

審査の結果の要旨

氏名 姜 玉 雁

本論文は、「Thermal Convection and Stability in a Natural Circulation Loop (自然循環ループにおける熱対流と安定性)」と題し、各種サーモサイフォン、ソーラーエネルギー、地熱、原子炉等において熱対流の一つの基本系である環状自然循環ループ(下部加熱、上部冷却)内の対流とその安定性に関し理論的、実験的に研究し、特に、ループを構成する材質の熱物性、熱的境界条件、流体(単相、多孔質内流れ)の影響等を明らかにしたものであり、論文は全6章よりなっている。

第1章は「Introduction (序論)」であり、従来の研究を概観し、本系ではカオス的な循環流や間欠カオス、3次元セル状流れが現れるなど複雑であること、それら流れの構造や安定性はループの加熱や冷却の仕方や程度その他、流体やループ壁面物性などに強く依存していることが知られるが、これまで、そうしたループ管の熱物性や境界条件の影響が系統的に研究されていないこと、実用的にも重要な多孔質流体層の研究がないことなどを指摘し、これらの問題の解明が本研究の目的であることを述べている。

第2章は、「Wall Influences on Appearance of Lorenz Chaos (ローレンツカオス発生に及ぼす壁の影響)」であり、熱対流の安定性に及ぼすループ壁材質と熱的境界条件の影響について理論的、実験的に研究した結果について記している。すなわち、理論的検討においては、壁面の熱伝導、壁面から流体への熱伝達を考慮した1次元ローレンツ型モデルにより流れの安定性を解析し、軸方向熱伝導と壁面熱伝達の違いにより安定性が大きく異なること、安定性は熱慣性とでも呼べるパラメタ σ を用いて判別できることを明らかにしている。そして、ループ壁がガラス製であるとき、銅製であるとき、上半分が銅製、下半分がガラス製であるときの3種の場合について実験を行なってモデル解析結果の妥当性を確認している。

第3章は「Different Bifurcation Routes to Chaos (カオスに至る他のルート)」であり、3次元流れの発生条件、カオス流れの発生条件と分岐現象、カオスに至るルート等、流れの構造と安定性に関する問題について理論的に考察した結果について述べている。すなわちまず、非平衡相転移の研究において知られるサイナジェティック理論を適用して、4種の基本的な3次元定常流パターンが生起する可能性のあることを示している。そして、それぞれのモードについて3次元モデルを構成して流れの安定性解析を行い、その結果として、流れの安定性は熱的な境界条件の影響を反映した特有のパラメタ δ で支配されていること、 δ が小さい場合は1次元ローレンツ系として扱えること、 δ が大きい場合は流れは3次元的なものになり、間欠カオスが現れることなどを明らかにすると共に、第2章の扱いが妥当であったことを確認している。

第4章は「Numerical Simulation of Porous Flow (多孔質流れの数値シミュレーション)」であり、環状流路が多孔質層であるときの流れおよびその安定性について理論的に研究した結果について記している。すなわち、多孔質流れの3次元数値計算による解析を行ない、対流のパターン、関連パラメタによる流れの遷移、単相流れとの違い等について調べ、局所対流の存在等を明らかにしているが、結論として、多孔質流れでは3次元性はさほど顕著でないこと、すなわち、系の全体的な流れや熱伝達への影響は小さいことを示している。

第5章は「Stability of Porous Flow (多孔質流れの安定性)」であり、第4章の解析結果を1次元モデルおよび実験により検証した結果について述べている。すなわちまず、多孔質流れの1次元モデルを考え、第2章と同様の手法(ローレンツ型のモデル化)により支配方程式を構成し、流れの安定性を考察して、安定性が修正プラントル数 Pr に支配されること、 Pr が無限大となるダルシー系では流れが完全に安定であること、 Pr が有限の実際系では局所的2次流れが生じるものの、ループ内の全体的な流れは加熱入力が極端に大きくならない限り安定であることを示している。そして、熱伝導性が大きく異なるガラス球および銅球からなる多孔質系で実験を行ない、流れの安定性を調べ、解析結果の妥当性を確認している。

第6章は「Summaries and Conclusions (まとめと結論)」であり、上記の研究成果を総括し、得られた主要な結果をまとめている。

以上要するに、本論文は、学術的のみならず実用的にも重要な環状流路内熱対流(環状サーモサイフォン)の流れと安定性、特にそれに及ぼす境界条件の影響、単相と多孔内流れの違い等について、一連の理論的、実験的研究を行ない、工学的に有用な成果を得たものであり、熱工学、機械工学の発展に寄与するところ大である。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。