Breakup Condition of a Liquid Bubble Exposed to Airstreams

○正 吉田 照彦 (帝京大) 岡澤 弘之 (帝京大院)
井上 祥寿 (帝京大)

Teruhiko YOSHIDA, Teikyo University, 1-1 Toyosatodai, Utsunomiya-City

Hiroyuki OKAZAWA, Teikyo University Graduate School, 1-1 Toyosatodai, Utsunomiya-City

Yoshihisa INOUE, Teikyo University, 1-1 Toyosatodai, Utsunomiya-City

1. 緒 論

液体を微粒化すると表面積が著しく増大するため、燃焼や熱交換を促進させることができる。液体を液滴ではなく、液滴内部に気体を含ませた液泡にすれば、表面積がさらに増加するので、微粒化効果もより高くなると考えられる。液泡を燃焼や、高温液体の気流による冷却などに使用することを考えた場合、どのような条件で液泡はどのような分裂をするのかを調べることは重要である。本研究では、液泡が気流にさらされた場合、液泡を構成する液体の物性が変形や分裂にどのような影響を及ぼすのかを調べる。

2. 主要記号および次元

D_b : 液泡径 (液泡の外径 = 直径) L

D_{eq} : 液泡の相当直径 $= D_b D_i / (D_b + D_i)$ L

D_i : 液泡の内径 L

F_b : 液泡の生成頻度 T^{-1}

Q_a : 空気流量 $L^3 T^{-1}$

Q_l : 液体流量 $L^3 T^{-1}$

Re : レイノルズ数 $= u_a D_b / \nu_a$

u_a : 気流速度 $L T^{-1}$

We_a : 液泡のウェーバ数 $= \rho_a u_a^2 D_{eq} / (2\sigma)$

δ : 液膜厚さ $= (D_b - D_i) / 2$ L

ν_a : 気流の動粘性係数 $L^2 T^{-1}$

ρ_a : 気流の密度 ML^{-3}

σ : 液体の表面張力 MT^{-2}

3. 実験装置および実験条件

図1に実験装置系統図を示す。風洞は幅60 mm×高さ150 mmの長方形断面を持つ、長さ500 mmの空気吸引型水平風洞である。液泡生成に使用する液体は50% (体積) エタノール水溶液、50% (体積) グリセリン水溶液である。気流速度は0 - 40 m/sで、液泡が気流に

さらされて変形、分裂する様子はストロボスコープを用いて観察し、またカメラで写真撮影する。

液泡径 (外径) D_b 、液泡内径 D_i 、液膜厚さ δ は、それぞれ式(1)、(2)、(3)で求められる。

$$D_b = \{ 6(Q_a + Q_l) / (\pi F_b) \}^{1/3} \quad (1)$$

$$D_i = \{ 6Q_l / (\pi F_b) \}^{1/3} \quad (2)$$

$$\delta = (D_b - D_i) / 2 \quad (3)$$

1, 2. compressed air, 3. air flow meter, 4. water flow meter, 5. air tank, 6. liquid tank, 7. universal counter, 8. digital retarder, 9. Betz manometer, 10. nozzle, 11, 12, 13. stroboscope, 14. universal counter, 15. air stream, 16. static pressure tap, 17. liquid bubbles, 18. fan, 19. wind tunnel, 20. camera.

Fig.1 Experimental apparatus for liquid bubble

4. 実験結果および考察

図2は液泡が気流にさらされて変形し、分裂していく様子を示す。液泡径は5.93 mmで、生成頻度120 pps (particle per second) の均一粒径液泡である。(a) 気流が流れていない場合である。(b) 液泡は後背部がふくらむものの、分裂はしない。(c) 液泡は分裂したり、しなかったりするようになる。このような分裂は遷移分裂と呼ばれる。(d) 液泡は確実に分裂するようになる。液泡を確実に分裂へと導く最低の気流速度は臨界気流速度と呼ばれ、この条件での分裂は臨界分裂と呼

50 % (vol.) Ethanol water solution, $D_b = 5.93$ mm, $D_i = 5.42$ mm, $\delta = 0.26$ mm, $F_b = 120$ pps, $D_{eq} = 2.83$ mm

Fig. 2 Breakup liquid bubbles exposed to airstreams

ばれる。(e) 液泡の液膜が破れて中に入っていた空気が抜け、残った液体が液塊（液滴）となり、それが気流によってさらに分裂する。このような分裂は二次分裂と呼ばれる。

図3は50%（体積）エタノール水溶液について、液泡径によって遷移分裂、臨界分裂、二次分裂が起こる気流速度がどのように変化していくのかを示す。いずれの分裂に対しても液泡径が小さくなるにつれて、分裂を引き起こす気流速度は大きくなる。臨界分裂が起こる液泡径と気流速度（臨界気流速度）の関係は式(4)で表される。

$$u_{crit} = 36.1 D_b^{-0.836}, \quad (3 \text{ mm} < D_b < 9 \text{ mm}) \quad (4)$$

図4は50%（体積）グリセリン水溶液について、液泡径によって遷移分裂、臨界分裂、二次分裂が起こる気流速度がどのように変化していくのかを示す。臨界分裂が起こる液泡径と臨界気流速度の関係は式(5)で表される。

$$u_{crit} = 36.4 D_b^{-0.815}, \quad (3 \text{ mm} < D_b < 10 \text{ mm}) \quad (5)$$

遷移分裂が始まる気流速度は、液泡径が同じであれば、エタノール水溶液からなる液泡の場合の方が高い。臨界分裂が始まる気流速度は、ほぼ同じである。エタノール液泡では液泡が分裂してできた液塊が臨界気流速度より少し高い気流にさらされると二次分裂を起こすが、グリセリン液泡では、かなり気流速度を高くしないと二次分裂を起こさない。

5. まとめ

液体の物性によって、液泡の分裂形態には違いが見られ、遷移分裂、臨界分裂、二次分裂を生じる気流速度と液泡径の関係も変わってくる。

Fig. 3 Relationship between liquid bubble diameter and airstream velocity

Fig. 4 Relationship between liquid bubble diameter and airstream velocity