

1F2号機原子炉圧力容器の“見えない損傷”を解明する —共晶熔融を踏まえた粒子法による溶融物挙動解析—

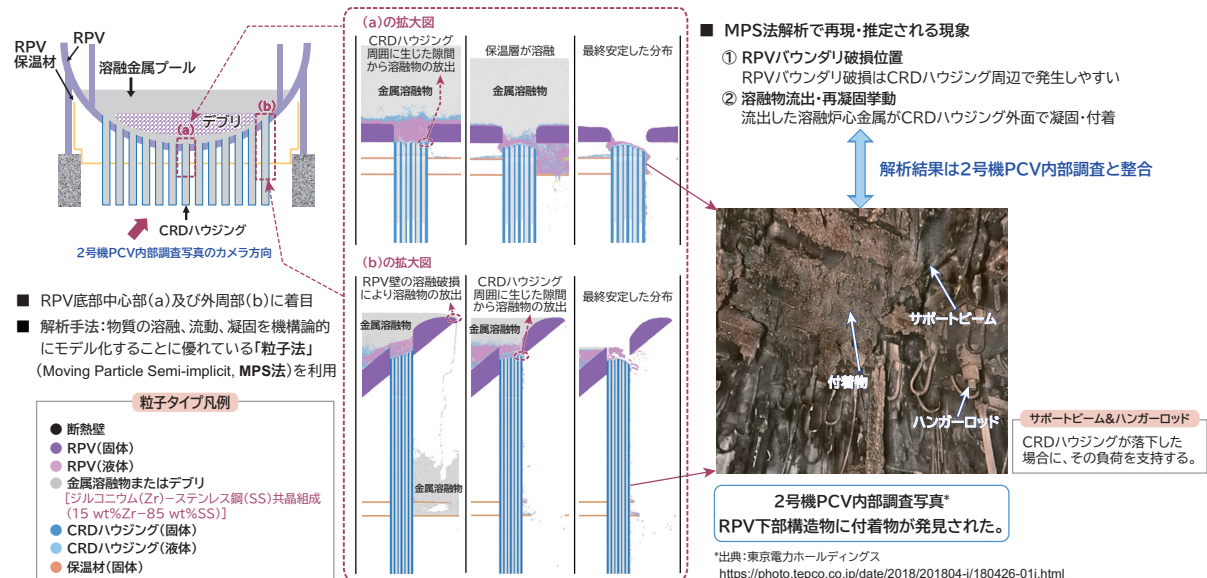


図1 福島第一原子力発電所2号機原子炉圧力容器(RPV)下部構造における局所破損と炉心物質移行挙動の解析結果

原子力機構の共晶反応試験データと2号機事故時の推定条件を反映した粒子法(MPS法)解析結果です(RPV底部中心部(a)、外周部(b))。本解析では、RPVに大規模な損傷がなくても、内部の溶融炉心物質がRPV壁とCRD(制御棒駆動機構)ハウジング周辺の局所破損部から流出し、その一部が下部構造物の表面で付着・凝固する様子を再現しました。これらの挙動は、2号機原子炉格納容器(PCV)内部調査で確認された付着物(右写真)と整合しており、調査では直接把握できないRPV内部状況の理解に寄与します。

* 出典:東京電力ホールディングス <https://photo.tepco.co.jp/date/2018/201804-j/180426-01j.html>

東京電力福島第一原子力発電所(1F)2号機では、原子炉圧力容器(RPV)に明確な大規模損傷は確認されていない一方、その下部では炉心物質が流下したとみられる痕跡や堆積物が観測されています。

この前例のない現象を理解するため、原子力機構ではRPV下部を貫通する構造を模擬した実験を行い、ジルコニウム(Zr)-ステンレス鋼(SS)の共晶反応により、貫通構造物周辺で局所的な溶融が生じ得ることを明らかにしました(図1)。しかし、こうした局所破損部から炉心物質がどのように流出・凝固するかまでを実験で再現することは困難です。

そこで本研究では、流体や構造物を多数の粒子の集まりとして表現し、個々の粒子の運動と相互作用を追跡することで、溶融・流動・凝固といった複雑な変形挙動を物理的に再現できる粒子法(Moving Particle Semi-implicit method, MPS法)を用いました。本解析では、事故当時の2号機の熱・構造条件に加え、原子力機構が取得したZr-SSの共晶反応温度を反映した実験データに基づき、Zr-SS界面に配置した粒子に低い融点を与えることで、共晶反応による融点低下を考慮した解析を行いました。その結果、RPV壁に囲まれたCRD(制御棒駆動機構)ハウジング周辺で局所的な破損が生じ、流出した溶融炉心物質がハウジング外面で再凝固する挙動を再現しました。この結果は、2号機原子炉格納容器(PCV)内部調査で確認された付着物状況と整合しました。

本研究により、Zr-SS共晶反応が2号機RPV下部構造の損傷進展と溶融物流出に寄与した可能性が示され、事故時の炉内挙動理解や燃料デブリ分布推定の高度化に資する知見が得られました。

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁「令和5年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発)」による成果の一部です。

Li, X. et al., Numerical Analysis of a Potential Reactor Pressure Vessel (RPV) Boundary Failure Mechanism in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit-2, Annals of Nuclear Energy, vol.214, 2025, 111217, 13p.



Xin Li

福島廃炉安全工学研究所
 廃炉環境国際共同研究センター



◀Webはこちらへ