

# 静電容量の変化を利用した液滴の粒径と その速度の測定 (I)

玉野和保・北山正文

## Measurement of the Droplet Sizes and Velocities by a Capacitance Method

By Kazuho TAMANO and Yoshifumi KITAYAMA

In order to study heat transfer with a mist flow and the vapor condensation, it is strongly desirable to measure locally droplet sizes and the velocities.

A new method has been developed for this purpose, in which capacity changes is produced by movement of droplet along the double needle probe.

The applicable ranges of this method are: droplet size range; 1.9~3.1 mm, and the velocity range; 0.5~1.4 m/sec.

In the measurement of the droplet size profile for the spray in a vertical channel, the measured and pre-set maximum mist sizes; 300  $\mu\text{m}$ , agree within  $\pm 10\%$ .

### 1. 緒言

蒸気の凝縮や管内沸騰および噴霧冷却等の噴霧流ともなう伝熱に関する研究は近年盛んになっている。これらの研究においては液滴の粒径とその速度の各々の分布を計測することが必要である。液滴の粒径ならびにその速度の測定法は従来より数多く提案されており、例えば、一般によく用いられている液滴をシャッターを介した油膜上に捕え粒径を讀取する方法<sup>1)</sup>、多数の液滴の重量積算による粒径分布の測定法<sup>2)3)</sup>、等速吸引探針による液滴速度の測定法<sup>4)</sup>、二重露光による写真観察によって低密度噴霧の液滴の粒径とその速度を測定する方法<sup>5)</sup>、最近では光の散乱ならびに吸収に基づいて液滴粒径またはその速度の測定を行なう方法<sup>6)7)</sup>がある。これらの大多数は間接測定であり測定に際しては種々の較正が必要であり、直接測定法の場合でも多数の液滴中で局所的にしかも個々の液滴の粒径とその速度の両方を測定することは技術的に困難であった。

このような状況に対して液滴が対向電極間を通過する際の電極の静電容量の変化に基づいて液滴の粒径とその速度の両方を直接にしかも局所的に測定する簡易

な方法を確立してきた<sup>8)9)</sup>。本報ではデジタル化ならびに測定の信頼性を向上するために探針として、対向双針型電極を用いた測定法について、その測定原理ならびに液滴の粒径とその速度の各々の較正実験結果を報告し、あわせて実際の噴霧流に近い垂直管内の測定例について述べる。

### 2. 測定原理

液滴の粒径とその速度を非接触法で測定する。非接触測定法としては液滴と気体との比誘電率の差を利用した静電容量の変化による方法が簡易である。

Fig. 1 に測定原理を示す。探針は対向双針型電極を付着液滴による測定信号の乱れを防止するために誘電率の小さな絶縁物でコーティングしたものを考える。コーティングは付着液滴を速やかに除去できるように対向刃型に整形する。

液滴が探針先端より速度  $V$  で突入してきたとする。電極の静電容量は液滴の誘電率が空気のそれに比較して約60倍であることから液滴が最大電界近傍にある場合液滴に誘導する電気量にのみ影響されると見なすことができる。対向針型電極による電界分布は対向針型電極間で最大で距離と共に減少する。液滴が最大電界

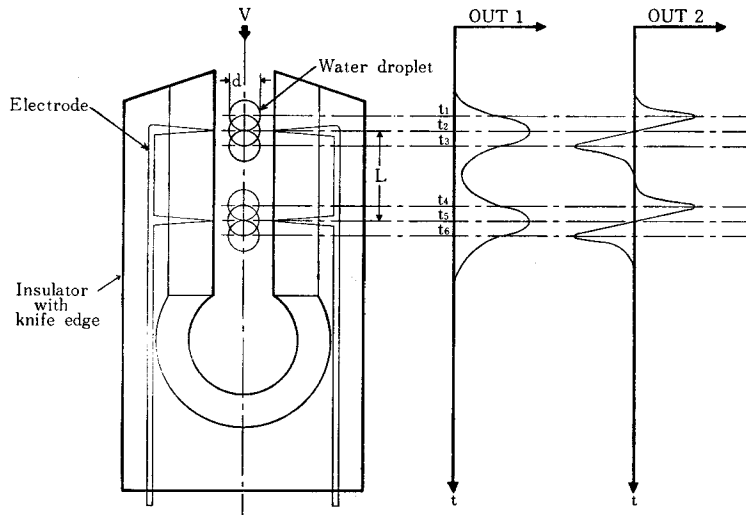


Fig. 1 Principle of droplet size and velocity measurement.

点に近づくとも電極間の静電容量は急増し、液滴の進行方向の最先端が探針先端の対向針型電極間を通過する  $t_1$  以後は液滴の捕獲電束の増加が緩やかになるため静電容量の増加は緩やかになり、液滴中心が最大電界点を通過する  $t_2$  で最大の静電容量になると予想される。 $t_2$  後は電界分布が最大電界点を中心に対称となっているため静電容量の変化は突入の場合と時間について丁度逆になり、距離  $L$  を隔てた前部電極と形状が等しい後部対向針型電極に再び液滴が突入すると前部電極で得られた変化と同様の静電容量の変化が期待できる。

OUT 1 に示す探針間の静電容量の変化の変化率を求めると OUT 2 に示すように  $t_1$  から  $t_6$  の各変曲点に応じて各々極大、零、極小の変化が得られるから液

滴の速度  $V_m$  を、 $V_m = L / (t_5 - t_2)$  で、そして液滴の粒径  $d_m$  を、 $d_m = V_m \cdot (t_3 - t_1)$  で得ることが可能である。

測定回路としては Fig. 2 に示すように、探針間の静電容量の変化を交流電源と低インダクタンスのコイルの直列回路によりコイル両端の交流電圧変化として測定し、これを増幅し整流回路に導き静電容量の変化分だけを取り出し同軸ケーブルで外部回路に伝送後、信号を直流増幅し OUT 1 から探針間静電容量の変化信号として取出す一方で微分回路により液滴の探針内での各位置に対応する変曲点を示す波形に変換し OUT 2 より取出す構成が考えられる。OUT 2 からの信号はメモリーシンクロスコープの画面上に記録しこれから  $t_1$  から  $t_6$  の各変曲点に対応する時間を読取る。

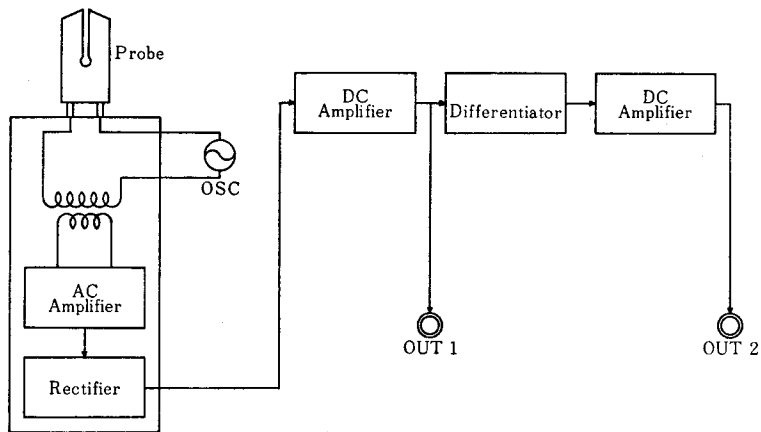


Fig. 2 Measuring circuit.

測定原理の確認を Fig. 3 に示す実験装置で行なった。

水タンクに満した市水道水を水量調整バルブを介した導水管に導き、この先端に取付けた細管により単一液滴を形成し、探針縦軸に平行にしかも電極間中央に落下させて液滴の探針内での位置と測定波形の各変曲

点の対応を観測した。対応は液滴の探針内での位置をストロボスコープからの発光光により写真測定し、同時にフォトトランジスタにより検出した発光信号を OUT 2 からの信号と共にメモリーシンクロスコープの同一画面上に記録したものととの比較で行なった。Photo 1 に測定例を示す。

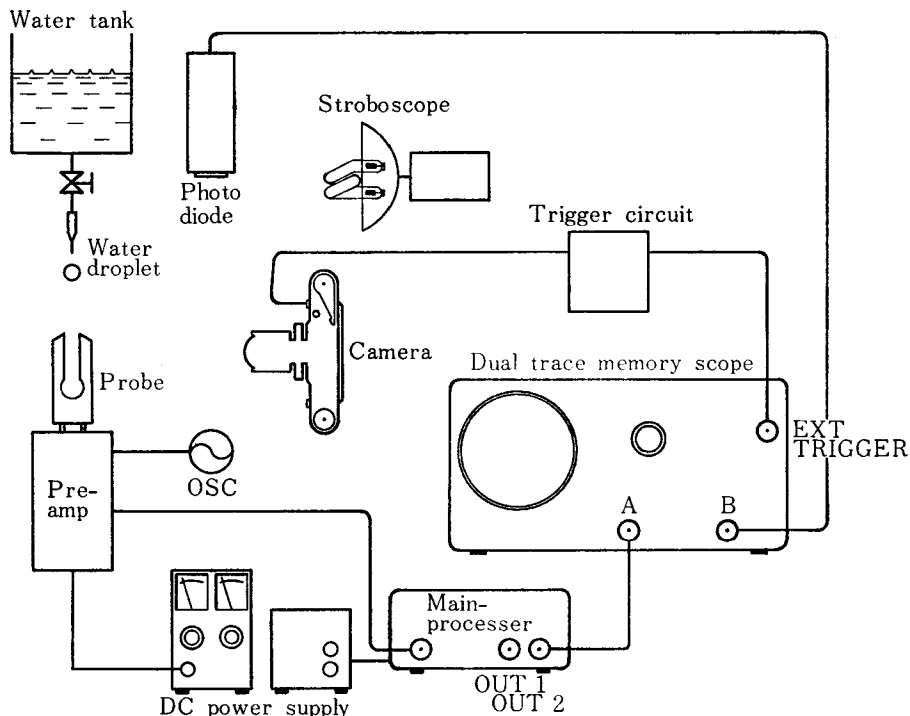
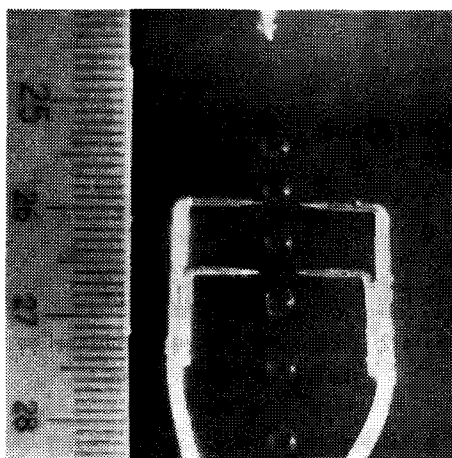
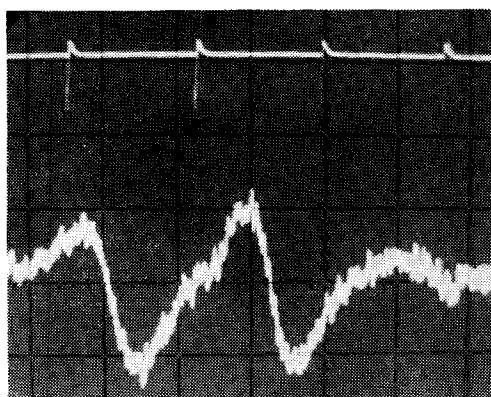


Fig. 3 Experimental apparatus for certification of the principle and calibration.



a) photograph of droplet position in the probe.



b) photograph of a wave form from OUT 2 corresponding to a): upper trace; flash of the stroboscope (10v/div), lower trace; OUT 2 signal (1v/div), time base; 5msec/div.

Photo 1 Result for certification on the principle.

OUT 2 からの波形の各変曲点に対応する信号は液滴の探針内での電極に対する各位置と各々良く一致しており測定原理は妥当であると判断される。

### 3. 液滴の粒径とその速度の較正

液滴の粒径とその速度を種々に変えて測定粒径ならびに測定速度の較正を行なった。

実験は Fig. 3 に示す装置と同一で、内径ならびに先端形状を種々に変えた細管を用いて液滴の粒径を、また液滴を捕える探針の位置を上下に変えることで液滴の速度を変えて行なった。

粒径ならびに速度の較正値は各々、液滴の探針内での位置を測定した写真より読取った液滴の粒径と、メ

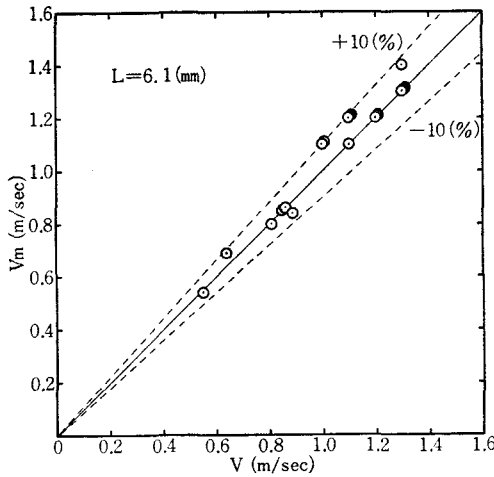


Fig. 4 Velocity calibration.

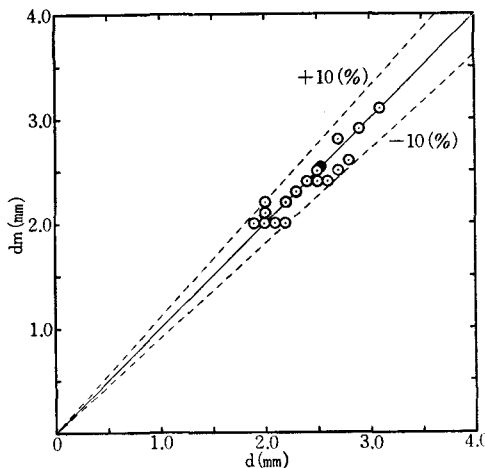


Fig. 5 Droplet size calibration.

モリーシンクロスコープの画面上の OUT 2 からの測定波形の  $t_1$  から  $t_2$  のほぼ中央に位置するストロボスコープからの発光時間間隔とそれに対応する写真より得られた液滴の探針内での位置から計算した速度で表わす。

Fig. 4 および Fig. 5 に各較正結果を示す。

いずれの結果も各変曲点間の時間間隔を読取る際の誤差ならびに較正値を求める際の各測定値の読取誤差と判断される  $\pm 10\%$  の精度内で較正値と良く一致している。

### 4. 垂直管内の液滴粒径ならびに速度分布測定

本測定法を実際に近い噴霧流の粒径ならびに速度分布の測定に応用した。

Photo 2 に実験装置を示す。

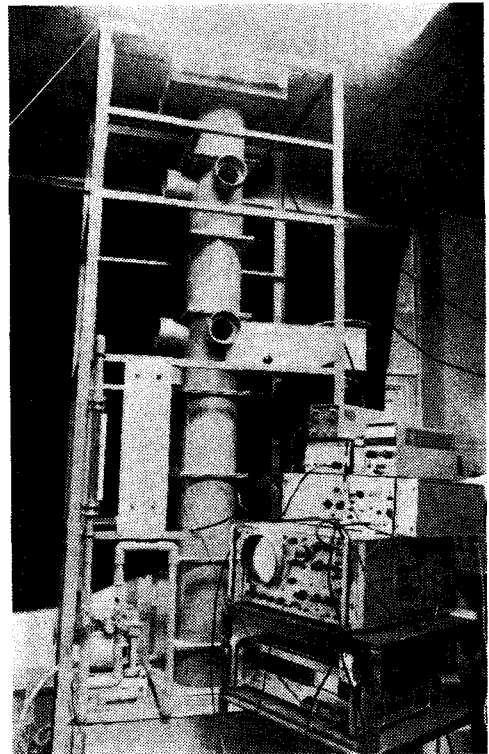


Photo 2 photograph of mist flow channel and the measuring equipment.

噴霧流は水タンクの市水道水をポンプにより上部に送り  $1.2\text{mm}\phi$  の小孔を有す圧力ノズル<sup>3)10)</sup>により噴霧化し高さ  $2100\text{mm}$ 、 $200\text{mm}\phi$  の垂直管の上方より下方に向けて形成する。噴射圧力  $332\text{g/cm}^2$  ( $3.25 \times$

10<sup>4</sup>Pa), 流量 3.16cm<sup>3</sup>/sec で 300 $\mu$ m $\phi$  を最大とする  
 粒径分布を得る。

測定はノズル噴射口より 700mm 下方に設置した探  
 針により行なった。Fig. 6, および 7 に各々管内平均

粒径分布ならびに平均速度分布測定結果を示す。

測定結果は設定粒径分布と同一の最大出現頻度粒径  
 を示している。

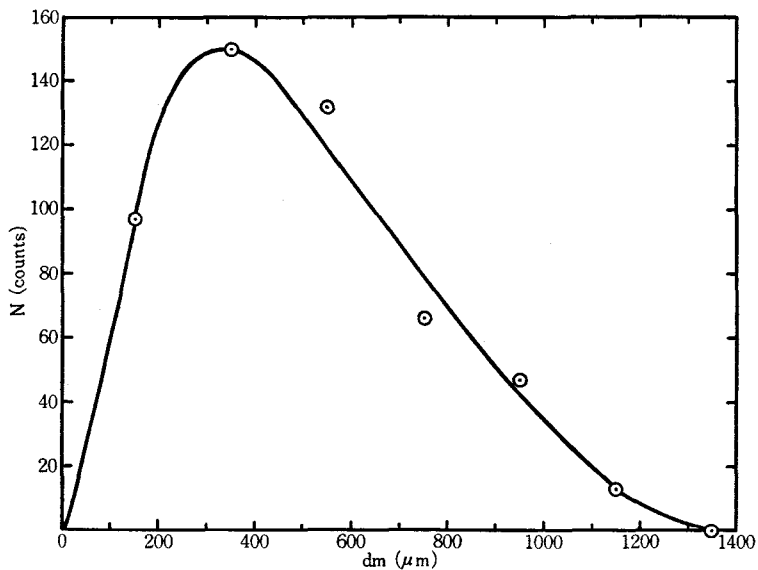


Fig. 6 Averaged distribution of mist size in a vertical channel.

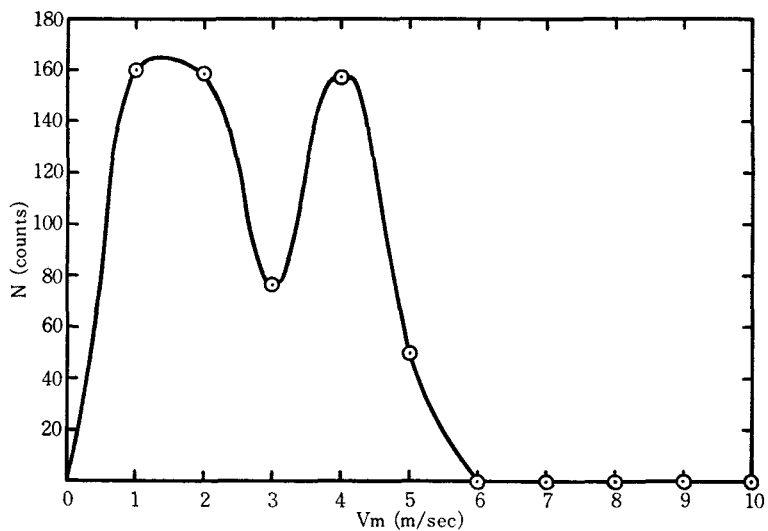


Fig. 7 Averaged distribution of mist velocity in a vertical channel.

## 5. 結 言

対向双針型電極の間を液滴が通過する際の静電容量の変化により、簡易に液滴粒径とその速度の両方を直接測定する方法について、測定波形と探針内での液滴の位置の対応実験から、その測定原理の妥当性が確認された。

本測定法の適用範囲は較正実験結果から粒径について 1.9~3.1mm $\phi$  速度について 0.5~1.4m/sec である。

今後は本測定法をデジタル化ならびに諸方向から突入してくる多数の液滴についても判別し測定できるように改良し、あわせて実際の伝熱の解析に使用できるようにして行く予定である。

最後に本研究を進めるにあたって多大なる御協力をいただいた大西健司氏（現在高橋サッシュェ製作所）ならびに本学電子工学科学生椋田員之君をはじめとする研究室の諸君に心より感謝いたします。

## Reference

- 1) 技山四郎教授論文集刊委員会；熱, 141/209, 養賢堂 (1969)
- 2) 棚沢他；日本機械学会論文集, 29(198), 377/385 (1963)
- 3) 棚沢他；ibid., 37(298), 1165/1177 (1971)
- 4) 波江他；ibid., 38(308), 821/828 (1972)
- 5) 荒木；ibid., 39(317), 287/293 (1973)
- 6) N. Dombrowski, et. al.; J. Aerosol Sci., 2(4), 405/412 (1971)
- 7) В. В. уцаков, et. al.; ИНЖ-ФИЗ Ж, 22(5), 532/933 (1972)
- 8) 玉野,北山；日本原子力学会昭和50年年会要旨集, PART I, C51 (1975)
- 9) 玉野,北山；第12回日本伝熱シンポジウム講演論文集, B 216 (1975)
- 10) 棚沢他；日本機械学会論文集, 38(307), 553/565 (1972)