液晶を用いた光波制御デバイスの開発(Ⅱ)

安達雅浩^{*1}谷口友一^{*2}堀将季^{*3}東 聡志^{*4} 高濱健吾^{*5}渡辺國寛^{*6}森田貴彦^{*7}下村一郎^{*8} 米谷匡弘^{*8}粟辻安浩^{*9}河村希典^{*10}山下幹雄^{*11}

[要 旨]

液晶の電圧印加により生じる屈折率変化は、液晶を透過する光の位相を制御することが可能である ことから、電圧及びパターニングの最適化により、光の収束・拡大・偏向等の光波制御を実現した。 さらに、再帰反射ミラーとハーフミラーを組み合わせた空中ディスプレイ像の空間的制御が可能であ る結果が得られたので報告する。

1 はじめに

ヘッドマウントディスプレイや空間デジタルサ イネージなど、空中に浮遊したいわゆる「空中デ ィスプレイ」の静止画や映像は、今後新しいツー ルとして期待されており、その技術開発も盛んに なってきている。その中でも再帰反射ミラーとハ ーフミラーを組み合わせた方式では、容易に空中 ディスプレイを実現することが可能 Dである。一 方、液晶素子は、偏光子を組み合わせることで透

*1	応用技術課 主任研究員
* 2	応用技術課 技師
*3	応用技術課 主任研究員(現計量検
	定所)
*4	応用技術課 技師(現建設整備課)
* 5	高濱研究所
*6	マイクロシグナル株式会社
* 7	株式会社システムロード
*8	株式会社大日本科研
*9	京都工芸繊維大学
*10) 秋田大学
*11	京都光技術研究会

過する光を ON/OFF することが可能であるこ とからディスプレイに最も多く用いられている材 料である ²⁰が、位相制御された光はレンズのよう に収束・拡大したり、ミラーのように向きを変え たりすることが可能である。これは液晶が有する 電圧印加による屈折率変化が、光波には空間的・ 時間的な位相変化として機能するためである。³⁰ 我々のグループでは、紫外領域から近赤外領域ま での広帯域波長における位相制御が可能な空間位 相変調器 ⁴⁰を実現しており、そのようなシーズを 用いて、今回の研究開発においては、印加電圧や 電極のパターニングの最適化により、光の収束・ 拡大、偏向等の基礎的な実験を行い、そのような 液晶デバイスを用いて空中ディスプレイの像の空 間的制御が可能かどうかについて検証を行った。

2 実験結果

2. 1 液晶デバイスによる光波制御実験

液晶による光波制御機能の確認としては、偏向 機能と収束・拡大機能の2種類について基礎実験 を行った。偏向機能は、音響光学素子をモデルと して表面弾性波によって生じる粗密屈折率パター ンのような櫛歯状 ITO 電極を配置した。⁵ (図1) 透明電極であるため写真(図2)では視認できな いが、5 μ m ギャップに 97 μ m の ITO 電極が 配置されている。図1において入射光は電圧制御 された櫛歯状 ITO 電極を通過することで、角度変 化が生じ、 θ の方向に偏向すると仮定した。



図2 櫛歯状 ITO 電極

櫛歯状 ITO 電極による偏向実験の測定系を図 3、スクリーンに照射した半導体レーザー(LD) のスポット像の状態を図4、電圧印加パターンと そのビーム変化を図5、図6に示す。









電圧は±7.5 V (peak to peak 15V) を、分解 能 8 bit (256 諧調)、LDのビーム径が 5 mm に対 して、櫛歯状 ITO 電極 97 µm-5 µmのラインアン ドスペースを 50 ピクセル分が凸型の電圧変化と なるような印加パターンを行ったところ、図 5の 写真のとおり円形状スポットに縦筋が入ったよう なスポットに変化している。同様に印加パターン を逆に凸型にしたところ、さらにはっきりと縦筋 が現れており、同じ印加電圧でも印加パターンに よって偏向に最適な制御条件があることがわかる。 次に収束・拡大機能について、図7のようなパ ターニングを行い、図8の測定系にて実験を行っ た。



図7 円形電極による収束・拡大機能モデルとLD スポットの照射状態



図8 収束·拡大機能測定系



図9 電圧 OFF



図10 電圧0N

収束・拡大機能モデル(液晶レンズ)は、約1.5m で収束することが確かめられたことから、その距 離で液晶レンズとスクリーンを配置し、スクリー ンに当たったスポット変化を図9、図10に示す。 電圧を0Nにしたときに、中心部分の明るいスポ ット径が小さくなり、ビームが収束していること が確認された。電圧を OFF にすると元のスポット 径に戻り、ON/OFF で収束・拡大を制御すること が可能であることがわかる。

このように櫛歯では偏向機能を、円形パターン ではレンズ機能を付加することが可能であること が確認された。ただ、動作時間はフルスケール電 圧にしても、3~5秒程度かかり、若干タイムラ グがあるような動作となることがわかった。

2.2 空中ディスプレイ動作実験

空中ディスプレイ像の投影は、図11のイメー ジように再帰反射ミラーとハーフミラーを組み合 わせた光学系を構築する。



図11 空中ディスプレイ光学系

実像は、ハーフミラーで下方に反射され、さら に再帰反射ミラーで反射される。その反射像をハ ーフミラー越しに観察すると空中に浮遊したよう に見える。言い換えると再帰反射ミラー上に実像 が転写された像を観察していることとなるが、こ の像を両目で見たときに視差により立体的に見え ることがこの光学系の目的である。このとき実像 をハーフミラーに対して前後に動かすことで空 中浮遊像も上下に移動することから、可動部分に 液晶デバイスを挿入し、空間的に位置が変化する ように動作させることで空中浮遊像をコントロー ルできるかどうかについて検証する実験系が図 12 となる。



図 12 液晶デバイスを挿入した空中ディスプレ イ光学系

空中浮遊像の拡大・縮小について、図13の光学 系を構築し、液晶レンズの0N/0FFによるスポット 径の変化を観察した結果を図14、図15に示す。



図13 空中浮遊像拡大·縮小光学系



図 14 液晶レンズ OFF 時



図15 液晶レンズON時

図 15 において、液晶レンズを 0N にしたときに スポットが縮小しており、単一レンズ径における 像の拡大・縮小が機能していることが確認された。 さらに図 16 のとおり、レンズペアの結像光学系を 構築し、液晶レンズを 0N/0FF したときのスポッ ト変化を図 17、図 18 に示す。







図17 液晶レンズ OFF 時



図18 液晶レンズON時

図 18 において、液晶レンズを ON したときには 焦点距離が移動したことが確認された。

このようなことから空中ディスプレイの光学系 に液晶レンズを挿入したところ、電気的な制御で 空中浮遊した像を拡大・縮小したり、焦点距離を 可変することが可能であることが示された。実際 の空中浮遊している像(光)を触っている状態を 図 19 に示す。



図19 空中浮遊像を触った状態

3 まとめ

液晶を用いた光波制御デバイスとして、偏向機 能及び収束・拡大機能について、電圧印加及び電 極のパターニングの最適化により実現することが できた。また収束・拡大機能を有した液晶レンズ を空中ディスプレイ光学系に組み込み、電気的な コントロールにより空中浮遊像の空間的変化が可 能であることを示した。ただ、液晶の屈折率変化 はセルの厚みに依存するため、動作スピードが求 められるアプリケーションには不適であり、現在 であれば数秒程度でも許容できる用途が望ましい。

(参考文献)

- 吉田匠ほか: "再帰性投影技術を用いた実空 間重畳型多視点立体ディスプレイ RePro3Dの 開発"、映像情報メディア学会誌 Vol. 66, No4(2012)
- 吉野勝美、尾崎雅則 共著: "液晶とディス プレイ応用の基礎"、コロナ社(1994年)
- 河村希典: "高性能・大開口径液晶レンズと その応用"、新技術説明会、科学技術振興機 構
- 4)安達雅浩ほか: "液晶を用いた光波制御デバ イスの開発"、京都府中小企業技術センター 技報(2016年)
- 5) 西原浩、春名正光、栖原敏明 共著: "光集 積回路"、オーム社(1993年)