

共同研究成果報告書

ソースターム評価における FP 移行挙動モデルの不確かさ低減に関する研究

原子力規制委員会 原子力規制庁

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

令和5年6月

1. 研究目的

既存のシビアアクシデント総合解析コードにおいて、モデル化への知見が不足している放射性物質の移行挙動について、基礎実験、モデル開発及び数値解析を実施し、ソースターム評価における不確かさを低減することを目的とする。具体的には、気体状放射性物質の移行挙動モデルの不確かさ要因として挙げられる格納容器内での二相流条件下におけるヨウ素化学種の再揮発現象及び原子炉冷却系等の高温領域における気体状放射性物質の生成現象を対象とし、移行・生成挙動のモデルを構築する方法を検討する。

2. 研究内容

気体状放射性物質の移行モデルの不確かさを含む現象の一つとして、サプレッションプールの液相において放射線分解によって生成される気体状ヨウ素化学種の気相への再揮発現象が挙げられる。再揮発現象は、プール静水面からの移行は既存のシビアアクシデント総合解析コードで考慮されているが、減圧沸騰やスクラビングによって発生する気泡界面における影響は十分に考慮されていない。同現象が実機体系に与える影響の数値解析及び現象を律速する気体状ヨウ素化学種の気液間物質移動係数を推定する手法の検討を行った。

また、同様に不確かさを含む現象の一つとして、原子炉冷却系等の高温領域での気体状放射性物質の生成割合が挙げられる。生成割合は炉型及び事故条件に依存し、共存する制御材の材質によって気体状放射性物質の生成割合が大きく異なる場合があるが、化学反応機構データやその検証データが不足している。そこで、高温気相化学反応による化学種情報をオンラインで取得できる装置を製作し、高温気相化学反応のモデル化に資する実験手法を検討した。

3. 実施方法

3.1 格納容器内放射性物質挙動に係る実験

二相流条件下における気液間物質移動現象の支配因子に係る実験系を検討し、気液間物質移動係数を測定する実験装置を製作した。気体状物質の気液間の物質移動現象は、物質移動係数と気液界面積の積によって表させるが、シビアアクシデント総合解析コード内にモデル化する際、多種多様な放射性物質の移行に対応するためには、物質移動係数と気液界面積は分離してモデル化することが望ましい。一方、気液界面積を高精度に測定することは難しいため、二つの気体成分を同時に脱気する実験を行うことで、両気体成分の液相濃度の変化率の比から、気液接触面積の影響を除いた物質移動係数を推定する実験を実施した。

3.2 格納容器内放射性物質挙動に係るモデル開発及び解析

3.1に係る実験装置の設計に向けた二相流条件下における気液物質移動係数測定手法を検討するとともに、シビアアクシデント総合解析コードへのモデル化方法を検討しモデル構築を実施した。

3.3 原子炉冷却系内放射性物質挙動に係る実験手法の検討

原子炉冷却系等の高温気相における化学反応挙動を解明するために必要な化学形、化学反応機構及び反応速度を実験的に取得するための手法を検討し、高感度差動型示差熱天秤を用いた反応物の蒸発量と生成された気体を測定する実験装置を製作した。製作した実験装置を用いて、ヨウ化セシウムの熱分解実験を実施し、装置の基礎データを取得した。

3.4 格納容器内放射性物質挙動に係る実機影響評価

事故晩期において、気体状放射性物質の再揮発現象がソースタームに与える影響を推定するために、既存のシビアアクシデント総合解析コードに再揮発現象のモデルを導入し、原子力発電所実機体系を用いた解析を実施した。

4. 研究実施分担

項目	原子力規制庁	日本原子力 研究開発機構
(1) 格納容器内放射性物質挙動に係る実験	○	◎
(2) 格納容器内放射性物質挙動に係るモデル 開発及び解析	○	◎
(3) 原子炉冷却系内放射性物質挙動に係る実 験手法の検討	○	◎
(4) 格納容器内放射性物質挙動に係る実機影 響評価	○	◎
(5) 研究取りまとめ	◎	◎

(◎：主担当、○：副担当)

5. 共同研究参加者（本共同研究終了時の体制）

所属部局（規制庁側のみ氏名を含む）	本研究における役割
原子力規制庁長官官房技術基盤グループ 秋葉 美幸 平等 雅巳	研究計画の管理・取りまとめ
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究 センター原子炉安全研究ディビジョンシビアアクシ デント研究グループ グループ長 同 副主任研究員 同 研究員 同 研究員 同 嘱託員	研究計画の立案 数値解析の実施 モデル開発 実験の実施 実験機材の保守 実験室の整備

6. 研究実施工程

項目	令和1年度	令和2年度	令和3年度
(1) 格納容器内放射性物質挙動に係る実験	装置整備	データ取得	
(2) 格納容器内放射性物質挙動に係るモデル開発及び解析	モデル構築	モデル検証	
(3) 原子炉冷却系内放射性物質挙動に係る実験手法の検討	装置整備	データ取得	
(4) 格納容器内放射性物質挙動に係る実機影響評価	解析・まとめ		

7. 成果概要

二相流条件下における気体状放射性物質の再揮発現象について、機構論的なモデルを構築するとともに、同モデルを日本原子力研究開発機構にて開発・運用しているシビアアクシデント総合解析コード THALES に導入し、気泡流中における気液接触面を通じた再揮発現象がソースタームに与える影響を評価した。気泡流による再揮発現象の促進によって、揮発性ヨウ素化学種の環境放出量が増加する可能性が示された。さらに、同モデルの不確かさ要因である気液間物質移動係数を推定するための理論モデルを構築し、実験によりその妥当性を検証した。

原子炉冷却系等の高温領域での気体状放射性物質生成現象については、化学挙動解明に必要な化学形、化学反応機構及び反応速度を計測できる実験装置を検討し、反応物の蒸発量と生成した気体の化学種毎の生成量を経時的に測定可能であることを装置コンセプトとして整備した。整備した実験装置を用いて、常温において安定な非凝縮性気体及び 200℃まで安定な気体の化学種とその半定量を経時的に取得可能であることを確認した。

8. 公表成果一覧

Nanjo, K., Ishikawa, J., Sugiyama, T., Pellegrini, M., Okamoto, K., “Revolatilization of iodine by bubbly flow in the suppression pool during an accident,” Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 59(11), pp. 1407-1416 2022.