



霧型 3 次元ディスプレイの基礎検討

A basic study on three dimensional display using cloud chamber

松野裕生¹⁾, 木島竜吾²⁾

Yuki Matsuno and Ryugo Kijima

1) 岐阜大学 自然科学技術研究科 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, z4525081@edu.gifu-u.ac.jp)

2) 岐阜大学 工学部 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima@gifu-u.ac.jp)

概要: ポリウムスキャンやプラズマ発光などの 3 次元空間内に実際に発光点を生成するディスプレイは、視差式に比べより自然な観察が可能であるため期待されている。本研究では、放射線検出に使用する霧箱に着想を得て、超音波を 1 点に集め断熱膨張によりディスプレイの画素に相当する白い雲を発生させる新たな手法を試みた。実験により白い雲の発生を確認したが、これが単に液滴が集まったものか、断熱膨張によるものかは不明であった。

キーワード: 立体・空中像ディスプレイ, 霧箱, 超音波

1. はじめに

1.1 研究背景

3 次元ディスプレイとは、テレビや PC のディスプレイのような平面の映像ではなく、立体の映像を映す装置である。両目に異なる平面像を提示し、視差を利用して立体感を提示する視差式ディスプレイが最も一般的に用いられているが、書き割り効果 [1], 輻輳と焦点調節の齟齬 [2] などの欠点がある。これに対して光線空間ディスプレイ [3], 時分割で表示を行うポリウムスキャンディスプレイ, バリフォーカルミラー方式, 回転スクリーン方式 [4], 3 次元空間に点源を配置するプラズマを使用した立体描画 [5] などは視差式の欠点を持たないため、原理的にはより高品位な表示が可能ではあるが、技術的に確立してはいない。

1.2 関連研究

1.2.1 光線空間ディスプレイ

物体が放つ光線を再生する手法であり、ディスプレイとレンズアレイを組み合わせたレンズアレイ方式と複数のディスプレイを重ねることで光を掛け合わせを行うディスプレイ方式がある。

1.2.2 ポリウムスキャンディスプレイ

ポリウムスキャン方式は、ディスプレイそのものや像面を運動させ、それに伴い映像を変えて、時分割で奥行き方向のスキャンをも行うものである。

1.2.3 回転スクリーン方式

回転スクリーン方式とは回転スクリーンにスクリーンの回転角に応じて投影する映像を変化させることで、残像効果により 3 次元描画を行う方法である。この方法では回転軸まわり 360° から立体像を確認することが可能であるが、可動範囲が狭い回転軸近くの残像は不鮮明である。

1.2.4 プラズマによる立体描画

プラズマによる立体描画はレーザービームを 1 点に集中させることでプラズマ発光を引き起こし、3 次元空間中に光源を生起させる方法である。このプラズマ発光を任意の点で高速に発生させることで、3 次元描画が可能となる。これはほぼ 360° から観察可能であるが、現状では描画速度に限りがあるため、簡単な図形を描画することに留まっている。

1.2.5 超音波による空中浮遊

超音波スピーカーアレイを対面、もしくはスピーカーアレイと平面を対面させることで定在波を作成し、小さな物体にその部分を近づけると物体が定在波の位置に固定され、あたかも浮遊しているかのように振る舞う [6]。音の進行方向軸まわり 360° 観察可能だが、定在波の発生する位置でしか物体は浮遊しないため、描画できる範囲に制限があり、特定の図形しか表現できない。

1.3 本研究の目的

本研究では、放射線の検出に用いられてきた霧箱に着想を得て、放射線かわりに超音波を集中させることで、白い雲を発生させ、3 次元ディスプレイの表示を行うことを最終的な目標とする。このようなディスプレイは、筆者の知る限りにおいては過去に実現例のないものである。そこで本論文では、その基礎的な検討として

- 超音波を集中させることで、白い雲が発生するという仮説の実証
- 白い雲の発生、消失までにかかる時間

に焦点をあて、試作と実験によりこれらを検討する。

2. 霧型 3次元ディスプレイ

2.1 霧箱

霧箱とは放射線の軌跡を見る装置である。霧箱内部には、過飽和な状態のエタノール蒸気などが入っており、入射した放射線がこの気体分子と衝突すると、分子をイオン化する。イオンは周りの気体分子を集める核となり、液滴を生成する。放射線の軌跡上にはこのようにして発生した液滴群がならび、白い霧として飛跡を観察することができる。

2.2 過飽和

霧箱の技術的なキーは、蒸気が過飽和な状態を保つことである。ある温度下において空气中に気体で存在することができる量を飽和蒸気量という。飽和蒸気量以上の気体が空气中に存在しても、塵や埃などの凝縮に必要な核がなければ液体に凝縮することができず、気体のまま存在する場合があります。この状態のことを過飽和という。過飽和は不安定な状態であるため、放射線などの刺激によって凝縮し容易に液滴が発生する。

2.2.1 膨張式霧箱 (ウィルソン霧箱)

膨張式霧箱は箱全体を断熱膨張させることで過飽和状態を作り出す。ピストン状に作られた箱の体積をゆっくりと圧縮したうえで、内部を概ね飽和状態とし、急速にピストンを戻して断熱膨張させることで、霧箱内の温度と気圧が下がり飽和蒸気量が減り、存在する蒸気量を下回るために過飽和となり、放射線の観察が可能となる。しかし、過飽和となるのは断熱膨張させた瞬間からの短時間だけであり、それ以外では液滴を観察することはできない。

2.2.2 拡散式霧箱

拡散式霧箱は、霧箱の下部をドライアイスなどで冷やし、霧箱の上下部で温度勾配を発生させて過飽和な層を作る方法である。下部を冷やすことで霧箱内の温度は下に行くほど低くなる。この状態で上部に設置したスポンジなどからエタノールを蒸散させると、蒸気は下に拡散していく。ある高さまではエタノールは蒸気で存在するが、それよりも低い高さの場合飽和蒸気となる。内部に液滴を凝集させる核が少なければ場合、過飽和層が発生する(図1)。前項の断熱霧箱と違い、継続して液滴を観察することができる。本論文ではこの拡散式霧箱を採用した。

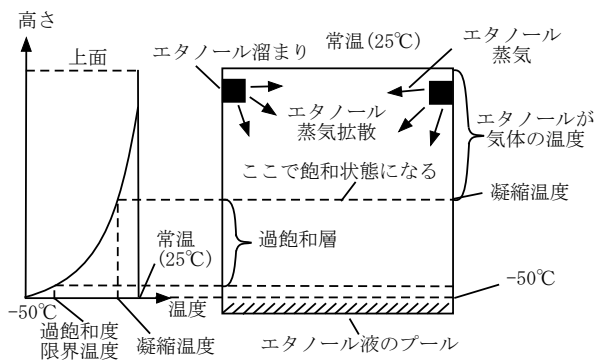


図1: 霧箱の状況

2.3 試作する霧箱の全体像

本論文では、液滴を生成するための刺激として、放射線ではなく超音波を用いる。超音波を一点に集中させることで、狭い範囲に断熱圧縮・膨張を作り出し、核となる液滴の発生を期待する。

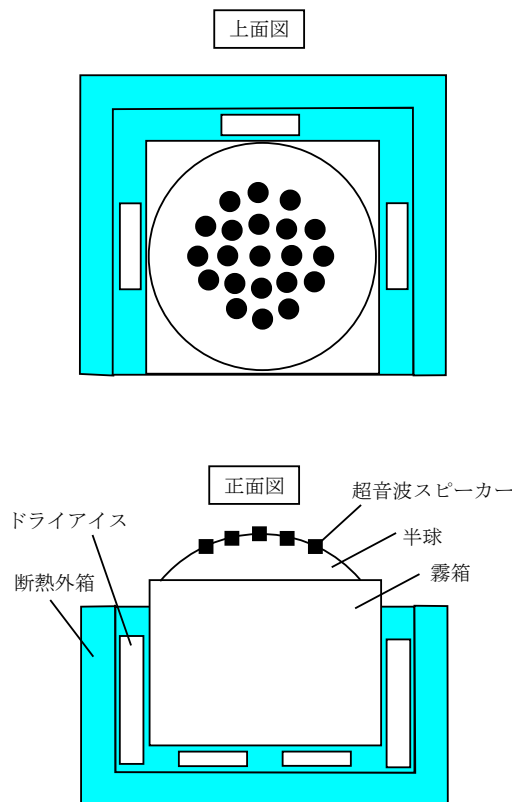


図2: 試作霧箱の全体像

3. 霧箱実験

3.1 実験装置

本論文では、超音波を集中させるための手段として、同一位相で駆動する多数の超音波スピーカーを半球面に配置した装置を用いた。焦点の位置は球の中心である。この半球は霧箱上部に設置した。半球の半径は110[mm]であり、半球の上半分すなわち開角120度の部分に50個の超音波スピーカーを設置した。焦点は霧箱底面から約80[mm]の高さとした(図3)。

試作した霧箱は拡散式である。冷却にはドライアイスを用い、その冷気を閉じ込める断熱材の外箱を設置した。ドライアイスに底面に置くだけでは超音波の焦点高さまで過飽和の層を厚くすることは難しいため、ドライアイスに底面以外に観察面を除く3つの側面に配置し、断熱材の外箱で覆った。これにより、よく作成されている拡散式霧箱では境界層型の過飽和層が生成されるのに対し、霧箱の全体が過飽和となる全量飽和型の霧箱とした。試作した霧箱の概要を(図2)に示す。

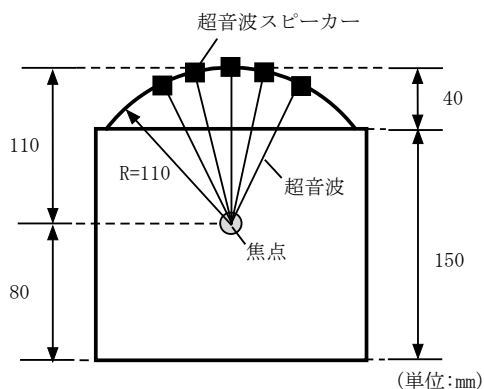


図 3: 液滴が発生する位置

3.2 実験 1: 白い雲の発生実験

3.2.1 実験概要

目的は、この装置で超音波の焦点に液滴が生成されるのかどうか、およびそれにかかる時間を調べることである。霧箱の直方体上部にエタノールを染み込ませたスポンジを設置した。10 分間ドライアイスで霧箱を冷やした後、ライトで霧箱内を照らしカメラで動画を撮影した。スピーカーを起動せずに動画を撮影し、撮影時間内でスピーカーの起動と停止を行い、液滴の発生時間と消失時間を計測した。

3.2.2 実験結果

液滴を判別しやすくするため、背景差分をした画像を図 4 に示す。超音波スピーカーを駆動する以前に、箱の上部まで霧(液滴)が観察され、これがゆっくりと下降している状態であった。図 1 に示した拡散式霧箱では、下部に過飽和な領域があるが、それよりも高い位置まで、むしろ飽和平衡になっていたと考えられる。超音波スピーカーを駆動すると、全体として霧の濃度はやや濃くなり、霧には動きが発生し、液滴が集まったような白い雲が複数発生した。駆動から白い雲発生までの所要時間は約 3 秒であり、そのサイズは数ミリ程度であった。超音波スピーカーの駆動を止めると、白い雲は瞬時に下に落ち、消失した。他の霧も同様であった。

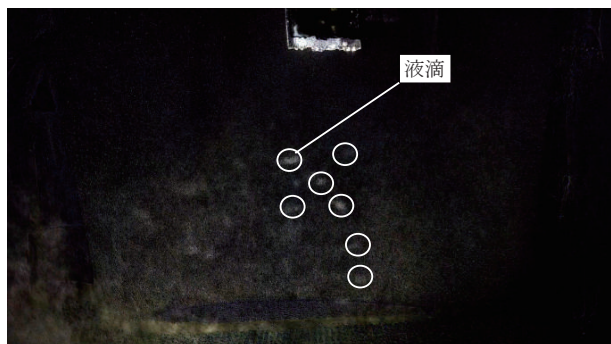


図 4: 実験結果 (背景差分によるノイズ除去とコントラスト強調後)

3.3 実験 2: エタノール外部供給方式実験

3.3.1 実験概要

実験 1 では白い雲の発生に 3 秒かかっており、ディスプレイとしては非常に低速である。そこで高速化のための改

良を行い、実験 1 と同様の実験により比較した。水蒸気の場合、過飽和度が上がると、液滴の凝縮に必要な核の大きさは小さくなり、逆に核の生成速度は加速度的に上がることが知られている [7]。そのため、霧箱内の蒸気量が多ければ、断熱膨張した際に発生する液滴の量が増え液滴の発生速度が速くなると考え、改良を試みた。実験 1 ではエタノールを染み込ませたスポンジを箱内部に設置したが、そのかわりにエタノール蒸気をより多く発生させるペルチェ素子を用いた装置を外部に設置し、その蒸気をホースで霧箱に導入した。霧箱外部のエタノールを加熱する時間と霧箱をドライアイスで冷やす時間はそれぞれ 10 分間であり、並行して行った。その後、エタノールの加熱を止めて、ライトで霧箱内を照らし、カメラで動画を撮影した。二回目以降の実験では蒸気を増やすために数分エタノールを加熱してから再度実験を行った。

3.3.2 実験結果

液滴を判別しやすくするため、背景差分を施した画像を図 5 で示す。液滴の発生時間は約 3 秒、消失は瞬時であり、実験 1 の結果と変わらなかった。したがって、過飽和下において飽和蒸気量を超える蒸気をどれほど投入しても発生時間に影響しないことがわかった。

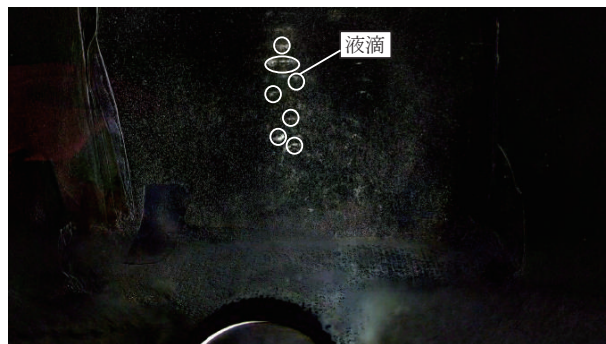


図 5: 実験結果 (背景差分によるノイズ除去とコントラスト強調後)

3.4 実験 3: 定在波抑制の評価実験

3.4.1 実験概要

実験 1,2 で判明したもう一つの問題は、焦点以外にも白い雲が発生することである。その原因を定在波であると考え、これを抑止するため霧箱の底面を三角形にし、実験 2 と同様の実験を行った。

3.4.2 実験結果

液滴を判別しやすくするため、背景差分を施した画像を図 6 で示す。複数回の試行を行い、白い雲が焦点のみにできる場合が多いことを確認した。したがって、他の複数の白い雲は定在波により発生したものであり、これが抑制され、意図した通り焦点に集中した超音波が白い雲を生じることが示された。



図 6: 実験結果 (背景差分によるノイズ除去とコントラスト強調後)

4. 結論

本論文では、不安定な過飽和下において、超音波を 1 点に集中させることで、局所的な断熱膨張を発生させ、その場所に液滴を発生させるという原理を用いて、3 次元ディスプレイが作れるかどうかを検討した。球面上に並べた超音波スピーカーの同位相駆動により、焦点に液滴が集合した白い雲状の点を作ることができた。蒸気量の制御には、ペルチェ素子を用いた外部からの蒸気の供給が、定在波の抑制には三角形上の底面が有効であった。この方式の最大の問題は、液滴の発生に時間がかかることである。スピーカー駆動開始から液滴の白い雲を視認するまで約 3 秒を要し、これは供給蒸気量を増やしても改善されなかった。また、白い雲は、既に存在する液滴が超音波により集まったものにすぎないか、

意図したとおり断熱膨張によって新たに発生した液滴によるものなのかの判別が付いていない。今後はより単純な基礎実験にたちも取り、動作原理を確認したい。

参考文献

- [1] 繁樹 博昭, 佐藤 隆夫: 書き割り効果のメカニズム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10 No.2 pp.249 - 256 2005
- [2] 山賀達也, 吉澤誠, 杉田典大, 阿部誠, 本間経康: 3D 映像視聴における焦点距離と輻輳距離の矛盾が生体を与える影響の評価, 計測自動制御学会東北支部 第 287 回研究集会 資料番号 297-10, 2014
- [3] Douglas Lanman, David Luebke : Near-Eye Light Field Display, in Proc. ACM SIGGRAPH, 2013.
- [4] 宮崎 大介:映像情報メディア学会誌 Vol. 68, No. 11, pp. 844-849, 2014
- [5] 斎藤 英雄:レーザープラズマによる空間立体描画, 日本バーチャルリアリティ学会誌 16 巻 3 号, pp. 130-133, 2011.
- [6] 河野 通就, 星 貴之, 笈 康明 : lapillus bug:音響浮揚による粒子の空中移動制御とインタラクション, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2013), pp. 41-46, 2013.
- [7] 西岡 一水:気相からの均一核生成 (速度論) , 日本物理学会 第 30 巻 第 2 号, pp. 116-124, 1975