

# 電気分解を利用した泡ディスプレイ

理学専攻・情報科学コース 1840645 石井 綾郁 (指導教員：椎尾 一郎)

## 1 はじめに

気体の泡を用いて液体中にデジタル情報表示を行う泡ディスプレイの手法が研究され、一部では実用化もされている。Information Percolator[1]は、水を満たした透明パイプ群中を上昇する泡を用いたディスプレイである。このディスプレイは、外部から取り込んだ空気を電磁バルブで制御し、拡散器により白濁した泡を発生させて表示を行っている。しかし、この方式では機構が大掛かりになり、高画素表示を安価に実現することが困難である。

水そのものは水素と酸素の化合物であり、これを電気分解すると水素と酸素の気体が発生する。我々はこの性質に着目し、電気分解により発生する気体を泡ディスプレイの画素として利用する手法を提案する。また、飲料表面に10×10画素のドットマトリクスパターンを生成するカップ型デバイス BubBowlを開発した(図1)。提案手法は電気分解を利用するため、外部から気体を供給する必要がなく、可動部分が不要である。また、既存の電子回路実装技術を利用することで、高密度、高画素な実装が容易であると期待できる。したがって、小型化・電池駆動が可能であり、コーヒーカップのような日用品に組み込み、生活に密接した場面で泡ディスプレイを利用することが期待できる。

## 2 関連研究

泡そのものを画素として用いる泡ディスプレイの研究がいくつか存在する。Information Percolator[1]は、水を満たした透明パイプ群中を上昇する泡を用いた2Dディスプレイである。Volumetric Bubble Display[2]では、フェムト秒レーザーパルスをグリセリンのような高粘度溶液に照射することでマイクロバブルを生成し、これを用いた3Dディスプレイを実現している。Shaboned Display[3]は、シャボン玉自体を画素として利用した10×10画素の2Dディスプレイである。石鹸水に浸されたスポンジ製のノズルをソレノイドにより変形させ、石鹸膜を生成する。そして、ノズルに接続されているエアポンプから空気を送り込むことでシャボン玉を生成する。

## 3 BubBowl

図1(a)にBubBowlの外観を示す。容器底面に、10×10のマトリクス陰極群が6.35mmの間隔で配置されている。一方、共通の陽極が容器内壁を囲うように配置されている。陰極には既存のピンヘッダ部品を用い、陽極には電気分解による溶出を防ぐために純金箔を用いた。

### 3.1 マトリクス回路

図2(a)に泡ディスプレイの回路図を示す。100個の電極がアクティブマトリクス回路に接続され、Arduino Pro Miniからの制御で任意の複数電極が接地される。これにより、接地された電極が陰極として機能する。Arduinoからの制御で、カラム配線にはTTLレベルのHighもしくはLowの電圧がかかる。一方で、ライ

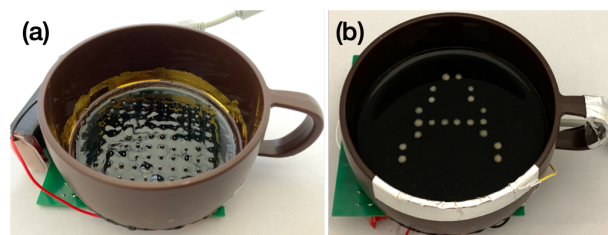
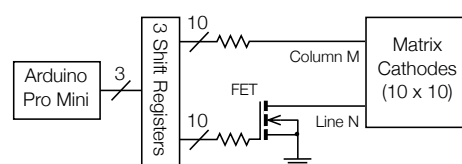
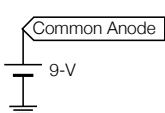


図1: BubBowl. (a) 電解液を入れる前の状態; (b) 泡ディスプレイによる表示の例:「A」.

(a) Circuit diagram



(b) Anode



(c) Cathode

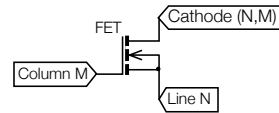


図2: 回路図。N行M列の配線を示す(N = 1~10, M = 1~10)

ン配線は順次接地される。後述するように、ライン配線には電気分解のための電流が流れる。さまざまな電流・電圧条件に対応する目的で、ドライブ能力に余裕のあるMOSFETを介して接地と接続した。図2(b)に示すように、電気分解用9V電池の正極は共通陽極と接続している。また、負極はArduinoの接地に接続し、制御回路用電源と電気分解用電源の接地を共通にした。図2(c)に、NラインMカラムの交点にある1画素の画素用電極をスイッチングする回路を示す。マトリクスの各交点にはMOSFETと画素用電極が配置されている。画素用電極はFETのドレインに接続し、カラム配線はゲートに、ライン配線はソースに接続している。カラム配線にHighの電圧が印加され、なおかつライン配線が接地されると、ゲート~ソース間に電圧が発生しドレイン~ソース間が導通する。その結果、画素用電極が接地され電気分解の陰極として機能し、画素用電極(陰極)から水素が発生する。同時に共通陽極からは酸素が発生する。

### 3.2 電解液

初期実験のために、炭酸水素ナトリウム(重曹)を精製水に加えた溶液(濃度0.4%)を電解液として使用した。また、コントラスト上げ泡を見えやすくするために、インスタントコーヒー粉末(16g/L)を溶液に入れて着色した。さらに、泡の拡散を防いで表示品質を向上させるために、少量のコーンスターチ(1.8

表 1: 応答速度 (秒)

	粘性なし	粘性あり
Cornstarch (g/L)	0	1.8
Black To Gray (s)	6	6
White To Gray (s)	12	≥ 60

g/L) を加え、溶液の粘性を上げた。本デバイスを稼働させると、特定の陰極から水素が発生し、水面に円形の白い微細泡群として現れる。この泡群を 1 画素としてドット表示を実現する (図 1 (b))。

容器内に存在する全ての物質 (水素、酸素、水、炭酸水素ナトリウム、インスタントコーヒー、コーンスターチ) は人間にとって無害である。

### 3.3 性能評価

1 個の電極のみに通電し、提案ディスプレイの応答時間を評価した。手法としては、泡が発生していない状態 (非表示) の水面の明度を 0% とし、泡が十分に発生している状態 (表示) の明度を 100% とした場合、非表示状態の 0% 明度から 80% 明度に至る時間 (BTG: Black To Gray), および表示状態の 100% 明度から 40% 明度に至る時間 (WTG: White To Gray) をそれぞれ秒単位で測定した。結果を表 1 に示す。ここでは前述した炭酸水素ナトリウムを加えたインスタントコーヒー (粘性なし) と、これに 1.8g/L のコーンスターチを加えた液体 (粘性あり) に対して応答速度を測定した。この結果が示すように、粘性を増やすことで BTG は変化しないものの、WTG 応答速度は低下する。これは、粘性が高いと、泡の自然消失に時間がかかるためである。よって、使用状況に合わせて電解液を選択し、必要に応じて適切に粘性調整する必要がある。また、ユーザが水面に息を吹きかける、もしくは電動ファンにより水面に風を当てることで、即座に泡を除去することも可能であるため、人間とのインタラクションを工夫することで応答速度を改善できると考えている。

## 4 応用例

生活空間に生け花の水盤を置いたり、ミニチュアの池や泉を飾ったりする人がいる。提案デバイスは小型で低ノイズ・低コストなため、これらの装飾物に情報提示機能を組み込むことで、生活空間内でのアンビエントディスプレイを安価に実現することが可能である (図 3 (a))。

本方式はシンプルな機構のため小型化が可能であり、マグカップやボウルの底に埋め込むことで、飲料表面に情報提示を行うことが可能である。また、電解液として、上述したコーヒー以外にカフェオレ、紅茶、ココア、ジュースなどの飲み物を安全に使用できる。我々は 100% オレンジジュースで実験を行い、泡により鮮明な表示が得られたことを確認した (図 3 (b))。

調理する前の生地の状態が液体またはペースト状である食材が存在する。これらの食材の生地で電気分解を行い、泡を発生させながら調理することで、食材上に泡で情報を印刷することが安価に実現できる。図 3 (c) に泡でメッセージ (「LOVE」) が表示されたグレーゼリーを示す。100% グレープジュースにアガーを混

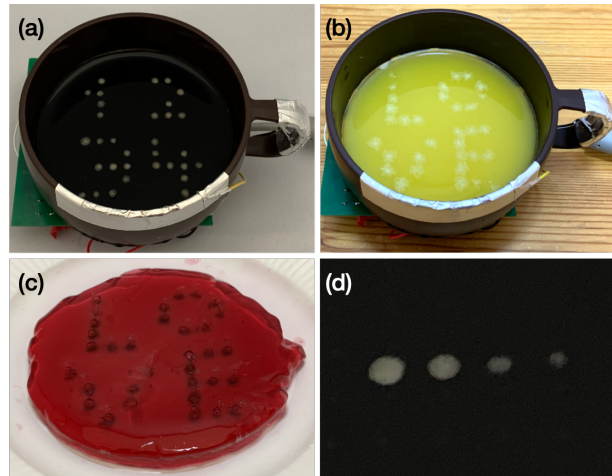


図 3: (a) デジタル時計表示 12:34; (b) オレンジジュースを用いた泡ディスプレイ; (c) 泡によるメッセージ入りゼリー; (d) 4 段階グレースケール表示。

ぜ、冷蔵庫で冷やしながら電気分解を行うことで作成した。人体に無害な電解液を使用しているため、このゼリーは食べることができる。

提案手法はバイナリ表示だけでなく、グレースケール表示も可能である。グレースケール表示は、画素表示用陰極の接地時間を調節することで実現できる。図 3 (d) に、それぞれ異なる接地時間に設定した 4 つの陰極から発生した泡の様子を示す。それぞれの泡は、右から 10, 20, 30, 40 秒接地した電極から発生した。

## 5 まとめと今後の課題

電気分解により発生する気体を画素として利用し、飲料表面に 10×10 画素のドットマトリックスパターンを生成するカップ型デバイス BubBowl の提案を行った。今後は、電解液の種類、印加電圧値、電極間の距離など、ディスプレイ構成に必要なパラメータの最適化を検討している。また、より多様な表現を実現するために、画素数や解像度、グレースケールレベルなどを増やし、それにより可能になる応用例の実装を検討している。

## 参考文献

- [1] Jeremy M. Heiner, Scott E. Hudson, and Kenichiro Tanaka. The information percolator: Ambient information display in a decorative object. In *Proceedings of the 12th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '99, pp. 141–148, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [2] Kota Kumagai, Satoshi Hasegawa, and Yoshio Hayasaki. Volumetric bubble display. *Optica*, Vol. 4, No. 3, pp. 298–302, 2017.
- [3] Shiho Hirayama and Yasuaki Kakehi. Shaboned display: An interactive substantial display using soap bubbles. In *ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '10, pp. 21:1–21:1, New York, NY, USA, 2010. ACM.