

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：31303  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23656228  
 研究課題名（和文） 微粒子拡散制御に基づく空間3次元表示型の新方式ディスプレイの基礎研究  
 研究課題名（英文） Fundamental research on volumetric 3D display using small particle dispersing in air.  
 研究代表者  
 宮下 哲哉 (MIYASHITA TETSUYA)  
 東北工業大学・工学部・教授  
 研究者番号：10239402

研究成果の概要（和文）：空中に水をベースにした微粒子群を射出し、それによる光の拡散を利用して空間に表示物を作り上げる表示システムの実現を目標とした。このために、本研究では理論解析と実験により、この微粒子の光学特性と空中の分布の特性を調べた。更に三次元画像を空中に構築する実験を通して、表示システムの実現に必要な諸条件を調べるとともに、粒子を分散させた空間に画像データを周囲のプロジェクタからの投射により実現のための課題を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The target is realizing a volumetric display system in which a water based particles is diffused in a air and optical dispersion by the particle is used. The optical properties of the particles and diffusive characteristics of particles are analyzed and measured by the theoretical analysis and experimental process. The required condition for realizing display system is discussed and the problems for them are clarified by projecting images on particles from multiple projectors around the volume.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,900,000	3,000,000	900,000

## 研究分野：

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：表示、3次元

## 1. 研究開始当初の背景

眼鏡をかけて立体映像ディスプレイが再びブームとなり商品化されている。これは過去に提案された2眼式の表示方式がそのまま用いられて、ディスプレイデバイスが高品位になっただけであり、長時間観察時の不快感や疲労という課題がそのまま残されており本質的な進歩はない。これに対して究極の3次元ディスプレイは何もない空間中に3次元の画像を作り上げることとして期待されている。これに近い方法としてホログラフィーが期待されているが、技術的な敷居が非常に高く、動画表示ができる電子ディスプレイの一般化はまだ先が見えていない。理想的には何もない空間に3次元像が見える光分

布を作り出すことであるがこれは物理的に不可能である。近年、空中に輝点を作るために極強力なレーザー光で大気や液体をプラズマ化して発光させる方法が試みられてきた。しかし、この方法は強力なレーザーを使う危険性が高く、プラズマ化における小爆発による騒音などの問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、空中に光拡散性の微粒子を射出し、そこにプロジェクション方式ディスプレイで用いられるプロジェクタにより周囲から角度に応じた光を投射することにより、3次元画像を作り出そうというものである。厳密には全く何もない空間に画像を作り出

すわけではないが、現実的で安全な方法である。このために、スモークマシンなどに利用される無害な材料から作り出したスモークの微粒子を含む気体と、小形化・高性能化した噴霧技術で目的の方向に射出制御し、そこに投写する三次元動画のための投写画像の高速計算による生成など、現実的なレベルに近づいてきた。

### 3. 研究の方法

(1) 空中に射出するミクロンオーダーの微粒子を作る液体について、望ましい特性を元に材料を調べる。

(2) 霧を微粒子として用いる場合、霧を閉じこめるケースの表面に付着した曇りによる光学的な影響を評価する。

(3) (2)の課題の回避の可能性を検討する。

(4) 画像の投射には光の方向と角度を制御するためにレーザーが適しており、このときに生じるスペックリングについて評価する。

(5) 霧の光学特性の計算に必要な屈折率についてアップの屈折計での波長分散を測定する方法の確立を目指す。

(6) 透明粒子に光が入射した場合のシミュレーションを行う。

(7) 実際の投射を行う装置を組み上げて、表示の実験を通して評価を行う。

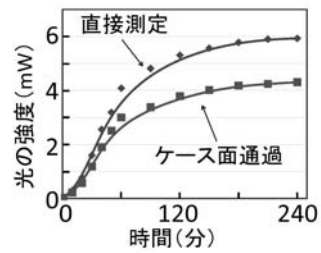
以上の結果をもとに、微粒子で構成されたぬ霧の制御と投射する光の制御を行い、霧への投射による3次元ディスプレイを構築する上で必要な理論と条件を求め、実験から課題を明らかにする。

### 4. 研究成果

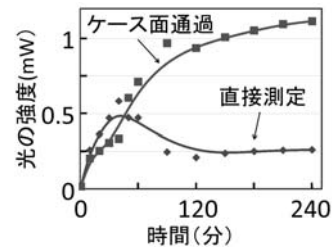
(1) 空中に射出する微粒子を形成するための液体について調査及び実験を行った結果、表面張力を下げることによって、粒子の安定化が可能で有ることが分かった。毒性、引火性、残留性などの問題がないように水にグリセリンを混入させた液体を用いて、統一した条件で実験を行うこととした。

(2) 微粒子として前述の液体を噴霧して、それを一定の場所に留める透明なアクリル製のケースを用いた。霧をスクリーンとして使用する時、霧の粒子により光の散乱現象が起こす。この霧は次の現象によって経時変化が生じることが知られている。

- ① 微粒子がケース内側や底に付着する
  - ② 粒子同士がぶつかることでひとつになり、ケース内に浮遊している霧の粒子量が減少し、これに伴い光学特性も変化する。
- ケースを通して測定した結果と、ケース面を通さずに直接測定した結果の経時変化を図1に示した。これより、時間と共に霧の特性が変化すること、ケース壁面へ霧が付着した霧による曇りによって生じる光学特性の変化は測定毎にばらつきが大きく、特性の制御に



(a)



(b)

図1 光の強度の経時変化の(a)平均値と(b)ばらつき

おいて無視できないことが示された。このことから、実用に際しては、壁面の曇りを抑制して、光学特性を一定にする必要のあることが示された。

(3) 曇りによる光学測定への影響を防ぐ手段として次の方法を検討した。

1. 霧がケース側面に付着しないように表面にエアカーテンを構成する。
2. 付着する表面を加温して曇りの発生を抑制する。
3. 壁面の表面張力を下げることにより、付着しても光学的影響を最小限に抑える。

この中で、実用性を考慮して、比較的容易に実施できる3.の方法を採用した。適切な界面活性剤の濃度を求めるために、ポリオキシエチレン脂肪酸メチルエステルを含む非イオン性界面活性剤 58%の薬剤を純水で希釈し、濃度の条件を変えた液体を塗布して比較した。この結果、図2に示すように10倍程度の希釈が適切であり、この実用上の課題は解決の方法があることを示した。

(4) 半導体レーザーを光源として用いる場合、位相の揃った光が、通過していく媒質の不均

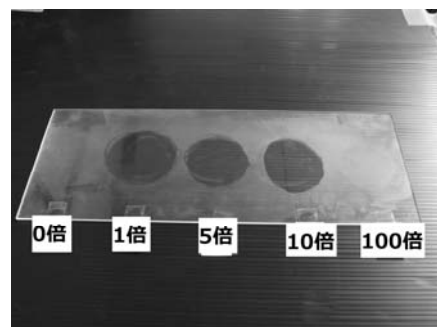


図2 濃度の違いによる影響

質な場による乱れや、微小物体によって散乱するなどの要因で、光のコヒーレント性によってスペックルノイズが生じる。これによる測定および表示への影響の評価のために、ノイズの大きさを定量化する手法の確立を試みた。投射像をデジタルカメラで撮影し、人間の眼で見た時と同じざらつき感が得られる条件を調べた。F値の設定を2段階に変えた上で、露出は同じになるようにシャッター速度で調節した。投射したレーザ光を移動して見た時に変化するノイズを取り出すために、移動前及び撮影位置を1mm動かした画像を各一枚、計二枚を撮影した。動いたノイズだけを取り出すために移動前後の画像の間で排他的論理和(XOR)処理を行い、その上で画像におけるノイズを定量化するために、ノイズを二値化して同レベルの続く領域を一個とし、領域の数を数える方法を考案した。これによりノイズの程度を表わせると考え、これを領域処理と名付けた。

人間の眼では、視覚的にざらつき感が近いのは絞りを絞った F7.5 の状態であった。更に図 3(a)に示されるように、グラフから F 値による移動前と XOR に減り幅の差はほぼ同じであった。これは、移動による固定ノイズの量は同程度で、この分が無くなったものと考えられる。

同図(b)より、F7.5 のほうが大きく、領域数の違いが明らかだった。これにより、移動ノイズが大きいことを定量的に示せることが示された。このことから、レーザ光を用いた投射の影響を定量化でき、スクリーンとしての有効性を評価する基礎を確立できた。

(5) 霧の光学特性の計算に必要な屈折率について一般の一波長用のアッペの屈折計を

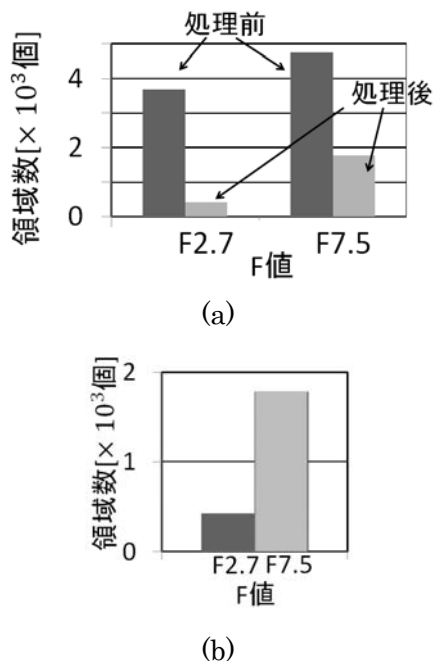


図3 濃度の違いによる影響(a) XOR

用いて波長分散を測定する解析法の確立を試みた。アッペの屈折計ではプリズムで臨界角を測定することによって屈折率を測定する。屈折計のプリズムは波長によって屈折率が変わるので、正しい波長分散を求めるために真値と実測値を比較し補正係数を求める必要がある。そこで、屈折率が既知の媒体を、入射光の波長を変化させて測定した。この結果と既知の値を比較して主プリズムの補正値を求めた。屈折率は一般にコーシーの分散式に従うが、直線で近似した結果、補正値は図 4(b)のようになり、この値を用いて正しい屈折率の波長分散を測定することができる。(6) 空中の透明粒子によって屈折、反射されるとき、波長分散により光の進行方向が異なると、光が分解される。今回はレーザ光源を想定して1波長の光が入射する条件で光路の計算を試みた。基本はスネルの法則に基づく屈折と表面の反射を基本とした幾何光学によって行った。水滴の半径で規格化した粒子の入射位置に対する光が、内部の反射により反射角 $\theta$ の変化を図5に示した。なお、粒子の屈折率として、水の屈折率  $n=1.3345$  を用いた。この極値から約 42 度に最大の光強度

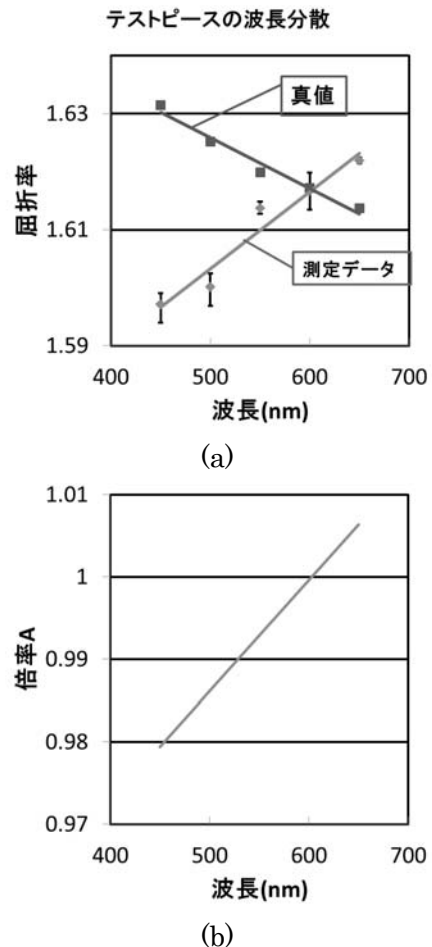


図4 (a)テストピースの波長分散と(b)主プリズムの補正値

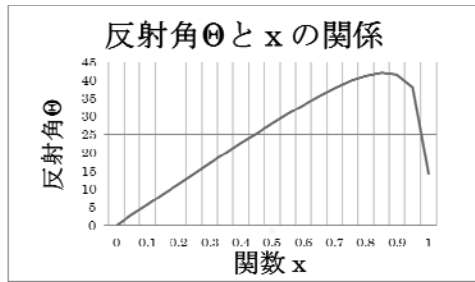


図 5 粒子半径で規格化した入射位置 2 に対する反射角

が得られる角度であることが導かれる。この特性を利用することによってプロジェクタ光の投射する角度を決めることができる。

(7) 画像の投射を行い、空間像の生成を試みるため 4 台のプロジェクタから各方向からの画像を入れて投射した。プロジェクタ画像では経路の光の散乱とレンズの結像が原因で、ぼやけた画像となり、4 方向では明確な立体として見ることは難しい。投射方向を増やすためにレーザー光源を増やして表示を試みた結果、曖昧であるが空中に点像ができたように見られた。散乱による投射までの経路の輝線が見れることと、ノイズが見られるため、改善の余地があることが示された。

以上、空中に微粒子を拡散させた系を用いて空間 3 次元表示型を表示させるための基礎として、微粒子の特性を把握すると共に、光学系の課題も明確となり、今後の進展の可能性を確認した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮下 哲哉 (MIYASHITA TETSUYA)

東北工業大学・工学部・教授

研究者番号： 1 0 2 3 9 4 0 2

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：