

臨界圧近傍における限界熱流束とポストCHF熱伝達および超臨界圧流体の熱伝達劣化数値解析に関する研究

馬渡, 峻史

<http://hdl.handle.net/2324/1654875>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 馬渡 峻史

論 文 名 : 臨界圧近傍における限界熱流束とポスト CHF 熱伝達および超臨界圧流体の熱伝達劣化数値解析に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

現在、発電用第4世代原子炉の1つとして、超臨界圧で高温の蒸気を発生し蒸気タービンに送る超臨界圧水冷却原子炉が国際共同開発されており、発電効率の大幅な向上とシステムの小型簡素化および経済性・安全性の向上が期待されている。超臨界圧水冷却原子炉は、通常定格圧力の超臨界圧で運転されるが、起動時や停止時また冷却水喪失事故時には、限界熱流束(CHF)状態が発生しやすい、臨界圧より幾分低い高亜臨界圧域を通過し、さらに定格の超臨界圧でも、冷却水流量が減少すると、熱伝達の劣化が生じやすくなる。いずれも大きな熱伝達の低下を生じ、燃料棒温度の急上昇すなわち損傷を伴うため、安全上、それらの熱伝達低下の特性を解明し、予測方法を検討する必要がある。また、超臨界圧運転のボイラでも、同様の問題がある。本論文は、臨界圧に近い高亜臨界圧域における限界熱流束の発生とその下流域、すなわちポストCHF域の熱伝達を対象として、実験により特性を解明し、予測方法を提案するとともに、超臨界圧の低流量における熱伝達劣化について、数値解析を行い、現象解明を検討したものである。

第1章では、本研究が対象とする臨界圧近傍における限界熱流束とポストCHF熱伝達および超臨界圧熱伝達劣化の解明の重要性について説明し、関連する従来の研究を概説して、本論文の目的を明らかにした。

第2章では、限界熱流束とポストCHF熱伝達の実験に用いた実験装置と実験方法および実験条件について説明している。実験装置は、HCFC22とHFC134aを試験流体とする強制循環テストループで、主に、他の条件は一定とし、熱流束を段階的に上昇させる方法で実験を行った。ほかに、圧力あるいは流量を段階的に変化させる方法でデータも得ている。実験データの再現は良好で、条件が同じであれば、発生方法の違いによらず、同じ特性のデータが得られることを確認している。

第3章では、臨界圧に近い高亜臨界圧域における限界熱流束について、実験データに基づき、特性を詳細に明らかにし、予測整理式を提案している。まず、高亜臨界圧の限界熱流束は、上昇流と下降流で違いがないことを明らかにしている。次いで、その特性は、低圧の場合と異なる特性を示し、限界ボイリング数と限界クオリティの関係によって、より臨界圧に近い高圧の主に高サブクール液域で生じる膜沸騰発生のF1域、圧力は幾分低い側の主に中低サブクール液で生じる膜沸騰発生のF2域、湿り蒸気域でドライアウトが発生するD2域、さらにD2域とF1あるいはF2域との間の遷移域のD1域の4つの特性域に分類できることを明らかにした。そして、高亜臨界圧域の限界熱流束は、従来の低圧側を対象とした予測式では予測できないことを示して、新たに各特性域の違いを考慮した予測式を提案している。予測式は、得られたデータはもちろん、水に対しても、十分な精度で限界熱流束を予測する。

第4章では、臨界圧に近い高亜臨界圧域におけるポスト CHF 域の熱伝達について、実験データに基づき、特性を解明するとともに、予測式を検討している。まず、ポスト CHF 熱伝達の特性は、上昇流と下降流で異なることを示し、上昇流では、低流量型と高流量型の2つの特性に分類でき、限界状態発生後流れ方向に、低流量型では複雑な熱伝達変化を伴うのに対し、高流量型では比較的穏やかに変化すること、また下降流では、上昇流の高流量型に類似した特性を示すことを明らかにしている。あわせて、蒸気膜流の速度増大による流動様相の流れ方向変化を考慮して、特性変化に対応した伝熱機構の変化を検討している。そして、上昇流の低流量型と高流量型および下降流に対し、それぞれ、従来の簡単な予測式は適用できないことを示し、新たに伝熱機構の変化を考慮した予測式を作成している。予測式は、水に対しても、比較的良好な精度で適用できることを確認している。

第5章では、超臨界圧の低流量における熱伝達劣化を対象として、熱流体解析ソフトウェア STAR-CD を用いた CFD 解析を行い、解析方法を検討して、現象の解明を試みている。その結果、乱流モデルによらず、重力すなわち浮力の影響を考慮することで、熱伝達劣化の発生を再現できることを示し、その際の壁面近傍の速度分布を詳細に検討して、浮力による境界層内の速度回復により壁面近傍の乱れが抑制され、熱伝達劣化が発生することを確認している。一方、劣化後に比較的長く生じる低い熱伝達域の再現はできておらず、運動量保存式中の重力の影響をより正確に考慮する必要があることを明らかにしている。

第6章では、本論文の総括を行った。