

Effect of Dissolved Air and System Pressure on Pool Boiling from Biphilic Surfaces

山田, 将之

<https://doi.org/10.15017/1931912>

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 山田 将之

論 文 名 : Effect of Dissolved Air and System Pressure on Pool Boiling from Biphilic Surfaces

(親水・撥水複合面上のプール沸騰に及ぼす溶存空気および系圧力の影響)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

沸騰は、日常的に経験される身近な現象であるが、そのメカニズムは実に複雑である。そのため、沸騰研究の開始から 80 年以上たった今日でも、現象の完全な理解には至っていない。一方で、沸騰はその伝熱性能の高さから、電子機器やヒートポンプ、火力・原子力発電所など工業上広く用いられている。したがって、現象のより深い理解に基づく沸騰伝熱促進が社会におよぼす影響は非常に大きいといえる。

本論文は、親水・撥水複合面上のプール沸騰におよぼす溶存空気および系圧力の影響を明らかにすることを目的としたものである。以下に、本研究で得られた主な成果を要約する。

第 1 章では、沸騰現象の産業・民間分野での重要性や研究の歴史について述べた。また、沸騰の基本的特性と関連する物理現象について概説した。そして、プール沸騰特性におよぼす表面濡れ性、溶存空気および系圧力の影響に関する文献調査の結果を基に、本研究の意義と目的を述べた。

第 2 章では、本実験で使用した伝熱面について記した。具体的には、超親水面の作成手法である TiO₂ スパッタリング、撥水面の作成に用いた PTFE スプレーコーティング、P-HNT コーティングおよび Ni/TFEO 電界メッキの作製手法について詳述した。さらに、作成した面の接触角を $\theta/2$ 法、表面構造を SEM およびレーザー顕微鏡によってそれぞれ評価した。

第 3 章では、サブクール沸騰におよぼす溶存空気の影響について述べた。本研究では、二つの異なる装置（開放型と密閉型）を作成した。そして、それぞれの装置について異なる脱気手法を取ることで、溶存空気を飽和量分含む Gassy subcooled と溶存空気量が大幅に低減された Pure subcooled という対照的な条件を作り出した。各条件で、沸騰伝熱実験と単一気泡実験を行い伝熱特性、気泡挙動におよぼす溶存空気の影響を検証した。さらに、拡散界面法を用いたシミュレーションにより、気泡挙動や不凝縮性ガスの分布、気泡周囲の流れ場に関する情報を取得し、実験結果と比較・検討した。主な結果は以下のとおりである。

- (1) 親水・撥水複合上の沸騰開始過熱度は Gassy subcooled では負の値を取り、Pure subcooled では正の値となる。沸騰開始におよぼす溶存空気の影響は、臨界気泡内部に液中の溶解度に相当する分圧の空気が含まれるとする鳥飼らのモデルと概ね一致する。
- (2) 両条件の沸騰曲線は、自然対流域と一般的な核沸騰域ではほぼ完全に一致する。しかし、 $-2\text{ K} < \Delta T_{\text{sat}} < 12\text{ K}$ の領域では、撥水斑点上の気泡がもたらす潜熱輸送およびマランゴニ対流によって、Gassy subcooled の HTC が向上する。
- (3) 気泡の高さは気泡内部の飽和温度と周囲液温との釣合いによって決定される。Pure subcooled では、気泡内部の空気分圧が低いために、気泡が離脱するに十分な高さまで成長できなかった。

(4) 数値シミュレーションにより、不凝縮性ガスを含む場合のみ、接線方向の強力な界面流が誘起されることが明らかとなった。この界面流が先述のマランゴニ対流に対応している。

第4章では、系圧力の影響について述べた。種々の圧力において、沸騰伝熱実験および単一気泡実験を行った。具体的には、3種の親水・撥水複合面および銅鏡面を用いて大気圧および減圧下で性能を比較した。また、大気圧から6.8 kPaの範囲で沸騰特性を評価し、複合面における間欠沸騰の発生に関して検証した。一方で、単一撥水斑点を有する伝熱面を用い、気泡挙動および三相接触線 (TPCL) の運動について観察を行った。さらに、気泡離脱径および成長速度を測定した。主な結果は以下のとおりである。

- (1) 系圧力 $P = 14.0$ kPa において、親水・撥水複合面では銅鏡面と比べて沸騰開始加熱度が約 12 K 低下し、熱伝達率 (HTC) は最大 6 倍向上する (同過熱度比)。
- (2) 沸騰の最初期を除いて、小直径かつ小ピッチの撥水斑点を有する面が最も高い HTC を示す。気泡の合体挙動が異なるために、圧力の影響は濡れ性のパターンごとに異なる。
- (3) 親水・撥水複合面上では、銅面と比べより低い圧力まで連続沸騰が維持される。小直径の面の HTC は、連続沸騰領域では圧力の影響を受けづらく、間欠沸騰への遷移を境に大幅に劣化する。さらに、小直径・大ピッチの面では、ある圧力範囲において、圧力の減少に伴って HTC が向上する。
- (4) 減圧下では TPCL が撥水斑点の端部を離れ親水側へ拡大 (depinning) する。ある圧力以上では、離脱過程において TPCL が再び斑点端部に再び pinning され、気泡離脱後の斑点上には蒸気の一部が残留する。しかし、さらに低圧になると、残留気泡が見られない。この残留気泡の消失が親水・撥水複合面上の間欠沸騰を引き起こしていると考えられる。
- (5) 単一気泡の離脱径は TPCL が pinning される圧力範囲ではほぼ一定の値を取るが、depinning が生じると変動が大きくなる。また、pinning と depinning の境界の系圧力は修正した Zuber の式と Cole の式が等しくなる圧力と良好に一致する。

以上が、本研究で得られた主な成果である。親水・撥水複合面上の沸騰特性を Pure subcooled 条件下で始めて検証し、伝熱特性および気泡挙動におよぼす溶存空気の影響を明らかにした。また、圧力の影響の調査についても本研究が最初の例であり、親水・撥水複合面を用いることで、間欠沸騰への遷移圧力の低減や HTC の大幅な促進が可能であることが分かった。また、減圧下において残留気泡が消滅することや特定のパターンを有する親水・撥水複合面では圧力の影響が逆転することは今回初めて得られた知見である。

第5章では、本論文の結論を述べた。