアロゾル計測が行われる。また、入口のエアロゾル濃度が高いため、入口に希釈器が設けられており、濃度に応じて希釈器の有無を選択できる。

### ① 気液 2 相流計測

まず、高速カメラを用いて、ガス注入領域の気液 2 相流挙動を可視化した。低いガス注入速度の場合、界面変動が穏やかな Globule が形成された。一方、高いガス注入速度の場合、界面変動が激しい Jet が形成され、小気泡が多数発生した。次に、4 センサープローブを用いて、気泡上昇領域の気液 2 相流を詳細計測した。気泡は管中心に集中し、平均気泡径が 4mm 程度である結果を得た。

### ② エアロゾル計測

まず、使用する希釈器の各粒子径に対する希釈率を実測した。希釈率は、粒子径の増加に伴って増加し、希釈ガスの流量比に基づいて計算された希釈率と大きく乖離した。次に、数条件において、プールスクラビングの除染係数 DF を計測した。高精度な DF を算出するために、上記の校正希釈率を用いた。粒子径やガス流量に伴って DF が上昇する結果を得た。

今後の予定として、1) 他のエアロゾル計測手法を用いて、エアロゾル計測結果を検証し、結果の信頼性を一層向上させる。2) 気液 2 相流の各流動様式に対する DF データを取得し、流動様式ごとのプールスクラビングモデルを構築する。

### REFERENCE

- 1) 孫 昊旻、その他 4 名、二相流挙動に着目したエアロゾルのプールスクラビングに関する研究、日本原子力学会 2015 年秋の大会。
- 2) H. Sun, et al., Development of error reduction methods in aerosol measurement for pool scrubbing experiment, ICON24-60359.