
2020/11/27 安全研究センター報告会

プールスクラビングによるエアロゾル 除去効果実験と数値解析

日本原子力研究開発機構
熱水力安全研究グループ

本研究の一部は原子力規制委員会原子力規制庁の受託研究として実施された。

研究背景と目的

エアロゾル:空間中に長時間滞留し、nmから μm オーダーの粒子

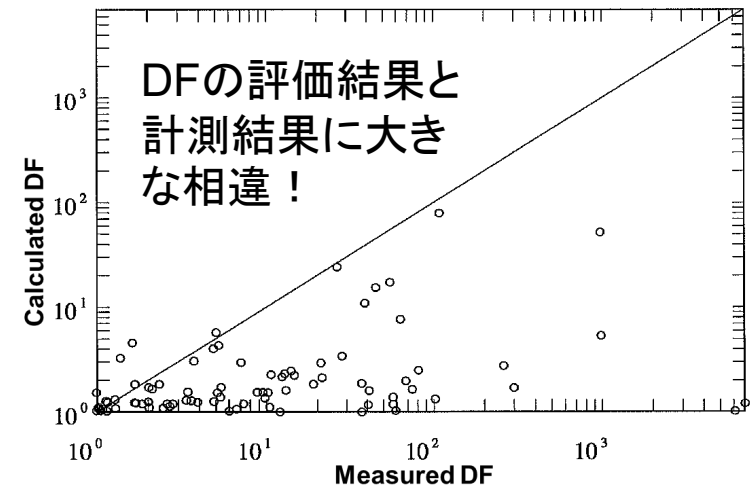
- 重大事故時に、環境へ放出される放射性物質(ソースターム)の評価は、事故対策を検討する上で重要。
- エアロゾルに対するプールスクラビングの除染効果は比較的が高く、ソースターム評価に対する寄与が大きい。Ex. 除染係数(DF) ~ 1,000。
- ソースターム評価不確かさを低減のために、高精度なプールスクラビング評価手法が重要。
- プールスクラビング
 - BWRのS/Cのベント管やクエンチャ, PWRのSGTRシーケンス, FCVS等で効果を期待できる。
 - 代表的な評価コードにおけるDFの評価精度は依然高いと言えず、モデルの高度化が必要。
 - 課題:
 - 複雑な気液二相流挙動に対する詳細検討が少なく、評価コード内二相流モデルが不十分。
 - 気泡内粒子挙動の検討が不十分。



これらの課題を念頭に

■ 研究手法と目的

一般的に除染係数が低いサブミクロン粒子に着目し、実験と解析に基づいて気液二相流挙動と気泡内粒子挙動の特性を把握し、計測したDFとの比較検討によりプールスクラビングモデルの高度化を行う。



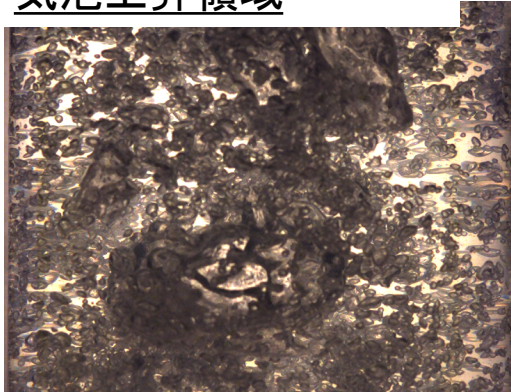
Sanjeev Gupta, PASSAM final workshop, Feb. 28th, 2017

* 本研究の対象は、指定された粒子径や注入ガス流量等の境界条件に対するプールスクラビングのDF評価であり、境界条件の検討は対象外である。

プールスクラビングモデルと実験

実現象

気泡上昇領域

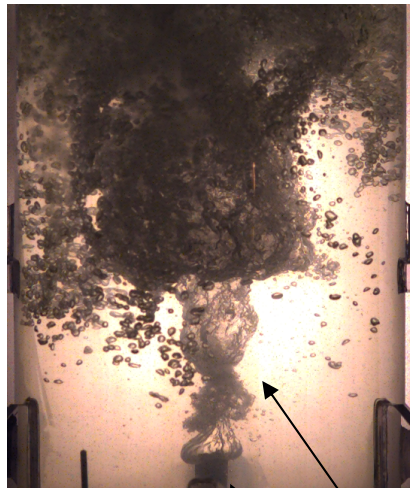


20 mm



初期気泡分裂
気泡群形成

ガス注入領域



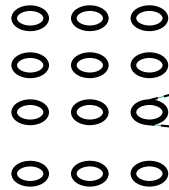
20 mm

初期気泡
注入ノズル



既存評価コードのモデル

気泡上昇領域モデル

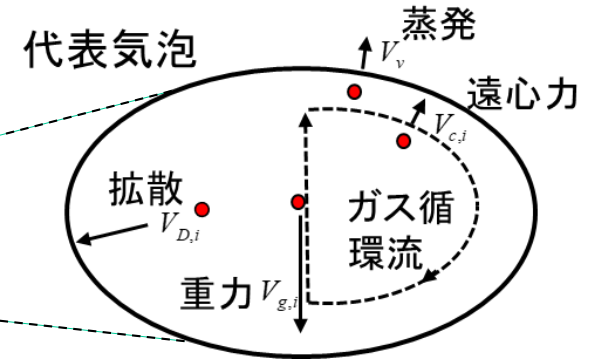


- 二相流単純化: 単一気泡径、直線上昇気泡
- 粒子挙動単純化:
 - 均質な粒子濃度
 - 代表気泡内個々の除染効果の足し合わせ

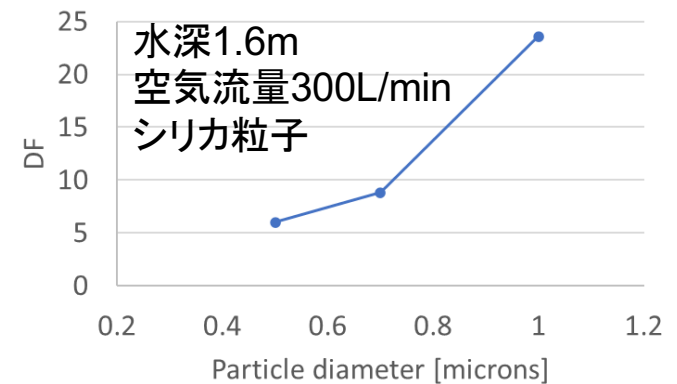
ガス注入領域モデル



- 二相流単純化: 界面変動しない
- 粒子挙動単純化: 個々の除染効果の足し合わせ
 - 慣性衝突
 - 蒸気凝縮
 - 遠心力、拡散、重力沈降



プールスクラビング実験



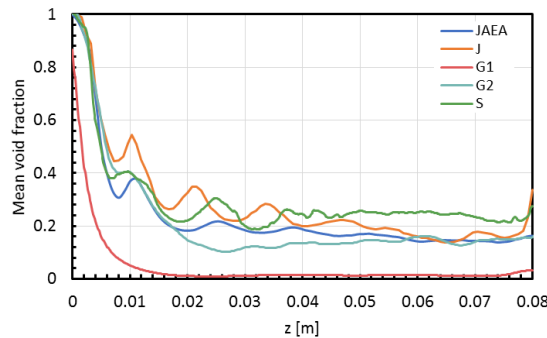
→粒子径の増加に伴ってDF増加

プールのスクラビングCFD解析

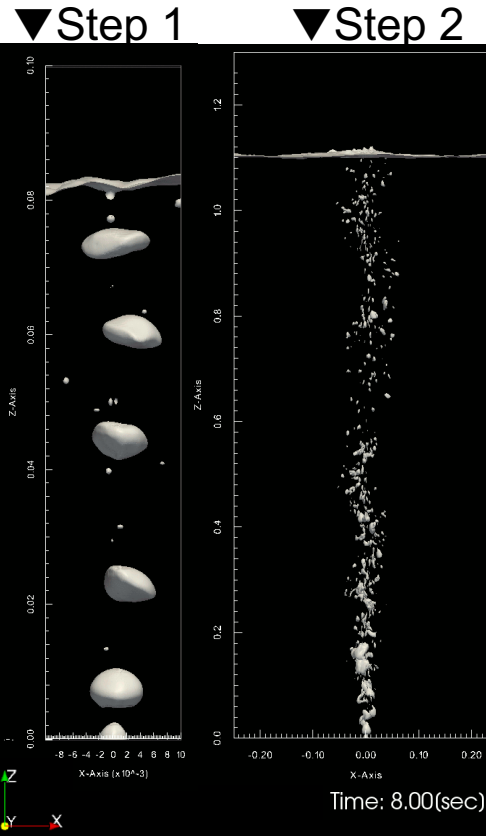
- プールスクラビングモデルは二層流モデルと単一気泡内粒子除去モデルによって構成される

- IPRESKA CFD Benchmark (2018-)

- 目的: CFDコード、解析手法を比較し、検証する
- Step 1: 単一連続気泡流解析 (ガス流入速度 $U_g=0.2$ m/s)
 - ✓ 二相流解析手法: VOF法
- Step 2: ガス注入領域から気泡上昇領域までを対象とした解析 (ガス流入速度 $U_g=5$ m/s)
 - ✓ 二相流解析手法: VOF法, S-CLSVOF法

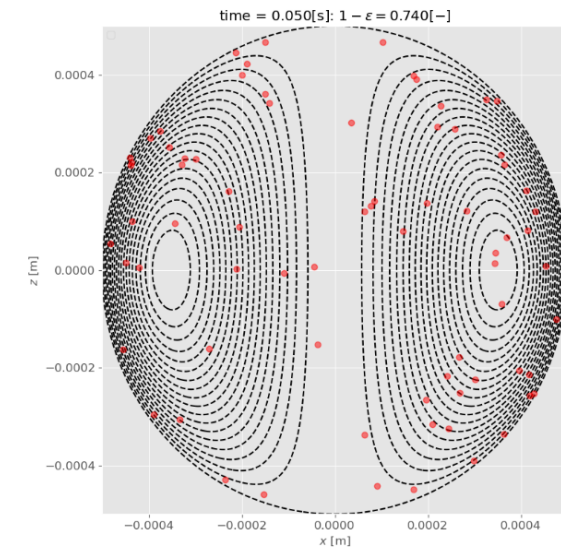


気泡離脱頻度は理論と一致、ボイド率は実験を再現した。各国の解析結果と比較することで、二相流解析手法等の結果への影響を確認した。



- 粒子除去解析

- 課題と目的
 - 気泡内粒子運動は観測困難 → 現象が理解されていない
 - 評価モデルの不確かさ把握/改良
- アプローチ
 - 単一気泡内粒子シミュレーション → 粒子の運動方程式を解く



まとめと今後の研究計画

- 熱水力安全研究グループでは、プールスクラビングによるエアロゾル除去に対して、実験・数値解析のアプローチから研究を行っている。

- プールスクラビング実験
 - 気液二相流計測
 - DF計測
- プールスクラビングCFD解析
 - IPRESCA CFD Benchmark
 - Step 1: 単一連続気泡流解析
 - Step 2: ガス注入領域から気泡上昇領域までを対象とした数値解析
- 単一気泡内粒子シミュレーション
 - 粒子の運動方程式を数値的に解く

- 今後の計画
 - 計測とCFD解析から検討した二相流挙動とシミュレーションから検討した単一気泡内粒子挙動を反映したプールスクラビングモデルを構築し、実測したDFと比較することによってモデルの高度化を図る予定。