

静電気力を用いた液滴表示機の開発

Development of the droplet display using electrostatic force

廣實 一幸^{*1*2}, 権藤 雅彦^{*1}, 樋口 俊郎^{*1}

Kazuyuki HIROZANE, Masahiko GONDO, and Toshiro HIGUCHI

In this research, we aim at the development of a new graphic display with low power consumption. Droplets of colored water, which are dropped into insulation oil, are utilized as dots of the display. This paper proposes the mechanism to create droplets and to control descending speed by using electrostatic force. Through the experiments, letters are successfully display using droplets and electrostatic force. In addition, this display has a lower power consumption compared to existing LED displays.

In this paper, we discuss the principle of this mechanism and demonstrate the feasibility of our display.

Keywords: Droplet Display, Electrostatic force

1. 緒言

近年、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイの開発競争が加速化して、その画面サイズは年々大型化してきている[1]。この大型化の傾向は街角で見かける電子看板などにも広がっており、その代表的な例が、街角で見かける LED 素子による大型表示装置である。

従来のこれら表示装置は、縦×横で配置された素子一つ一つについて制御を行っているため、大画面化とともに制御回路数が増加し、歩留まりの低下や製作コストが増加する欠点があった。また LED 素子による大型表示装置は、周囲の明るさ以上に輝度を高める必要があることから、昼間の消費電力が大きいという欠点があった。

本研究では、このような大型化に対応した、構造の簡単な表示機を開発を行っている。その表示機の概略図を Fig.1 に示す。この表示機は絶縁オイル中を落下する液滴をドットに見立て表示を行うものである（以下、液滴表示機と呼ぶ）。重力による液滴の落下を利用しているため、一瞬での画面切り替えや、動画の表示は不可能であるが、縦×横で制御を行う必要がない。そのため、表示機を大型化した際、制御回路が非常に簡易化される。さらに、自発光して画面表示する方式でなく、周囲光を反射させて表示する反射型の表示器であるため、従来の LED 素子を用いた大型表示装置などと比べて消費電力が少ないという特徴がある[2]。

この液滴表示機の実現には、液滴を生成する機構及び、

液滴の落下速度を制御する機構の開発が必要となる。以下では、本研究で開発した液滴生成機構及び、液滴落下速度制御機構について述べ、それらを用い試作した液滴表示機の動作実験について報告する。

2. 液滴表示機の原理

2.1 液滴生成機構

表示に用いる液滴を生成する機構である。その液滴生成原理は、Fig.2 に示すように絶縁オイル中で界面張力に

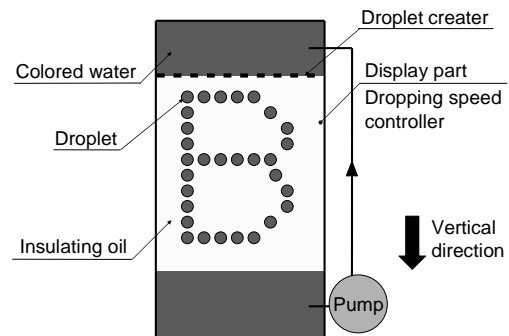


Fig.1 Overview of Droplet display

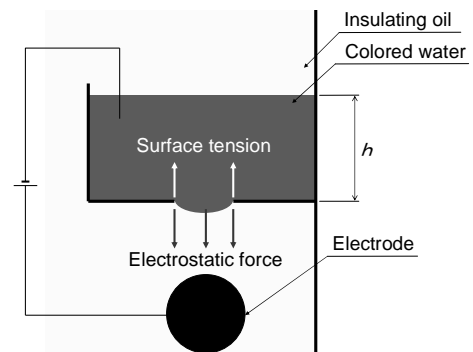


Fig.2 Basis of creating droplet

連絡先： 廣實 一幸, 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1, 東京大学
大学院工学系研究科精密機械工学専攻 樋口・山本研究室,

e-mail: hirozane@AML.tu-tokyo.ac.jp

*1 東京大学 *2 (株) 日立製作所

より保持された液体を、静電気力により引き出すというものである。液体がオイル中で保持されているとき、液滴生成ノズルにおける力のつりあいは式(1)となる。

$$\gamma \cdot L = (\rho_w - \rho_o) \cdot g \cdot h \cdot S \quad (1)$$

式(1)において γ (N/m)は液体に加わる界面張力、 L (m)は界面長さ、 g (m/s²)は重力加速度、 h (m)はオイル中の液体水位、 S (m²)はノズル断面積、 ρ_o (kg/m³)、 ρ_w はそれぞれオイルと液体の密度である。式(1)の h がある水位を超えると液体はノズルより落下し始める。そのときの水位 h を保持限界水位 h_l として、自然に液滴が落下しない h_l 以下の水位において静電気力を与え液滴を生成する。このときの静電気力発生方法をFig.3に示す。同図はコンデンサとスイッチのみからなる回路であり、コンデンサに充電した電荷により、電極と液体の間に電圧を発生させ液滴を生成するものである。液滴が生成される際、液滴は液滴生成用の電極と接触し、コンデンサに充電された正の電荷に帯電する。電極と液体が接触することで、コンデンサに充電された電荷は放電されるため、液滴を生成した後は、スイッチの切り替えが無い限り液滴は生成されない。

2.2 液滴落下速度制御機構

液滴生成機構により生成された液滴は、落下する際のオイルの粘性抵抗や、液滴生成のタイミングのずれなどにより落下速度が一樣にならず、そのままの状態では表示に用いることができない。そのため、液滴の落下速度を制御する必要がある。本研究では、その落下速度の制御にFig.4に示すような、櫛歯状の電極を用いた。この櫛歯状電極へFig.4に示すように電圧を印加すると、液滴内部の電荷は同図のように分布し液滴は電極の間で静止する。その状態で、櫛歯状電極へ印加する電圧極性を切り替えると、液滴生成時に液滴生成電極により帯電した液滴は、櫛歯状電極から発生する電界により静電気力を受け落下する。しかし、落下した液滴は、次段の櫛歯状電極の間で、再び電荷の分布が生じ静止する。Fig.5は液滴を連続してステップ状に落下させる動作を説明するもので、二つの櫛歯状電極の印加電圧極性を交互に入れ替えることで、次々に液滴は下へ移動していく。この機構により、電極への極性切り替えのみで複数の液滴の制御が可能のため、制御回路が非常に簡易化される。

3. 液滴表示機の動作原理

3.1 実験方法

これまで述べてきた機構を持つ液滴表示機を製作し、各機構の動作実験を行う。液滴生成機構については、ノ

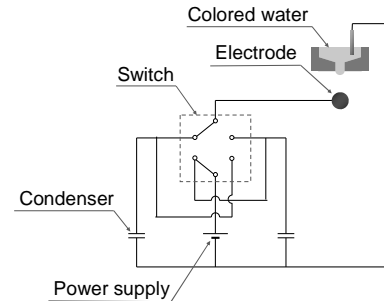


Fig.3 Circuit creating droplet

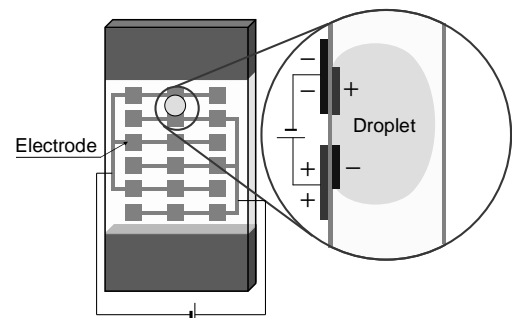


Fig.4 Dropping speed controller

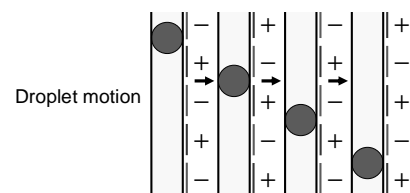
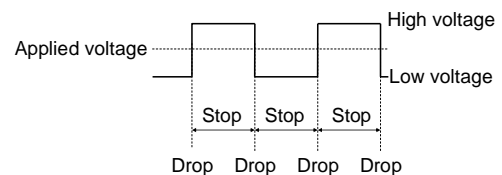


Fig.5 Droplet motion

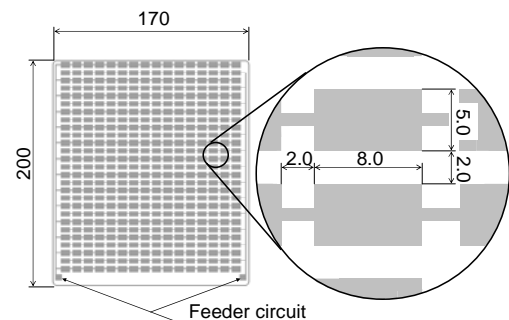


Fig.6 Pectinate electrode

ズル寸法が□1×2 mm の角型ノズルを使用し、表示を行うため、ノズルを 10mm ピッチで 16 個並列させた。回路に使用するコンデンサの静電容量は 220 pF とし、Fig.3 と同様の回路を 16 個製作した。この回路のスイッチの切り替えにより液滴生成を制御する。

楕歯状電極は透明電極である ITO(Indium Tin Oxide)を膜付けされた PET フィルムを使用し、その電極の寸法は Fig.6 に示すとおりである。

製作した液滴表示機の外観を Fig.7 に示す。なお、表示機は全てアクリルで製作し、オイルにはシリコンオイル(信越シリコン製 KF96-1.5CS)、着色液体には水性インク(パイロット製、ブルーブラック)により着色した水を使用した。

3.2 実験結果

液滴生成機構についての動作実験結果を Fig.8 に示す。実験では保持限界水位 h_l に対し、60~90 % の水位において、高圧電源(TRec 製 677B)により液滴を生成できた最小の充電電圧を測定した。Fig.8 から分かるように、水位が高くなるほど充電電圧は小さくなった。

液滴落下速度制御機構では、液滴生成機構により生成された液滴を静止させることに成功した。このときの印加電圧は、信号発生器(エヌエフ回路設計ブロック製 WF1946)より発信した周波数 0.2 Hz の矩形波信号を、高圧アンプ(TRec 製 677B)により 1600 V_{PP} へ増幅し使用した。電極の間で静止した液滴は、印加電圧の極性切り替え周期にあわせ落下した。同時に複数の液滴の静止も可能であり、16 個の液滴を同時に静止させ、整列した状態で落下させることも可能であった。

このようにして、液滴表示機によって作った文字の表示を Fig.9 に示す。今回の実験では「日立」の文字を表示することにした。液滴は矩形波信号の周波数にあわせ落下

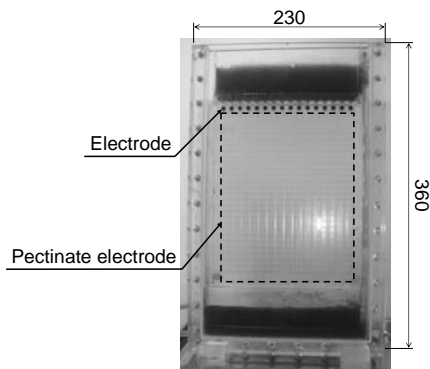


Fig.7 Droplet display

し、「日立」の文字を完成させるまで 20 s の時間を要した。このとき、コンデンサの充電電圧は 1500 V であり、楕歯状電極への印加電圧は 1600 V_{PP} であった。表示された文字は、整列した状態で落下を続け、楕歯状電極のなくなる位置まで表示を保っていた。

3.3 考察

提案した方式により文字の表示を行うことができた。そこで、この表示機の消費電力を計算する。この表示機が電力を消費するのは、液滴生成用のコンデンサを充電するときと、液滴静止速度制御機構の楕歯状電極への印加電圧極性を切り替えるときの二種類である。まず、液滴生成用コンデンサの静電容量を C_1 (F)、充電電圧を V_1 (V)、楕歯状電極へ印加した矩形波信号の周期を T (s)、回路に n 個のコンデンサを使用した場合の、液滴生成時の最大消費電力 W_1 (W)は式(3)となる。

$$W_1 = \frac{n \cdot C_1 \cdot V_1^2}{T} \quad (3)$$

続いて、楕歯状電極の静電容量を C_2 (F)、楕歯状電極への印加電圧を V_2 (V)とすると、楕歯状電極への印加電圧極性切り替え時に消費される電力 W_2 (W)は式(4)となる。

$$W_2 = \frac{2 \cdot C_2 \cdot V_2^2}{T} \quad (4)$$

この液滴表示機の消費電力は W_1 と W_2 の和である。ここで楕歯状電極の静電容量に実測値である 114 pF を使用し、実験条件での消費電力を計算すると、その消費電力は 1.61 mW であった。実際には、この消費電力にポンプの消費電力も加わる。本実験で使用したポンプ(SATACO 製、Minute10)の消費電力は 3.30 W であり、表示の際の消費電力のほとんどはポンプの消費電力となる。

この消費電力を、大型電子看板として実用化している LED 表示機と比較する。今回消費電力を比較するのはローム製、16×32 ドット単色 LED 表示機である。比較方法

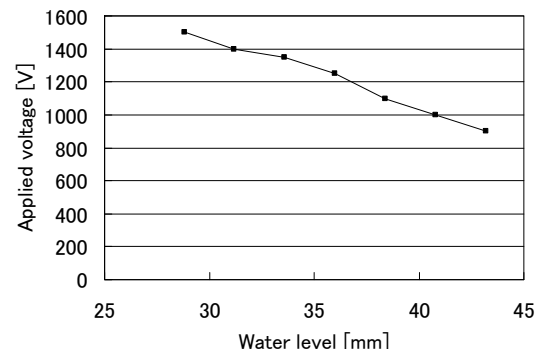


Fig.8 Applied voltage each water level

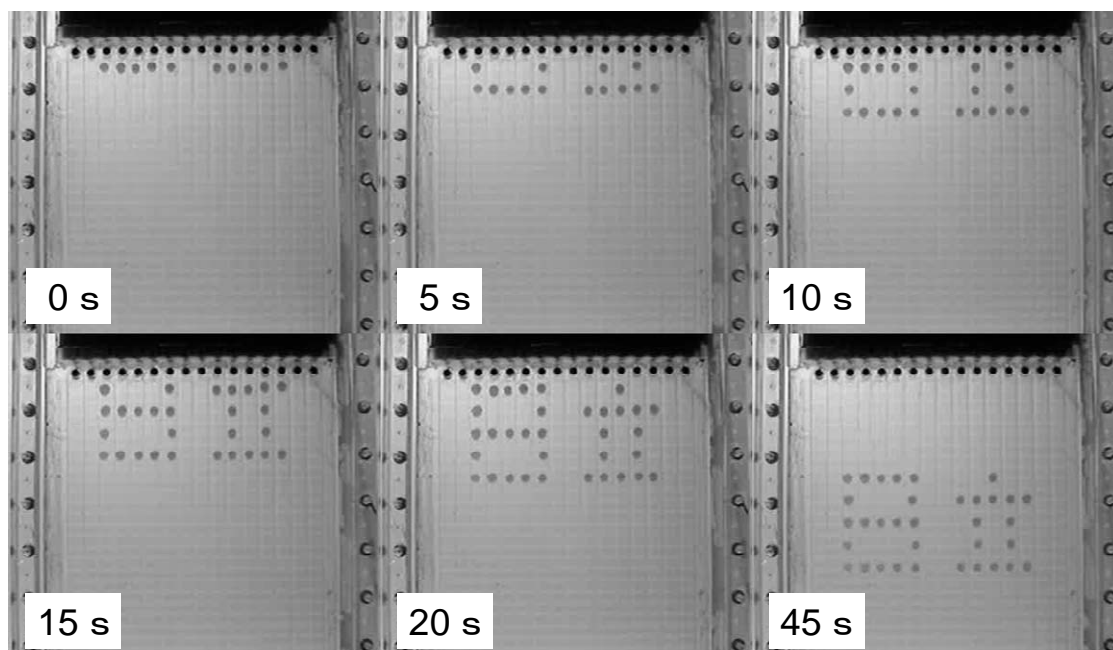


Fig.9 Flow of showing by droplet display

としては単位面積当たりの消費電力を計算し比較する。この LED 表示機の単位面積当たりの消費電力は 1085 W/m^2 であるのに対し、液滴表示機は 97.1 W/m^2 であった。また、液滴表示機はポンプを常に稼働しているが、原理的に表示を行っている最中はポンプを駆動させる必要がないため、ポンプの消費電力を考慮せずに単位面積当たりの消費電力を計算すると、 47.3 mW/m^2 となり、LED 表示機と比較し非常に低消費電力で表示を行うことができる。

さらに前述のとおり、この液滴表示機は電圧極性を切り替えたときに電力を消費するため、静止画の表示を行う際には理論上消費電力はゼロとなる。このことから、静止画の表示を行う際にも電力を消費する LED 表示機に対し、液滴表示機は低消費電力の優位性は高いと言える。

4. 結論

本研究では、簡易的な構造で大型表示機に対応する液滴表示機の開発を行っており、本報ではその液滴表示機を用いた実験について報告した。実験により液滴を用いた文字の表示は可能であり、動作原理に静電気力を用いたことで、現在大型電子看板として用いられている LED 表示機と比べて消費電力の少ない表示機を製作することができた。

5. 今後の展望

本実験では、表示機の各機構について、製作が容易な形状で設計、製作を行ってきた。そのため、この表示機に用いた電極形状や、ノズル形状が最適であるかは定かではない。今後は、それらの形状の最適化を行うことで、更なる印加電圧の低減、省電力化が図れる。さらに、印加電圧を低減できれば、液滴生成や落下速度制御の電子制御化も容易になり、液滴表示機の実用化がより現実的になると期待される。

謝辞

本研究の一部は、JST「大学発ベンチャー創出推進」の助成を受けた。

参考文献

- [1]田中 英次,「液商用ガラスハンドリングロボットの現状と大型化への対応」, 精密工学会誌 Vol.69, No.7, pp.915-918 (2003)
- [2]麻川 倫広, 中嶋 拓朗, 服部 励治, 増田 善友, 二瓶 則夫, 横尾 彰彦, 山田 修平,「四電位駆動法を用いた電子分流体ディスプレイのコントラスト評価」, 社団法人電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.499, pp.109-112 (2007)