偏向コーナークューブD-CCRを用いた高指向性を有するプロジェクションスクリーン

Directional Projection Screen using Diverted Corner Cube D-CCR Array

大寺 亮介[†], カランタル・カリル^{††}, 正会員 若生 一 広[†], 正会員 内田 龍男[†]
Ryosuke Ohtera[†], K. Kälantär^{††}, Kazuhiro Wako[†] and Tatsuo Uchida[†]

あらまし 個人用、小規模会議でのプロジェクタ投影や自動車のピラーへの投影用途などに、指向性投影スクリーンを考案・開発した。スクリーン指向特性は、プロジェクタの方向から θ_{view} ずれた方向を中心とし、 $\pm\Delta\theta_{view}$ 拡散反射させるものである。例えば自動車ピラーに応用すれば、運転者から少しずれた位置にプロジェクタを設置することによって、運転者の顔を中心としてその近傍のある範囲に反射映像光を戻すことができる。このような特性を実現するために、中空再帰反射コーナークューブを改良した。すなわち、反射光を再帰反射方向から θ_{view} 方向偏向させるために、CCRの底面を $\theta_{view}/2$ 傾斜させ、 $\pm\Delta\theta_{view}$ 拡散をさせるために面内接線角を $-\Delta\theta_{view}/2 \sim +\Delta\theta_{view}/2$ として曲面化した。この偏向CCRをD-CCRと呼び、一例として、 $\theta_{view}=10^\circ$ および $\Delta\theta_{view}=8^\circ$ のサンプルを試作し、光学シミュレーションと実験によって所望の特性が得られることを確認し、スクリーンゲイン16を得た。

キーワード：コーナークューブリフレクター、プリズムCCR、中空CCR、D-CCR、指向性スクリーン、自動車ピラー

1. ま え が き

プロジェクションディスプレイは、低輝度から高輝度および小規模から大規模サイズと多様な用途が展開されている。その中で最も成長しているのは小型ディスプレイ市場である。最近では、個人用プロジェクタあるいは小規模なグループ会議やエンタテインメントなどの用途が目立って、小型サイズがより魅力的になっている。

プロジェクションディスプレイは、主に、光学エンジンを備えたプロジェクタとパッシブ光学投影スクリーンからなる^{1)～6)}。一般に、スクリーンは、キャンバス布や表面テクスチャタイプ(白色壁や白色紙など)があり、その性能は反射輝度(すなわちゲイン)や角度反射特性によって評価される。ここで、ゲイン(G)は、ランバート分布を有するスクリーン、すなわち、視野角によらず一定の輝度を持つスクリーンに対する輝度比で定義される。また、角度反射特性は、スクリーン表面の法線を中心軸(Z軸)とした極角と方位角によって示される。そして、ピークとなる方向に対して、その半分となる方向が半値角と定義される。この半値角の幅、すなわち半値全幅(FWHM)が広いほど多数の視聴者用に適することになる。このような特性を一般に指向性と称するが、投影スクリーンを特徴付けるものとしては他にコントラスト、解像度、および色再現性などがある。

これまでに、白色マット拡散スクリーン、パールスクリーン、シルバースクリーン、レトロスクリーンなど、さまざまなスクリーンが研究開発されてきた。その中で多く使用されるのは白色マットスクリーンであり、入射光を拡散し、ランバート反射特性($G \equiv 1$)を有す⁶⁾。また、パールスクリーンは、ある程度の視野角を保証する高い鏡面反射をもつ微細なエンボス加工された表面を有する。この表面形状はスクリーンの反射率に強く影響を及ぼすとともに、投影された画像の色ムラなどの品質を左右する。シルバースクリーンは金属粉塗装タイプである。鏡面反射タイプで視野角が比較的狭いが、偏光維持特性を有するために偏光3Dプロジェクタに使用される。再帰スクリーンは表面にガラスビーズを使用しており、その反射パターンは、ビーズの大きさおよび屈折率を選択することによって制御される。半値角を狭く設計すると、プロジェクタの方向を中心として比較的高い利得、すなわち高い反射率を有しているが、その角度が離れるにしたがって輝度が顕著に低下していくため、観察者には視角依存性による輝度の不均一性が強く感じられる。また、波長分散による色ムラが発生したり、ビーズがスクリーンから剥離するなどの問題を有する。

このような従来のスクリーンは一般に比較的に広い視野角を有するものがほとんどであるが、本論文では、個人用アプリケーションとして観察者を中心とした限られた視野角と高いゲインを有する特異な指向性スクリーンの考案と設計について報告する。このスクリーンは、微小中空コーナークューブ再帰反射体(Corner Cube Reflector: 以下

2018年4月14日受付, 2018年9月7日再受付, 2018年9月14日採録

[†] 独立行政法人国立高等専門学校機構仙台高等専門学校

(〒981-1239 名取市愛島塩手字野田山48番, TEL 022-381-0253)

^{††} グローバルオブティカルソリューションズ

(〒193-0832 八王子市散田町2-50-9, TEL 090-4410-0426)

CCRと書く)のアレイを基本としてその形状に修飾を加え、指向性および視野角を制御したものである。これを筆者らはDiverted-CCR (D-CCR) と呼ぶことにする。これによって極めて高い輝度を実現し、明環境用あるいは超低電力小型パーソナルプロジェクタ用の明るいプロジェクションシステムの実現を可能とするものである。

2. 投影の幾何学

代表的な投影表示を図1に示す。ここで、図1(a)はランパートスクリーン、図1(b)はビーズスクリーンを用い、それぞれプロジェクタを観察者の頭上に位置させ、実像をスクリーンに投影している。その特性を図1(c)に示す。一方、スクリーンに投影された光線を観察者の方向に効率的に反射させるためには、図2に示すような指向性スクリーンが必要である。このように高い指向性と狭い視野角を有する反射特性とすることによって、効率と輝度が向上し、低消費電力化が実現できる。

3. 高指向性スクリーンの幾何学

3.1 CCRの光学特性

図2のように、スクリーン上のどの位置に投影された光も、プロジェクタより少し下の観察者に届くようにする必要がある。このために再帰反射特性を有するCCRを基本として、これに修飾を加えることにした。

まず、通常のCCRの形状と入射した光の軌跡を図3に示す。このCCRは三つの互いに直交する平面鏡を有する光学デバイスであり、表面法線ベクトルは互いに直交している^{7)~10)}。入射光線(添え字: i)と反射光線(添え字: r)の方向余弦はそれぞれ

$$(l_i, m_i, n_i) = (\cos \alpha_i, \cos \beta_i, \cos \gamma_i) \quad (1)$$

$$(l_r, m_r, n_r) = (\cos \alpha_r, \cos \beta_r, \cos \gamma_r) \quad (2)$$

で表される。ここで、 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ および $\alpha_r, \beta_r, \gamma_r$ はそれぞれ入射光線および反射光線とx, y, z軸との角度である。また、入射光線は3回の反射後、入射光線と反対方向に進行する。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{1回の反射} \quad (l_{r1}, m_{r1}, n_{r1}) &= (l_i, -m_i, n_i) \\ \text{2回の反射} \quad (l_{r2}, m_{r2}, n_{r2}) &= (l_i, -m_i, -n_i) \\ \text{3回の反射} \quad (l_{r3}, m_{r3}, n_{r3}) &= (-l_i, -m_i, -n_i) \end{aligned} \quad (3)$$

である。

3.2 単一偏向面を有するD-CCR

直角座標系におけるyz平面(x-面)の光の反射は式(4)のように表される。

$$\begin{bmatrix} l_{rx} \\ m_{rx} \\ n_{rx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-2l_x^2 & -2l_x m_x & -2l_x n_x \\ -2l_x m_x & 1-2m_x^2 & -2m_x n_x \\ -2l_x n_x & -2m_x n_x & 1-2n_x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{ix} \\ m_{ix} \\ n_{ix} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで添え字x, i, rはそれぞれx面, 入射光線, 反射光線

図1 (a) ホワイトマットスクリーン(投影方向に依存しないランパートスクリーン)(#1), および(b) ビーズスクリーン(#2). (c) #1と#2の輝度特性

図2 新規指向性スクリーン

を意味するものとする。また l_x, m_x, n_x はx面(yz面)の方向余弦である。したがって (l_{ix}, m_{ix}, n_{ix}) および (l_{rx}, m_{rx}, n_{rx}) はそれぞれx面への入射光と反射光の方向余弦を示す。

式(4)ではx面への入射と反射を 3×3 のマトリクスで表したがこれを[Z]としCCRの他の面のマトリクスも同様に

[Y], [X] とすると, 3面の光の反射は式 (5) のように表される.

$$\begin{bmatrix} l_r \\ m_r \\ n_r \end{bmatrix} = [X][Y][Z] \begin{bmatrix} l_i \\ m_i \\ n_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

式 (5) で示されるように, CCRからの反射光の方向余弦は三つの行列によって決定される. ここで, 図4のようにCCRの下側の面を元のz面から僅かに傾斜させると, CCRからの反射光線を通常の再帰反射器の方向からずらすことができる. 具体的には, 図4に O_1BC 面(または O_2BC 面)として示したように, 元のz面(反射偏向面)から $+\delta_z$, または $-\delta_z$ だけ傾斜させると, その面法線の方向余弦は以下のように表される.

$$n_z = \cos(\delta_z), l_z = \cos(\alpha_z), m_z = \cos(\beta_z) \quad (6)$$

ここで α_z と β_z は次のように求められる.

$$\alpha_z = \beta_z = \cos^{-1} \left[\sin(\delta_z) / \sqrt{2} \right] \quad (7)$$

通常のCCRでは $\delta_z = 0$, $\alpha_z = \beta_z = 90^\circ$ であるが, このようにz面の傾斜によって, xおよびy軸に対する表面法線の方向余弦も式 (6), (7) のように変化する. この場合, 下の傾斜

図3 再帰反射コーナーキューブ
入射光線は, 3回反射後に入射方向に向かって反射される.

図4 通常のCCR (ピラミッドOABC) の下側のZ面を傾斜させたD-CCR (ピラミッド O_1ABC または O_2ABC)

した面から反射されてCCRから出射してくる光は本来の再帰反射方向から $2\delta_z$ だけ下(または上)方向に偏向されることがわかる. すなわち, 反射光は光源側から偏向角の2倍, すなわち $2\delta_z$ だけ下(または上)にずれた方向に戻るようになる.

後述するがz面の傾斜角 δ_z はCCRの反射偏向面角とし, CCRスクリーンの設計の際に決定する.

3.3 2次元拡散のD-CCR

前項で述べたように, CCRの下側の面を傾斜させることによってプロジェクタからの反射光を観察者方向に偏向させることできた. しかし, スクリーンとして機能させるためには適切な拡散も必要であり, このためにはCCRの面を図5のように曲面化させる必要がある. 例えば三つの面を図6(a)に示す球面とした場合, その表面の曲率半径を小さくするほど拡散が大きくなる.

表面法線とz軸との間の角度を, 図5に示すようにz軸に近い位置 O_1 で δ_{zmin} とし, 最も離れた位置Hで δ_{zmax} とすると, その間の位置では角度も両者の間で変化する. また, D-CCRの上側の左右の面も同様な球面とすることによって全方向への拡散が得られることになり, 本研究の目的を達成させることができる.

しかし現実的には, D-CCRの面を上述のような球面の一部とするには製造が極めて困難となる. そこで, 対称性を考慮して, 本研究では球の代わりに図6(b)のような円筒形状の一部を用いることにした.

図5 CCRにおけるz面を球面化させたD-CCR
球面の曲率半径によって光の拡散の程度を制御することができる.

図6 (a) 三つの球を組み合わせて形成したD-CCR, (b) 三つの円筒を組み合わせたD-CCR

図7 (a) D-CCRの側面図と点光源の位置, (b) D-CCR前面に対する点光源の位置

まず, 下側のz面に着目して, 円筒の中心軸は $x=y$ の直線に平行な方向とする. このようなz面の傾きと曲面をわかりやすく示すために図7に円筒の断面(O_1H)を示す. z面の基準面の傾きを δ_z とし, 曲面の O_1 側の接線角を $-\theta_s$, H側の接線角を $+\theta_s$ とする.

なお, D-CCRの残る上側の左右の面(y面とx面)も最終的には円筒形状の一部とするが, これについては後半の5節で論じる.

4. シミュレーション結果

4.1 CCRの評価座標

上述のように, CCRの下側の面を傾斜させ, かつこれを曲面とした場合の光学特性を評価するために二つの座標系を使用する. つまり, 一つは, 先に述べたxyz直角座標系でD-CCRの形状設計に用いる. もう一つは光学特性を論じるためのXYZ座標系であり, Z軸を図7(a)のようにD-CCRの頂点 O_1 を原点とし, 前面の三角形(ABC)の法線方向にとる. xyz軸とXYZ軸との関係は,

$$x = -X \cos(45^\circ) - Y \cos(54.7^\circ) \sin(45^\circ) + Z \sin(54.7^\circ) \sin(45^\circ), \quad (8)$$

$$y = X \cos(45^\circ) - Y \cos(54.7^\circ) \cos(45^\circ) + Z \sin(54.7^\circ) \cos(45^\circ), \quad (9)$$

$$z = Y \cos(35.3^\circ) + Z \cos(54.7^\circ) \quad (10)$$

である.

4.2 単一偏向面のD-CCRシミュレーション

D-CCRの概念を確認するために, まず第1段階のシミュレーションモデルとして, 上下方向のみに注目して偏向させる形状モデルについて解析を試みた. このために正規のCCRのz面(OBC)のみを変形させた. すなわち, 前項で述べた図6(b)および図7(a)の形状で, z面の基準の傾斜角を $\delta_z = +5^\circ$ とし, 式(6), (7)を用いて, z面の方向余弦を計算で求めた(x面とy面が無変化). さらに式(4), (5)を用いてz面(図4のz面の右半分, O_1H 近辺)に光線を入射し, その反射光の方向余弦を求めた. この計算からD-CCRの基本構造を導き出した.

ここで, 具体的形状の設計例として, 図2で示される偏向角 θ_{view} を 10° , 拡散角 $\pm \Delta\theta_{view}$ を $\pm 8^\circ$ に想定する. この特性を得るため, 図4あるいは図7(a)の形状は前述の計算により, 偏向角またはz面の傾斜角は $\delta_z = \theta_{view}/2 = 5^\circ$ となる. また, 拡散角 $\pm \Delta\theta_{view} = \pm 8^\circ$ となるように $\theta_s = \Delta\theta_{view}/2 = 4^\circ$ とし, このために曲面を凸面(円筒面の一部)に設定してその曲率半径を $R = 830 \text{ mm}$ とした.

このD-CCRの光学特性を評価するために, 図7(a)のように点光源をD-CCRの前面の三角形(ABC)から100 mm離れた面上で, 図7(b)のような位置に合計35個配置させ, 光線の方法はZ軸に平行とした.

スクリーンの評価を行うために, Z軸からの極角 θ とX軸からの方位角 ϕ を定義し, 光線を図7(a)で示したようにZ軸に沿って入射させた場合, 反射パターンシミュレーション結果を図8(a)に示す. なおシミュレーションにはLightTools(Synopsys, Inc.製)を用いた. このように, 反射光は $\theta = 0^\circ$ を中心として十字の方向($\phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$)に散乱していることがわかる(図8(a)の①~④). これは単一の拡散円筒曲面のメリディオナル面(AO1H面近辺)の反射特性に対応している. ここで, 所望の拡散方向は下方の④である. 式(4)~(7)の計算により, この光は図7(b)の領域1'から入射し, 領域2'と領域1で反射された光, および領域2'から入射し領域1'と領域2で反射された光に対応することが解明されている. そして, $\phi = 270^\circ$ の方向で $\theta = 10^\circ$ を中心として $\pm 8^\circ$ に広がるはずであるが, ほぼそれに対応していることがわかる.

これに対して, 領域1, 2に入射した光は拡散反射光②に対応し, 領域3と3'に入射した光はそれぞれ拡散反射光③と①に対応している. したがって, 図2のような用途では拡散反射光④(図8(a))が有効な光であり, 他の拡散反射光①, ②, ③は無効な光となる. つまり, 2/3は無駄な光

(a)

(b)

(c)

図8 単一偏向曲面を持つD-CCRに対して、(a) スクリーン正面(中心軸すなわちZ軸上)より入射($\theta_{in}=0^\circ$, $\phi=0^\circ$)させた場合の散乱反射光パターンの計算結果、(b) 正面より 10° 上から入射($\theta_{in}=10^\circ$, $\phi=90^\circ$)させた場合、(c) 正面より 20° 上から入射($\theta_{in}=20^\circ$, $\phi=90^\circ$)させた場合、Xマークは光の入射方向を示す。

となるが、それでも後述するように極めて明るい輝度(高いゲイン)が得られることを確認している。

次いで、プロジェクト実用例として、入射光の方向をZ軸から 10° および 20° 傾けた場合の特性を検討した。結果をそれぞれ図8(b), (c)に示す。これより、散乱パターンが中心から上方向($\phi=90^\circ$ 方向)に $\theta=10^\circ$ および 20° ずれていることがわかる。これは入射光線を 10° および 20° 傾けて入射させた(図にXを付した位置)ためであるが、正反

図9 z面の基準面を傾斜させ、x, y, zの3面を曲面にした場合の反射光パターンのシミュレーション結果

射方向とは逆の入射光線側にそれぞれ 10° および 20° 移動したことを示している。すなわち、所望の十字パターンの下側の特性は、入射光線側の $\theta=10^\circ$ または 20° からさらに下に $10^\circ \pm 8^\circ$ で拡散しており、上下方向だけで見れば図2の基本設計の特性を満たしていることがわかる。

4.3 2次元拡散用D-CCRシミュレーション

ここまでは、簡単のために上下方向のみの偏向と拡散の基本特性について述べた。しかしスクリーンとして応用するためには左右方向への拡散も必要である。そこで、次にz面だけでなくx面とy面も円筒状に曲面化して拡散をさせる。その曲率半径はz面と同様に $R=830\mu\text{m}$ とした。ただし、x面とy面の基準面は傾斜させない。この場合の計算結果を図9に示す。これより、上下だけでなく左右にも拡散していることがわかる。

5. 実験結果

5.1 単一偏向面D-CCRの実験結果

4.2項で述べたように、まず第1段階として上下方向のみに着目して偏向と拡散を生じさせるD-CCRアレイを試作した。その形状は3.1項および4.2項で述べたように、z面の基準面の傾斜は $\delta_z=5^\circ$ 、曲面の両端とこの基準面との接線角は図7(a)に示すように $\theta_s=4^\circ$ である。また、前面の正三角形の各辺の長さは $AB=BC=AC=230\mu\text{m}$ とした。

ここで、試作に当たって、より製造し易くするために、D-CCRの前面の正三角形を図10(a)のように上下対称に並べたものを基本セルとし、これを図10(b)のようにアレイ化した100mm角のシートを作製した。なお、図10(a)の下側の逆三角形のD-CCR光学特性は、図8(a)の特性を上下逆転した形となるが、もともと上下対称であるために結局図8(a)の特性と一致することを確認している。

試作したD-CCRアレイの光学特性を測定するために、図11のような装置を用いた。特定の方向からレーザー光をD-CCRアレイに照射し、その反射光パターンを散乱シートを用いてデジタルカメラで撮影した。

レーザー光を垂直に照射した場合の反射光パターンを図12

図10 (a) 2個のD-CCRを上下に並べた基本セル, (b) 基本セルをアレイ化したスクリーンの形状

図11 反射パターンを観測と記録するための測定系

(a)に示す。これを図8(a)のシミュレーション結果と比較するとほぼ対応していることがわかる。ただし、明るい点を中心として上下に $\pm 8^\circ$ の拡散が強く現れるはずであるが、これがやや弱くなっている。また、上下のパターンがそれぞれ左右4つに分かれ、左右のパターンは上下に二つずつに分かれているが、これはD-CCRのx面とy面が本来の角度(互いに垂直)からわずかにずれていたためと考えられる。これらの特性の改善は今後の課題と考えている。

次いで、レーザ光を垂直から 20° 傾けた場合の特性を図12(b)に示す。これも図8(b)のシミュレーション結果とほぼ対応していることが確認される。

5.2 2次元拡散用D-CCRの実験結果

次に、4.3項で述べたように、実際にスクリーンとして機能させるために2次元拡散用D-CCRを作製した。図10(b)と同様なD-CCRアレイで、x面とy面を曲面化したものである。この顕微鏡写真を図13に示す。また、この試料にレーザ光を照射したときの測定結果を図14に示す。これより、図9のシミュレーション結果とほぼ対応していることが確認される。また、図15はその輝度特性を示したも

(a)

(b)

(c)

図12 試作した単一偏向面D-CCRスクリーンに対して、(a)スクリーン正面(中心軸すなわちZ軸上)より入射($\theta_{in}=0^\circ$, $\phi=0^\circ$)入射させた場合の反射光パターン、(b)正面より 10° 上から入射($\theta_{in}=10^\circ$, $\phi=90^\circ$)させた場合、(c)正面より 20° 上から入射($\theta_{in}=20^\circ$, $\phi=90^\circ$)させた場合

のであり、図から、ゲインとして約16が得られることがわかる。

最後に、この10 cm角の試料を4枚並べてスクリーンとし、プロジェクタで画像を投影した例を図16に示す。撮影条件としては、図2のように、自動車のピラー(窓柱)への応用を想定して、観察者の頭上 10° 程度の位置に超小型プロジェクタを置いて撮影した。図16(a)は自動車のピラーに貼ることを想定して、曲面化した試料に画像を投影したものである。図16(b)は比較のために白紙に投射した

図13 D-CCRの顕微鏡写真
(正面から28°, リング状LEDアレイから光を照射)

図14 z面の基準面を傾斜させ、x, y, zの3面を曲面にした試作D-CCRスクリーンの反射光パターン

図15 試作D-CCRからの反射分布の縦方向の分布
分布をマットスクリーンとの比較のために1/5に縮小して描かれている。輝度比較によりスクリーンゲインは16である。

ものである。図16(c)は平面D-CCR(4枚)上の投影画像である。超小型プロジェクタの明るさはわずか10ルーメンであるが通常の明るい室内でも明瞭な画像が得られていることがわかる。これより、試料の方向によらず、観察者の方向に明るい画像が反射してきていることが確認される。

なお、観察領域において輝度のむらが存在するが、これは拡散光強度のむらによるものである。この点に関して、D-CCRの三つの面の傾斜角と曲面の調整によって改善され

図16 投影画像(傾斜)

比較のために試作スクリーンと白色紙に一つの画像を投影している。(a)白色紙(ランバート反射分布)、(b)自動車のピラーを想定してスクリーンを弯曲させた状態、(c)D-CCRスクリーン(4枚の試作D-CCRシート)、(d)比較用の白色紙(ランバート反射分布)。

ることが確認されており、今後の検討課題と考えている。

6. む す び

特異な偏向性と散乱パターンを有する指向性スクリーンを考案・開発した。中空コーナキューブ再帰反射素子(CCR)を基本として、この鏡面形状に修飾を加え、再帰反射方向を制御するとともに拡散特性をもたせたものである。具体的には、CCRの鏡面を円筒状に弯曲させ、そのうち一つの鏡面を傾斜させた。その結果、再帰反射を投影光からずらし、拡散させることができた。これによって、一例としてプロジェクタから10°ずれた方向を中心として±8°の範囲に画像を拡散反射させるスクリーンの設計と試作に成功した。これによって、標準白色板の16倍の明るさ(ゲイン16)が得られることを確認した。

自動車のピラーをシースルーにするプロジェクションシステムにこれを応用した場合、スクリーンが弯曲したり傾斜してもプロジェクタからの光は常に運転者の顔面近傍に反射されることが確認された。また、これを用いると個人用の新たな超小型プロジェクションシステムを構築できる可能性が示された。

謝辞 D-CCRの試作において、株式会社サカリ石原一幸氏の多大なるご貢献を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

〔文 献〕

- 1) K. Kälantär, K. Wako, R. Ohtera, Y. Ishitaka, M. Kano, T. Uchida: "Optical design of directional projection screen using diverted corner cube array", Proc IDW2017, pp.524-547 (2017)
- 2) B. Katagiri, T. Miyashita, T. Ishinabe, T. Uchida: "Novel screen technology for high-contrast front-projection display by controlling ambient-high reflection", Journal of SID, 11/3, 2003, pp.585-590
- 3) B. Katagiri, M. Oike, T. Kawakami, T. Uchida, Y. Suzuki: "High-contrast in bright ambient with angle-shifting front projection screen", SID 09 Digest, 2009, pp.77-80
- 4) Baku Katagiri, Masanobu Oike, Tatsuo Uchida: "A high-contrast front-projection display system optimizing the projected light-angle range", Journal of SID 18/2, 2010, pp.173-178

- 5) R. Sato, B. Katagiri, Y. Suzuki, M. Kano, T. Uchida: "High-contrast front-projection system for large screen displays supporting reflection and diffusion of ambient light", Journal of SID 19/1, 2011, pp.123-128
- 6) H. Stupp and S. Brennessoltz, Prjection Displays (Wiley SID Series in Display Technology, 1999), p.153 and p.172
- 7) K. Kälántár, Author and Supervisor: LED Backlighting Technologies, CMC Publisher, ISBN978-4-7813-0246-1 C3054 (in Japanese), 2010, pp.174-175
- 8) N. Sugimoto, A. Minato and Y. Sasano: "Optical design of cube-corner retroreflectors having curved mirror surfaces", Appl. Opt.1992 Oct 1;31, 28, 6015-20
- 9) N. Sugimoto, A. Minato and Y. Sasano: "Retroreflector in-space for the ADEOS satellite", in Conference on Lasers and Electro-Optics, Vol.10 of OSA 1991 Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington, D.C., 1991), p.450
- 10) N. Sugimoto, A. Minato and Y. Sasano: "Retroreflector in-space (RIS) for Japanese satellite ADEOS", in Abstract of Papers of the 15th International Laser Radar Conference (Institute of Atmospheric Optics, Tomsik, 1990) , Part I, p.48

おおてら りょうすけ
大寺 亮介 2018年, (独) 国立高等専門学校機構仙台高等専門学校準学士過程修了。同年, 同校専攻科生産システムデザイン工学専攻入学。高性能スクリーンに関する研究に従事。

カランタル カリル 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。グレーデッドインデックス光ファイバ, オプトエレクトロニクスセンサ, 計測機器, 光学微細構造機能デバイス, 液晶バックライトBLU光学機器およびLCD光学機器, スメックチック液晶を用いたVortexアレイ, GRINファイバでの空間2D/3D光コヒーレント画像伝送に従事。1995年以来, LCDユニット用の光デバイスとモジュールに取り組み, 世界初光学マイクロリフレクターとマイクロデフレクターを備えた光導光板を考案, 開発, 製造を行った。BLU光学を確立, 液晶ディスプレイ用バックライト技術, LEDバックライティング技術, LCD照明用技術開発の集積の著者。2007年5月には, LCD-BLU導光板の光学設計法を考案とBLU光学の確立のため情報ディスプレイ学会 (SID) から特別表彰賞を受賞。2008年にSIDのシニアメンバに選出。SID2011に論文賞を受賞。2013年にSIDフェローを授与。日本液晶学会JLCS2016から研究開発賞を受賞。2018年度のIEC1906賞の受賞。SID2010のプログラム副議長を務め, IDW2010のLIT-WGとDES-WGの設立。FMC-WSのチェアーを3年間, またJSID特集号の副編集長を務めた。SID-DSYのチェアーを務め, 現在に至る。工学博士。

わかお かずひろ
若生 一広 1995年, 東北大学工学部電子工学科卒業。1997年, 同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。2000年, 同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。同年, 日本アイ・ビー・エム (株)。2001年, インタナショナルディスプレイテクノロジー (株)。2002年～2011年, (財) 21あおり産業総合支援センター。2004年～2011年, 同センター液晶先端技術研究センター所長。2011年, アスミタステクノロジー (株)。2012年, (独) 国立高等専門学校機構仙台高等専門学校准教授。2016年, 同校教授。応用光学に関する研究に従事。電気科学技術奨励賞, 石田實記念財団研究奨励賞等受賞。正会員。

うちだ たつお
内田 龍男 1970年, 東北大学工学部電子工学科卒業。1975年, 同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。同年, 同大学工学部電子工学科助手, 1982年, 同大学助教授を経て, 1989年, 同大学教授。2006年～2009年, 同大学工学研究科長・工学部長, 2010年, 仙台高等専門学校校長, 2013年, 国立高等専門学校機構理事併任, 2016年, 退職。東北大学名誉教授, 仙台高等専門学校名誉教授。液晶を中心とした電子ディスプレイの研究に従事。当学会評議員, 副会長, 会長を歴任。当学会丹羽高柳賞業績賞, 丹羽高柳賞功績賞, 放送文化賞, 高柳健次郎賞, 内閣府産官学連携功労者表彰, 井上春成賞, SID Jan Rajchman賞, Slottow-Owaki賞等受賞。名誉会員。