

氏 名	滝 谷 紘 一 たき たに こう いち
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第1230号
学位授与の日付	昭 和 54 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	貫流型蒸発管系の密度波振動型不安定流動に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 岐 美 格 教授 桜 井 彰 教授 西 原 英 晃

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、原子力プラントの蒸気発生器の設計と運転などにかかわる重要研究課題として注目されている貫流型蒸発管系の密度波振動型不安定流動に関して実験的ならびに解析的に研究を行なった結果をまとめたものであって、6章から成っている。

第1章は序論であって、気液二相流の不安定流動現象に関する実例と、従来の研究について概観し、密度波振動型不安定流動に関する研究を貫流型蒸発管系について行なうことの重要性を指摘し、(1)基礎的な実験により、不安定流動現象の基本特性を明らかにするとともに、解析モデルの検証用のデータを得ること、(2)不安定流動の発生機構を解析し、支配する主要因子を摘出すること、(3)安定限界条件の実用に供し得る予測手法を確立することを本研究の目的とすると述べている。

第2章では、圧力 20~43 ata のもとで、直接通電加熱される垂直管にサブクール水が流入して上昇し、管出口で過熱蒸気となって流出する貫流型蒸発管系について、まず圧力降下や熱伝達に関する静的特性を詳細にしらべ、ついで入口・出口ヘッダ間の差圧一定の設定条件のもとで、加熱量、圧力あるいは入口サブクーリングに対する入口流量の応答波形をしらべて、不安定流動現象の発生を確認し、その現象の特色と、発生限界について詳細に検討している。本実験で観測された不安定流動は、圧力降下対流量の静特性曲線の正勾配領域で発生し、振動周期は系の流体通過時間と同程度であり、振動の発達してゆく段階で振幅比と振動周期がほぼ一定であることなどの密度波振動型不安定流動の特性を持ち、さらに入口と出口の流量の振動の位相差がほぼ180°であり、流量振動にともなう管壁温度の振幅はドライアウト点近傍で最大になり、大きい入口サブクーリングのとき高次振動モードが生じることなどの特色を見出している。また安定限界条件に対する種々の運転パラメータの影響について詳細にしらべ、とくに蒸発部でのエンタルピ上昇度が増すと流動は不安定になることを明らかにしている。

第3章では、従来ほとんど解析されていなかった、管出口で過熱蒸気となって流出する貫流型蒸発管系の密度波振動型不安定流動の発生に関して、いわゆる境界移動集中定数系モデルを使用し、フルビッツの安定判別法を用いて、無次元変数表示による簡潔な安定限界式を解析的に導き、実験データと比較検討し

ている。その無次元変数は、(1)入口・出口間の全圧力損失に占めるサブクール域の圧力損失の割合 Y 、(2)飽和水と飽和蒸気の比重量の比、(3)流量変化に対する予熱域の流体熱入力の動的応答に関するパラメータ b 、(4)予熱域と蒸発域の流体通過時間に関する時定数の比、(5)予熱域の無次元慣性時定数の5つが主要なものである。そして前章の電気加熱実験の安定限界での Y の値と比較し、 b を1とすればよい一致を示すが、振動周期の計算値は実験値の半分ぐらいとなること、他の研究者によるナトリウム加熱実験のデータと比較すると、 b を0.65とするとほぼ妥当な一致を見るが、この場合には、 b に関して時間遅れ要素を含んだ伝達関数表示が重要であることを指摘して、安定限界式を修正し、より良好な結果を得ている。

第4章は、前章の単純化モデルを基礎として、集中定数系的に取扱った部分を分布定数系的に拡張し、さらに蒸発域での気液スリップ、過熱蒸気域のエネルギーと質量の保存則、ならびに伝熱管と加熱流体に関するエネルギー式も考慮して、時間領域における数値解を求める計算コードDEWを作成し、電気加熱ならびにナトリウム加熱の実験データと比較して、安定限界条件及び振動周期の計算値が実験値と良好な一致を示すことを見出し、本計算コードを実用に供し得る見通しを得ている。そして種々の計算を行なうと、入口と出口の流量の位相は約 180° ずれるが、これは第2章の実験結果と一致すること、ナトリウム加熱の場合のように Y の値が小さいときには、出口流量の入口流量に対する振幅の比は相対的に小さくなること、ナトリウム加熱の場合に、管内面熱流束が時間的に一定という条件は著しく不安定側の解析結果をもたらすので、その計算条件は不適当であること、気液スリップを無視して計算すると、安定側の解析結果を示すので、安定限界条件の計算精度を高めるうえで、気液スリップの考慮が必要であること、第2章で述べた高次振動モードについても取扱えることなどを明らかにするとともに、LMFBRプラントの蒸気発生器についてDEWコードを用いて検討した例も述べている。

第5章は、従来公開されている周波数領域の計算コードDYNAMの精度を、第2章の実験データと比較して検証したもので、そのコードに部分的修正を加えることによって、実験値との妥当な一致が得られることを示している。

第6章は結論で、以上の結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

サブクール水が加熱されて過熱蒸気となって流出する貫流型蒸発管系において生じることのある密度波振動型不安定流動は、気液二相流のダイナミックスに関しても、原子力プラントの蒸気発生器の設計と運転などに関しても、重要な研究課題として注目されている。本論文は、電気加熱される貫流型蒸発管系について基礎的な実験を行なって、密度波振動型不安定流動の特色と、その発生限界を明らかにするとともに、単純化モデルにより簡潔な安定限界式を導き、さらに時間領域における計算コードDEWを作成し、種々の実験値と比較して、その計算コードを検証したものであって、主な成果は次の通りである。

(1) 圧力20~43 ataにおいて、電気加熱される貫流型蒸発管系について、圧力降下や熱伝達の静的特性をしらべたうえで、入口・出口ヘッダ間の差圧一定の設定条件のもとで不安定流動を起こし、それが圧力降下対流量の静特性曲線の正勾配領域で発生し、流量の振動周期は系の流体通過時間と同程度であり、振動の発達してゆく段階で振幅比と振動周期がほぼ一定であることなどの密度波振動型不安定流動の特性

を持つことを見出した。さらに入口と出口の流量の振動の位相差はほぼ 180° であり、流量振動にともなう管壁温度の振幅はドライアウト点近傍で最大になり、大きい入口サブクーリングのとき高次振動モードが生じることなどの特色と、安定限界条件に対する種々の運転パラメータの影響を明らかにした。

(2) 貫流型蒸発管系の密度波振動型不安定流動の発生に関して、境界移動集中定数系モデルを使用し、フルビッツの安定判別法を用いて無次元変数表示による簡潔な安定限界式を解析的に導き、上述の電気加熱実験や、他の研究者によるナトリウム加熱実験のデータと比較して、ほぼ妥当な一致を見たが、後者の場合には、流量変化に対する予熱域の流体熱入力の動的応答に関して時間遅れ要素を含んだ伝達関数表示が重要であることを指摘して、安定限界式を修正し、より良好な結果を得た。

(3) 上述の単純化モデルにおいて集中定数系的に取扱った部分を分布定数系的に取扱い、さらに蒸発域での気液スリップ、過熱蒸気域のエネルギーと質量の保存則、ならびに伝熱管と加熱流体に関するエネルギー式も考慮して、時間領域における数値解を求める計算コード DEW を作成し、前述の2種の加熱実験のデータと比較して、安定限界条件及び振動周期の計算値が実験値と良好な一致を示すことを見出し、本計算コードを実用に供し得る見通しを得た。そして種々の数値計算を行なって、入口と出口の流量の位相は約 180° ずれること、気液スリップの考慮が安定限界条件の計算精度を高めるうえで必要なこと、高次振動モードについても取扱えることなどを明らかにし、さらに LMFBR プラントの蒸気発生器の設計に際し、DEW コードによる検討を行なった。

(4) 従来公開されている周波数領域の計算コード DYNAM の精度を、前述の電気加熱実験のデータと比較して検証し、そのコードに部分的修正を加えることによって妥当な結果が得られることを示した。

以上要するに本論文は、貫流型蒸発管系の密度波振動型不安定流動の特色を明らかにし、安定限界を支配する主要因子を抽出するとともに、実用に供し得る DEW 計算コードを作成し、種々の重要な知見を得たものであって、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。