

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study on Velocity Distribution Measurement in Air-water and Sub-cooled Boiling Bubbly Flow Using Ultrasound Technique
著者(和文)	WONGSAROJWONGSAKORN
Author(English)	Wongsakorn Wongsaroj
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11993号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,加藤 之貴,赤塚 洋,相樂 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11993号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Wongsakorn WONGSAROJ	
論文審査 審査員			氏名	職名	氏名	職名
	主査		木倉 宏成	准教授	筒井 広明	准教授
	審査員		加藤 之貴	教授		
			赤塚 洋	准教授		
		相楽 洋	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study on Velocity Distribution Measurement in Air-water and Sub-cooled Boiling Bubbly Flow Using Ultrasound Technique」と題し、6章より構成されている。

第1章「Introduction」では、沸騰水型原子炉(Boiling Water Reactor: BWR)の安全性を評価する上で、サブクール沸騰領域の流動は炉内下流のボイド分布など気液二相特性に影響を及ぼすことから BWR の安定性の観点からその複雑な二相流挙動の実験的解明が重要であることを述べている。また、二相流挙動の解明には各種構成方程式を用いた数値流体解析が利用されてきたが、解析手法に用いられるモデル係数取得やその解析の有効性を検証するためには、気液各相の流速や、圧力、ボイド率等の実験データが必要で、特に、伝熱促進や相分布は気液各相の流速に支配されるため、気液各相の流速分布の実験データが原子炉の安全上の重要なキーファクターになることを述べている。従来の二相流計測では、その多くが接触型計測法であるが、非接触で流速分布計測が可能な超音波流速分布計測法(Ultrasonic Velocity Profile 法: UVP 法)は、二相流計測の実機適用に期待でき、一方で、UVP 法による計測システムの軽量化と高効率化を鑑みると超音波センサの単純化と計測ダイナミックレンジの拡大および流れ場のベクトル計測化が必要であることを述べ、本研究の位置づけ、意義及び目的を述べている。

第2章「Velocity Distribution Measurement in Air-water Bubbly Flow」では、従来の超音波を用いた気液二相流計測における気液分離手法には気液各相の頻度分布を用いた閾値分離法や、各相の計測にそれぞれ異なる周波数の発信超音波を用いたマルチウェイブ法に対して、システムの軽量化と高効率化のための一つの超音波発信周波数を用いた単一超音波気液二相分離手法を提案している。本手法では、受信信号に非定常かつ複数周波数のドップラー信号が混在しているため、時間周波数分析(Time-Frequency Analysis: TFA)とドップラー振幅分類(Doppler Amplitude Classification: DAC)による信号処理が施されている。内直径 50mm の鉛直円管流路における空気-水系気泡流に対して本手法で得られる気液各相の流速分布と粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry: PIV) で得られる気液各相の流速分布を比較し気液各相±10%以内で一致することを示し、本手法の有効性を明らかにしている。

第3章「Velocity Range Extension for Velocity Distribution Measurement in Bubbly Flow」では、従来のパルス繰り返し法において計測できる最大速度にはナイキスト限界による速度制限と、これに起因する Aliasing (エイリアシング)が発生することを示した上で、相互相関関数を用いたエイリアシング検出と、ドップラー法で算出された速度データのエイリアシング誤計測データを補正する新しい計測速度レンジ拡張アルゴリズムを開発し、第2章で開発した単一超音波気液二相分離手法へ本拡張アルゴリズムを実装して拡張型単一超音波気液二相分離手法とし、内直径 50mm の鉛直円管流路における空気-水系気泡流の $Re = 5,500$ から $Re = 42,500$ の高速流動計測に適用し、従来のパルス繰り返し法のナイキスト限界速度を超える約 3 倍までの計測範囲拡張が可能であることを明らかにしている。

第4章「Velocity Distribution Measurement in Sub-cooled Boiling Bubbly Flow」では、沸騰二相流の中でもサブクール沸騰二相流に着目し、第3章で開発した拡張型単一超音波気液二相分離手法を用いてサブクール沸騰二相流計測に適用している。実験装置は最大 2,000W のロッドヒータが内設置してある内直径 50mm の鉛直円管流路であり、超音波の高温配管液体中での超音波透過特性を明らかにすることを目的にサブクール沸騰条件における超音波伝達効率と波動経路角を求めている。さらに、サブクール沸騰二相流計測へ拡張型単一超音波気液二相分離手法を適用して沸騰二相流計測への本手法の有効性を明らかにしている。

第5章「Two-dimensional Velocity Distribution Measurement in Bubbly Flow」では、二次元速度ベクトル計測の必要性を示した上で、2つの受信振動素子とそれらに挟まれた1つの送信振動素子からなるマルチ超音波振動素子センサを開発し、素子の大きさ、素子間距離が計測に及ぼす影響を明らかにするとともに、単一超音波気液二相分離アルゴリズムと計測速度レンジ拡張アルゴリズムを二次元速度ベクトル UVP 法に適用させることにより気液分離二次元速度ベクトル UVP 計測システムを構築している。そして、本手法の有効性を示すため、直径 50mm の鉛直円管流路における空気-水系気泡流のベクトル分布計測を行い、PIV 法による結果と比較検討し、気液各相±15%以内の誤差で計測可能であることや最大計測可能気泡径を明らかにしている。さらに、空気-水系巡回気泡流とサブクール沸騰気泡流の計測へ本手法を適用し、本手法の適用範囲を明らかにしている。

第6章「Conclusion」では、各章において得られた成果を総括し、結論としてまとめている。これを要するに本論文は、単一超音波気液二相分離手法と計測速度レンジ拡張アルゴリズムを開発し、二次元速度ベクトル UVP 法に適用させ、気液分離二次元速度ベクトル UVP 計測システムを開発し、空気-水系気泡流およびサブクール沸騰二相流での本システムの有効性を示して、サブクール沸騰領域の複雑な二相流挙動の解明に資するものであり、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。