Boiling Behavior of a Droplet Impinging on a Heated Surface

機正 ○稲田 茂昭 (群馬大)

松元 純一 (群馬大 学生)

Shigeaki INADA, Dept. of Mech. System Eng., Gunma University,
1-5-1, Tenjincho, Kiryu 376-8515

Jun ichi MATSUMOTO

Key Words: Boiling Behavior, Impinging Droplet, Heated Quartz Surface, Heated ITO Surface, Evaporation Lifetime, High-Speed Photograph

1. 緒言

加熱固体面に衝突する液滴の沸騰蒸発現象は、最初に Tamura and Tanasawa⁽¹⁾ によって研究され、その挙動と最大蒸発率点及びライデンフロスト点を含む蒸発寿命曲線が明らかにされた。その後、Baumeister and Simon⁽²⁾、西尾・平田⁽³⁾ によってライデンフロスト点と液滴の挙動に及ぼす加熱面材質の影響が報告され、Temple-Pediani⁽⁴⁾ は熱伝導率の良好な加熱面では蒸発特性が良いため、最大蒸発率点が明瞭に現れないこと、更に Takano and Kobayashi⁽⁵⁾ は逆に熱伝導率の低いセラミックス加熱面では蒸発特性の良好な範囲が高温域まで広がることを報告している。また Makino and Michiyoshi⁽⁶⁾ は熱物性の異なる種々の金属加熱面で液滴との固液接触時間を実測し、加熱面温度との相関式を提案している。このように加熱面材質に関しての研究は最大蒸発率点からライデンフロスト点に集中しており、遷移沸騰域における研究は少ない。

本研究の目的は、加熱面衝突時において遷移沸騰域で認められる多数の微小な液滴が大気雰囲気中へ激しく飛散する微細化現象を明らかにすることにある。特に初期固液接触面内（濡れ面内）で発生する微小気泡の発生挙動をとらえ、微細化の機構と関連づけようとするものである。

前報⁽⁷⁾ において使用した石英加熱面では核沸騰的な挙動が高温域まで続き、激しい微細滴の飛散現象が顕著に認められなかったため、本報ではガラス面に薄く導電性皮膜を施した ITO (Indium Tin Oxide: 酸化インジウム スズ) 皮膜加熱面を使用し、石英面と比較した。

2. 実験装置及び方法

実験装置の概略を図 1 に示す。加熱面には直径 50mm、長さ 40mm、その両端面がレンズ状に磨かれた石英円柱が使用された。この石英の他に、板厚 1.8 mm のガラス基板表面に 0.15 μm 厚さで薄く導電性皮膜を施した ITO 皮膜加熱面を使用した。これは石英円柱面上に置くことによって加熱された。石英円柱はカートリッジヒータが円周方向に均等に埋め込まれた加熱円柱ブロックの中心にその軸に沿って挿入され、周囲から均一に熱伝導によって加熱される。石英円柱及び ITO 基板の上面は水平に保持され、この面の中心に水滴が垂直に滴下される。水滴には十分に脱気された蒸留水を使用し、水温 16℃、水滴直径 3.5mm、落下高さ 65mm に保持した。本実験での衝突ウェーバ数は $We=61$ 、液滴の自由振動周期は約 $\tau_f=19\text{ms}$ である。

水滴衝突面である石英及び ITO 基板面の温度はその面に熱電対を 2 箇所セラミックス系接着剤で貼り付けて測定した。液滴は常時一定の周期で滴下させておき、これをシャッターで受け止め、実験時にはシャッターを移動させることによって一滴のみ落下させる。

現象撮影は石英円柱の裏面から高速度ビデオカメラで行った。

3. 結果及び考察

3.1 液滴寿命曲線

図 2 は初期衝突面温度 T_{w0} に対する液滴の蒸発寿命時間を示す。寿命時間の計測はストップウォッチと高速度カメラの撮影結果との両方で行った。衝突面の材質が金属と違って、セラミックス面のような熱物性値 $(C_p \rho \lambda)^{1/2}$ の小さい材質面では寿命時間の短い期間が高温域までその領域が広がることが Takano and Kobayashi⁽⁵⁾ によって報告されている。 C_p , ρ , λ はそれぞれ衝突面の比熱、密度、熱伝導率を示す。本報の石英の場合、上記熱物性値はセラミックスの約 1.6 倍に相当するが、この場合も寿命時間の短い期間が高温域までその領域が広がっている。図 2 中に示した一点鎖線は Makino and Michiyoshi⁽⁶⁾ によって整理された金属の熱物性値、水滴直径及び衝突面温度を考慮した核沸騰域の接触時間 τ_c で、これを寿命時間 τ_e として本報での水滴直径及び石英面に適用したものである。これによると本報の加熱面温度範囲では核沸騰域での現象範囲に属するが、寿命時間は金属面よりも長く、特に石英面では 300℃ 以上では更に長くなる傾向にある。これに対して ITO 面では片対数グラフ上において加熱面温度の上昇と共に直線状に寿命時間は減少している。

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2 Evaporation lifetime curve

3. 2 ITO 面上での液滴の沸騰挙動

図3はITO面の温度が202℃の場合におけるその面上での液滴の沸騰挙動を示す。各写真の下の数値は衝突後の経過時間である。液滴は衝突時点から円形に広がり、12msでは最大径に達している。この間液滴は広がりながらその周辺に液膜が盛り上がったクレータ状を示す。そして液膜内に微小な蒸気泡の発生とみなされる白い斑点が多数観察される。これらの白い点は液膜の中央部から放射状に周辺部へ速い速度で移動しているのがわかる(8ms)。その結果、液膜の周辺部では白い斑点の数が増え、液膜の中央部には斑点の数が計測できる程度に鮮明に写し出されている(12ms)。引続き、周辺部から中央のクレータ部に向かって液の押し寄せが開始されると、白い斑点の発生は顕著に認められず、斑点同士の合体によって白い斑点はその大きさを増す(16ms-28ms)。32msではクレータ状は消滅し、液膜は滴状に復元する。最大広がり径に達した後、滴状に復元するまでの間はその広がり径(固液接触による濡れ面積)は、ほぼ一定に保たれている。滴状に復元した後は液滴内に比較的大きなドーム状の蒸気泡が発生して蒸発が終了する。

この温度と同程度の石英面での液滴の蒸発挙動は液膜の広がり径の変化や白い斑点の発生の有無に関してITO面と大きく異なっている。

ITO面の温度が370℃の場合、液滴の広がり径の時間変化は図3に示した202℃の場合と同様であるが、最大広がり径に達した時点で微小気泡の発生(図3と同様に白い微小な斑点の発生で確認できた)と同時に多数の微小な液滴が大気中へ激しく飛散する現象が確認された。また微小気泡同士の合体も生じ、その合体泡の射出に伴って比較的粗粒な液粒子となって飛散する現象も確認され、早い時期に蒸発が終了することが判明した。この370℃のITO面の温度と同程度の石英面で観察された液滴の蒸発挙動においては、上記の激しい微小な液滴の飛散は認められなかった。

文献

- (1) Tamura, Z. and Tanazawa, Y., Proc. 7th Symp. on Combust., (1958), 509.
- (2) Baumeister, K. J. and Simon, F. F., J. of Heat Transfer, Vol. 95, (1973), 166.
- (3) 西尾, 平田, 機論, 44-380 (昭53-4), 1335.
- (4) Temple-Pediani, R. W., Proc. IMECHE, Vol. 184, (1969), 677.
- (5) Takano, T. and Kobayashi, K., Heat Transfer Japanese Research, Vol. 20, (1991), 1.
- (6) Makino, K. and Michiyoshi, I., Int. J. Heat Mass Transfer, 27-5, (1984), 781.
- (7) Inada, S., Yang, W.-J. and Kawahara, Y., Proc. of the 4th JSME-KSME Thermal Engineering Conf., Vol. 1, (2000), 331.

Fig. 3 Boiling behavior of a droplet impinging on the ITO surface ($T_{w0}=202^{\circ}\text{C}$)