

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
FS ステージ シーズ顕在化タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: 相変化を伴う3次元気液二相流解析プログラムの研究開発
プロジェクトリーダー	: アドバンスソフト(株)
所属機関	:
研究責任者	: 大川富雄(電気通信大学)

1. 研究開発の目的

市販ソフトウェアは、①気泡径分布の変化が適切に取り扱えない、②乱流挙動の予測精度が低い、③相変化を伴う場合に適切な3次元構成方程式が未実装、④計算時間が莫大、⑤計算が破綻しやすい、などの問題を抱えていて適切に解析することが困難である。本研究開発の目的はこれら①から⑤の問題を解決して実用的な「相変化を含む3次元気液二相流解析プログラム」を開発することを念頭に、相変化を考慮した気泡径分布モデルやラージ・エディ・シミュレーションを開発して3次元気液二相流解析プログラム Advance/FrontFlow/MP に実装し、かつ、3次元構成方程式の実験等による検討、計算時間の短縮や計算安定化の手法の設計を行うことである。

2. 研究開発の概要

①成果

(1)目標

本研究開発の目標は、「研究開発の目的」で述べた市販ソフトウェアが抱えている5つの問題のうち、①②③を解決するために、沸騰現象などの代表的流動様式である気泡流を対象とした気液二相流解析プログラムを開発する。また、問題④⑤を解決するための実施すべき項目に対して設計を行い、解決の見通しを立てることである。

(2)実施内容

相変化を伴う気泡流挙動を高い信頼性で解析可能にするために、伝熱面離脱時における気泡径および離脱速度の試験に基づく相関式の開発、および高精度乱流モデルであるラージ・エディ・シミュレーションの開発を行い、本課題のシーズである気泡径分布のポピュレーションバランスモデルと連成できる技術開発を行った。次に技術開発したモデルを気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP に実装してテスト計算を行い、 $k-\epsilon$ モデルと連成したポピュレーションバランスモデルより高精度で信頼性の高い解析結果が得られることを確認した。また、解析プログラムの実用化に向けて計算時間の短縮と計算安定化のために実施すべき項目に対して設計を行い見通しを立てた。

(3)達成度

これまで相変化が扱える気泡径分布のポピュレーションバランスモデルは存在せず、また、伝熱面離脱速度を対象とする相関式は皆無であった。また、ポピュレーションバランスモデルによる気泡径分布の解析は $k-\epsilon$ モデルによっていたため、低精度な予測しかできなかった。本研究開発では、伝熱面離脱速度を対象とする相関式を開発し、さらに気泡径分布解析において相変化が扱えるようになり、かつ、ラージ・エディ・シミュレーションで高精度に扱うことができるようになったため、解析精度は飛躍的に向上した。また、大学での成果や企業での流体解析プログラムの経験から、実用化に向けた計算時間の短縮と計算安定化のための項目を検討して具体的に設計を行い、課題解決の見通しを立てることができた。以上から、目標は100%達成した。

研究開発目標	達成度
<p>①気泡径分布の変化が相変化のある問題にも適用できるように、ポピュレーションバランスモデルを相変化に適応できるように改良した機能を実装し、その効果を確認し、気泡径分布の変化が扱える優位性の実現見通しをつける。</p> <p>②乱流挙動の予測精度を上げるために、ラージ・エディ・シミュレーション(ダイナミック SGS モデル)を実装し、その効果を確認する。気液二相乱流は気液界面の変形に影響される複雑な現象であるため、単相乱流の予測精度並みに実現するためには、実験とラージ・エディ・シミュレーションの両面での長期的な研究が必要となる。そのため、シーズ顕在化での数値目標は、分散型 $k-\varepsilon$ モデルで予測不可能な非等方的な乱流挙動を定性的に再現し、平均的な速度分布とボイド率分布を誤差 20%から 30%程度で予測できることとする。</p> <p>③沸騰などの相変化を伴う場合の 3 次元構成方程式の設計、および計算の短縮化、計算安定性(ロバスト性)について調査検討し数値目標を実現するための設計を行う。計算の短縮化の数値目標は 10 倍とし、計算安定性(ロバスト性)の数値目標は計算が途中で破綻する頻度を現在の 1/10 にする。</p>	<p>①テスト用モデルで相変化を考慮して気泡径分布の変化をラージ・エディ・シミュレーションで計算できることを確認した。</p> <p>気泡流では、混相流の液相速度と液単相流の速度の差異は 10%程度以内と考えられ、ラージ・エディ・シミュレーションは一般的に液単相流の速度を高精度に予測できることが認められていることから、本解析モデルにより気泡径分布の変化が扱える優位性の実現見通しがついた。</p> <p>②テスト用モデルでラージ・エディ・シミュレーションを行い、現状の $k-\varepsilon$ モデルで予測不可能な乱流の非等方性を予測可能であることを示した。</p> <p>気泡流では、混相流の液相速度と液単相流の速度の差異は 10%程度以内と考えられ、ラージ・エディ・シミュレーションは一般的に液単相流の非等方的な乱流挙動を精度良く予測できることが認められていることから、速度分布とボイド率分布を誤差 20%から 30%程度で予測できる見通しがついた。</p> <p>③既存の沸騰によって形成される気泡径モデルの課題を抽出し、気泡離脱速度については該当する相関式が存在しないことを明らかにした。これらの物理量は、相変化を伴う多次元二相流解析を行う上での境界条件として必須のため、沸騰実験を実施して機構論的モデルを開発した。また、10 日掛かる計算時間を 1 日に短縮する方法の設計と計算が途中で破綻する頻度を 1/10 とする方法の設計を行い、実現の見通しを立てた。</p>

②今後の展開

A-STEP 実用化挑戦ステージへの提案により、欧米ソフトウェアを凌駕する世界トップレベルの実用的な汎用 3 次元気液二相流解析プログラムを開発する。

本課題で得られた成果を活用した「次世代 3 次元気液二相流解析プログラム」のプロトタイプは 2~3 年後に実用化して、現在の産業界や社会における気液二相流に関わる様々な問題を解決するために役立つものにする。

3. 総合所見

目標通りの成果が得られ、イノベーション創出が期待される。

気泡径分布、乱流挙動の予想精度、相変化、計算時間短縮、計算安定化に関する当初目標の達成により、機能・性能ともに競合システムより優位にあり競争力のあるシステムを設計できるようになる。また、産学連携は、この分野について学に進んだ研究蓄積と実験の蓄積があり、産のソフト開発との間で効果的な相乗効果が認められた。