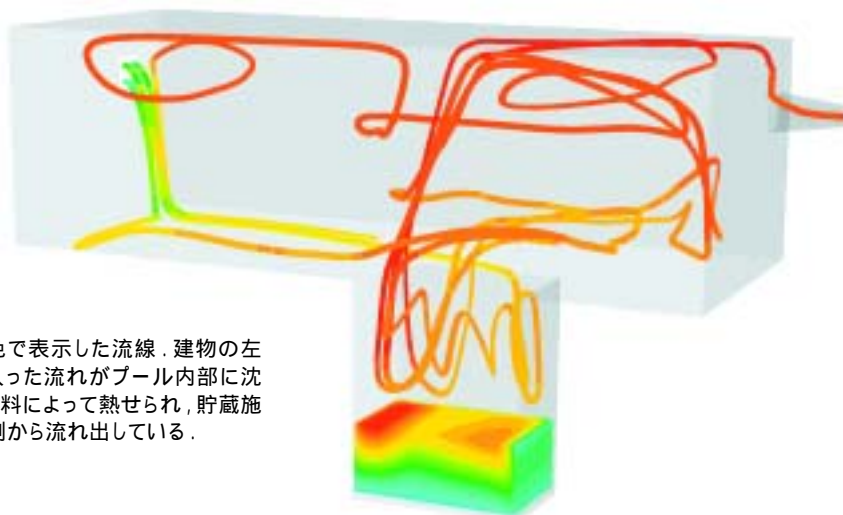


使用済み燃料集合体の事故シナリオモデル

米国原子力規制委員会



温度を色で表示した流線。建物の左側から入った流れがプール内部に沈み、核燃料によって熱せられ、貯蔵施設の右側から流れ出している。

原子力発電所には、原子炉から取り除かれた使用済み核燃料集合体の保管用として、巨大なプールがあります。最近、米国原子力規制委員会(USNRC)の原子炉規制局(NRR)では、災害等でプール内部の冷却剤が喪失する事故が起きた場合、どのような危険があるかを調査しました。

このプロジェクトは、米国内の原子力施設の廃止措置の一環として実施されたものです。目的は、冷却剤喪失事故が発生した際の、使用済み核燃料の最高到達温度予測と、自然対流による冷却効果の大きさを知ることでした。原子力規制研究局(RES)の研究員が、CFD解析を実施することとなりました。

まず、一般的なプールの3次元モデルがFLUENTで構築されました。プールは貯蔵施設内に設けられ、プールの上には換気システムが設置されています。プール内には、収納ラックに高い密度で収められた核燃料が底から3分の1の高さまで格納されています。格納さ

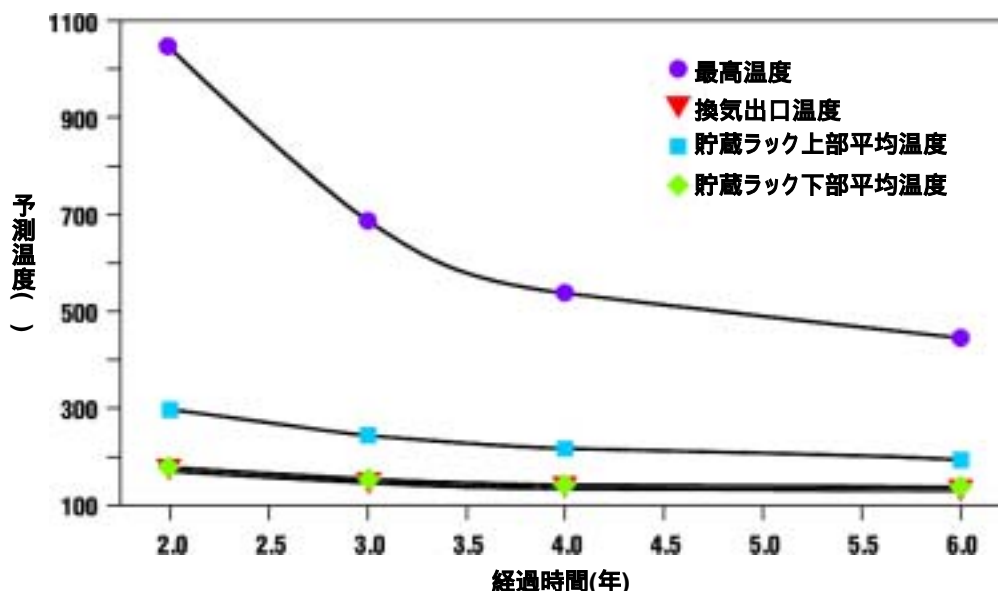
れている核燃料集合体は合計4200個で、貯蔵開始からの時間にはばらつきがあります。1つの炉心は、約800個の核燃料集合体で構成されます。ここでは、核燃料集合体のラックが、数年にわたる原子炉の運転に伴って右から左へと格納されてきたものとしています。プール左側にある800個の集合体は、最後に炉心から取り出されたものを想定しており、最も大きなエネルギーを放出します。核燃料から放射されるエネルギーは、時間とともに減少します。建物の上部には、換気システムによって一定の空気がつねに流れ込みます。

原子炉の閉鎖から2年、3年、4年、そして6年後の熱と流れの状態を調べるため、FLUENTを使ってそれぞれの時点で定常シミュレーションが実施されました。シミュレーション結果から、崩壊期間のそれぞれの時点における核燃料の最高到達温度が抽出されました。原子炉閉鎖からの経過時間が2年から6年となるにしたがって、核燃料の崩壊エネルギーと最高到達温度は減少するという結果が出ました。核燃料の燃焼度、流動抵抗、

換気流量, 建屋天井の熱伝達係数などを変え, 感度解析がなされました. この結果, これらのパラメータによる最高到達温度と建屋内部の自然対流への影響が明らかになりました. 放射の影響, および, 核燃料被覆の化学反応(酸化など)による熱的な影響は昇温時にしかみられないため, シミュレーションには含まれていません.

プール内の加熱については, 通常, SHARP, SFUEL, COBRASFSなどの単純化された計算コードが使用され, 専用の洗練された物理モデルを搭載しているものもあります. しかし, 集合体ラックの内側と周辺の流れを単純化したモデルを含むだけで, プールを取

り囲む建屋全体はモデリングできません. また, 単純化された流れ場モデルでは, 流れの3次元の特性に基づく圧力や温度の分布が考慮されません. これに対して本研究におけるCFD解析は, ラック, プール, 建屋を含む全体的な3次元の流れ場を対象としています. CFDによる予測結果は, このような重要な要因による全体的な予測精度の低下を最小限に抑えたと思われます. たとえば, 崩壊期間が4年以上の使用済み燃料の解析では, 空気だけでも燃料温度を600 以下に維持できることがわかりました.



格納建屋と燃料棒付近の温度の経時変化.
温度曲線の形状は, 崩壊熱曲線と類似している.