

# 気液二相流中の気泡挙動と流れ場の微細構造

藤原 暁子

## 論文の内容の要旨

気泡を含む流れは気泡形状の変化や気液界面の移動に代表される特有の挙動を示す。そのため流動構造は大小様々な空間・時間スケールの渦に支配されており現象を一意的に説明することが困難な複雑な流れとなる。気液二相流の研究は古くから多岐に渡って行われており、実際のな応用としてプラント設計に用いられるような数値解析による予測手段も幾つか提案されている。これらは限られた条件内でのみ適用可能であったり、物理的な根拠に乏しい仮定を用いているなど、普遍性に乏しい。特に気泡の形状変化と運動や周囲流体の相互作用に関するメカニズムの解明には至っていない。従って気液二相流の基礎となる単一気泡について、気泡形状の変化とこれに伴う周囲流動構造の詳細を明らかにすることが、多様な流動構造の基礎からの理解につながる。こうした背景から本論文では気液二相流の各々のスケールにおける流動構造を把握した上で、スケール間の相互作用を明らかにし全体の流動構造を解明することを目的とした。

第1章では研究の背景と工業的位置付け、従来の気液二相流に関する実験的及び解析的研究より得られた事実と本研究との関連性、そして研究の目的を示した。第2章では気液二相流の巨視的流動現象及び微視的な気泡形状の変化について記した。さらに気液二相流動場の方程式群と数値解析手法について論じた。

第3章では気液二相流動場計測の新しい手法について記した。これまで気泡周囲の微視的な流動構造に関する知見が少なかった理由の一つに、複雑に変形する気泡に対する空間的な流動構造変化を、時系列かつ定量的に評価できる計測方法が無かったことが挙げられる。本研究ではこれまで計測が困難であった気液界面近傍の流れを、独自に作製した蛍光発光粒子によるPIVと、赤外線を用いた形状認識法を併用して計測した。これにより初めて気液界面近傍における気泡形状変化と周囲流動構造の同時計測を可能とし、約6%の不確かさにおける定量的評価を実現した。

第4章ではこの有効な計測法を用いて、気液二相流の基礎である単一気泡及び並列に配置した二気泡の後流間の相互干渉と、これにより誘起された後流の乱流構造の変化を定量的に評価した。単一気泡については、形状変化及び揺動運動により誘起された乱れが気泡の極近傍に生じることが明らかとなった。並列二気泡については、後流間の相互干渉により誘起される主流方向法線応力が乱流エネルギー生成項として支配的に働き、後流の乱流構造を決定することを明らかにした。

第5章では気泡の形状変化や流動場による気泡周囲の流れの非対称性が及ぼす力に注目した。一様せん断流中の非球形気泡の周囲流動場と気泡形状の同時計測をラグランジ的に行い、従来不明瞭であった気泡に働く力と気泡の運動の相互関係について知見を得た。気泡周囲流の循環を実験から

求めた。この循環に基づく気泡に働く揚力のパラメータに対して、気泡の加速度は位相差を伴って変化し、この位相差は気泡の傾きに対する気泡周囲の循環の符号に依存することを明らかにした。

第6章では流動場の巨視的スケールに着目し工業的に多用されている管内気泡流をとりあげた。平均ボイド率0.5%と1.0%の希薄気泡流について個々の気泡の微視的な運動や周囲渦構造が、巨視的視野でみた乱流変調に及ぼす影響を明らかにし、スケール間の相互干渉について知見を得た。大径気泡周囲や気泡数密度が高く気泡間距離が狭くなる領域では、気泡周囲のせん断層や後流の相互干渉によるせん断率の変化が生じ、気泡が誘起する渦と同程度の空間スケールでエンストロフィが高い値を示す。この領域では運動量の交換や乱流エネルギーの著しい散逸が生じることにより乱流エネルギー収支に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

第7章では以上を総括し、気泡には形状変化や揺動運動が誘起した流れによる揚力が働き、流動場の局所ボイド率分布を決定する。気泡が密に存在する領域では後流間の相互干渉により生じた渦構造が乱流エネルギー収支の支配要因となり、流動場全体の乱流構造を決定することを論じ、本論文の結論とした。

以上