

学位論文題名

Bubble Formation and Behavior on Hydrophobic Surfaces

(撥水性表面上の気泡の生成と挙動)

学位論文内容の要旨

濡れ性の悪い固体表面には気泡が付着しやすいことが知られている。近年、このような気泡の付着特性を利用して、気液を分離する技術を確立するため精力的に研究が行われている。また鉄鋼製錬プロセスにおいて、溶鋼と耐火物は濡れ性が悪く、この性質が溶鋼内の気泡の挙動に強く影響している。特に連続鋳造におけるスリバーやピンホールといった気泡欠陥の生成は、固体表面への気泡の付着原因であり、付着条件を調べることは製品品質の向上に貢献するものである。しかし、濡れ性の悪い壁近傍での気泡の挙動に関する研究は非常に少ない。したがって、濡れ性の評価手法を確立し、気泡の挙動の定量的評価を行うことは重要である。

・ 第1章は序論であり、本研究の背景及び目的を明らかにした。

第2章では、静的な気泡形状に及ぼす濡れ性の影響について検討している。気泡の持つエネルギーが最も低い状態であるとき、気泡が安定して存在している。そこで気泡の持つエネルギーに対し、有限要素法を用いることで気泡の形状を求めた。本研究で使用した平板の接触角は、有限要素法による計算結果と実験結果を比較することで決定した。従来、接触角はその測定のし易さから静滴法による測定が主流であるが、本研究において、気泡の挙動を把握するためには、水滴よりも気泡を用いた接触角を適用することが好ましく、さらに接触角のヒステリシスを考慮した前進接触角と後退接触角を用いることが重要であることを示した。

第3章において、気泡が濡れ性の悪い平板から離脱する条件およびメカニズムについて、前進接触角と後退接触角を考慮して解析を行った。そして、気泡が傾斜平板上を滑り出す条件は、気泡が傾斜平板上を移動したときの気液界面の置き換えに要した仕事と浮力による仕事を用いて導いた。その結果、傾斜平板の角度は、前進接触角、後退接触角、ボンド数の関数で表されることを示した。また、上向きに生成した気泡の形状を計算値と実験値を比較することで気泡の離脱メカニズムについて考察した。その結果、上向きに生成した気泡が離脱するメカニズムは、従来考えられてきた浮力が気泡の付着力を越えるのではなく、浮力が大きくなると気液界面が維持できなくなる結果として気泡が崩壊して離脱が起こることが示唆された。これはノズルやオリフィスから生成する気泡の挙動に対して有益な情報を与えている。

濡れ性の悪い平板近傍で運動している気泡に関する研究はほとんど行われていない。そのため、まず濡れ性の悪い平板近傍で気泡はどのように運動しているかを明らかにする必要がある。そこで第4章において、運動している気泡が濡れ性の悪い固体表面上に衝突したときの挙動について検討した。これまで濡れ性の良い平板を使用した研究は行われているが、濡れ性が悪い条件については考慮されていない。そこで濡れ性の悪い固体表面上に気泡が付着しやすい性質が、運動している気泡にどのように影響しているかについて傾斜平板を用いて実験的に明らかにした。その結果、濡れ性の悪い平板においても、濡れ性の良い平板の場合と同様の挙動を示す領域が存在することが確認された。また、気泡が衝突し、平板に付着した場合、気泡が静止する条件は第3章で導かれた式で表されることを示した。気泡が傾斜平板に接触しない状態で上昇しているときは、その気泡は平板の濡れ性の影響を受けていないことが示唆された。

第5、6章では、気泡が連続的に生成している気泡壁噴流に関する気泡特性と液流動特性について計測を行い、壁近傍において、濡れ性の良い場合と異なる測定結果を得た。気泡が連続的に生成し濡れ性の悪い壁近傍で運動している場合、壁の濡れ性の影響を受け、上昇速度が小さくなることを明らかにした。鉄鋼製錬プロセスにおいて、溶鋼と耐火物容器の濡れ性が悪いことから、耐火物容器内において本水モデル実験と同様の現象が発生していると推測される。しかし、ノズルから離れた位置では、気泡頻度、ガスホールドアップ、水上昇速度、乱れに関して差は現れなかった。この領域に関してはいずれの水平方向分布も相似則が成立することが確認された。

第7章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめ、将来への展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	井口	学
副査	教授	篠原	邦夫
副査	教授	荒井	正彦
副査	教授	増田	隆夫
副査	助教授	木内	弘道

学位論文題名

Bubble Formation and Behavior on Hydrophobic Surfaces

(撥水性表面上の気泡の生成と挙動)

濡れ性の悪い固体表面には気泡が付着しやすいことが知られている。近年、このような気泡の付着特性を利用して、気液を分離する技術を確立するため精力的に研究が行われている。また鉄鋼製錬プロセスにおいて、溶鋼と耐火物は濡れ性が悪く、この性質が溶鋼内の気泡の挙動に強く影響している。特に連続 casting におけるスリバーやピンホールといった気泡欠陥の生成は、固体表面への気泡の付着原因であり、付着条件を調べることは製品品質の向上に貢献するものである。しかし、濡れ性の悪い壁近傍での気泡の挙動に関する研究は非常に少ない。したがって、濡れ性の評価手法を確立し、気泡の挙動の定量的評価を行うことは重要である。

第1章は序論であり、本研究の背景及び目的を明らかにした。

第2章では、静的な気泡形状に及ぼす濡れ性の影響について検討している。気泡の持つエネルギーが最も低い状態であるとき、気泡が安定して存在している。そこで気泡の持つエネルギーに対し、有限要素法を用いることで気泡の形状を求めた。本研究で使用した平板の接触角は、有限要素法による計算結果と実験結果を比較することで決定した。従来、接触角はその測定のし易さから静滴法による測定が主流であるが、本研究において、気泡の挙動を把握するためには、水滴よりも気泡を用いた接触角を適用することが好ましく、さらに接触角のヒステリシスを考慮した前進接触角と後退接触角を用いることが重要であることを示した。

第3章において、気泡が濡れ性の悪い平板から離脱する条件およびメカニズムについて、前進接触角と後退接触角を考慮して解析を行った。そして、気泡が傾斜平板上を滑り出す条件は、気泡が傾斜平板上を移動したときの気液界面の置き換えに要した仕事と浮力による仕事を用いて導いた。その結果、傾斜平板の角度は、前進接触角、後退接

角、ボンド数の関数で表されることを示した。また、上向きに生成した気泡の形状を計算値と実験値を比較することで気泡の離脱メカニズムについて考察した。その結果、上向きに生成した気泡が離脱するメカニズムは、従来考えられてきた浮力が気泡の付着力を越えるのではなく、浮力が大きくなると気液界面が維持できなくなる結果として気泡が崩壊して離脱が起こることが示唆された。これはノズルやオリフィスから生成する気泡の挙動に対して有益な情報を与えている。

濡れ性の悪い平板近傍で運動している気泡に関する研究はほとんど行われていない。そのため、まず濡れ性の悪い平板近傍で気泡はどのように運動しているかを明らかにする必要がある。そこで第4章において、運動している気泡が濡れ性の悪い固体表面上に衝突したときの挙動について検討した。これまで濡れ性の良い平板を使用した研究は行われているが、濡れ性が悪い条件については考慮されていない。そこで濡れ性の悪い固体表面上に気泡が付着しやすい性質が、運動している気泡にどのように影響しているかについて傾斜平板を用いて実験的に明らかにした。その結果、濡れ性の悪い平板においても、濡れ性の良い平板の場合と同様の挙動を示す領域が存在することが確認された。また、気泡が衝突し、平板に付着した場合、気泡が静止する条件は第3章で導かれた式で表されることを示した。気泡が傾斜平板に接触しない状態で上昇しているときは、その気泡は平板の濡れ性の影響を受けていないことが示唆された。

第5、6章では、気泡が連続的に生成している気泡壁噴流に関する気泡特性と液流動特性について計測を行い、壁近傍において、濡れ性の良い場合と異なる測定結果を得た。気泡が連続的に生成し濡れ性の悪い壁近傍で運動している場合、壁の濡れ性の影響を受け、上昇速度が小さくなることを明らかにした。鉄鋼製錬プロセスにおいて、溶鋼と耐火物容器の濡れ性が悪いことから、耐火物容器内において本水モデル実験と同様の現象が発生していると推測される。しかし、ノズルから離れた位置では、気泡頻度、ガスホールドアップ、水上昇速度、乱れに関して差は現れなかった。この領域に関してはいずれの水平方向分布も相似則が成立することが確認された。

第7章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめ、将来への展望について述べている。

これを要するに著者は、濡れ性の評価手法の確立とともに、溶鋼内の耐火物近傍における気泡の挙動を明らかにし、耐火物の溶損や気泡の固体表面上への付着条件等に対して基礎的知見を与えており、鉄鋼精錬工学のみならず、材料工学分野に対しても貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格ある者と認める。

以上