

平成30年度原子力施設等防災対策等委託費(スクラビング個別効果試験)事業
に係る入札可能性調査実施要領

平成30年3月16日

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門

原子力規制庁では、平成30年度原子力施設等防災対策等委託費(スクラビング個別効果試験)事業の受託者選定に当たって、一般競争入札(価格及び技術力等を考慮する総合評価方式)に付することの可能性について、以下の通り調査いたします。つきましては、下記1. 事業内容に記載する内容・条件において、的確な事業遂行が可能であり、かつ、当該事業の受託者を決定するに当たり一般競争入札(価格及び技術力等を考慮する総合評価方式)を実施した場合、参加する意思を有する方は、2. 登録内容について、4. 提出先までご登録をお願いします。

1. 事業内容

1.1 概要

BWRの重大事故では、ウェットウェルからの格納容器ベントを実施する際には、プール水中におけるスクラビング効果により核分裂生成物の除去効果が期待できる。しかし、福島第一原子力発電所事故においては、高温での急減圧により沸騰が発生し、必ずしも期待された効果が得られず、環境への放出量を増加させた可能性がある。また、プール水中のスクラビング効果はPWRの蒸気発生器中の細管破断のような事故を含め、核分裂生成物が水中に放出される種々の状況において発生する。重大事故発生時の環境へ放出する核分裂生成物量を正確に評価するための解析手法を開発する観点から、高温急減圧条件下等を含む幅広い条件のプール水におけるスクラビングによる核分裂生成物除去効果を定量的に評価する必要がある。

加えて、現状のスクラビングに関する研究は、前述のプール水の減圧沸騰条件に加え、プール水へ流入するガスの非凝縮性ガス割合の幅広い条件範囲における、エアロゾル挙動及び二相流挙動、さらに双方の詳細な相互関係についての知見が不十分である。このため、スクラビングを解析的に評価する場合に使用するモデルの高度化又は妥当性確認への試験データの活用が困難な状況となっている。

本事業では、スクラビング時に生じる現象を個別に分離可能な実験を段階的に実施することで、気泡とエアロゾル挙動の相互関係を詳細に調べ、核分裂生成物の除去効果を定量的に評価するための基礎データの取得を目指す。今年度事業の具体的内容は次項の通り。

1.2 事業の具体的内容

1) 単一気泡によるエアロゾル挙動測定実験

・実験装置の改造及び実験実施

プールスクラビング時における気泡発生からその上昇、液面到達までにおける単一気泡又は少数気泡の挙動及び気泡内外の詳細なエアロゾルの挙動を高い時空間解像度で把握するための実験を実施する。表1に実験の基本仕様を示す。また、図1に実験装置の概略図、図2に実験部の概略図を示す。図に示すように、水を溜めた実験部容器内にエアロゾルが混入したガスを流入させ、単一又は少数気泡を発生させる。その際の気泡と気泡内外のエアロゾル挙動を高速度カメラやPIV等を使用して詳細に計測する。流体条件は大気圧、常温～100℃とし、ガス流量、ガス成分割合等をパラメータとして幅広い条件での気泡及びエアロゾル挙動の観察を行い、データを採取する。

今年度は昨年度までに整備した実験装置を改造し、昨年度までに得られた知見及び確立した多次元計測技術等を用い、気泡界面挙動とエアロゾル挙動、加えて気泡内部流動とエアロゾル挙動に注目し、データを取得する。

・実験解析

原子力規制庁から無償貸与を受ける解析コード(スクラビング解析コード及びMELCORコード)を用いて、前節で実施のエアロゾル混入実験条件におけるDFの評価を行う。実験結果と解析結

果の比較により、モデル改良のための検討を実施する。なお、解析ケースは代表的な実験条件で5ケース程度とする。解析を実施する実験条件は明らかにすること。

・実験データの整理

採取したデータについて、気泡界面の変形などによる界面とエアロゾル粒子との相互作用に関し、気泡放出部から上昇過程、水面での破裂に至るまでの気泡移動に係る流動様式ごとに検討し、エアロゾル除去に重要なパラメータを抽出して実験データを整理する。さらに、整理したパラメータを用いて界面変動等に起因するエアロゾル除去効果について、流動様式に応じたモデル化の方法を検討する。

なお、この作業においては原子力規制庁の担当者と適宜協議しながら進めることとする。

表1 単一気泡によるエアロゾル挙動測定実験 基本仕様

項目	内容	備考
装置構成	実験部容器、コンプレッサあるいは窒素ボンベ、ボイラ、エアロゾル供給系、エアロゾル計測系、排水処理系	
計測機器	高速度カメラ、PIV等	実験計画及び予備実験により検討する。
実験条件	大気圧、常温～100℃	
作動流体	水－空気（窒素） 水－蒸気 水－蒸気－難溶解性エアロゾル （上記3条件はスケーリング特性の確認のため、水以外の作動流体も考慮可） 水－蒸気－非凝縮性ガス－難溶解性エアロゾル	
実験パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス噴出し方向：下、横、上 ・穴形状：円（基本）、破損口形状（適宜、理想化） ・口径：3種類（クエンチャ、ベント管を模擬し、スケーリングを考慮して寸法決定） ・ガス流出速度：0.1～1 m/s 弱 ・非凝縮性ガス濃度：0～100% ・エアロゾルの組成・粒径・濃度 ・サブクール度：液温が常温から飽和温度までの範囲（高さ方向に大きな温度勾配を設定する実験条件も含む） ・サブマージェンス：100mm 弱～1000mm 強 	
計測項目	<ul style="list-style-type: none"> ・気泡形状等（気泡の重心位置、重心軌道及び径、界面形状等を評価） ・気泡及びエアロゾル粒子の速度分布 ・エアロゾル濃度及びその変化（気泡内外） ・液温及び気相温度（実験装置内で複数点、大まかな空間分布） ・液相内で温度成層を形成させる場合には、高さ方向の液温温度分布（詳細分布） 	全て時間変化を計測。

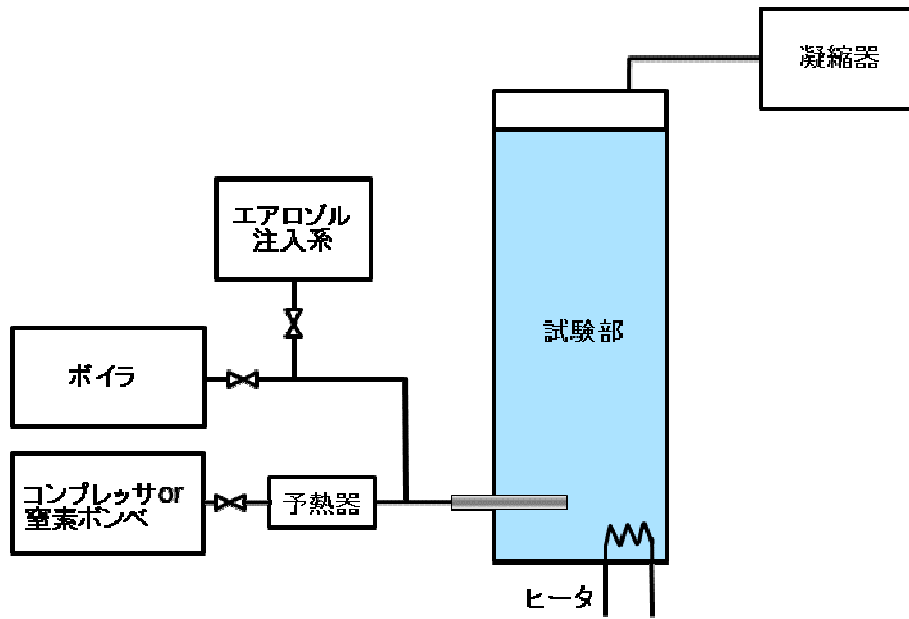


図1 単一気泡によるエアロゾル挙動測定実験 実験装置概念図

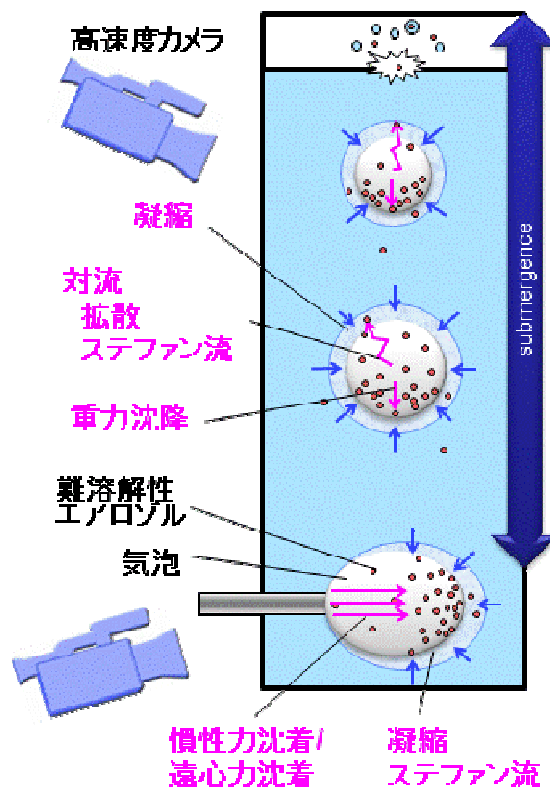


図2 単一気泡によるエアロゾル挙動測定実験 実験部概念図

2) 気泡の 2 相流挙動評価実験

・実験装置の改造及び実験実施

エアロゾルを含んだ 2 相流挙動の把握のため、実機相当を含む幅広い条件におけるガス噴出から液面到達までの break up、気泡上昇過程などの気泡挙動を詳細に把握する。さらに流動状況を分類し整理して、特徴的な気泡塊の挙動及びその領域を特定する。

本実験では、プールスクラビング時の 2 相流挙動の把握のため、エアロゾル無し及び有りの条件においてプール中にガスを連続的に噴出させることで、実際のプールスクラビングと同等の条件の下で多数の気泡が上昇する際の 2 相流動様式を同定するとともに、ボイド率、界面積濃度、気泡の合体・分裂などの特徴的な流動及び気泡形状、気泡径分布、気泡塊の平均上昇速度などの気泡挙動特性、さらにそれらとエアロゾル挙動の計測及び分類を行う。表2に実験の基本仕様を、図3に実験部の概念図を示す。図に示すように、水を溜めた実験部容器内に実機相当条件を模擬したガスを流入させる。ガスの上昇過程における 2 相流動の変化を、高速度カメラやボイド率測定装置等を用いて計測する。具体的な計測項目は表2に示す。

今年度は、昨年度までに整備した実験装置を改造し、蒸気凝縮対策等を施し、蒸気を含んだガスの噴流部から水面での放出過程に至るまでの2相流動様式ごとに2相流動の更なる高精度な計測を行う。また、ガス流量やサブマージェンス等のパラメータを変化させ、実験部出入口におけるエアロゾル計測を行うことで、エアロゾル除去効果を支配する2相流動様式やメカニズムを検討する。その際、可溶性を含む様々なエアロゾルを用い、エアロゾル種類による違いも検討する。さらに、界面変動等に起因するエアロゾル除去効果について、単一気泡実験で整理したパラメータ等を用いて 2 相流動様式に応じたモデル化の方法を検討し、単一気泡を対象に検討したモデル化手法を改良する。

なお、本事業では、米国原子力規制委員会 (NRC) 主催の MELCOR コード等に関する会合 (CSARP) や国内外における学会に参加し、プールスクラビングに関する最新知見を入手し、それらを踏まえて実験及び解析を実施する。

表2 気泡の2相流挙動評価実験基本仕様

項目	内容	備考
装置構成	実験部容器、コンプレッサあるいは窒素ボンベ、ボイラ等	
計測機器	高速度カメラ、ボイド率測定装置等	実験計画及び予備実験により最適な機器を検討する。
実験条件	大気圧、常温～100℃	
作動流体	水－空気（窒素） 水－蒸気 （上記2条件はスケーリング特性の確認のため、水以外の作動流体も考慮可） 水－蒸気－非凝縮性ガス	
実験パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> • ガス噴出し方向：下、横、上 • 穴形状：円（基本）、破損口形状（適宜、理想化） • 口径：3種類（クエンチャ、ベント管を模擬し、スケーリングを考慮して寸法決定） • ガス流出速度：単気泡相当の流速条件+α～十分に大きな速度範囲 • 非凝縮性ガス濃度：0～100% • サブクール度：液温が常温から飽和温度近傍までの範囲（高さ方向に大きな温度勾配を設定する実験条件も含む） • サブマージェンス：100mm弱～2000mm強 	ガス流出速度の上限に関しては、スケール則等を考慮し、実機の流動を模擬できる範囲を検討する。
計測項目	<ul style="list-style-type: none"> • 気泡の径、扁平率などの界面形状及び流速の分布 • 気泡塊（クラスタ又はプルーム）の平均上昇速度、気泡間の距離及び流速差の分布等 • 3次元ボイド率分布又は複数の代表断面内における2次元ボイド率分布 • 界面積濃度分布 • 界面又は液面から発生する液滴の径及び速度の分布 • 流出ガス噴流から上昇スウォームに至るまでの2相流流動様式の特定制及び合体・分裂挙動の把握のための可視化情報 • 流動様式の異なる流れ領域における気泡の合体・分裂挙動、界面の変形に関わる周波数及び振幅、大気泡の発生頻度及び体積割合等 • 液温及び気相温度（実験装置内で複数点、大まかな空間分布） • 液相内で温度成層を形成させる場合には、高さ方向の液温温度分布（詳細分布） 	気泡流れの流動様式ごとに整理

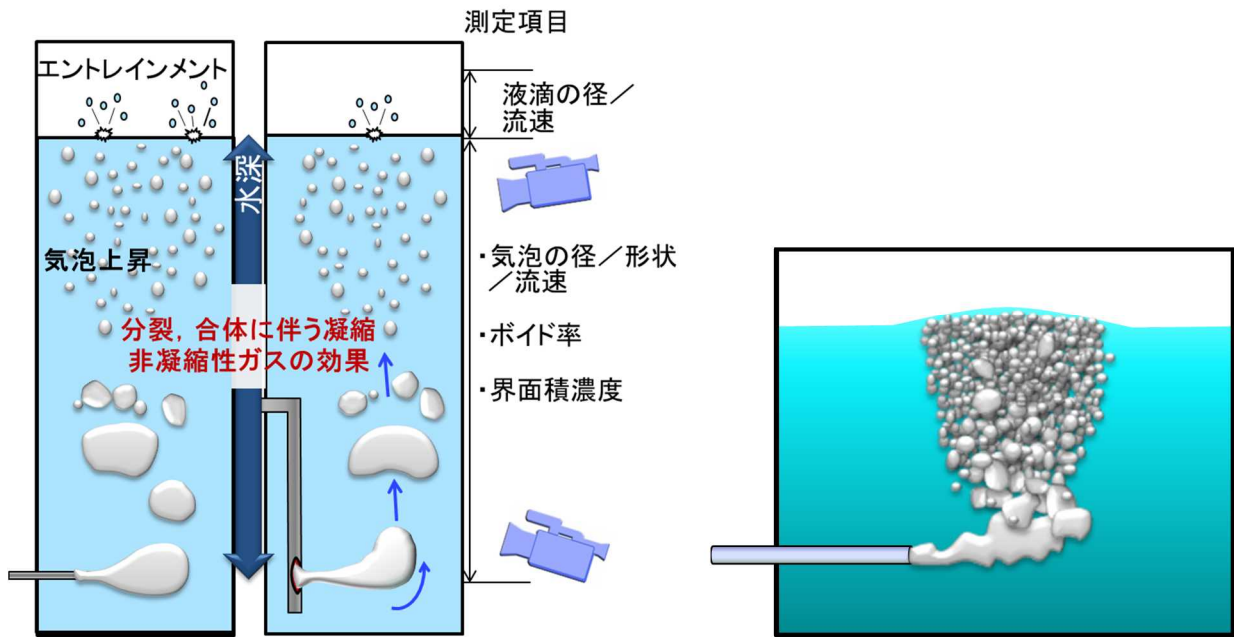


図3 気泡の2相流挙動評価実験 実験部概念図

1.3 事業の進捗管理

原子力規制庁に対して事業の進捗状況を報告し、漏れの無いように計画内容を遂行する。

1.4 事業期間 契約日から平成31年3月29日まで

1.5 事業実施条件

- ・事業は、国が貸与する研究機材及び設計資料(別添参照)を用いて行うこと。
- ・研究機材は、受託者の責任において許可を受けた場所に移転し、適切に管理すること。
- ・貸与する研究機材及び設計資料は、本事業の目的以外には使用せず、事業終了後は受託者の責任において返却すること。
- ・研究機材の移転にかかる費用は受託者が全て負担すること。

2. 登録内容

①事業者名

②連絡先(住所、TEL、FAX、E-mail、担当者名)

3. 留意事項

- ・登録後、必要に応じ事業実施計画等の概要を聴取する場合があります。
- ・本件への登録に当たっての費用は事業者負担になります。
- ・本調査の依頼は、入札等を実施する可能性を確認するための手段であり、契約に関する意図や意味を持つものではありません。
- ・提供された情報は省内で閲覧しますが、事業者に断りなく省外に配布することはありません。
- ・提供された情報、資料は返却いたしません。

4. 提出先

郵送またはE-mailにてご提出願います。

【提出先】〒106-8450 東京都港区六本木1-9-9

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

シビアアクシデント研究部門 秋葉美幸宛て

【TEL】03-5114-2224

【FAX】03-5114-2234

【E-mail】miyuki_akiba@nsr.go.jp

(登録例)

平成 30 年〇月〇日

原子力規制委員会 原子力規制庁
長官官房技術基盤グループ
シビアアクシデント研究部門

平成 30 年度原子力施設等防災対策等委託費(スクラビング個別効果試験)事業について

平成 30 年〇月〇日付、標記実施要領に従い、以下の事項を登録致します。

登録内容

① 事業者名 〇〇

② 連絡先

住所 〇〇

電話 〇〇

FAX 〇〇

Mail 〇〇

担当者名 〇〇

(別添)

研究機材及び資料の品名と設置場所

1. 研究機材一覧

品名	個数	備考
単一気泡によるエアロゾル挙動測定実験装置	1	H26 年度スクラビング個別効果試験事業で製作
PC	1	H26 年度スクラビング個別効果試験事業で購入
気泡の二相流挙動評価実験装置	1	H27 年度スクラビング個別効果試験事業で製作
高速度カメラ	1	H28 年度スクラビング個別効果試験事業で購入
エアロゾル計測器	1	H28 年度スクラビング個別効果試験事業で購入
エアロゾル発生器	1	H28 年度スクラビング個別効果試験事業で購入

2. 資料一覧

品名	個数	備考
単一気泡によるエアロゾル挙動測定実験装置設計資料	1	H26 年度スクラビング個別効果試験事業
気泡の二相流挙動評価実験装置設計資料	1	H27 年度スクラビング個別効果試験事業

3. 研究機材の設置場所

茨城県つくば市天王台1-1-1

筑波大学 大学院システム情報工学研究科