のウェーブレットの適用」

京都工芸繊維大学 萩原 良道 氏
「流下液膜における膜厚変動のフラクタル解析」
大阪大学 森 幸治 氏

4. おわりに

本研究会ではいろいろな機会を通じて話題提供をお願いし、ご講演頂いた方々にはその後も研究会のご案内をさしあげている。つまり研究会を重ねる度ごとにメンバーが増えていることになる。毎回の研究会には20名程度

の参加者があり、話題提供の最中にも討論をすることになっているため、話がなかなか前に進まないこともある。興味を持たれた会員諸氏の参加を希望する。ただし、その際には何らかの非線形現象に関わる話題をご提供頂くことを期待している。

最後になりましたが、本特別セッション企画に際してご協力頂いた講演者の方々、並びに混相流シンポジウム実行委員会の各位に感謝致します。

三流体モデルによる環状噴霧流解析に関する検討^{*}

(三流体詳細熱流動解析コード検討委員会)

Examination on a Prediction Method of Annular-Mist Flow
Based on a Three-Fluid Model

富山 明 男^{**}
TOMIYAMA Akio

片岡 勲[†]
KATAOKA Isao

坂口 忠 司^{**}
SAKAGUCHI Tadashi

1. はじめに(神戸大：坂口忠司)

沸騰水型原子炉(BWR)燃料集合体におけるドライアウト現象のように複雑な環状噴霧流現象を現象論的に予測することを目的として、液膜・液滴・蒸気の各々に対して保存則を考える三流体モデルが近年使用されるようになった。日本混相流学会“三流体詳細熱流動解析コード検討専門委員会(主査：坂口)”は動力炉・核燃料開発事業団から「三流体モデルの構成方程式等の高度化」に関する研究委託を受け、3年間にわたって三流体モデルに基づく環状噴霧流解析に関する体系的研究を実施した。この際、動燃で開発された定常一次元三流体モデルに基づく液膜ドライアウト解析コードFIDAS-1DSを参照モデルと

した。以下に、委員会の研究成果の概要を述べる。

2. 基礎式と構成式(動燃大洗：菅原悟)

環状噴霧流を構成する液滴、液膜、気相を各々独立の流体とみなすと、流体*i*に対する質量及び運動量の保存式は

$$\frac{d\rho_i \alpha_i V_i}{dz} = \sum_{i \neq j} M_{ij}$$
$$\frac{d\rho_i \alpha_i V_i^2}{dz} + \alpha_i \frac{dp}{dz} = \sum_{i \neq j} (F_{ij} + M_{ij} V_{ij}^*)$$
$$-F_{wi} - \alpha_i \rho_i g$$

と表わせる。ここで、 ρ は密度、 α は体積率、

* 1994.11.9 受付

** 神戸大学工学部機械工学科 〒657 神戸市灘区六甲台町1-1
TEL(078)803-1126 FAX(078)803-1126

† 京都大学大学院工学研究科

V は速度、 P は圧力、 z は位置、 M_{ij} は蒸発・液滴付着・液滴発生等の流体 i と j 間の質量輸送、 F_{ij} は ij 流体間の運動量輸送、 V^* は質量輸送の支配速度、 F_w は壁面摩擦、 g は重力加速度を表わす。本委員会では、(1)数値解法の改良、(2)質量輸送の構成式の調査・改良、(3)運動量輸送の構成式の調査・改良、(4)水蒸気系及び水空気系実験データベースの構築と解析を対象を分類して研究を実施した。

3. 数値解法の改良(神戸大: 富山明男)

まず、FIDASの逆行列計算手法と物性値計算手法が改良され、計算速度が約20倍に高速化された。次に、サブクール沸騰計算機能と二流体モデルによる飽和気泡流域からチャーソ流領域の計算機能が追加された。さらに、三流体モデルに仮想質量力が付加され、仮想質量力による数値的安定性向上が検討された。本検討より、三流体モデルでは仮想質量力による安定性向上は少ないという数値実験結果が得られた。そこで、数値的安定性を定量的に把握するために、最小緩和距離に基づく安定性解析が実施された。その結果、環状噴霧流に対する三流体モデルでは、仮想質量力による数値的安定性の向上はないこと、環状噴霧流への遷移位置付近及びドライアウト点付近で特に不安定となることが定量的に解明された。本結果より安定性向上のためには数値解法自体の改良が必要不可欠となり、部分陰解法の適用が試みられ、約5倍程度の安定性向上が実現された。以上の改良により、原版のFIDASに比べ計算速度は約60倍に向上した。

4. 質量輸送式の検討(京都大: 片岡勲)

まず、液滴付着率と液滴発生率に関する既存の構成式が調査され、個々の構成式は構成式が作成された実験条件では妥当であるが他の条件では必ずしも適切ではないこと、既存の構成式ではカバーできない流動条件がかなり存在することが明示された。次に、既存の

液滴付着率の構成式が定量的に比較検討され、既存の構成式は液滴濃度や気相速度に対する依存性が大きく異なり、その値も 10^2 程度のばらつきがあることが示された。液滴発生率の構成式に関する定量的比較検討も行なわれ、各構成式の値は非常に大きくばらつき定量的精度にかなり問題があることが指摘された。これらの問題点の解決方針として、(1)液滴発生及び付着に関する実験において前提とされていた“発生と付着の平衡状態”の仮説を破棄し発達過程にあることを前提とした実験とモデル化が必要であること、(2)液滴発生率の相関式における独立変数となる液膜厚さと界面剪断力を正しく評価する構成式が必要不可欠であること等が指摘された。

5. 運動量輸送式の検討(山形大: 阿部豊)

運動量保存式に基づく解析により、液滴の界面抗力を評価する際は液滴径が重要であること、液膜の界面剪断力を評価する際には液膜内応力分布が重要であることが明示された。液滴の抗力に関しては、ウェーバー数 We に基づく液滴径評価方法と片岡らの相関式が比較検討され、片岡らの式の方が物理的に合理的な液滴径と相対速度を与えることが示された。次に、界面剪断応力、壁面剪断応力及び液膜厚さの関係を与えるモデルが提示された。本モデルにより、実験から得られる流量・差圧等のマクロ量から界面剪断応力や液膜厚さを得ることが可能となった。本モデルにより解析を行なった結果、代表的界面剪断応力の実験相関式であるWallisの式と、定量的・定性的に一致する結果が得られた。本結果より、Wallisの式の妥当性が理論的に確認された。この際、環状噴霧流における壁面摩擦係数の値は層流的な値となることも明らかにされた。また、液滴の有無による液膜厚さや界面剪断応力の変化に関しても理論的に考察された。

6. 水空気系実験解析(鈴鹿高専: 岡田修)

水・空気系環状噴霧流に関する実験データ

ベースが整理された。本データベースは、擾乱波の伝播速度、周波数、液膜厚さ、気液界面摩擦係数、液滴浮遊量、液滴径、圧力損失等の流れ方向変化や入口部構造の影響を含んでおり、局所変数に関する実験と解析の比較検討に使用できるものである。次に、FIDASによるデータベース解析が実施された。その結果、(1)気相流量や液相流量が低い場合を除き圧力損失を良好に予測できること、(2)平均液膜厚さの計算値は実験値の半分程度となること、(3)気相速度一定の条件下で液相流量を増加させると液膜厚さが一定値(臨界液膜厚さ)に漸近する現象がFIDASでも再現できること、(4)整定流動区間では液滴流量の実験値と計算値がよく一致すること、(5)従来の We に基づく液滴径算出方法では液滴径が3倍程度大きく評価されるが、Azzopardiの実験式及び We における慣性力を気相の慣性力に変更した We を用いるとほぼ妥当な液滴径が得られること等が明らかにされた。

7. 水蒸気系実験解析(京都大:三島嘉一郎)

常圧下の小口径管内強制沸騰流動系のドライアウト実験データベース(圧力損失実験値を含む)が提示された。本データベースは、

FIDASのモデリングの基礎となった実験データベースの範囲外のデータである。FIDASによる解析の結果、大気圧近傍の限界熱流束及び圧力損失等のマクロ量を十分精度よく予測できることが示され、マクロ量の予測に関しては現状のFIDASのモデルは適用範囲が広いものであることが確認された。しかしながら、(1)高蒸気流量条件下では液滴流量が過小に評価され、これが限界熱流束の過大評価の一因となる場合があること、(2)液滴流量比に対する L/D の効果が不明であること等の問題点も指摘された。

8. おわりに(神戸大:坂口忠司)

三流体モデルに基づく環状噴霧流解析手法を対象として3年間にわたって実施された本委員会の研究活動により、(1)数値計算方法、(2)基礎式、(3)構成式、(4)実験データベースの各項目に対して、現状の調査・問題点の摘出・高度化方策の提示・高度化方策の具体的実施が行なわれた。本研究の成果はそれ自体有用であると共に今後の飛躍的发展への指針を示すものと考えている。本委員会に対する動燃と日本混相流学会の援助に感謝する。