

2-3. 主要な研究成果(6)



過酷事故時にBWR原子炉建屋下層階へ漏洩した水素挙動の詳細評価要否を簡便に判断する手法を構築

原子力発電 ● 事業者の自主的な水素防護対策の立案を支援

背景

原子力規制委員会では、福島第一原子力発電所3号機の水素爆発は、原子炉建屋の最上階(オペレーションフロア)ではなく、原子炉建屋下層階での爆発が起点になったと認識されています。この知見の重要性を踏まえ、当所では、原子力エネルギー協議会(ATENA)、BWRを所有する国内の電気事業者(BWR事業者)と連携し、過酷事故時に原子炉建屋の下層階に水素が漏洩した場合の水素滞留・拡散挙動の評価手法の構築を進めています。

成果の概要

◇水素滞留・拡散挙動に対する簡易評価フローを構築

過酷事故時にBWR原子炉建屋の下層階に漏洩した水素の滞留・拡散挙動に対する、簡易評価フローを構築しました(図1)。本フローでは、下層階の水素濃度が可燃限界を超えるかを判定し、GOTHIC*1による詳細解析の要否を簡便に判断できます。水素濃度の評価には、感度解析により下層階の水素濃度への影響が大きいパラメータ(表1)として抽出された、下層階形状や漏洩気体の条件等を踏まえて設定した代表的な解析体系(図2)を用います。

*1 GOTHIC: 米国電力研究所(EPRI)が開発した、原子炉格納容器内等の安全解析に用いられる汎用熱流体解析コード。

◇機械学習モデルを用いた下層階の水素濃度予測手法を開発

簡易評価フローで評価対象とする実機プラントの原子炉建屋下層階の水素挙動に対して、GOTHIC解析による水素濃度分布予測と置き換え可能な、機械学習モデルを開発しました。本機械学習モデルでは、各プラントの漏洩気体条件や下層階寸法等のパラメータを用い、GOTHIC解析と比べ1/3000程度に計算コストを低減させ、水素濃度を同等に予測できます。(図3)。

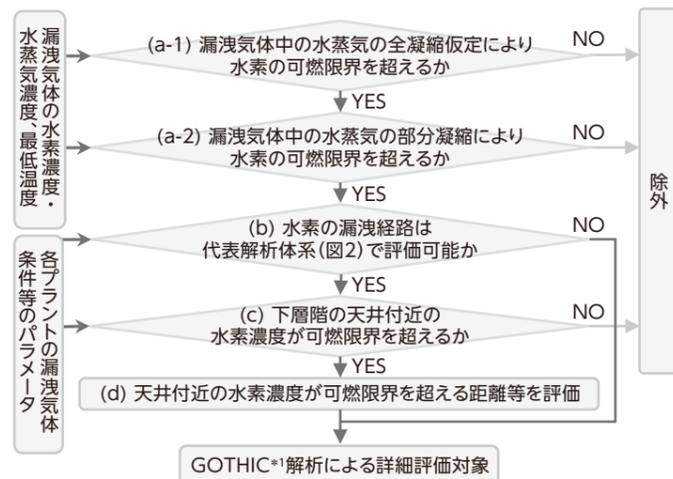


図1 原子炉建屋下層階の水素濃度に対する簡易評価フロー

項目(a)では、漏洩気体の水素濃度、水蒸気濃度、下層階の最低温度のみを用いて水素爆発の発生可能性が高い条件を絞り込みます。項目(b)では、許認可解析上の「重大事故条件」の範囲で、水素が局所エリア*2を介した漏洩を想定します。

*2 局所エリア: 原子炉格納容器に直接アクセスできる機器搬入用ハッチ室や所員用エアロック室等の比較的小さい区画のこと。

分類	パラメータ	
形状	漏洩箇所	開口面積
	漏洩箇所からの距離	垂直距離・水平距離
	下層階	高さ・長さ・幅・曲がり
	下層階の天井窪み	長さ・幅・深さ
流動	吹抜空間	断面積・高さ
	漏洩気体	温度・組成比・流量
伝熱	下層階初期状態	温度・気体組成比
	下層階壁面	壁厚さ・外側温度

表1 原子炉建屋下層階で水素が滞留する可能性のある箇所および漏洩気体に関するパラメータ

感度解析により、表中の太字下線のパラメータが下層階の水素濃度に与える影響が大きことがわかりました。この結果を踏まえ、本簡易評価フローでは、影響の大きいパラメータを水素濃度に対して保守的な設定値とする、または図1項目(b)(c)等の入力として考慮します。

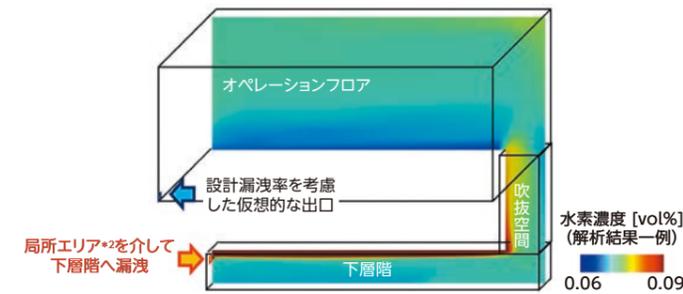


図2 簡易評価フローの構築に用いたGOTHIC解析のモデル体系(代表解析体系)と解析結果例

機械学習モデルの開発のため、本体系でのGOTHIC解析200ケースを用い、図1の項目(b)でYESとなる国内プラントの条件範囲に対して学習・検証をしました。

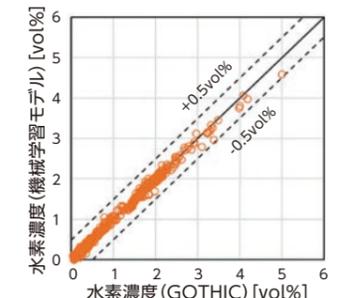


図3 GOTHIC解析と機械学習モデルによる水素濃度の計算値の比較

下層階の天井面に最も近い格子点における水素濃度のGOTHIC解析値を、絶対誤差±0.5vol%以内で予測できます。

成果の活用先・事例

本研究で開発した機械学習モデルを含む簡易評価フローを実機評価に適用することで、GOTHIC解析による詳細評価が必要となる条件を簡便に抽出でき、効率的な原子炉建屋下層階の水素滞留・拡散挙動の評価が可能となります。これにより、BWR事業者における各プラントの自主的な水素防護対策の立案を支援します。

(参考) 湯浅ほか、電力中央研究所 研究報告 NR24009 (2025)
湯浅ほか、電力中央研究所 研究報告 NR24003 (2024)



湯浅 朋久(ゆあさ ともひさ)
原子力リスク研究センター リスク評価研究チーム

米田 公俊(よねだ きみとし)
原子力リスク研究センター

原子力の安全性向上に向けた、過酷事故時におけるBWRプラントの水素防護対策の立案に貢献します。