

5-4 過熱炉心の液滴冷却効果を探る — 沸騰遷移後の熱伝達率及びリウエット速度モデルの開発 —

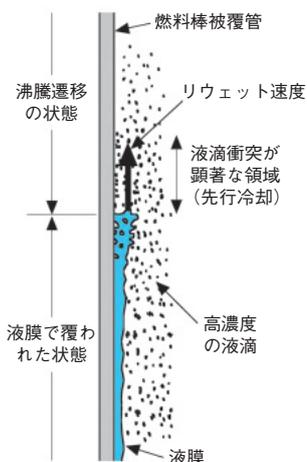


図5-8 リウエットと液滴
乾き上がった燃料棒の表面が再び液膜で覆われて、水の沸騰による良好な熱伝達が回復する過程をリウエットといいます。原子炉異常過渡時の高流量条件では、高濃度の液滴流を伴いながらリウエットが進展するのが特徴です。

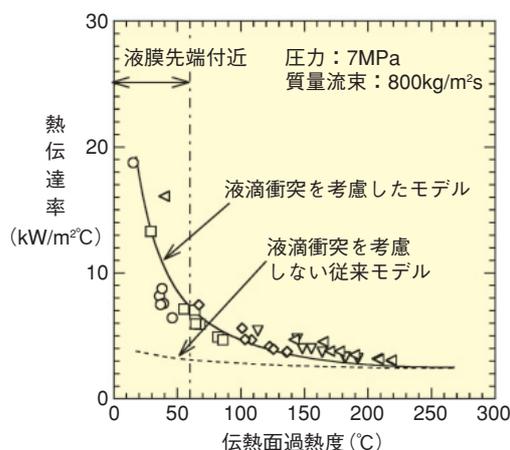


図5-9 熱伝達率の計測とモデルの比較
液滴の濃度が高い条件では、過熱面への液滴衝突による冷却が期待できます。この効果は安定な膜沸騰に至らない低過熱度面で顕著に表れます。横軸の過熱度が低い領域が液膜の先端付近に該当し、本モデルではこの領域での予測性能が大幅に向上しました。

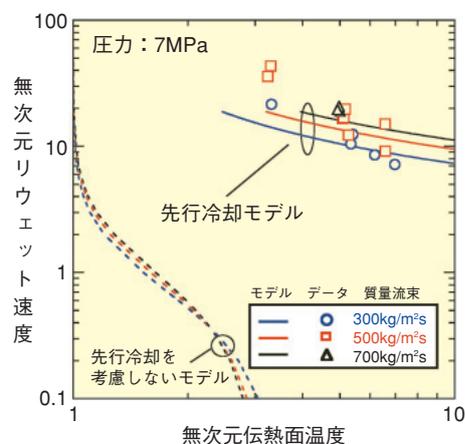


図5-10 リウエット速度の計測とモデルの比較
液滴衝突を考慮した先行冷却モデル（実線）では、壁面の温度低下を促進するため、先行冷却を考慮しないモデル（破線）と比較して、同じ乾き面温度に対してリウエット速度を10倍以上も向上させる効果があることが分かります。

沸騰水型原子炉の炉心では、蒸発量の増加や流量の減少によって液膜が枯渇すると熱伝達が劣化して燃料温度が急上昇し、燃料被覆管の破損につながるおそれがあります。このような熱伝達の劣化を「沸騰遷移」と呼び、現行炉では通常運転時はもちろん、異常過渡時においてもこれを回避するように設計することが要求されています。一方これまでの研究で、沸騰遷移が起きたとしても短時間のうちに事象が終結すれば燃料の健全性は必ずしも脅かされないという知見が蓄積されてきています。社団法人日本原子力学会ではこれを踏まえ、沸騰遷移状態が持続する期間とその間の被覆管温度が定められた条件内に収まる場合には沸騰遷移の発生を許容するという基準（学会基準）を提案しています。私たち原子力機構では、学会基準に示されている被覆管温度評価手法の技術的妥当性を検証することを目的に、様々な実験や解析を行っています。

沸騰遷移に関連する現象で予測が難しいとされているのがリウエット（図5-8）で、乾き面上を進行する液膜のスピードを意味する「リウエット速度」は、沸騰遷移の終結を決定する重要な因子となっています。従来研究では、原子炉異常過渡のような高圧・高流量過渡条件でのリウエット速度の計測例はほとんどありません。私た

ちは、被覆管を模擬した円管を試験部として、学会基準を包含する広い条件での実験を行い、リウエット速度とリウエット速度の計算に必要な熱伝達率を予測する独自のモデルを開発しました。

一連の研究から、図5-8に示したように、冷却水の流量が高い条件では流路を流れる液滴の濃度が高く、この液滴が液膜先端付近の乾き面に衝突することで冷却を促進し、リウエット速度を向上させる効果があることを見いだしました。図5-9に液膜先端付近の乾き面を含む熱伝達率の計測結果とモデルの比較を示します。従来の液滴衝突を考慮しないモデルと比較して、私たちが開発したモデルでは低過熱度領域での予測性能が大幅に改善されていることが分かります。

このような液膜先端付近での液滴衝突の効果は「先行冷却」として以前から知られていました。リウエット速度の予測モデルにはこの効果を組み込みました。図5-10に計測値とモデル計算値の比較を示します。先行冷却を考慮したモデルは実験データと良好に一致することが分かります。液滴濃度が高くなる高流量条件では先行冷却の効果は顕著に卓越して、リウエットに対する支配的な役割を果たすことを明らかにすることができました。

●参考文献

Sibamoto, Y. et al., Measurement and Analysis for Rewetting Velocity under Post-BT Conditions during Anticipated Operational Occurrence of BWR, Proceedings of 17th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE 17), Brussels, Belgium, 2009, ICONE17-75287, 10p., in CD-ROM.