

重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

軽水炉のシステム安全評価

背景・目的

原子力発電プラントの安全性を高めるためには、詳細な現象を把握できる解析モデルによる事象進展シミュレーションと定量的リスク評価を行って脆弱な部分を明らかにし、安全性の向上に有効な設備改造や設備追加など

を施す必要がある。

本課題では、安全性向上策の評価システムを高度化し、それらの対策の有効性の定量的評価を目的としている。

主な成果

1 過酷事故解析コードのモデル解明

BWR代表プラントの全交流電源喪失に起因するTBU*1解析をできる限りモデルパラメータを合致させた上で、MELCOR2.1*2とMAAP5.01*3で実施し、両コードの解析モデルの違いが事象進展の解析結果に及ぼす影響を調べた。その結果、燃料落下開始までの事象発生時間は比較的よく一致するものの、炉心支持板破損から格納容器(PCV)破損までについては、いくつかの解析モデルの違いに起因して、事象発生時間に差が現れるこ

とが明らかとなった(図1)。また、原子炉容器(RPV)破損時に1次冷却系が高圧となるため、格納容器直接加熱(DCH)を考慮した場合、RPV破損直後にPCV破損が生じる結果となる(図1)。またその場合、ペDESTAL床と壁のコンクリートの侵食は発生せず、かつ溶融炉心-コンクリート相互作用(MCCI)による水素もほとんど発生しない結果となることがわかった(図2)[L13006]。

2 BWR原子炉建屋内水素／水蒸気挙動評価手法の開発

BWRの過酷事故時に、原子炉格納容器を経て建屋内空間に漏えいする水素挙動をCFD(数値流体解析)コードを用いて3次元解析を行った。また、これまでに開発したCFD解析の結果を予測する集中定数系(LP)モデルを、ブローアウトパネル等の側壁開口部を通る対向流が生じる場合(図3)も扱えるように拡張し

た。様々な開口条件についてCFD解析とLPモデルの評価結果を比較し、よい一致が確認された。これにより、計算コストの大きなCFD解析の実施に先立ち、LPモデルを用いて結果を予測することで効率的な評価を行うことが可能となった。

3 反応度事故(RIA)時の評価モデル高度化のための計測技術の開発

RIAは、制御棒落下などにより原子炉出力が急速に増大し、1秒未満の短時間に被覆管表面が乾く事象である。当該事象における沸騰気泡挙動と燃料温度を把握することは、反応度フィードバック*4を考慮する上で重要である。そのため、RIAを模擬する直接通電加熱

体系において、ボイド率と過渡温度の計測が可能となる技術を開発した。被覆処理を施したワイヤメッシュセンサで平衡回路を組むことで電位影響を消去できる3点式熱電対システムを構築し、時定数0.1秒以下の優れた応答性で高精度の二相流計測を可能とした(図4)。

4 外部事象による共通原因故障を考慮したレベル1PRAモデルの構築

2012年度作成した代表的BWRプラントの内部事象および地震影響レベル1PRA(炉心損傷頻度を評価する確率論的安全評価)モデルを基に、津波の重畳影響を考慮したプロトタイプモデルを構築した。また、このモデルに

入力するフラジリティデータを整備するため、プラントの津波影響に対し重要な設備である水密扉と海水ポンプの津波フラジリティ*5の評価を行い、津波ハザードとフラジリティを結合する際の課題を抽出した。

*1 電源喪失(DG起動失敗を含む)。

*2 MELCOR:NRC(米国)が開発している過酷事故解析コード。日本では、規制側が利用している。

*3 MAAP:EPRI(米国)が開発している過酷事故解析コード。主に事業者側が利用している。

*4 炉出力の急上昇時に燃料温度変化に対応して炉出力を抑制する効果。

*5 ある規模の津波に対する条件付き機能損失確率。

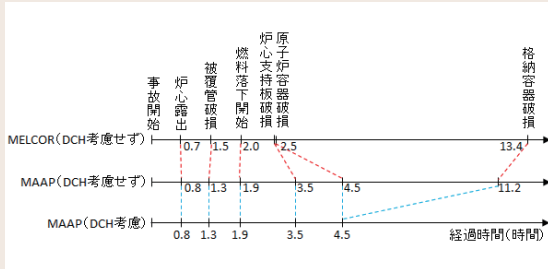


図1 TBUシーケンスにおける主な事象の発生時間の比較

炉心支持板破損以降の事象発生時間にMAAPとMELCORで大きな差が現れること、また1次冷却系が高圧状態で原子炉容器が破損したときに発生する可能性のある格納容器直接加熱(DCH)を考慮した場合、原子炉容器破損直後に格納容器破損が発生するという厳しい結果になることが確認された。

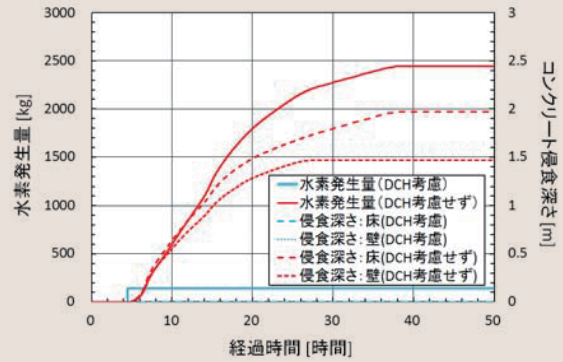


図2 TBUシーケンスに及ぼすDCHの影響 (ペDESTALでの水素発生量とコンクリート侵食深さ)

DCHとは、RPV破損時に高温の炉心デブリが水蒸気等のガスとともに高圧でPCVへ放出され、PCVに熱的・機械的な負荷が発生する事象である。DCHを考慮した場合、デブリの大部分がペDESTALからドライウェルへと流出するため、ペDESTALでのMCCI発生が小規模となり、コンクリート侵食量および水素発生量ともに少なくなる。一方、DCHを考慮しない場合は、すべてのデブリがペDESTAL内に留まり、大規模なMCCIが発生する。

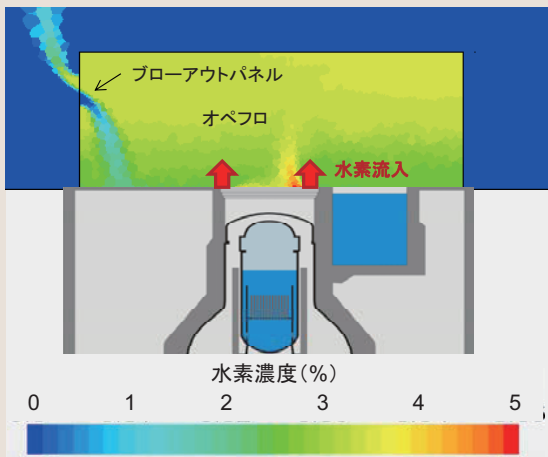


図3 建屋内水素挙動評価

BWRの過酷事故時に、原子炉格納容器から建屋内空間に漏えいする水素の詳細挙動に対してCFDコードを用いた3次元解析を実施した。ブローアウトパネルにおいて上側から排気、下側から吸気の対向流となることを考慮して、これまでの集中定数モデルを拡張した。

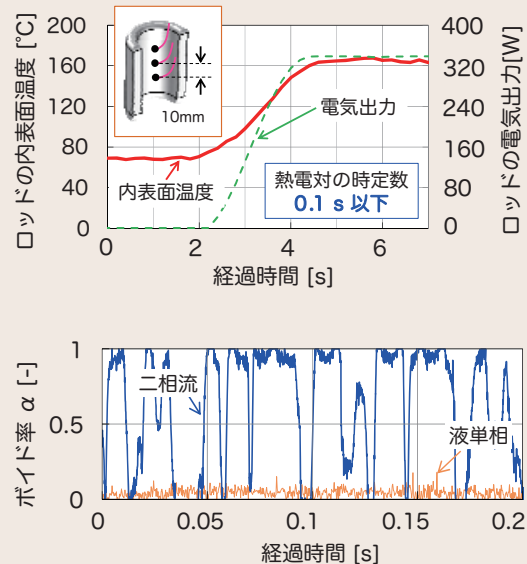


図4 RIAを対象とした計測技術の開発

RIAを模擬する直接通電加熱体系において、ボイド率と過渡温度の計測が可能な技術を開発した。模擬発熱体の表面温度を計測するために3点式熱電対システムを構築し、過渡的な温度変化に追従できることを確認した(上図)。また、ワイヤメッシュセンサを被覆処理により改良したセンサにより、直接通電時においても二相流計測を行うことが可能となった(下図)。