132 マイクロバブルの発生挙動

Generation Behavior of the Micro Bubble

天田	大鉄 ¹	(群馬大	院)	稻田	茂昭 ²	(群馬大)
〇戸辺	雅宏 ³	(群馬大	院)	佐藤	久 ⁴	(群馬大)

Daitetsu AMADA¹, Shigeaki INADA², Masahiro TOBE³, Hisashi SATO⁴

^{1,3} Graduate Student, Dept. of Mech. Engn., Gunma University, Kiryu, Gunma, 376-8515

² Dept. of Mech. Engn., Gunma University, 1-5-1, Tenjincho, Kiryu 376-8515

⁴ Dept. of Fundamental Studies, Gunma University, 1-5-1, Tenjincho, Kiryu 376-8515

The purpose of this research is to visualize the miniaturization boiling phenomenon which intensely scatters with a large number of minute liquid particles from a water droplet surface to the atmosphere, when the water droplet collided on a sapphire heating surface. In the heating sapphire surface temperature range from 150°C to 220°C, especially, the generation behavior of the vapor bubble was photographed from the back of the sapphire heating surface by a high-speed video-camera. It was observed that the bubble generation behavior changes with the heating sapphire surface temperature. As the temperature become higher, the generating period of the bubble becomes early and the growth cycle of the bubble becomes short. When the initial heating surface temperature exceeds 200°C, the bubble locally unites. Next, the coalescent bubble grows, and it collapses and scatters.

Keywords: Micro Bubble, Miniaturization Boiling, Sapphire Surface, High Speed Photography

1. 緒言

ゆらぎ核生成沸騰現象の存在とその発生方法に関しては、 古くは、Skripov ら¹⁾ によって、また多くの研究者によって 実験的に明らかにされてきており^{2)、3)、4}、このような現象 はフーリエの熱伝導では追従できないもので、非フーリエ沸 騰現象とも言われているが、この現象も着々と解明されつつ ある。本研究は、大気中において液滴が加熱された固体面へ 衝突した際に、多数の微小な液粒子となって大気中へ激しく 飛散する「液滴の微細化現象」5)の機構を明らかにすること であり、この現象はゆらぎ核生成によって発生するマイクロ バブルの発生・射出がそれをもたらすものであるとの考えに 基づき、このマイクロバブルをとらえるべく、透明固体面を 加熱し、その裏面から液滴衝突時の固液接触挙動を高速度カ メラで撮影したものである。特に本報では固体面の温度を最 大蒸発率点まで変化させ、核沸騰領域から発生した気泡で母 液が充満される潜熱沸騰領域を経て微細化沸騰領域に至る までのマイクロバブルの発生挙動とその後の成長の様子を 調べるとともにそのメカニズムについて考察をする。

2. 実験装置及び実験方法

図1に実験装置の概略図を示す。加熱面は直径 30.0mm、 高さ 8.0mm の円板状の人工ホワイトサファイア(Al₂O₃)で (熱伝導率46 W/m K)、両端面はレンズ状に磨かれており、 水平に保持されている。加熱方法はサファイア円柱を銅製の リングにはめ込み、そのリング外壁に銅パイプをコイル状に 巻きつける。これに 360kHz の高周波電源を用いて電磁誘導 加熱によりリングを加熱し、熱伝導によってサファイアを均 一に加熱する。高周波電源装置の電圧を調整することで、加 熱面温度を目的の温度へと変化させることができる。このサ ファイア面の中心に水滴が垂直に滴下される。液滴は注射針 製ノズルより滴下される。水滴には十分に脱気した蒸留水を 使用し、水滴直径は 3.0mm、落下高さは 65mm に保持した。 水温は水道水をノズル周りに循環させて 16℃の一定に保っ た。注射針より連続に滴下される液滴のうち、シャッターを 用いて撮影時のみ一滴だけ滴下させる。水滴衝突面であるサ ファイアの表面温度は、その面にクロメル・アルメル熱電対 を2箇所セラミックス系接着剤で貼り付けて、ペンレコーダ ーにて測定した。今回は初期加熱面温度を核沸騰領域から微

細化沸騰領域に至るまでの150℃、180℃、200℃、220℃の4 つの温度で実験し、それぞれのマイクロバブルの発生挙動を 観察した。固液接触の瞬間に現れる微小気泡はサファイアの 裏面からリアルタイムで高速度ビデオカメラによってフレ ームレート 100000fps で、またシャッター速度は 1/250000 で 記録した。撮影データはパソコン及びビデオレコーダーに接 続し、沸騰現象を録画した。また、サファイアの表面を顕微 鏡にて 1000 倍で撮影し、サファイア表面が完全なレンズ鏡 面で傷がないことを確認して実験を行った。



Fig. 1 Experimental apparatus

日本機械学会関東支部 10 周年記念ブロック合同講演会-2003 桐生-講演論文集〔2003-9.5~6,桐生〕

3. 結果と考察

図 2-5 は液滴衝突後初期に発生する蒸気泡の発生挙動と その後の気泡の成長を加熱面の温度別に捉えたものである。 各写真の下の数値は液滴衝突時0 sec とした時の経過時間で ある。液滴や気泡の実際の大きさを分りやすくするためにス ケールを同時に示す。

図2は液滴を衝突させる前の初期加熱面温度 Twi=150℃の 時の沸騰挙動である。液滴が加熱面に衝突し、およそ lms から小さい気泡の発生が見られ、7.1ms で液膜全体にそれら の気泡が広がった。11.1ms以降、衝突した液滴が広がって液 膜となり、中央部分が薄くなり始めると、個々の気泡も徐々 に成長した。17.6ms では、写真を見てもわかるように中央部 に大きなドーム状の気泡が発生している。黒い部分はドーム 状気泡下の過熱液膜部である。24.7ms で中央部分の液膜の薄 い部分が消えて均一な液膜になり、さらに気泡は成長してい るのがわかる。そして液膜の薄い部分が均一になる時の、即 ちドーム状気泡の消滅の影響を受け、31.1ms では中央部分が 盛り上がって厚くなっている。この時気泡は外縁部で大きく 成長し、再び液膜の厚さが均一になった 49.6ms では気泡同 士の合体が始まった。時間が経つに連れて合体した気泡が大 きくなり、115.6ms では激しく揺らぎながら気泡がはじける ように消滅し、また合体を起こし、消滅をする。これが場所 的にも時間的にもランダムに観察された。

図3は初期加熱面温度 Twi=180℃の時の沸騰挙動である。 衝突直後の2.0ms では、液滴が未だ完全に平板状につぶれて いない段階であるが,加熱面との接触部分ではすでに気泡の 発生が見られる。しかしその後は Twi=150℃の時のような液 膜厚さが薄くなったり、厚くなったりする現象は見られず、 液膜厚さはほぼ一定を保ったままで9.3ms では液膜全体に勢 いよく気泡が発生し、気泡の成長も活発化する。17.3ms 時点 での気泡の大きさと、それからわずか6ms後の気泡の大きさ を比較するとその成長の速さがわかる。23.3ms では気泡同士 の合体が観察された。

図4は初期加熱面温度 Twi=200℃の時の沸騰挙動である。 Twi=180℃で観察された沸騰様相と似た様相を示したが、時 刻を見てもわかるように温度の高い Twi=200℃の方が衝突後 の早い時期にそれぞれの現象が発生しているのがわかる。

図5は初期加熱面温度 Twi=220℃の時の沸騰挙動である。 この温度付近に最大蒸発率点が存在する。液滴が加熱面に衝 突した直後は図3、図4と同様に接触した部分から気泡が発 生しているが、気泡の成長は圧倒的に速く、12.4ms ですでに 気泡同士が合体して 23.9ms では加熱面上の母液の局所に蒸 気膜の形成が始まり、合体泡の崩壊時には、直径 0.2mm 前 後の小さな液粒子となって飛び散っている、微細化沸騰の兆 候が認められた。

4. 結論

(1)初期加熱面温度が低い場合は液滴が加熱面に衝突後, 気泡の発生と成長には、相当の時間を要す。

(2)気泡の発生と成長は初期加熱面温度に依存し、温度が 高くなる程それらの周期も短くなる。

(3)初期加熱面温度が200℃を越えると、液滴衝突後、直ちに全面で気泡が発生し、瞬時に成長、瞬時に局所合体し、次に局所合体泡が成長し、それが弾け散る様相となる。 文献

- Skripov, V. P. et al., Metastable Liquid, John Wiley, New York (1974).
- 2. 奥山・他2名, 機論, 62-595, B (1996), 1084.
- 3. 上野・庄司, 第 36 回日本伝熱シンポ講演論文集, (1999), 105.
- 4. 稲田・他3名,第39回日本伝熱シンポ講演論文集,(2002), 49.
- Inada, S. and W.-J. Yang, Int. J. Heat Mass Transfer, 36-6, (1993), 1505.



Fig. 2 Boiling behavior on the heated sapphire surface in the elapsed time (*Twi=*150°C)



Fig. 3 Boiling behavior on the heated sapphire surface in the elapsed time (*Twi*=180°C)



Fig. 4 Boiling behavior on the heated sapphire surface in the elansed time (*Twi=200*°C)



Fig. 5 Boiling behavior on the heated sapphire surface in the elansed time (*Twi=*220°C)