液体微粒化の実験⁽¹⁾

(第5報、空気流による液体微粒化模様について)

(昭和13年11月5日 応用力学講演會に於て講演)

正員 拔山 四郎⁽²⁾ 正員 棚澤 泰⁽³⁾

摘 要

気化器又は重油燃焼器内では低速の液流が10~100 m/sの空気流のため吹き千切れ微粒となつて飛び散つてゐる。その有様を瞬間写真又は瞬間立体写真に撮つて微粒の成因を調べる事とした。本報ではその第一歩として表面張力、粘性係数、比重の違つた二三の液体を硝子製模型噴霧器で微粒化して見た。その結果気流と液流の相対速度が変るに連れ液の性質に無関係に滴状、紐状、膜状の3分裂形式が起ることを知つた。即ち相対速度が小さければ棒状の液流の先端の近くに節が出来、これが生長して滴下し、滴状分裂となる。相対速度が稍大となれば液流は翻轉し、節は尾をひいて気流中を飛び紐状分裂となる。相対速度が尙増せば翻轉液流の水平部分は気流に押潰され投網状の膜となり、無数の微粒となる。速度が一層増せば液流先端は液孔出口で樹枝状に分裂し、枝と枝との間に鱗片状の膜が出来て微粒化し、膜状分裂となる。

1. 実験の目的

種々の低速液流を100~300 m/sの空気流で微粒化した場合噴霧の平均粒径が如何程になるかを第4報迄に述べたが⁽⁴⁾、その際平均粒径は霧粒を小形円筒形シャッタ中の液膜中に受止め顕微写真を撮つて求めた。この方法では空気流が100 m/s以下で噴霧流中に大粒が点状する場合に全体に亘つて数多くの写真が必要となる外、大粒と小粒とが重り合ふ等の作用のため誤差が多く不便である。一方実験者として噴霧流の形を間接でなく直接に見たい希望もあるので、瞬間立体写真によつて先づ微粒化状態を調べることとし、今後気化器又は噴射弁からの噴霧流を撮影する第一歩とした。

2. 実験装置

第1図で高压起電機1からの電荷は水抵抗2, 3を通して0.005 μ Fの蓄電器4, 5に並列に蓄へられ、適当な時期に電鍵8を押せばブランジヤ式継電器7が始動電極6を短絡する。蓄電器4,

第1図 実験装置

1 起電機 2, 3 水抵抗 4, 5 蓄電器 6 始動電極
7 継電器 8 電鍵 9 補助電極 10, 11 火花電極
12, 13, 14 集光レンズ 15 噴霧孔 16, 17 暗箱

5は直列に放電し、電圧調節用電極9を越えて火花電極10, 11に火花が飛ぶ。光線は集光レンズ12, 13, 14により写真暗箱16, 17のレンズに光源の像を結び噴霧流15を照明する。乾板に結んだ噴霧流の像を印画紙に引伸ばせば第2図の様な右眼及び左眼で各独立に見た噴霧流が撮れるが、これを第3図の鏡式立体鏡にかけ肉眼を鏡の境界線に近づければ左右の噴霧像は一つに融合し浮上つて見える。

この種の撮影では噴霧流を短時間に非常に強く照す必要がある。例へば粒の速さを100 m/s,

擴大率を1~10倍とすれば、露出を 10^{-6} ~ 10^{-7} s以下にしなければ乾板上の像のずれが0.1 mm以上となつて不鮮明な写真になる。火花放電を光源として撮影する際には放電電圧を V 、蓄電器容量を C とすれば、照明時間は大約 $\sqrt{C}$ に比例し、光源の輝度は $CV^{2.5-4}$ に比例するから、 C を小 V を大にしなければ目的は達せられない。従て本装置のやうに充電時には容量 c の n 箇の蓄電器に起電機から各 v だけの電圧を並列に供給し、放電時に直列にすれば $V=nv$, $C=c/n$ となり、單に n 箇の c を並列に放電した $V=v$, $C=nc$ の場合に較べて露出時間は $1/n$ 、輝度は $n^{0.5-2}$ 倍となる。即ち露出が短くなつたに拘らず乾板の感光度は余り落ちないと云ふ利点がある。

第2図 立体写真の一例

(1) An Experiment on the Atomization of Liquid. (5th Report, The Atomization Pattern of Liquid by means of an Air Stream.) (2) Sirō NUKIYAMA, Member, The Tōhoku Imperial University. 東北帝国大学。 (3) Yasusi TANASAWA, Member, The Tōhoku Imperial University. 東北帝国大学。 (4) 拔山四郎、棚澤泰、機械学会論文集、4, 14, (昭13-2), 86. 4, 15, (昭13-5), 138. 5, 18, (昭14-2), 63. 5, 18, (昭14-2), 68.

第 3 図 立体写真鏡

尙放電電極としては明るい消弧作用の少ないマグネシウムを避け、減衰の大きい銅又は銀を使った。

第 4 図は噴霧装置で前報に報告したものと略同様である。空気は圧縮機 11, 空気溜 10, 絞り流量計 8 を経て供給され、

第 4 図 実験装置

- 1 高压空気溜 2 液溜 3 絞り 4 液体流量計
5 水銀圧力計 6 噴霧器 7 水銀圧力計 8 絞り
9 空気流量計 10 空気溜 11 圧縮機

液体は高压空気溜 1 によつて液槽 2 中の液を押し、絞り流量計 3 を経て噴霧器 6 に供給される。噴霧器 6 は第 5 図に示すやうに硝子製で中央の細管 2 からの定常液流は横管 1 からの定常空気流により 3 の所で吹き千切られる。以下の写真は全て噴霧器の先端 3 で撮つたもので外側の硝子管の反射のため中央の細管が写らなくなるのを避けるため後に磨硝子を置いた。写真上部の鉢巻はこれが写つたものである⁽⁵⁾。

3. 実験結果

第 6 図は水流を吹き千切つた場合で流水量 Q_l , 流速 v_l を一定に保ち、空気量 Q_a 従て気速 v_a を変へて実験した。但し v_l, v_a は單に $v_l = Q_l / (\pi/4 \cdot D_l^2)$, $v_a = Q_a / (\pi/4 \cdot D_a^2)$ の式で計算した。

第 5 図 ガラス製噴霧器

第 7 図は気速 v_a を一定にして、 v_l を変へた場合である。尙水の場合の瞬間立体写真は紙面の都合上、一部を他誌に発表した⁽⁶⁾。

第 8 図は水より表面張力 σ の小さいエチル・アルコール水溶液による実験結果で、溶液の $\sigma = 25.9 \text{ dyne/cm}$, 粘性係数 $\mu = 0.024 \text{ dyne-s/cm}^2$, 密度 $\rho = 0.892 \text{ g/cm}^3$ である。

第 9 図は同一溶液で流量を変へ、気速を一定にした場合である。

第 10 図は粘性係数 μ の大

(1) $v_a = 15, v_l = 0.17$ (2) $v_a = 15, v_l = 0.25$ (3) $v_a = 15, v_l = 0.39$ (4) $v_a = 15, v_l = 0.48$ (5) $v_a = 15, v_l = 0.90$

第 9 図 70% エチル・アルコール水溶液流速の効果

(5) 以下掲載の写真は原図に比し多少鮮明を欠く識ひがある故鮮明なもの御希望の方は筆者へ御申込下さい。

(6) 棚澤泰、機械及電気、3, 12, (昭 13-12), 1819.

(1) $v_a=0$ m/s, $v_l=0.5$ m/s

(2) $v_a=15$, $v_l=0.5$

(3) $v_a=20$, $v_l=0.5$

(4) $v_a=25$, $v_l=0.5$

(5) $v_a=30$, $v_l=0.5$

(6) $v_a=35$, $v_l=0.5$

(7) $v_a=40$, $v_l=0.5$

(8) $v_a=50$, $v_l=0.5$

(9) $v_a=55$, $v_l=0.5$

(10) $v_a=60$, $v_l=0.5$

$D_a'=10.5$ mm, $D_a=7.1$ mm, $D_l'=3.1$ mm, $D_l=1.7$ mm, $\rho=1$ g/cm³, $\sigma=73$ dyne/cm, $\mu=0.01$ dyne-s/cm²)

第 6 図 蒸溜水の微粒化模様

昭和 15 年 2 月]

(1) $v_a = 25 \text{ m/s}$, $v_l = 0.44 \text{ m/s}$ (2) $v_a = 25$, $v_l = 0.78$ (3) $v_a = 25$, $v_l = 0.88$ (4) $v_a = 25$, $v_l = 1.13$ (5) $v_a = 25$, $v_l = 1.34$ (6) $v_a = 25$, $v_l = 1.62$

($D_a' = 11.10 \text{ mm}$, $D_a = 7.76 \text{ mm}$, $D_l' = 3.11 \text{ mm}$, $D_l = 1.23 \text{ mm}$)

第 7 図 微粒化模様に及ぶ水速の効果

[第 6 卷 第 22 号 (第 2 部)]

第 8 図 エチル・アルコール水溶液の微粒化模様

昭和 15 年 2 月]

第 10 図 グリセリン水溶液の微粒化模様

[第 6 卷 第 22 号 (第 2 部)]

(1) $v_a=15$ m/s, $v_l=0.5$ m/s (2) $v_a=20$, $v_l=0.5$ (3) $v_a=25$, $v_l=0.5$ (4) $v_a=30$, $v_l=0.5$
 $(D_a'=10.5$ mm, $D_a=7.1$ mm, $D_l'=3.1$ mm, $D_l=1.7$ mm, $\rho=1.09$ g/cm³, $\sigma=25.5$ dyne/cm, $\mu=0.034$ dyne-s/cm²)

第 11 図 石鹼液の微粒化模様

きい グリセリン 水溶液による実験結果で、この溶液の $\sigma = 51.9$ dyne/cm, $\mu = 0.22$ dyne-s/cm, $\rho = 1.19$ g/cm³ である。

第 11 図は興味本位に プラト石鹼液⁽⁷⁾ を微粒化した場合であつて、大きい膜が出来ると予想したが、写真を撮影する際一度膜が破れてしまったか、又は実際に出来ぬものか、何れにしても予期の結果は得られなかつた。

4. 結 論

以上の微粒化写真は極く短い時間に撮つたもので、分裂模様は刻刻変り再び同じ状態を繰返すとは思はれない

から、常にこのやうな状態で分裂するとは断言出来ない。然し気流と液流の相対速度、流量比が與へられると大体或一定の形となるから便宜上微粒化状態を次の三つに大別した。

(1) **滴状分裂** 空気流と液流間の相対速度が非常に小さい時現はれる模様で、空気流によつて液柱表面に波が起り棒状液柱に節が出来る。これが生長して滴となる。節の部分は太

第 12 図 滴状微粒化の例

粒となり中間は細長く引延され1~3箇の小粒となる。Rayleigh⁽⁸⁾等の研究はこの分裂を対照としてゐる。第12図は代表的な模様である。

(2) **紐状分裂** 気流液流間の相対速度が稍大となれば旗が風に翻へると同様な作用で液流は翻轉し、液柱表面の節への風當り強く、節は稍潰れ尾をひいて紐状となつて空気流中を飛ぶ。尾の部分は細かく千切れて細粒となり、節は大粒となる。R. Castleman の ligament 説⁽⁹⁾はこの分裂に対して良く適用される。第13図は代表的な模様である。

(3) **膜状分裂** 翻轉中の液流の水平部分が強い気流を受ければそのまゝ押潰されて縁のある投網状の膜となり その膜は或箇所から破れ無数の短い細紐となり続いて微粒となる。第14図はその有様を示す。空気流の速度が一層増せば液流の先端は液孔出口の近くで樹枝状に分裂し、枝と枝との間に鱗片状の膜が出来て微粒化する。第15図はその有様を示す。

これ以上気速を増しても樹枝が数を増し小さくなるだけで

(7) 17 の微温蒸留水中にマルセイユ石鹼 25 g を溶かし室温まで下げ、これにグリセリン 660 g を混ぜ攪拌し、この混合液を一週間放置して後、氷水で 3°C 迄冷却し透明になる迄濾過する。石鹼の代りにオレイン酸ソーダ 25 g を使用しても良い。

(8) H. Lamb, Hydrodynamics, (1924), 446.

(9) R.A. Castleman, N.A.C.A. 440, (1932).

新しい模様は表はれない。

以上の微粒化模様を左右する主因は液流と気流間の相対速度で、相対速度が変わるに連れ液の性質に無関係に分裂模様は滴状、紐状、膜状の順に変る。只水では滴状分裂は相対速度 15 m/s 以下、紐状分裂は約 20 m/s 附近、膜状分裂は 20 m/s 以上で起るのに表面張力の小さい アルコール水溶液 で

は 15 m/s で既に膜状分裂をし、粘い グリセリン水溶液 では 20 m/s 附近でも滴状分裂である。膜状分裂の模様から云つても、粘い液の枝は非常に細長く、粘くない液とは恰好が違ふ。

液量の多少は稍微粒化模様に関係があり 空気流量に対して液量が多ければ相対速度が小になつたと同様の効果がある

〔第 6 巻 第 22 号 (第 2 部)〕

(1) アルコール

(2) アルコール

(3) アルコール

(4) 水

第 15 図 膜状微粒化の例

がその差は概して僅かである。

本実験は島津勝次郎、吉村英一両君の助力により、費用の一部は学術振興會、服部報公會、豊田自動車工業會社の援助

による。尙瞬間撮影技術の基礎は著者の一人が眞島正市、黒田正夫両氏より授けられたもので、こゝにその御厚意を謝す。(昭和 14 年 10 月 30 日受付)(本論文に対する討議 52 頁参照)

室内を一樣温度にする上に有效なる隅角部壁形の研究⁽¹⁾

(昭和 14 年 11 月 11 日 應用力学講演會に於て講演)

正 員 田 村 民 平⁽²⁾

1. 電気槽実験

数値研究⁽³⁾に於て内外壁面夫々等温にして内壁面上これに直角なる方向の熱流強さ一樣なる条件の下に決定した室内を一樣温度にする上に有效なる隅角部壁形、即ち隅角部内壁面の彎曲形は又電気槽実験に依て近似的に求めることが出来た。傳熱体内を傳導に依て熱が定常状態に流れる熱場は電気が電気導体内を定常状態に流れる電気場に置換へて攻充することが出来、熱場の等温線は電気場の等電圧線となる。

第 1 図

隅角部外壁面と同形に屈折した銅板(厚さ 1.5 mm, 高さ 60 mm)と銅製円柱 3 種(直径夫々 4 mm, 10 mm, 16 mm, 高さ何れも 60 mm)を作り、これを下に目盛紙を張つた硝

子製液槽内に中心線が壁の隅角の 2 等分面内に位置し銅板面と共に鉛直なる様に立て、両者を電極として交流を通し、柱の中心線より板の一面に下した垂直面内任意の位置(板面より 50 mm)に微電流計の一端に連ねた固定針をその中心線が柱の中心線に平行なる様に立て、この位置と等電圧なる位置を微電流計の他端に継いだ探り針により探り、等電圧線を出す。銅製円

柱の隅角点よりの距離を種々に變へ、微電流計の固定針と板との距離を一定(50 mm)にし、上記の方法により数箇の等電圧線を求め、数値計算による隅角部内壁面彎曲形に最も近い等電圧線をもつて室内を一樣温度にする上に有效なる隅角

(1) A Study on the Corner Form of the Wall for Keeping Uniform In-door Temperature. 昭和 10 年前期日本学術振興會援助補助研究。

(2) Minpei TAMURA, Member. The Kiryu Technical College. 桐生高等工業学校。

(3) 日本機械學會論文集、2, 8, (昭 11-8), 346.