

## プロジェクション・スクリーン

種田 悌一

プロジェクション・スクリーン（以下、本文ではスクリーンと略記する）は、プロジェクターによって空間に結像された実像を散乱光の可視像に変換する光学系であり、オーディオの世界に例えればスピーカーに相当する位置にある。オーディオの音質がスピーカーの性能に支配されると同様に、投写画像の画質がスクリーンの性能に支配されることは言を俟たない。にもかかわらず、スピーカーの研究開発に比較して、スクリーンの研究開発は、近年まで見るべきものはほとんどなかった。例えば映画館には十年一日のごとき単純な白色のフロントプロジェクション・スクリーン（以下、フロントスクリーンと略記する）が設備されている。この事実はスクリーンが長年月、技術の進歩から置き去りにされてきたことを示している。

そのようなスクリーンの世界に、10年前、新風が吹き込まれた。それは「つくば科学万博 '85」における400型ハイビジョン映像投写用のリアプロジェクション・スクリーン（以下、リアスクリーンと略記する）の開発事業であった。

つくば科学万博において、恒久施設の政府館「つくばエキスポセンター」の「コズミックホール」の中に、直径25.6mの球形ドームスクリーンおよび画面サイズ縦4.8m×横8mのリアスクリーンを設置して、プラネタリウムの映像と世界最大のハイビジョン映像とをドッキング上映できるユニークな大型映像シアターが建設された。この建設のために、輝度シェーディングおよび色シェーディングが許容できる、新しい大型リアスクリーン

の開発事業が遂行された<sup>13)</sup>。

当時、このサイズの既製のリアスクリーンはフィルム状の拡散型リアスクリーンに限られていた。この拡散型リアスクリーンは輝度シェーディングおよび色シェーディングが到底許容できず、ハイビジョンの画像品位を著しく損なうことは明白であった。広範かつ多角的調査の結果、最適なリアスクリーンはレンズアレイスクリーンであり、それを実現する手段は直交レンschキュラー型レンズアレイスクリーン（4章参照）以外にはないとの結論に達した。その結果、初めて従来の懸案であった輝度シェーディングと色シェーディングを解消した大型のリアスクリーンが開発されて、同時に実用化された。

この開発が契機となって、その後、各種サイズのハイビジョン投写用のレンズアレイ・スクリーンや、フレネルレンズを組み合わせた各種のリアスクリーンの開発が一挙に進展した。大型のフレネルレンズの製作技術も進歩して、現在では、ハイビジョン用の画面サイズ200インチ（2.49m×4.43m）の高精細度フレネルレンズ付レンschキュラー・スクリーンも製品化されるようになった。

科学万博のパワーを原動力として生み出された、大型レンズアレイ・スクリーンは、スクリーンの技術史のなかで特筆すべき成果であり、わが国が世界に誇れる数少ない独創技術成果品のひとつである。

ここでは、プロジェクション・スクリーンの現状を展望した後、上記のレンズアレイ・スクリーンを中心に解説する。なお、リアプロジェクション・スクリーンについてはすでに本誌に筆者が解説<sup>15)</sup>しているので、この解説と併せて読んでいただきたい。

Projection screens (1996年2月21日受理)

Teiichi TANEDA コンサルタント (〒215 川崎市麻生区高石4-26-3)

## 1. プロジェクション・スクリーンの分類

スクリーンは周知のように、フロントスクリーン（別名：反射型スクリーン）とリアスクリーン（別名：透過型スクリーン）の2種類に大別される。この両者の特徴を長所、短所および適用用途について比較した結果を表1に示す。両者の画質を比較すると、一般的に、暗室環境ではフロントスクリーンが優れており、明室ではリアスクリーンが優れている。

次に、現在、実用化されているスクリーンを分類して図1に示す。図1における12種類のスクリーンについてそれぞれの特徴を表2に示す。

図1に示すように、無指向性（とみなすことのできる）スクリーンは、フロントスクリーンにおいて存在するが、リアスクリーンにおいては存在しない。この理由は完全拡散反射面（ランバート面）に近似した反射面は存在するが、完全拡散透過層は実現できないからである。ある層を透過する光を完全拡散させようとすればするほど、反射率が增大し、透過率は低下する。最後には白色板となってしまい、減衰を伴わないで透過光を完全拡散できる材料は現在ない。リアスクリーンにおける本質的問題点はここにある。これについては2章に後述する。

## 2. リアスクリーンにおける輝度シェーディングおよび色シェーディングの発生原因とその解決手段<sup>11,13)</sup>

拡散型リアスクリーンの輝度シェーディングの状態を図2に、色シェーディングの状態を図3に示す。両図か

ら明らかのように、輝度シェーディングは輝度の指向特性に、色シェーディングは輝度の指向特性の波長依存性にそれぞれ起因している。

拡散型リアスクリーンにおいて、指向特性を広げようとすると、単にピークゲインが低下するのみではなく、反射率が高くなり、光量損失が増大し、迷光に対するコントラスト比が低下し、リアスクリーンのメリットが低減する。

反射率を高くしないで、指向特性を広げることができ、かつ、指向特性に波長依存性を与えないという理想的リアスクリーンはレンズアレイ・スクリーンである。レンズアレイ・スクリーンは輝度の指向特性をレンズの口径比を変えることによって損失なく制御することができ、口径比で定まる立体角の内部でほぼ一様な輝度を得ることができる<sup>11)</sup>。

リアスクリーンにおける輝度シェーディングと色シェーディングの根本的な解決手段は、レンズアレイ・スクリーン以外には見当たらない。

## 3. レンズアレイ・スクリーンの好感領域<sup>13)</sup>

ここでは、好感領域を次のように定義する。「プロジェクション・スクリーンにおける輝度に関する好感領域とは、スクリーンに起因して発生する画像の輝度シェーディングが50%以下となるような観察点の領域をいう。」

50%という数値の根拠は、次のとおりである。スクリーン上のゆるやかな輝度の変化について、Vlahosは

表1 フロントプロジェクション・スクリーンとリアプロジェクション・スクリーンの特徴比較一覧表。

	フロントプロジェクション・スクリーン (反射型スクリーン)	リアプロジェクション・スクリーン (透過型スクリーン)
長所	①投写空間がスクリーンの前面にあるために、観察者の頭上の空間を投写空間に利用できるため、空間の経済性に優れている。 ②画質の優れた大型の無指向性スクリーンを比較的安価に製作することができる。	①スクリーンの正面に近接して投写画像を観察することが可能。 ②表面の拡散反射率を比較的低くすることができるので、迷光による画像暗部の損傷が小さい。したがって、明室用に適す。
短所	①表面の拡散反射率が比較的高いために迷光による画像暗部の画質の損傷が大きい。したがって、観視環境は暗室に限定される。 ②スクリーンの正面に近接して、画像を観察することが不可能。	①投写空間がスクリーンの背面にあるために、空間の経済性が問題となる（5章参照）。 ②無指向性スクリーンは製作不可能。したがって、輝度シェーディングおよび色シェーディングを生じやすい(理由は2章参照)。特に、単純な拡散型リアスクリーンでは両者が無視できない。 ③輝度シェーディングおよび色シェーディングを改善した有構造スクリーンにおいては、解像度低下やフレアなどが問題となる。 ④比較的高価である。 ⑤大型化が困難である。
適合用途	暗室環境における小画面から大画面に至る、高画質の映像投写に適する。	明室環境における比較的小画面の映像投写に適する。

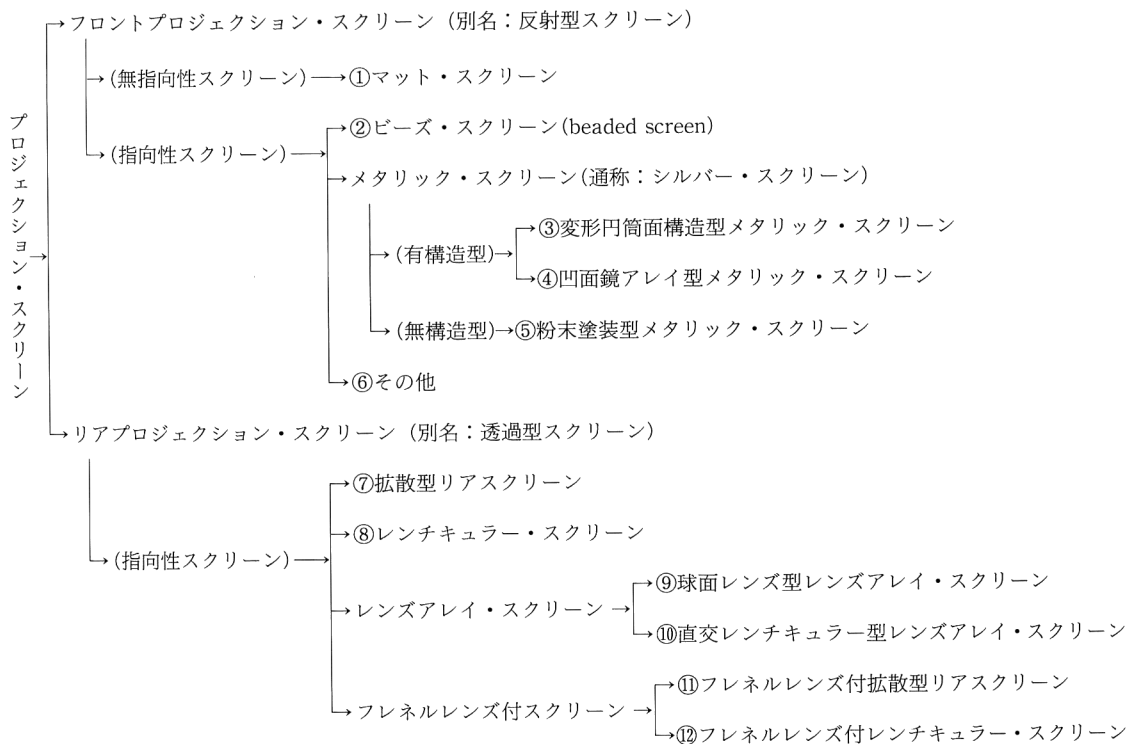


図1 プロジェクション・スクリーンの分類体系。

表2 各種プロジェクション・スクリーンの特徴。

種別	構成	特徴
フロントプロジェクション・スクリーン		
①マット・スクリーン	白色ビニールシートなどの表面をマット化。	ほとんど無指向性。暗室環境では最高画質が得られる。
②ビーズ・スクリーン	微小なガラスビーズを塗布。	自己再帰型光学系なのでプロジェクターの光軸方向にピークゲインの方向が一致する。
③変形円筒面構造型メタリック・スクリーン	Alをコーティングした表面を変形レンチキュラー面に形成。	垂直方向に狭く、水平方向に広い指向特性が得られる。
④凹面鏡アレイ型メタリック・スクリーン	微小な円形または矩形の凹面鏡をAlの表面に並べた構造。	シンチレーションを生じやすい。
⑤粉末塗装型メタリック・スクリーン	Alの粉末を塗装。	表面の光学的均一性を得ることが困難。
⑥その他	魚の鱗の粉末を塗布したもの他。	高利得スクリーンに適合。
リアプロジェクション・スクリーン		
⑦拡散型リアスクリーン	マット化した表面または光拡散層をもつ。	輝度シェーディングおよび色シェーディングを無視できない。
⑧レンチキュラー・スクリーン	レンチキュラー板と拡散透過板の合成。	水平方向の指向特性および色シェーディングが改善される。
⑨球面レンズ型レンズアレイ・スクリーン	微小な球面レンズの集合。	理想的リアスクリーンであるが製作困難。
⑩直交レンチキュラー型レンズアレイ・スクリーン	両凸レンチキュラー板を直交して組立。	現在、大型では最高性能のリアスクリーン。
⑪フレネルレンズ付拡散型リアスクリーン		垂直、水平の指向特性は同一。
⑫フレネルレンズ付レンチキュラー・スクリーン		⑪よりも水平の指向特性が広い。

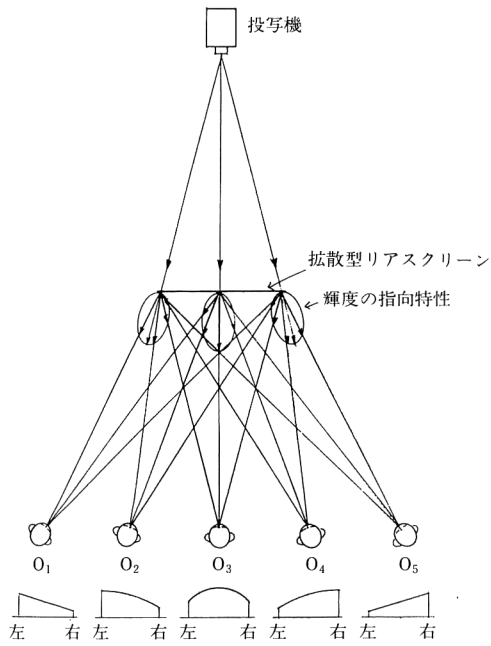


図2 拡散型リアスクリーンの輝度シェーディングの状態<sup>13)</sup>.

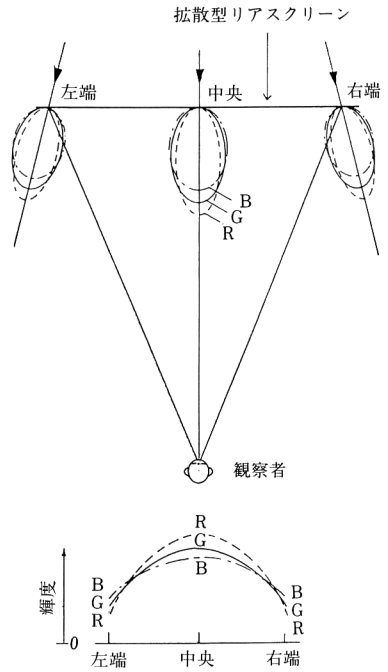


図3 拡散型リアスクリーンの色シェーディングの状態<sup>13)</sup>.

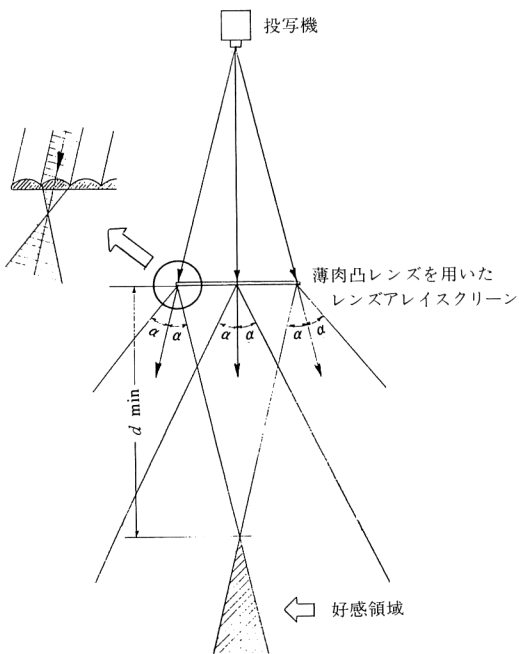


図4 薄肉凸レンズを用いたレンズアレイ・スクリーンの水平方向の好感領域<sup>13)</sup>.

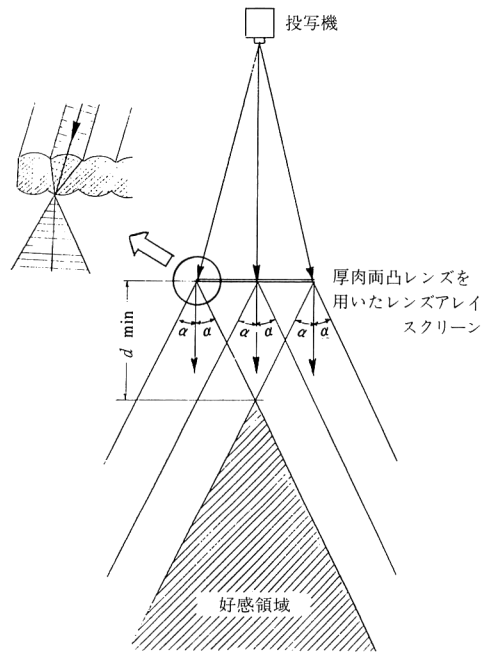


図5 厚肉凸レンズを用いたレンズアレイ・スクリーンの水平方向の好感領域<sup>13)</sup>.

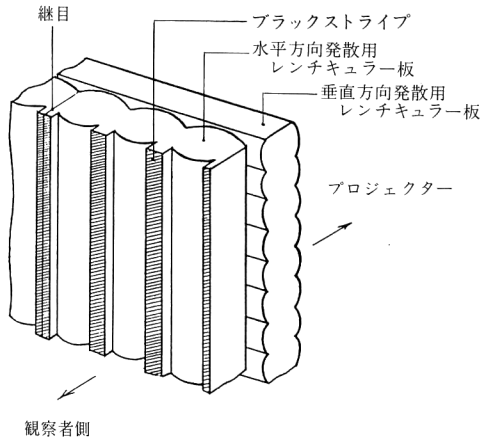


図6 つくばエキスポセンターのコズミックホールに設置された直交レンチキュラー型レンズアレイ・スクリーンの構成図<sup>13)</sup>。

3:1まで一様であると感じられるといっている<sup>9)</sup>。この数値はプロジェクターに起因する輝度シェーディングとスクリーンに起因する輝度シェーディングの積の値であるから、スクリーン単体の許容限は50%が妥当値と考えられる。

さて、図4は単純な薄肉凸レンズを用いたレンズアレイ・スクリーンにおける水平方向の好感領域を示す。図示のように、入射光の位置がスクリーンの中央から周辺に近づくに従って発散光束の中心が外側に向かうために、最短適視距離  $d_{min}$  が増加して好感領域が狭くなる。

この問題を解決する手段は、薄肉レンズを厚肉レンズに置き換えることである。これを図5に示す。図5の左上方の部分拡大図では説明の便宜上、光束の発散を単純化して描いてある。この厚肉レンズの適切な設計によって、最短適視距離  $d_{min}$  および好感領域は大幅に改善される。

なお、水平の指向特性を広く、垂直の指向特性を狭くするには、レンズのアパーチャーを横長の矩形にすればよい。

#### 4. 直交レンチキュラー型レンズアレイ・スクリーン<sup>13)</sup>

つくばエキスポセンターのコズミックホールに設置された直交レンチキュラー型レンズアレイ・スクリーンの構成を図6に示す。また、最終的に得られた主要特性を表3に示す。

図6において、水平発散用レンチキュラー板の観察者側に設けられているブラックストライプは、表面反射率

表3 つくばエキスポセンターのコズミックホールに設置された直交レンチキュラー型レンズアレイ・スクリーンの主要特性。

スクリーンゲイン	約4
指向特性 (半値幅)	
水平方向	±30°
垂直方向	±10°
表面拡散反射率	15%以下
輝度シェーディング	客席の90%で50%以下
色シェーディング	客席内のどこからでも無視できる。

の低減に貢献している。この位置は黒色印刷の都合上、突出面となっている。理想的にはこの突出部をなくして平坦な帯状の谷部を黒色化することができれば、理想的なレンズアレイ・スクリーン<sup>12)</sup>を実現することが可能となる。これが実現できれば、発散光のケラレの問題が解決されて、さらに優れたレンズアレイ・スクリーンを設計することができる。この点が残されている課題である。

#### 5. プロジェクション・スクリーンの周辺技術

リアスクリーンを採用する場合にスクリーン背面の占有空間が大きいという問題がある。この空間を縮小するには大型の表面鏡が必要である。

これについては、最近、最大サイズ3,650 mm×2,450 mmの“ハイビジョン用高性能硬膜表面鏡<sup>18)</sup>”が開発されている。この表面鏡は偏光保存性にも優れており、偏光式立体映像の投写用に使用可能であって、画面サイズ200型(4,428 mm×2,491 mm)の立体ハイビジョンシアターその他に採用されている。

ここに述べたように最近10年の間にリアスクリーンは、わが国において急速に進歩した。一方、フロントスクリーンについては旧態依然としており、画期的な進歩はない。映画館が一変するような高性能フロントスクリーンが開発される日が来ることを期待したい。

#### 主要な文献および規格

ここでは紙面の制約上、スクリーンに関する技術的問題を詳細に述べることはできないので、その代りに筆者が調査した範囲で重要と思われるスクリーンに関する文献と規格を以下に列記する。

#### [文 献]

- 発表された時間順に列記。[ ]内は筆者による注。  
 1) 清水武雄: 特許130893号(昭14.公告第422号)白昼映写幕 [厚肉レンズアレイ・スクリーンの基本特許]。

- 2) R. R. Law and I.G. Maloff: "Projection screens for home television receivers," J. Opt. Soc. Am., **38**, 6 (1948) 497-502.
- 3) F. B. Berger: "Characteristics of motion picture and television screens," J. Soc. Motion Pict. Telev. Eng., **55**, 8 (1950) 131-146.
- 4) E. W. D'Arcy and G. Lessman: "Objective evaluation of projection screens," J. Soc. Motion Pict. Telev. Eng., **61**, 12 (1953) 702-720.
- 5) J. S. Chandler and J. J. De Palma: "High-brightness projection screens with high ambient light rejection," J. Soc. Motion Pict. Telev. Eng., **77**, 10 (1968) 1012-1024.
- 6) P. Vlahos: "Selection and specification of rear-projection screens," J. Soc. Motion Pict. Telev. Eng., **70**, 2 (1961) 89-95 [スクリーンの基本知識を得るための必読文献].
- 7) T. Okoshi, A. Yano and Y. Fukumori: "Curved triple-mirror screen for projection-type three-dimensional display," Appl. Opt., **10**, 3 (1971) 482-489 [多眼式立体映像投写用の特殊な指向特性のフロントスクリーン].
- 8) M. C. King and D. H. Berry: "Small-angle diffusing screens for photolithographic camera illumination systems," Appl. Opt., **11**, 11 (1972) 2460-2462.
- 9) P. Kutter: "Modulation transfer functions of ground-glass screens," Appl. Opt., **11**, 9 (1972) 2024-2027.
- 10) 龍岡静夫, 種田悌一, 田原純郎, 小寺時男, 長谷川博道: "透過型レンチキュラスクリーンの特性", 応用物理学会講演会, 12-2 (1973).
- 11) 龍岡静夫, 種田悌一: "明室用透過形レンチキュラスクリーン", NHK 技研月報, **17**, 2 (1974) 54-59.
- 12) 龍岡静夫, 大石 巖, 種田悌一: 実用新案 1908175 号 (実公平 03-34742), 明室用透過型スクリーン [理想的直交レンチキュラー型レンズアレイ・スクリーン].
- 13) 種田悌一: "大画面ハイビジョンディスプレイ用背面投写型レンズアレイスクリーン", 日本映像学会主催シンポジウム "コンピュータ・イメージとハイビジョン CG '88", 特別寄稿論文集 (1983) pp. 188-193.
- 14) 金澤 勝: "高品位テレビ用透過型スクリーンの開発", NHK 技研月報, **7**, 8 (1984) 34-38.
- 15) 種田悌一: "リアプロジェクション・スクリーン", 光学, **19**, (1990) 583-584 [解説記事].
- 16) 本田 誠: "投写型ディスプレイ用スクリーン", テレビ誌, **45**, 2 (1991) 180-182 [解説記事].
- 17) 種田悌一, 捧 亮平, 大関健二: "世界初の球形ハイビジョンシアター 神戸テクノセンター メイテックホール", VIEW (NHK エンジニアリングサービス友の会誌), **11**, 5 (1992) 16-21 [球形ドーム・スクリーンの説明が含まれている].
- 18) NHK 技研公開, NHK エンジニアリングサービス本館展示会場: "ハイビジョン用高性能硬膜表面鏡", 平成 5 年 5 月 27 日~30 日 (1993).

**[規格, 推奨基準]**

American National Standard/SMPTE STANDARD ANSI/SMPTE 196M-1993 for Motion-Picture Film—Indoor Theater and Review Room Projection—Screen Luminance and Viewing Conditions.  
 SMPTE RECOMMENDED PRACTICE RP 94-1989 Gain Determination of Front Projection Screen.  
 SMPTE RECOMMENDED PRACTICE RP 95-1989 Installation of Gain Screen.  
 SMPTE RECOMMENDED PRACTICE RP 98-1990 Measurement of Screen Luminance in Theaters.