液晶光シャッタを用いた新しい照明装置

正会員 藤 掛 英 夫^{†1}, 滝 沢 國 治^{†1}, 正会員 藤 井 孝 憲^{†1},
正会員 平 林 常 広^{†2}, 正会員 平 片 賢 一^{†2}, 正会員 田 中 君 明^{†3},
高 田 憲 作^{†4}, 高 野 悟^{†4}, 柏 木 亨^{†4}

Novel Luminaire Using a Liquid Crystal Light Shutter

Hideo Fujikake^{†1}, Kuniharu Takizawa^{†1}, Takanori Fujii^{†1}, Tsunehiro Hirabayashi^{†2},
Kenichi Hirakata^{†2}, Yoshiaki Tanaka^{†3}, Kensaku Takata^{†4}, Satoshi Takano^{†4},
and Tohru Kashiwagi^{†4}

Abstract A compact luminaire consisting of a 270-W metal halide lamp and a new light shutter using a composite film of liquid crystal and polymer, which can operate in the wide range from room temperature to more than 100°C, has been developed for TV-lighting. The illuminance can be controlled approximately from 100 lux to 10 000 lux by the voltage applied to the light shutter. The high-speed response (3 ms) of the light shutter allows a stroboscopic lighting effect to be obtained by applying a pulsed voltage. A new lighting effect is also achieved by modulating the high-intensity light by electrical sound signal. This compact lighting system will be useful for various applications such as TV or movie locations, stages, and outdoor exhibitions.

1. ま え が き

映像撮影や舞台などの照明演出の高度化に伴い、照明装置の高機能化が望まれている。特にテレビ撮影では、多様な番組演出に様々な照明効果が駆使されるため、高輝度照明装置の機能向上が急務とされている。

メタルハライドランプやキセノンランプなどの高出

力放電灯(数百 W～数 kW)は、高い発光効率と良好な演色性を有し、ロケーション撮影やハイビジョン撮影に好適であるが、次の課題を抱えている。

- ① 放電を維持するために、放電電圧を大幅に変えることができず、光量の制御が困難である。
- ② 点灯直後の輝度や色温度が安定せず、しかも消灯後の再点灯に時間を要するなど、操作性や運用

キーワード：照明装置、液晶光シャッタ、液晶・高分子複合膜

1993 年 1 月 21 日受付, 1993 年 6 月 3 日再受付

†1 NHK 放送技術研究所(〒157 東京都世田谷区砧 1-10-11, TEL 03-5494-2396)

†2 NHK 放送技術局(〒150-01 東京都渋谷区神南 2-2-1, TEL 03-5478-4760)

†3 NHK 技術局(〒150-01 東京都渋谷区神南 2-2-1, TEL 03-5478-5307)

†4 住友電気工業株式会社 大阪研究所(〒554 大阪市此花区島屋 1-1-3, TEL 06-466-5637)

†1 NHK Science & Technical Research Laboratories(1-10-11, Kinuta, Setagaya Ku, Tokyo 157, Japan)

†2 NHK Broadcast Engineering Department(2-2-1, Jinnan, Shibuya Ku, Tokyo 150-01, Japan)

†3 NHK Engineering Administration Department(2-2-1, Jinnan, Shibuya Ku, Tokyo 150-01, Japan)

†4 Osaka Research Laboratories, Sumitomo Electric Industries, Ltd (1-3, Shimaya 1-chome, Konohana Ku, Osaka 554, Japan)

性が劣る。

そのため、放電灯の光制御には発光源の輝度を制御するのではなく、金属性のブラインドまたはアパーチャを用いて光束を制限する方式が採用されている。しかし、こうした機械式光シャッターは、動作速度が遅い、動作音が発生する、簡便性が劣るなどの難点を有し、その用途は極めて限られている。そのため、高輝度放電灯を活用するには、強力な照明光を自在に制御できる新しい光シャッターが必要とされる。

一方、ディスプレイとして発展してきた液晶素子は、低電圧で透過光を制御できる利点をもつが、従来の TN 液晶素子(Twisted Nematic Liquid Crystal)は、次の問題を有している。

- ① 偏光板が必要なため、無偏波光に対して透過率が低い (35%以下)。
- ② 偏光板が光を吸収して発熱・劣化するため、高輝度な光を制御できない。
- ③ 大面積の光シャッターの製作が困難である。

それに対して、近年開発された液晶・高分子複合膜^{1)~3)}(Composite Film of Liquid Crystal and Polymer)は、固相の高分子中にネマティック液晶を保持し、光散乱効果により無偏波光を強度変調する機能をもつため、透過率が高い、耐光性が高い、大面積化が容易などの特長を有する。そのため、現在、投写型ディスプレイなどへの応用が期待されている^{4)~6)}。

我々はその優れた耐光性に着目し、液晶・高分子複合膜を用いた照明装置を考案し、開発を進めている。この照明装置を実現するには、従来の素子⁷⁾に比べて耐熱性が高く、高温の灯体内に組み込める液晶・高分子複合膜が必要である。そこで、我々はマネティック・アイソトロピック相転移温度が極めて高い液晶材料と耐熱樹脂を用いることにより、100°C以上の高温でも安定に動作する液晶光シャッターを開発した⁸⁾。さらに、この液晶光シャッターと 270 W の高輝度メタルハライドランプを一体化することにより、被写体照度を高速かつ広範囲に制御できるコンパクトな照明装置を初めて試作した⁹⁾。

本論文では、液晶光シャッターを用いた新しい照明装置の動作原理および基本特性を詳述すると共に、ストロボ照明効果、音声による光強度の連動など、高速性を生かした特殊効果照明や、散乱光を用いた照明効果について述べる。

2. 液晶光シャッター

2.1 構成と動作原理

液晶光シャッターは、図 1(a)に示すように、海绵状

(もしくは小滴状)のネマティック液晶を含有する高分子膜(16 μm 厚)と、透明電極 ITO($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$)が付着した 2 枚のガラス基板で構成される。

液晶光シャッターの動作原理は、以下に示す通りである。図 1(a)に示すように、ITO 間に電圧が印加されていない場合、液晶分子の配列方向(配向)は、高分子界面からの規制力を受けて不規則である。光シャッターに入射した光は、液晶と高分子の屈折率の不整合や、配向の屈曲・不連続により、複合膜内で強く散乱される。この時、液晶光シャッターは曇ガラスのように白濁し、不透明である(オフ状態)。

一方、図 1(b)に示すように、充分大きな交流電圧が液晶光シャッターに印加された場合、正の誘電率異方性 $\Delta\epsilon$ (= 分子軸に平行な方向の比誘電率 $\epsilon_{\parallel}$ - 垂直な方向の比誘電率 $\epsilon_{\perp}$) をもつ液晶分子は、電界に平行に再配列し、ホメオトロピック配向を形成する。あらかじめ、液晶の常光屈折率 n_o を、高分子の屈折率 n_P に近似してあるため屈折率の不整合が解消し、入射光はそのまま透過して直進光となる。この時、液晶光シャッターは透明に変化する(オン状態)。

上記の光変調動作を得るためには、液晶の常光屈折率 n_o 、異常光屈折率 n_e および高分子の屈折率 n_P を、以下の式を満足するように定めなければならない。

$$n_P \approx n_o < n_e \quad (1)$$

この場合、使用される液晶の屈折率異方性 $\Delta n (= n_e - n_o)$ が大きいほど強い光散乱効果が得られる。

2.2 液晶光シャッターの作製

液晶光シャッターの作製においては、大面積化に有利な溶媒蒸発法⁹⁾を適用した。実際の作製方法は次の通りである。最初に、図 2 に示すように高分子とネマティック液晶を、共通の溶媒に溶解した後、スピコート法またはバーコート法により、ITO 膜上に塗布する。次に、溶媒を蒸発させることにより、ネマティ

図 1 液晶光シャッターの動作原理
Operating principle of the liquid crystal light shutter.

ック液晶を折出・凝集させる。その結果として、液晶と高分子は相分離状態になる。

この際、液晶含有率を高くすることにより、複雑な海綿状の高分子を生成することができる。その結果、乱れた液晶配向が誘発され、液晶内部の光散乱も効果的に利用することが可能になる。しかし、液晶含有率が高過ぎると複合膜が柔軟になり、均一な塗布が困難になる。ここでは、光散乱効果と成膜の均一性を考慮し、液晶と高分子の重量配合比を7:3に定めた。

なお、強い光散乱効果を得るためには、液晶分散体の大きさを波長オーダーに制御しなければならない。本方式では、溶媒の蒸発速度を変えることにより分散体の大きさを制御することができる。例えば、基板を加熱した場合、微細な液晶分散体が生成される。すなわち、基板温度の制御により分散構造を最適化し、高い消光比を得ることが可能である。

最後に、もう一方のガラス基板を圧着する。本方式では、2枚の基板が固相の高分子により支持されるため、液晶光シャッタの大面积化が極めて容易である。また、このような方法で生成される液晶・高分子複合膜は、光重合相分離法¹⁰⁾で不可欠な光重合開始剤を含まないため、可視光照射に対して化学的に安定であり、紫外線による劣化も比較的少ない。

ここでは、液晶光シャッタの耐熱性を向上するために、ネマティック・アイソトロピック相転移温度(157°C)が極めて高い多環系ネマティック液晶(主成分はシアノターフェニル系化合物¹¹⁾)を採用した。なお、この多環系液晶は、分子量が大きくオーダーパラメータ¹²⁾が高いため、屈折率異方性 $\Delta n(n_o=1.521, n_e=1.773)$ や誘電率異方性 $\Delta\epsilon(\epsilon_{\perp}=4.2, \epsilon_{\parallel}=16.7)$ が大きいという利点も有する。一方、本素子の透明高分子とし

て、架橋されて150°Cでも弾性を保つアクリル系共重合体(屈折率 $n_p=1.48$, 比誘電率7.5)を用いた。

2.3 電気光学特性

高輝度な照明光を変調するには、可視光の吸収に伴う発熱を防止し、耐光性を向上させることが最も重要である。液晶・高分子複合膜では偏光板が不要なため、可視全域の無偏波光に対する最大透過率がTN液晶素子の約35%に比べて大幅に改善する。

液晶光シャッタの動作を把握するために、最初に透過率の波長依存性を測定した。ここでは、波長 λ が457.9 nmのArレーザ、514.5 nmのArレーザ、および632.8 nmのHe-Neレーザからの単色平行光を、それぞれ液晶光シャッタに入射し、散乱角 θ (光軸と散乱光のなす角度) が3°以内の光を透過光として識別・検出した。すなわち、図3に示すように、レンズとアパーチャからなるシュリーレン光学系により、6°の受光角(=2 θ)を設けて、液晶光シャッタからの光強度を実測した。

図4は、室温の液晶光シャッタに交流電圧(周波数1 kHzの矩形波)を印加した場合の透過率である。同

図3 液晶光シャッタの光変調特性の測定光学系
Optical system for measurements of electro-optic property of the liquid crystal light shutter.

図2 液晶光シャッタの作製
Fabrication of the liquid crystal light shutter.

図4 様々な波長における液晶光シャッタの透過率の印加電圧依存性

Dependence of transmittance of the liquid crystal light shutter on applied voltage for lights of different wavelength.

図では、長波長光の透過率が短波長光に比べて高く、若干の波長依存性が生じている。これは、長波長光が微小な液晶分散体による散乱を受けにくいと考えられる。しかし、いずれの波長においても、700:1以上の高い消光比(= オン状態の透過率: オフ状態の透過率)と、65%以上の最大透過率(オン状態の透過率)が得られている。測定された透過率には、ガラス基板やITO 透明電極での反射損失が含まれるため、基板を無反射処理することにより、さらに最大透過率を高めることも可能である。

なお、最適な受光角は光散乱効果に依存し、複合膜固有のものである。受光角を 6° よりも大きくした場合、最大透過率はほぼ一定で、オフ状態の透過率が増大する。一方、 6° よりも小さくすると、最大透過率が減少する。したがって、本素子を用いて高消光比を得るには、 6° の受光角が最適といえる。

図5は、Xe ランプからの白色平行光(波長は400~690 nm)を用いて、電気光学特性を測定した結

図5 白色光に対する液晶光シャッタの透過率の印加電圧依存性

Dependence of transmittance of the liquid crystal light shutter on applied voltage for white light.

図6 様々な温度における液晶光シャッタの透過率の印加電圧依存性

Dependence of transmittance of the liquid crystal light shutter on applied voltage for several operation temperatures.

果である。同図では、70%を超える最大透過率と、500:1の消光比が達成されている。なお、本実験において、中間調の透過光が赤色化し、色温度が低下する現象が認められた。これは、中間調において短波長光の透過率が、長波長光に比べて相対的に低下するためである(図4参照)。この色温度変化を改善するには、分散構造や駆動方法の検討を含めた議論が必要と考えられる。

実際の高出力放電灯からの照明光には、可視光以外に赤外線(特に近赤外線)や紫外線が多く含まれ、それらを基板や複合膜が吸収するため、液晶光シャッタ自身が発熱する。さらに、高温の灯体からの熱伝導で加熱されるため、液晶光シャッタには耐熱性が必要とされる。

図6は、電気ヒータで加熱した液晶光シャッタに、Xe ランプからの単色光(中心波長 600 nm)を入射した場合の電気光学特性である。同図では、 130°C の高温環境でも光変調動作が可能であることが示されている。なお、高温では液晶の粘度や弾性定数が減少するため、液晶光シャッタの閾値電圧が低下する。さらに、温度上昇と共にオフ状態の透過率が増加するため、消光比が低下する。これは液晶分子の熱運動により、液晶のオーダーパラメータが減少し、光散乱に寄与する屈折率異方性が低下するためと考えられる。

上記のように高温環境では消光比が低下するため、動作温度を考慮した素子設計が必要である。すなわち、動作温度の増加に応じて複合膜を厚膜化し、光散乱効果を高めなければならない。なお、経時変化については、 100°C 、500 時間の耐熱試験後も、特性劣化が認められておらず、実用的な高温耐久性が確保されている。

液晶・高分子複合膜では、ネマティック液晶が狭い

写真1 液晶光シャッタの電圧パルス応答
Electro-optic response of the liquid crystal light shutter to applied voltage pulse.

領域に封じ込められて、高分子界面からのアンカリング効果¹²⁾が大きいため、高速な立下がり動作が得られる。写真1は、交流電圧(70 V_{rms}, 周波数 500 Hz)のパルスを液晶光シャッターに印加し、室温での応答時間を測定した結果である。立上がり時間(透過率 0%~90%), および立下がり時間(100%~10%)は共に 3 ms であり, TN 液晶素子の約 10 倍の高速応答が得られている。なお, 液晶光シャッターが加熱された場合, 液晶の粘度が減少するため, さらに高速な光変調動作が期待できる。

3. 液晶照明装置

3.1 灯体の構成

高い耐熱性をもつ液晶光シャッターの実現により, 灯体温度が 100°C 以上に達する照明装置との一体化が初めて可能になった。ただし, 本方式では光散乱効果を利用するため, 以下に示すような光学的な配慮が必要である。

高い消光比を得るには, 液晶光シャッターに平行光を垂直入射することが望ましい(図3参照)。しかし, 実際に液晶光シャッターを照明光源に組み込む場合, 様々な角度の光が液晶光シャッターに入射する。その際, 散乱光により消光比が低下するが, 液晶・高分子複合膜は, 従来の TN 液晶に比べ広い視角特性¹³⁾をもつため, 実用的な消光比を確保することが可能である。

ただしその場合, フレネルレンズを用いて, 光源からの放射光をコリメートする必要がある。さらに, 反射鏡を組合せて, 後方への光も平行光として前方に放射し, 液晶光シャッターの性能を十分に引き出すことが重要である。

我々は, 実際の照明灯体に組込むために, 大型の液晶光シャッター(写真2参照, 有効口径 200 mm)を作製した。さらに上記の光学的な設計指針を考慮し, 図7に示すように, メタルハライドランプ(270 W, オスラム社)を用いたスポットライト(ザハトラ社ディレクター 270 D, 照度半値角は 6°)と, 液晶光シャッターを一体化することにより, 光制御機能を有する液晶照明装置(写真3参照)を試作した。

ここでは, 装置をコンパクト化するために, 液晶光シャッターをフレネルレンズ(口径 130 mm)に可能な限り近づけ(光シャッターとレンズの距離は 60 mm), その間に赤外線と紫外線を除去する光学フィルタ(口径 150 mm)を挿入した。

この光学フィルタは, 誘電体多層膜が両面に積層された 3 枚の耐熱ガラス(テンボックス)で構成され, 図8に示すように, 可視光に対して高い透過率(約

写真2 液晶光シャッターの外観
Appearance of the liquid crystal light shutter.

図7 照明装置の構造
Schematic diagram of the liquid crystal luminaire.

写真3 液晶照明装置の外観
Appearance of the liquid crystal luminaire.

80%)を有すると共に, 大部分の不可視光を反射・除去する。また, 光学フィルタは灯体からの対流による熱伝導を遮断し, 液晶光シャッターを保護する役割を担

図 8 光学フィルタの透過分光特性
Transmission spectra of the optical filter.

うため、200°C以上の耐熱性を備えている。なお、液晶光シャッタと光学フィルタを支持する灯体には、多数の小穴により放熱設計が施されている。

このフィルタの最も大きな特徴は、広帯域に及ぶ赤外線除去能力にあり、それにより液晶光シャッタの温度上昇を大幅に軽減することが可能である。今回、照明装置の連続点灯試験(気温は25°C程度)において、液晶光シャッタの表面温度を50°Cに留めることができた。したがって、さらに高出力で実用的な1kW以上の放電灯に適用することも可能と考えられる。

なお、本装置では光源としてデイルイト用放電灯(スペクトルが太陽光に近く、色温度は約5600K)を採用しているため、屋外光を取り入れた撮影(例えば、オープスタジオ、エントランスホール)にも使用可能であり、幅広い用途が考えられる。

3.2 基本動作

試作した液晶照明装置は、液晶光シャッタと灯体がコンパクトに一体化されているため、通常の照明器具と同様に取扱うことが可能である。

本装置の基本的な動作特性を評価するために、照射光軸上の照度を測定した。図9に液晶光シャッタへの印加電圧と照度の関係を示す。印加電圧を変えることにより、2mの距離における照度を100 lxから10 000 lxまで、広範囲かつ連続的に制御できることがわかる。また、測定距離を変えても、同様に高い消光比が得られることから、本照明装置はテレビ撮影で最低限必要とされる30:1の消光比を十分に満足し、高い実用性を有していることがわかる。なお、300時間以上の点灯試験後も、光変調特性の劣化は認められておらず、長時間の安定動作が期待できる。

液晶照明装置では、光散乱効果を利用して照度を制御するため、液晶光シャッタの動作状態により配光特性が異なる。そのため、多数の液晶照明装置を局所照明(スポットライトなど)として同時に使用する場合、大きく広がる散乱光により、互いの消光比が低下する

図 9 液晶照明装置の照度の印加電圧依存性
Dependence of illuminance from the liquid crystal luminaire on applied voltage.

可能性がある。今後、散乱光を適度に制御できるアパーチャを設けるなど、光学系の改良が必要と考えられる。

3.3 照明効果への応用

ハロゲンランプ(白熱灯)の輝度を制御する調光システムは、現在のスタジオ照明の主流をなすが、応答が遅く、高速性を要する照明演出に適さない。また、機械式光シャッタも動作速度に難点を抱える。それに対して液晶照明装置は、高速動作を特徴とし、様々な照明演出に有効である。

ここでは、ストロボ照明効果を得るために、液晶光シャッタに周期的な交流電圧パルスを印加し、間欠的なフラッシュライトを実現した。写真4(a), (b)および(c)は、周期 T がそれぞれ350 ms, 200 ms および100 msの交流電圧パルス(振幅80 V_{rms}, 10 ms幅, 周波数1 kHzの矩形波)を液晶光シャッタに印加し、左から右に移動する1つの被写体(人形)を多重撮影した結果である。ブレが少なく高コントラストなストロボ映像が得られていることがわかる。このようなストロボ照明効果は、動体の観測実験だけでなく、様々な番組での特殊効果にも応用が可能である。

また、液晶光シャッタはミリ秒単位の高速応答をもつため、音声信号による照明光の変調が可能である。ここでは、図10に示すような駆動装置を構成することにより、音と光の連動装置を試作した。同装置では、マイクまたは音声テープ再生機(効果音)からの音声電気信号が、電圧増幅された後、液晶光シャッタに直接印加される。動作例として、人の発声音を入力した場合の光強度の変化を写真5に示す。交流の音声信

(a) $T=350\text{ms}$

(b) $T=200\text{ms}$

(c) $T=100\text{ms}$

写真 4 液晶照明装置を用いたストロボ照明効果
Stroboscopic lighting effect with the liquid crystal luminaire.

号により、光強度が変調されていることがわかる。

このような音声と照明光の連動効果は、雷鳴などの効果音に合わせて雷光をリアルに演出したり、電車などの移動体の通過を照明効果で表現するシーンの撮影に有効である。また、音楽番組などで楽器音に合わせて、セットの一部または背景の明るさや色を瞬時に変える新しい照明演出にも応用可能である。

液晶照明装置は、光シャッターがオン状態の場合、スポットライト本体の機能を発揮する。一方、オフ状態では、液晶光シャッターが2次的な面光源として働き、フラッドライトと同等の配光状態を示す。したがっ

図 10 音声信号に同期して動作する液晶照明装置の構成

Block diagram of the liquid crystal luminaire operating synchronously with sound signal.

写真 5 音声信号駆動による液晶照明装置の光強度変化
Electro-optic response of the liquid crystal luminaire to the sound signal.

て、大面積の液晶光シャッターを用いれば、1台の液晶照明装置を多目的に使用することが可能である。そのため、液晶照明装置は特にロケーション機材の簡素化に効果的である。

また、液晶照明装置を用いれば、散乱光強度を連続的に制御できるため、影の柔らかさを自在に変えることができる。それにより、被写体の質感や人物の表情を繊細かつ動的に演出することも可能となろう。今後、液晶照明装置は散乱光を積極的に用いる照明演出においても、重要な役割を担うものと考えられる。

4. む す び

高速、高消光比で耐熱性を有する液晶光シャッターを灯体内に組み込むことにより、光制御機能を有する高輝度照明装置を開発し、その応用例としてストロボ照明効果や、音と光の連動効果を実現した。液晶光シャッターは、その優れた機能性と操作性から、高輝度光源としての放電灯の用途を飛躍的に広げる可能性がある。すなわち、本照明装置はテレビ撮影に限らず、映

画・写真などの撮影照明、演劇やホールなどの舞台照明、野外の建造物のライトアップなど、広範囲な分野に应用が可能である。

今後、さらに機能性を高めるため、アパーチャを用いて配光特性の制御を図ると共に、光源を大型化する予定である。なお、今回の液晶光シャッタには、中間調で色温度が変動する問題がある。色温度の課題¹⁴⁾についても、改善の方策を検討したい。

〔参 考 文 献〕

- 1) J. L. Fergason: "Polymer Encapsulated Nematic Liquid Crystals for Display and Light Control Applications", Proc. SID., **16**, pp. 68-70 (May 1985)
- 2) J. W. Doane, N. A. Vaz, B. G. Wu and S. Zumer: "Field Controlled Light Scattering from Nematic Microdroplets", Appl. Phys. Lett., **48**, 4, pp. 269-271 (1986)
- 3) T. Kajiyama, A. Miyamoto, H. Kikuchi and Y. Morimura: "Aggregation States and Electro-Optical Properties Based on Light Scattering of Polymer/(Liquid Crystal) Composite Films", Chem. Lett., **1989**, pp. 813-816 (1989)
- 4) K. Takizawa, H. Kikuchi, H. Fujikake and M. Okada: "Transmission Mode Spatial Light Modulator Using a Bi₁₂SiO₂₀ Crystal and Polymer-Dispersed Liquid-Crystal Layers", Appl. Phys. Lett., **56**, 11, pp. 999-1001 (Mar. 1990)
- 5) K. Takizawa, H. Kikuchi, H. Fujikake and M. Okada: "Polymer-Dispersed Liquid-Crystal Light Valves for Projection Displays", Proc. SID., **22**, pp. 250-253 (May 1991)
- 6) M. Kunigita, Y. Hirai, Y. Ooi, S. Niiyama, T. Asakawa, K. Masumo, H. Kumai, M. Yuki and T. Gunjima: "A Full-Color Projection TV Using LC/Polymer Composite Light Valves", Proc. SID., **21**, pp. 227-230 (May 1990)
- 7) N. A. Vaz, G. W. Smith, G. P. Montgomery, Jr.: "Polymer-Dispersed Liquid Crystal Films Formed by E-Beam Cure", SPIE, **1257**, pp. 9-16 (1990)
- 8) 藤掛, 滝沢, 藤井, 高田, 高野, 柏木, 平林, 平片, 田中: "高輝度照明用の高耐熱性液晶変調素子", 第40回応物春季予稿集, 29pZK12 (Mar. 1993)
- 9) 田中, 平林, 平片, 滝沢, 藤掛, 藤井, 高田, 高野, 柏木: "液晶光シャッタを用いたTV照明装置", テレビ学会放送現業研資, BFO93-3, 13 (Jan. 1993)
- 10) N. A. Vaz, G. W. Smith and G. P. Montgomery, Jr.: "A Light Control Film Composed of Liquid Crystal Droplets Dispersed in a UV-Curable Polymer", Liq. Cryst., **146**, pp. 1-15 (1987)
- 11) D. Coater, S. Greenfield, I. C. Sage, G. Smith: "Liquid Crystal Mixtures for Polymer Matrix Displays", SPIE, **1257**, pp. 37-45 (1990)
- 12) B. G. Wu, J. H. Erdmann and J. W. Doane: "Response Times and Voltages for PDLC Light Shutters", Liquid Crystals, **5**, 5, pp. 1453-1465 (1989)
- 13) B. G. Wu, J. L. West and J. W. Doane: "Angular Discrimination of Light Transmission through Polymer-Dispersed Liquid-Crystal Films", J. Appl. Phys., **62**, 9, pp. 3925-3931 (Nov. 1989)
- 14) 藤井, 滝沢, 藤掛, 高田, 高野, 柏木, 平林, 平片, 田中, 北, 田村, 浅川: "照明用液晶光変調素子の色温度特性", 第40回応物春季予稿集, 29pZK13 (Mar. 1993)

ふしかけ ひでお
藤掛 英夫 昭和60年, 東北大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, NHKに入局。同長野放送局を経て, 昭和63年, 同放送技術研究所に勤務。以来, 液晶光変調素子, 光書込み型空間光変調素子, 投写型ディスプレイの研究に従事。現在, 同所先端素子研究部に所属。正会員。

たきざわ くにはる
滝沢 國治 昭和43年, 東北大学工学部電子工学科卒業。同年, NHKに入局。同技術運用部を経て, 昭和49年より, 同放送科学基礎研究所物性研究部に勤務。以来, 導波路形光デバイス, 空間光変調素子などの研究に従事。現在, 同放送技術研究所先端素子研究部主任研究員。工学博士。

ふじわら たかのり
藤井 孝憲 平成元年, 熊本大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年, NHKに入局。熊本放送局を経て, 平成4年より, 同放送技術研究所に勤務。以来, 液晶光変調素子の研究に従事。現在, 同所先端素子研究部に所属。正会員。

ひらばやし つねひろ
平林 常広 昭和44年, NHKに入局。昭和50年, 工学院大学電気工学科卒業。本報にて番組制作技術に従事。昭和51年より, 松山放送局にて番組制作, 昭和57年より, 再び本報制作技術にてドラマを中心に照明を担当しつつ各種現場設備の開発に従事。正会員。

ひらかた けんいち
平片 賢一 昭和62年, 千代田工芸芸術専門学校電子通信研究科卒業。同年, NHKに入局。同放送技術研究所を経て, 平成3年より, 同放送技術局制作技術センター映像技術に勤務し, 液晶光シャッタの開発に従事。正会員。

たなか よしあき
田中 君明 昭和62年, 大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, NHKに入局。高松放送局を経て, 平成4年より, 技術局技術開発センターに勤務。スタジオ照明設備, 編集設備の計画, 整備および開発に従事。正会員。

たかた けんそく
高田 憲作 昭和62年, 大阪大学工学部精密工学科卒業。平成元年, 同大学院博士前期課程修了。同年, 住友電気工業(株)に入社。高分子分散型液晶材料の開発に携わる。現在, 同社大阪研究所に勤務。

たかの さとし
高野 悟 昭和47年, 京都大学工学部工業化学科卒業。49年, 同大学院修士課程修了。同年, 住友電気工業(株)に入社。平成4年より, 高分子分散型液晶, 高分子液晶の開発に携わる。現在, 同社大阪研究所主任研究員。

かしわぎ とおる
柏木 亨 昭和55年, 大阪大学工学部応用化学科卒業。昭和57年, 同大学院博士前期課程修了。同年, 住友電気工業(株)に入社。平成元年より, 高分子分散型液晶, 高分子液晶材料の開発に携わる。現在, 同社大阪研究所に勤務。