

## 研究ノート

## 電場における液体ジェットの挙動に関する研究

千葉職業訓練短期大学校 成田校 石橋 幸男

## A Study of the Behavior of a Liquid Jet in an Electric Field

Yukio Ishibashi

要 約 電気力によって誘起される流体力学的現象または流体の運動が原因で生じる電気現象は、工業的にも多くの面で応用されており、静電塗装、静電農薬散布および電気集じん装置はその代表的な一例である。これら電気流体力学的 (EHD) 現象を利用した機器の研究、開発は今後も活発に行われることが予測され、これに関連してEHD現象に関する基礎的研究は更に重要となるであろう。本報告は、静電場内を運動する液体ジェットの挙動の実験的研究に関するものである。細管ノズルから流出する液体ジェットに高電圧を印加させると、ジェットが正負電極のいずれかの方向にわん曲するという事実は以前から知られていたが、この現象には不明な点が多く現在にいたるまでほとんど解明されていない。電場内におけるジェットのわん曲現象については種々の原因が考えられるが、わん曲現象は界面動電現象 (流動電流) によって生じるとの予測のもとに、まず磁場の作用下でのジェットの挙動を調べた。次いで各液体ジェットの電場内における挙動を調べ、次元解析を行ってジェットのわん曲現象に大きく影響する因子を明らかにするとともに、現在のところ理論的にも、実験的にも不明確な表面電荷密度を求る一方法を提案した。

## I 緒 言

電気力によって誘起される流体力学的現象または流体の運動が原因で生じる電気現象は、工業的にも多くの面で応用されている。これら電気流体力学的 (EHD) 現象を利用した機器の研究、開発が活発に行われている。これに関連してEHD現象に関する基礎的研究は更に重要となるであろう。

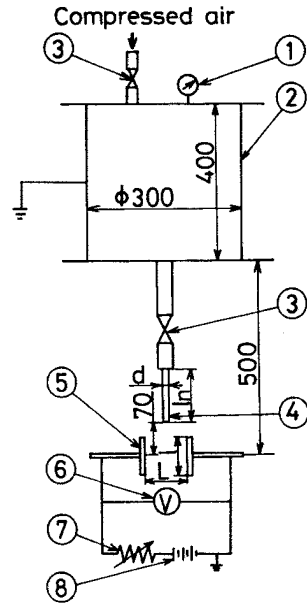
本報告は、静電場内を運動する液体ジェットの挙動の実験的研究に関するものである。細管ノズルから流出する液体ジェットに高電圧を印加させると、ジェットが正負電極のいずれかの方向にわん曲するという事実は以前から知られていたが、この現象には不明な点が多く現在にいたるまでほとんど解明されていない。電場内におけるジェットのわん曲現象については種々の原因が考えられるが、わん曲現象は界面動電現象 (流動電流) によって生じるとの予測のもとに、まず磁場の作用下での

ジェットの挙動を調べ、予測の正しい事を確認した。次いで各液体ジェットの電場内における挙動を調べ、次元解析を行ってジェットのわん曲現象に大きく影響する因子を明らかにするとともに、現在のところ理論的にも、実験的にも不明確な表面電荷密度を求る一方法を提案した。

## II 主な使用記号

- a : ジェットの素片の断面積 ( $=\pi r^2$ )
- d : 管径 ( $d_1$  : 管の内径)
- $D_s$  : 媒質の誘電率
- E : 電場の強さ
- $F_r$  : フルード数
- g : 重力の加速度
- H : 磁場の強さ
- i : 流動電流

- l : ジェットの長さ
- $l_n$  : ノズルの長さ
- L : 電極板間隔
- $N_{Ei}$  : 電気力/慣性力
- $R_e$  : レイノルズ数
- U : ジェットの平均流速
- u : ジェットの y 軸方向成分の流速
- v : ジェットの x 軸方向成分の流速
- $v_m$  : 管内平均流速
- V : 電気二重層電位
- $\delta_e$  : 電気二重層の厚さ
- $\epsilon$  : 液体の誘電率
- $\eta$  : 液体の粘度
- $\theta$  : ジェットの曲り角
- $\mu$  : 透磁率
- $\rho$  : 液体の密度
- $\rho_e$  : 表面電荷密度
- $\phi$  : 電圧



- ① Pressure gauge
- ② Tank
- ③ Needle valve
- ④ Nozzle
- ⑤ Electrodes
- ⑥ Voltmeter
- ⑦ Voltage stabilizer
- ⑧ Electric source

図1 実験装置概略図

### III 実験装置および実験方法

電場内におけるジェットの挙動を調べるために用いた実験装置の概略を図1に示す。

タンクは直径300mm、高さ400mmの大きい塩化ビニル製円筒容器で、実験中のヘッドを一定に保つことができる。なお粘度の高い液体を用いる場合には、圧さく空気を用い所定の流量を得るようにした。後述のように、実験中タンク内には正の電荷が次第に蓄積され、極めて高い電位を有するようになる。そこでこれを避けるため、タンクはアースし零電位を保つようにした。タンク内の流体は、タンクの下方向に取りつけた塩化ビニル製の流量調整用ニードル弁および細管ノズルを経て流出し、ノズル下方にある電極板間を通り電場の作用を受ける。流量は重量法により求めたが、その値はノズル直径を代表長さとするレイノルズ数に換算して最大1700である。

細管ノズルには、直径が一定 ( $d=1.3\text{mm}$ ) で長さの異なる ( $l_n=150, 180, 210, 240\text{mm}$ ) ステンレス管および長さが一定 ( $l_n=190\text{mm}$ ) で直径の異なる ( $d=1.3, 1.6, 2.0, 2.9\text{mm}$ ) ステンレス管を用いた。

電極板としては、電界分布がジェットの挙動におよぼす影響を調べるため寸法が、100mm (縦) × 40mm (横) の長方形および直径30mm円形板の2種類のものを黄銅を用いて製作した。これらの両電極板は水平方向にスライドさせることで、電極間の電場強さ  $E (= \phi/L)$  を変えることができる。なおノズル先端と電極板の中心間の距離は実験中、常に70mm一定に保つてある。電場生成には直流電源を用い、電圧調整器により  $\phi=10\text{kV}$  の一定値を維持するようにした。

供試流体としては、水道水、水あめ0.1%水溶液、食塩1, 2%水溶液を用いた。これら液体の導電率、粘度、表面張力などの物性値を表1に示す。

表1 物性値 (温度20℃)

	Electric conductivity K $1/\Omega\text{m}$	Surface tension $\sigma$ N/m	Viscosity $\mu$ Pa·s	Density $\rho$ $\text{kg}/\text{m}^3$
City water	$1.93 \times 10^{-2}$	$7.74 \times 10^{-2}$	$1.01 \times 10^{-3}$	$0.995 \times 10^3$
Starch syrup 0.1%	$1.93 \times 10^{-2}$	$7.94 \times 10^{-2}$	$1.26 \times 10^{-3}$	$0.996 \times 10^3$
Salt solution 1%	$1.93 \times 10^{-1}$	$6.86 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.007 \times 10^3$
Salt solution 2%	$2.39 \times 10^{-1}$	$7.25 \times 10^{-2}$	$1.03 \times 10^{-3}$	$1.014 \times 10^3$

実験では、種々の流量、電場強さにおけるジェットの曲り角 $\theta$ を読取り顕微鏡および写真撮影により求めた。ジェットの曲り角 $\theta$ としては、電極板下端においてジェットに引いた接線とノズル軸とのなす角とした。

上記の実験を行うに先だち、ジェットわん曲の主要原因と考えられるジェットの電氣的性質を調べる実験を行った。すなわち図1における電極板の代わりに電磁石を用い、磁場の作用下でのジェットの挙動を調べた。なお細管ノズルには、直径0.8mmのステンレス管を用い、液体には透磁率 $\mu$ を大きくするため適当量の鉄粉を混入した水道水を使用した。用いた電磁石は、80mm×120mmの長方形磁極板を有し、磁極板間隔2.5mmで最大磁束密度が0.65T(テスラ)である。

#### IV 実験結果および考察

##### 4.1 ジェットの電氣的性質

ジェットがわん曲する原因として、電場の作用下における表面張力の減少、静電誘導、流動電流、その他種々の原因が考えられるが、著者らはそれが流動電流であるとの予測のもとに前述の実験を行った。

固体面に液体が接触している場合、一般に固体面は液中から電荷を吸着して帯電し界面に電位差が生ずる。もし固体面が正に帯電れば、その付近の液中には負の電荷が多くなり、逆に表面に負の電荷ができれば液中には正の電荷が増える。この帯電のメカニズムは液体の性質によって異なるが、いずれにしても流出ジェットの表面は正負いずれかに帯電していることになる。したがってノズルより流出するジェットは一種の電流 $i$ (流動電流)となるから、これに磁場 $H$ を作用させればジェットは $(i \times \mu H)$ なるローレンツ力を受けその方向に曲がることになる。

図2はジェットの流動状態を撮影したものの一例で、(a)は磁場零の場合、(b)は磁束密度 $B=0.6T$ (空気中)の場合のものである。(a)ではノズル軸に平行に下方にたらしした糸とジェットは平行であるが、(b)では両者は平行にならず、ローレンツ力によるジェットのわん曲が観察される。なお写真においては、糸とジェットの軌跡の対比をはっきりさせるため、墨を用いてジェットの軌跡をトレースしてある。これより、電場の印加によりジェットのわん曲現象は流動電流に起

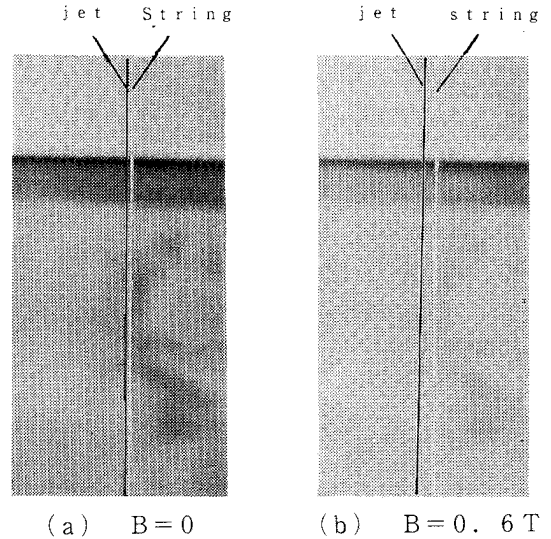


図2 磁場内のジェット

因していることが立証されたことになる。磁場内のジェットの挙動を調べたのち、電磁石を電極板に代えて電場内のジェットの流動状態を調べたが、本実験の初期において時間の経過とともにタンク内に電荷が蓄積され、次第に電位の高まることを発見した。ただ本装置では空間への電荷の損失などが考えられるため、詳細な測定は行わなかったが、検電器による簡単な測定によれば約10分間のジェット流出の間に約300Vの電位上昇を検知した。このため以後の実験においてはタンクをアースし、電位上昇を防止した。

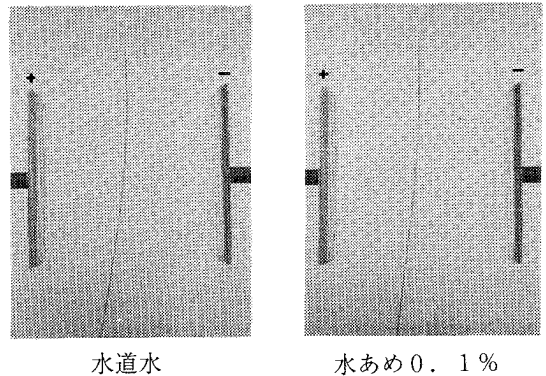


図3 電場内のジェット

図3は電場内を通過するときの水道水および水あめ0.1%水溶液の流動状態を撮影したものの一例である。これらは長方形電極板を使用した場合のもので、電

極板間隔  $L = 100 \text{ mm}$ 、電場強さ  $E = 1000 \text{ V/cm}$ 、ジェット平均流速  $v_a = 0.80 \text{ m/s}$  である。これらの写真から、各種液体ジェットの表面は負に帯電しており、逆にタンク壁面は正に帯電することが判明した。

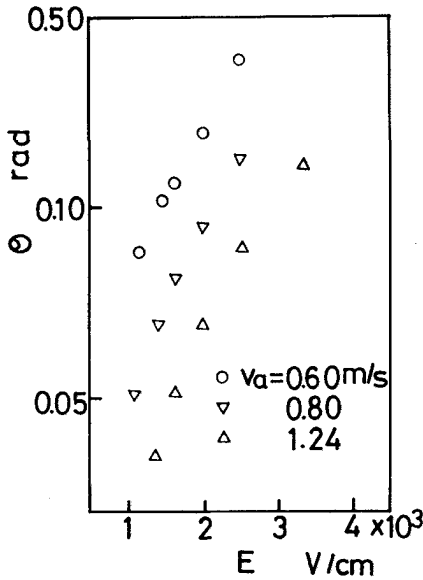


図4  $\theta - E$  (水道水)

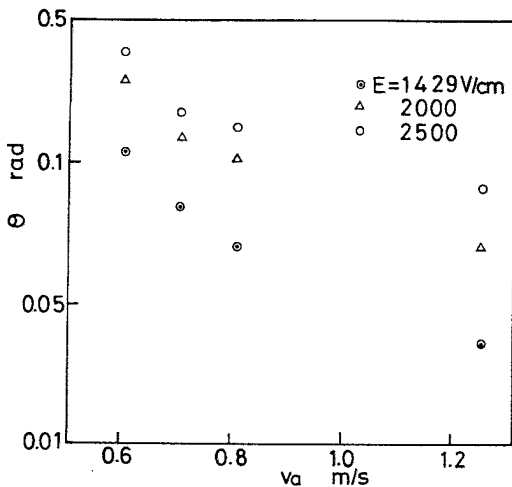


図5  $\theta - V_a$  (水道水)

図4、5はジェットの曲り角 $\theta$ と電場強さ $E$ の関係および $\theta$ と流速の関係プロットしたものである。これらの図より、曲り角 $\theta$ は一定の流速に対して、電場が強いほど大きく、一定の電場のもとでは流速が小さいほど大きくなる傾向を有していることがわかる。

#### 4.2 次元解析的考察

実験結果を整理するにあたり、まず以下のような次元解析的考察を行う。すなわちここでは指数法を用い、ジェットのわん曲現象に支配的効果をもつと考えられる主要な無次元数を誘導する。ジェットの曲り角 $\theta$ に関係する物理量は、表面電荷密度 $\rho_e$ 、ジェットの径 $d$ (ノズル直径で代表する)、電場の作用を受けるジェットの長さ $l$ (電極板の長さで代表する)、電場の強さ $E$ 、液体の密度 $\rho$ 、重力の加速度 $g$ 、ジェットの平均流速 $v_a$ (ノズル出口の平均流速で代表する)、液体の粘度 $\eta$ 、であるから

$$\theta = f(\rho_e, d, l, E, \rho, g, v_a, \eta) \quad (1)$$

の形に書きあらわすことができるであろう。ここに $f()$ はある未定の関数を示す。そこで括弧内の物理量に未定指数をつけてかけ合わせ

$$\rho_e^{\pi_1} \delta^{\pi_2} E^{\pi_3} \rho^{\pi_4} g^{\pi_5} v_a^{\pi_6} \eta^{\pi_7}$$

とおく、ここで $\delta$ は代表長さで、 $d$ または $l$ のいずれかを意味するものとする。いま基本単位として質量 $[M]$ 、長さ $[L]$ 、時間 $[t]$ 、電荷 $[q]$ をとれば、上記の物理量の組み合わせの次元は

$$\left(\frac{q}{L^2}\right)^{\pi_1} (L)^{\pi_2} \left(\frac{ML}{t^2q}\right)^{\pi_3} \left(\frac{M}{L^3}\right)^{\pi_4}$$

$$\left(\frac{L}{t^2}\right)^{\pi_5} \left(\frac{L}{t}\right)^{\pi_6} \left(\frac{M}{L}\right)^{\pi_7}$$

となり、少なくともこれが無次元なるためには、それぞれの基本単位の指数がすべて零になればよい。従って

$$q \text{ の指数: } \pi_1 - \pi_3 = 0$$

$$L \text{ の指数: } -2\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 - 3\pi_4 + \pi_5 + \pi_6 - \pi_7 = 0$$

$$M \text{ の指数: } \pi_4 + \pi_5 + \pi_7 = 0$$

$$t \text{ の指数: } -2\pi_3 - 2\pi_5 - \pi_6 - \pi_7 = 0$$

上の関係より

$$\pi_2 = \pi_5 - \pi_7, \quad \pi_3 = \pi_1, \quad \pi_4 = -\pi_1 - \pi_7$$

$$\pi_6 = -2\pi_1 - 2\pi_5 - \pi_7$$

したがって物理量の間には

$$\left(\frac{\rho_e E}{\rho v_a^2}\right)^{\pi_1} \left(\frac{\delta g}{v_a^2}\right)^{\pi_1} \left(\frac{\eta}{\rho v_a \delta}\right)^{\pi_7}$$

の関係が成立する。よってジェットの曲り角 $\theta$ は次式に示すような無次元因子によって支配されることがわかる。

$$\theta = f\left(\frac{\rho_e E}{\rho v_a^2}, \frac{\delta g}{v_a^2}, \frac{\eta}{\rho v_a \delta}\right) \quad (2)$$

ここで上に求めた無次元量の有する物理的意味を考えてみる。すなわち

$$\frac{\rho_e E}{\rho Va^2} = \frac{\rho_e E \delta^2}{\rho Va^2 \delta^2} = \frac{\rho_e Edl}{\rho Va^2 d^2}$$

$$\frac{\rho_e Edl}{\rho Va^2 d} = \frac{\text{電気力}}{\text{慣性力}} = N_{EI}$$

$$\frac{\delta g}{Va^2} = \frac{lg}{Va^2} = \frac{\text{重力}}{\text{慣性力}} = \frac{1}{Fr}$$

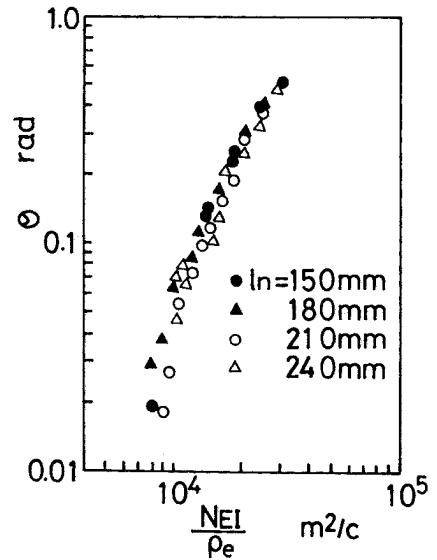
$$\frac{\eta}{\rho Va \delta} = \frac{\eta}{\rho Va d} = \frac{\text{粘性力}}{\text{慣性力}} = \frac{1}{Re}$$

となり、それぞれジェットに作用する電気力と慣性力、重力と慣性力および粘性力と慣性力の比を表している。ここで、Fr、Re はそれぞれフルード数、レイノルズ数と呼ばれているものである。したがって

$$\theta = f(N_{EI}, Fr, Re) \quad (3)$$

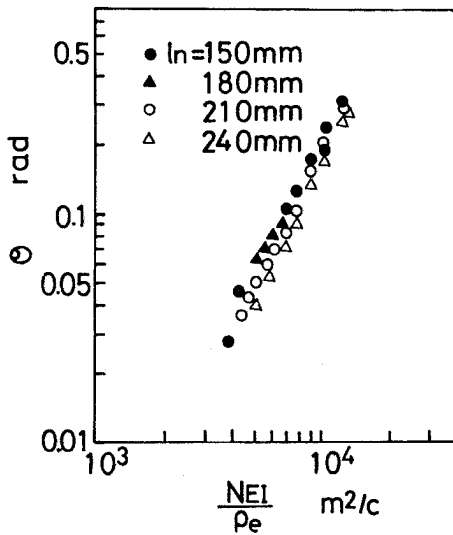
と書き表わすことができる。

上記の結果より、水道水、食塩水、水あめ水溶液のデータは  $N_{EI}$ 、Fr と Re を用いて整理できるわけであるが、現在表面電荷密度の測定法は確立されておらず、その値が不明なのでとりあえずここでは  $N_{EI}$  を  $\rho_e$  で割った  $N_{EI}/\rho_e$  なる量を用いることにする。



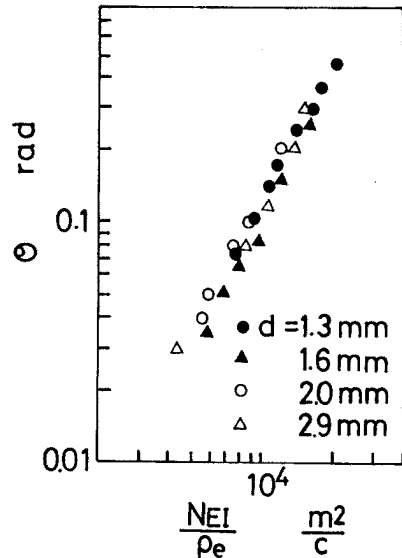
(b) 水道水,  $V_a = 1.54 \text{ m/s}$ ,  $d = 1.3 \text{ mm}$

図6  $\theta - N_{EI}/\rho_e$



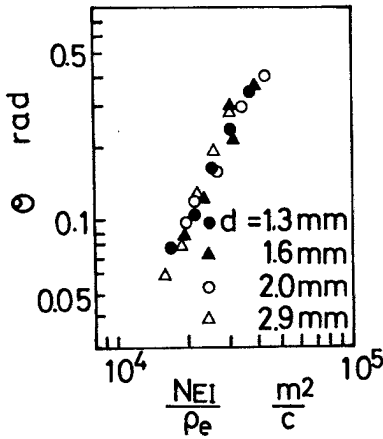
(a) 水道水,  $V_a = 1.02 \text{ m/s}$ ,  $d = 1.3 \text{ mm}$

図6  $\theta - N_{EI}/\rho_e$



(a) 水道水,  $V_a = 0.63 \text{ m/s}$ ,  $l_n = 190 \text{ mm}$

図7  $\theta - N_{EI}/\rho_e$



(b) 水道水,  $V_n = 1.15 \text{ m/s}$ ,  $l_n = 190 \text{ mm}$

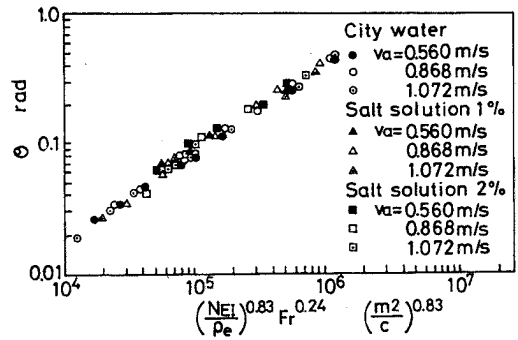
図7  $\theta - N_{EI} / \rho_e$

図6、図7は長方形電極板間にできた電場内を通過する水道水ジェットの曲り角 $\theta$ を $N_{EI} / \rho_e$ を用いて整理したものである。図6は、直径が一定( $d=1.3\text{mm}$ )で長さの異なる( $l_n=150, 180, 210, 240\text{mm}$ )ノズルを用いた場合の結果であり、一方図7は長さ一定( $l_n=190\text{mm}$ )で直径の異なる( $d=1.3, 1.6, 2.0, 2.9\text{mm}$ )ノズルを使用した場合の結果である。これらの図より、ジェットの挙動はノズル長さがある値以上になればその影響を受けず、かつノズル径の影響も非常に小さいことがわかる。

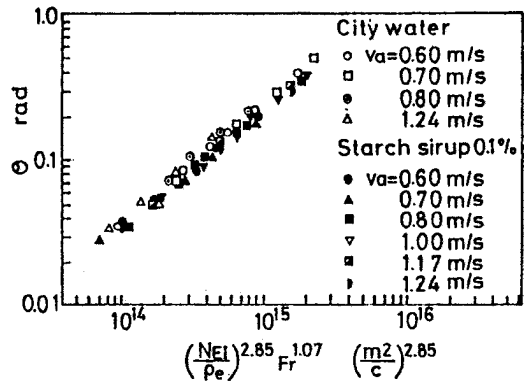
次に $N_{EI}$ 数および $Fr$ 数を用い、 $(N_{EI} / \rho_e)^l Fr^m$ なる量を横軸にとって $\theta$ を整理したのが図8で、水道水、水あめ水溶液、食塩水溶液の結果を同時にプロットしてある。図の(a)は長方形電極板を、(b)円形電極板を使用した場合の結果で指数 $l, m$ がそれぞれ異なるが、これは電界分布の違いによるものと思われる。これらの結果より、液体ジェットの曲り角 $\theta$ は、 $(N_{EI} / \rho_e)$ と $Fr$ 数に大きく依存するが $Re$ 数の影響をほとんど受けないことがわかる。

#### 4.3 表面電荷密度を求める一方法

固液界面に生じる表面電荷密度については、電気二重層の概念を用いHelmholtzやGouy, Chapmanらによってこれを表す式が導かれている<sup>(4)</sup>。たとえばHelmholtzモデルによれば、表面電荷密度 $\rho_e$ は



(a)  $\theta - (N_{EI} / \rho_e)^{0.83} Fr^{0.24} (\frac{m^2}{c})^{0.83}$



(b)  $\theta - (N_{EI} / \rho_e)^{2.85} Fr^{1.07} (\frac{m^2}{c})^{2.85}$

図8

$$\rho_e = \frac{D_s V}{4\pi \delta_1} \quad (4)$$

ここで $\delta_1, V, D_s$ はそれぞれ二重層の厚さ、二重層電位および媒質の誘電率である。上式は極めて簡単に見えるが、式中の $V, \delta_1$ の値を正確に求める事は困難で、 $\rho_e$ の算出も不正確となる。ましてより複雑なモデルを仮定したGouy, Chapmanらの式においては $\rho_e$ の算出はますます困難となる。

そこでここでは、静電場内における液体ジェットの挙動について簡単な解析を行い、電気二重層の理論に基づく物性論的な $\rho_e$ の算定法とは異なる現象論的な一方法を提案する。

いま、一様な静電場 $E (x \geq 0)$ 内を界面現象によって帯電した質量 $\rho_a ds$ (ジェット素片の断面積： $a = \pi r^2$ )のジェット素片が鉛直面内を軌道 $s$ を描いて速度 $U$ で運動しているとしよう(図9)。解析を行う際に、次の仮定を設ける。

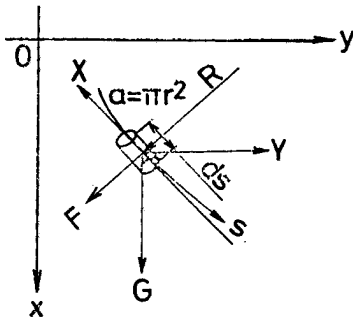


図9 ジェット素片に働く力

- (1) 流体はニュートン流体である。
- (2) 運動は同一鉛直面内に生じる。
- (3) ジェット素片の横断面内の圧力は大気圧に等しい。
- (4) 表面張力による影響は無視する。
- (5) ジェット素片の横断面内の速度分布は一様とする。

上記仮定に基づき、ジェット素片に作用する力を考え、s方向およびこれに直角方向の運動方程式を立てる。

ジェット素片に働く力：

$$\begin{aligned} \text{慣性力;} & (\rho a ds) \frac{dU}{dt} = (\rho a ds) \frac{dU}{ds} \frac{ds}{dt} \\ & = (\rho a ds) U \frac{dU}{ds} \\ \text{重力;} & G = (\rho a ds) g \\ \text{静電力;} & Y = (2\pi r ds) \rho_e E \\ \text{抵抗力;} & X = (2\pi r ds) k U^n \end{aligned}$$

空気の摩擦抵抗力はUのn乗に比例し、表面積に比例するものとする。ここでkは比例定数である。

$$\text{遠心力;} F = (\rho a ds) \frac{U^2}{R}$$

Rは曲率半径

s方向の運動方程式；

$$U \frac{dU}{ds} = g \cos \theta + \frac{2\rho_e E}{\rho r} \sin \theta - \frac{2k}{\rho r} U^n \quad (5)$$

sに直角方向の運動方程式；

$$-\frac{U^2}{R} + \frac{2\rho_e E}{\rho r} \cos \theta = g \sin \theta \quad (6)$$

ここで

$$\begin{aligned} y' &= \frac{dy}{dx} = \tan \theta, \quad \cos \theta = \frac{dx}{ds} = \frac{1}{\sqrt{1+y'^2}} \\ \sin \theta &= \frac{dy}{ds} = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{ds} = \frac{y'}{\sqrt{1+y'^2}} \\ \frac{1}{R} &= \frac{y''}{(1+y'^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

を利用すれば、式(6)より

$$y'' = \frac{(1+y'^2)}{U^2} (-gy' + \frac{2\rho_e E}{\rho r}) \quad (7)$$

が得られる。一般的には軌道sに沿ってUは変化し、したがって円柱の半径rもsに沿って変化するが、次の関係式が成立する。

$$\frac{d}{ds}(aU) = 0, \quad \text{すなわち} \quad \pi r^2 U = \text{const} \quad (8)$$

これより、sに沿うUの変化は式(5)、(6)、(8)より求まる。

さてジェット軌道はその撮影写真から見られるように、軌道の大部分にわたってほぼ曲率半径R=一定の円弧を描いていると見なしてよい。そこで  $1/R = \kappa = \text{const.}$  とおく。しからば式(6)より

$$-kU^2 \sqrt{1+y'^2} + \frac{2\rho_e E}{\rho r} = gy'$$

を得るが

$$\sqrt{1+y'^2} = \sqrt{1+\tan^2 \theta} = \sec \theta$$

であるから

$$\frac{2\rho_e E}{\rho r} = gy' + kU^2 \sec \theta = g \tan \theta + kU^2 \sec \theta \quad (9)$$

上式のUを近似的にノズル出口の平均流速  $v_a$  に等しいとおけば

$$r = \frac{2\rho_e E}{\rho(g \tan \theta + k v_a^2 \sec \theta)} \quad (10)$$

となる。さて一方式(5)において  $dU/ds = 0$ 、すなわちジェット流速Uがsに沿って一定とかけていすれば

$$g \cos \theta + \frac{2\rho_e E}{\rho r} \sin \theta - \frac{2k}{\rho r} U^n = 0 \quad (11)$$

を得る。いまノズルからの流量をQとすれば  $U = Q / (\pi r^2)$  であるから式(11)は

$$g \cos \theta + \frac{2\rho_e E}{\rho r} \sin \theta - \frac{2kQ^n}{\pi^n \rho r^{2n+1}} = 0 \quad (12)$$

となり、この式に式(10)を代入すれば表面電荷密度  $\rho_e$  は次式で与えられる。

$$\rho_e = \left\{ \frac{2kQ^n \cos \theta}{\pi^n \rho (g + kVa^2 \sin \theta)} \right\}^{1/(2n+1)} \times \frac{\rho g \tan \theta (1 + \frac{kVa^2}{g \sin \theta})}{2E} \quad (13)$$

ここでノズル内径を  $d = 2r_0$ 、 $v_a = Q / \pi r_0^2$  とおけば式(13)は次式のように書ける。

$$\rho_e = \left\{ \frac{2kVa^n \cos \theta}{\rho q r_0 [1 + (kVa^2/g) \sin \theta]} \right\}^{1/(2n+1)} \times \frac{\rho g r_0 \tan \theta (1 + \frac{kVa^2}{g \sin \theta})}{2E} \quad (14)$$

ジェットに対する空気の摩擦抵抗力を表す  $k$ 、 $n$  が求められていないので、ここでは  $n = 2$  とおき  $\rho_e / k^{1/5}$  を調べてみよう。すなわち式(14)を用い、右辺にこの式が成立すると考えられる範囲の実験結果より求めた値を代入して計算した  $\rho_e / k^{1/5}$  と、ジェットの曲り角  $\theta$  (電極板下端における値) の関係を図10に示す。これより水道水ジェットでは  $\rho_e = 6.5 \times 10^{-7}$   $C/m^2$  の電荷が界面に誘起されたことになる。現在のところ界面動電現象による表面電荷密度  $\rho_e$  は物理論的な方法によっても、実験的にも正確な値はもちろぬのこと、信用し得る概略値さえも求められていない。本

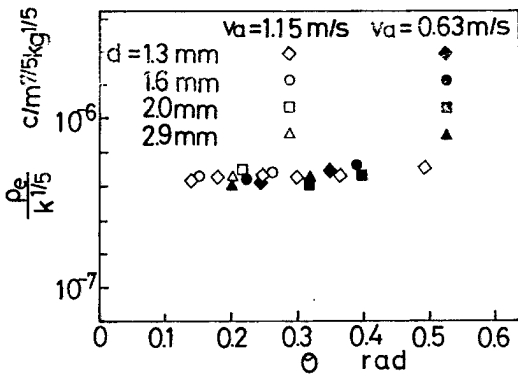


図10  $\rho_e / k^{1/5} - \theta$

解析は種々の仮定のもとに行った近似解析ゆえ、正確な  $\rho_e$  を算出することは困難であるが、上述の現状よりみて十分意義ありと考えられる。今後より詳細な研究を行

うことにより正確な  $\rho_e$  を求めることができるようになると思われる。

## V 結論

数種の液体を細管ノズルより流出させ、磁場および電場内のジェットの挙動を調べた結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 電場内における液体ジェットのわん曲現象は、磁場内における実験より明らかなように細管ノズル内で生じた流動電流が原因である。
- (2) ジェット表面における電荷と反対の電荷がタンク表面に蓄積される。
- (3) ジェットの曲り角は、一定流速に対しては電場が強いほど大きく、一定の電場のもとでは流速が小さいほど大きい。
- (4) 水道水、食塩水、水あめ水溶液などの液体ジェットの曲り角は  $N_{Ei}$  数および  $F_r$  数に依存するところが大きい。
- (5) 表面電荷密度を求める一方法を提案し、実験結果よりその有用性を確かめた。

## [参考文献]

- (1) 近藤, 界面化学, (昭和50), 三共出版.