



# 前面投影と網膜投影とを重畳呈示する 微細孔スクリーン型プロジェクションマッピング

Micro-hole Screen Projection Superimposing Front Projection and Backside Retinal Projection

金城和志<sup>1)</sup>, 岩井大輔<sup>1)</sup>, 佐藤宏介<sup>1)</sup>

Kazushi KINJO, Daisuke IWAI, and Kosuke SATO

1) 大阪大学 基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3)

**概要:** プロジェクションマッピングにおいて、鏡面ハイライトのような局所的で高輝度な部分を表現するには光学的な技術課題が存在する。これに対して本研究では、多数の微細な孔が開いた薄板をスクリーンとして高輝度な網膜投影光を背面から通過させ、前面投影によるプロジェクションマッピングに重畳表示することで光沢感をより表現可能な映像提示システムを提案する。原理検証試作により、提案手法が通常の前面投影に重畳して高輝度部を表示できることが示された。

**キーワード:** プロジェクションマッピング, 網膜投影, 高質感表現



図 1: 光沢感のある素材

## 1. はじめに

プロジェクションマッピングは、実物体に仮想物体の映像を重畳投影することによりその見た目を変化させられる技術で、その性質を利用して様々な分野に応用されている。その一環として、プロジェクションマッピングにより所望の素材質感を表現する研究が行われている。プロジェクションマッピングによる素材質感再現において、光沢感のある素材の鏡面ハイライト表現は課題の一つである。光沢感のある素材質感は、図 1 のように、大部分の低輝度部（拡散反射部）と局所的な高輝度部（鏡面ハイライト部）に分けられる。

鏡面ハイライト部の輝度は拡散反射部の輝度に比べて数倍から数十倍である。そのため、鏡面ハイライト表現を想定していないプロジェクションマッピングのデバイスに鏡面ハイライト表現を追加する場合、そのデバイスが表現できる最大輝度を大幅に大きくする必要がある。

高出力のプロジェクタを用いることで表現可能な最大輝度を大きくすることはできるが、高輝度部は局所的である

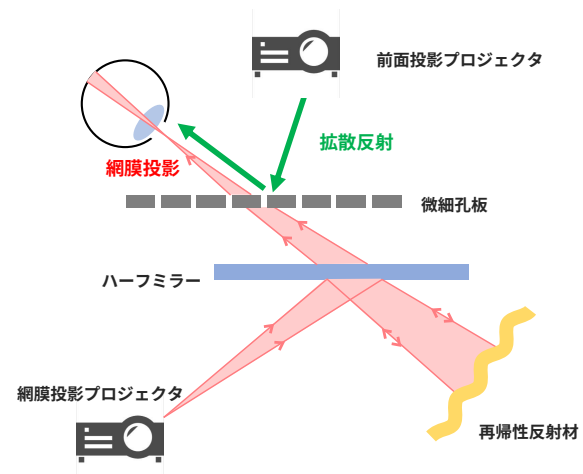


図 2: 提案手法

ため、大部分で最大輝度の拡大が無意味となり非効率である。したがって、小頻度な高輝度部のみを表現するような別デバイスを追加することが望ましい。本研究では、プロジェクションマッピングにおいて鏡面ハイライトのような局所的な高輝度部のみを表現するための光学系を提案する。

## 2. 提案手法

### 2.1 提案手法の原理

本研究では、プロジェクションマッピングにおいて鏡面ハイライトのような局所的な高輝度部のみを表現するため、微細孔板を用いることで前面投影と網膜投影を組み合わせたプロジェクションマッピングシステムを提案する。提案手法の概要図を図 2 に示す。

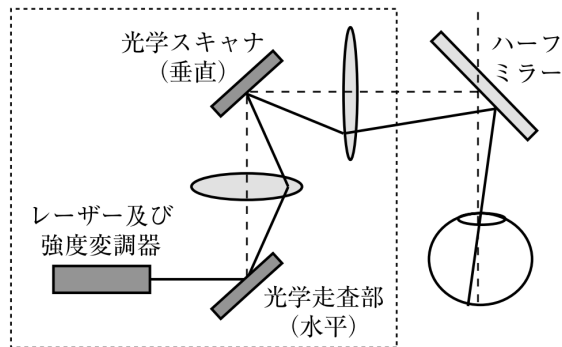


図 3: レーザ走査による網膜投影の原理 [1]

観察者側からは微細な孔の開いた薄板にプロジェクタで映像を投影し、その拡散反射光を観測する（前面投影）。一方、観察者とは逆側からは、レーザー走査型プロジェクタ、再帰性反射材、ハーフミラーを用いて微細孔板を通過するレーザー光で網膜走査する（網膜投影）。レーザー走査プロジェクタから放出された光の一部はハーフミラーで反射し、再帰性反射材で元来た方向に反射する。その一部はハーフミラーを通過し、ハーフミラーに関してプロジェクタと面対称な位置で一点に集光され、瞳孔中心を通過して網膜に映像が直接投影される。

前面投影と網膜投影で同じプロジェクタを用いた場合、網膜投影の輝度は前面投影の数千倍から数万倍であり光の利用効率が圧倒的に高い。そのため、提案手法により効率的な局所高輝度化をすることができる。

Takazawa らは、板材に直径 100~200 $\mu\text{m}$  の孔を無数に開け、背面に置いた液晶ディスプレイから拡散する光線を通してすることで薄素材を透かしたディスプレイにするシステムを提案した [2]。この先行研究から、微細孔板の孔の直径を 100~200 $\mu\text{m}$  前後とすることで前面投影の画質を損なうことなく網膜投影光を通過させられると考えられる。

## 2.2 レーザ走査による網膜投影

レーザー走査による網膜投影は図 3 に示すように、光学スキャナによりレーザー光を高速で走査し、全てのレーザー光を瞳孔中心に集光することで、水晶体の屈折の影響を受けずに網膜に直接像を作る手法である。レーザー走査型プロジェクタを用いることにより、所望の映像を網膜投影することができる。

液晶ディスプレイの表示画素から直接発せられ拡散していく光やプロジェクタで投影しスクリーンから反射し拡散していく光を目視する場合、瞳孔に入る光は拡散する全光束のごく一部となるが、プロジェクタから出た光を網膜走査するとプロジェクタの光を全て瞳孔へと入れることができる。そのため、網膜走査は発光源から放出された光が網膜に届くまでの伝達効率が非常に高く、大きな輝度を拡散反射よりも容易に表現することができる。

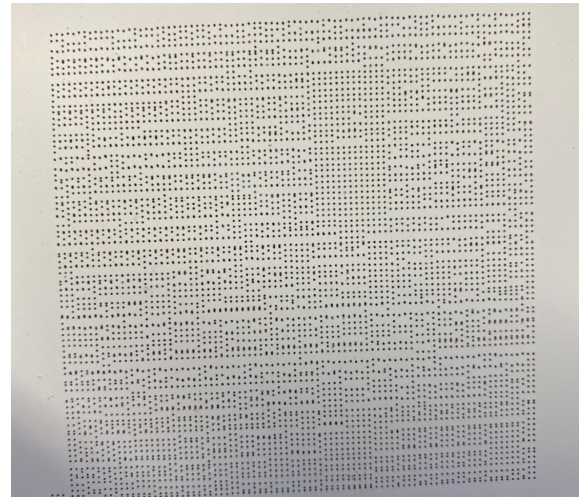


図 4: 微細孔板

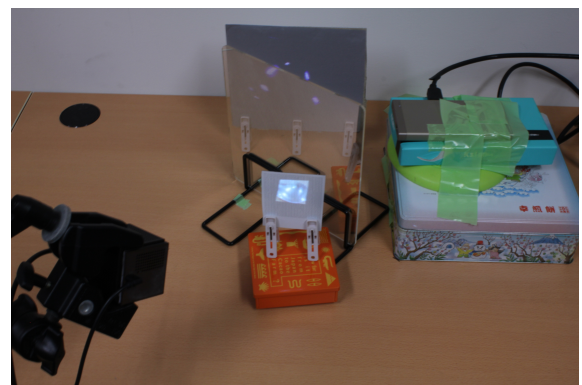


図 5: 原理検証のための簡易セットアップ

## 2.3 微細孔板

後述する原理検証に用いた微細孔板を図 4 に示す。CNC 加工機を用いて厚さ 0.5mm の黒色ポリスチレン製の薄板に刃径 0.3mm のドリルで穴を格子状に開け、微細孔板として用いた。穴同士の間隔は 1mm ずつとした。穴は格子状に配置されていないのは、これは簡易加工の過程で誤差が生じたためである。なお微細孔板の素材は遮光性を考慮し黒色としたが、前面はプロジェクションマッピングのスクリーンとして用いるため反射率の高い白色に塗装した。

## 3. 提案光学系の原理検証

### 3.1 目的

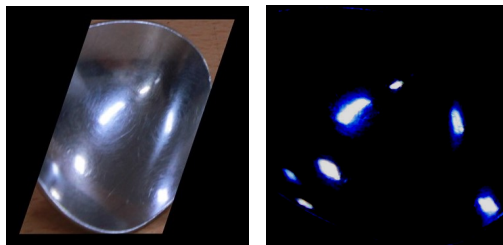
鏡面ハイライトのある画像を前面投影と網膜投影を組み合わせることで表現し、簡易システムが前面投影に網膜投影を重ね表示できるか、鏡面ハイライトを表現できるかを確認することで提案手法の妥当性を確認する。このための簡易セットアップを図 5 に示す。

### 3.2 検証項目

図 6 のような鏡面ハイライトを有する素材の画像を簡易システムで表現する。実装したシステムでは、前面投影プ



図 6: 表現する画像



(a) 前面投影画像

(b) 網膜投影画像

図 7: 網膜投影画像の生成例

ロジェクタは投影対象に対して斜めから投影を行った。斜めから投影を行う場合像の歪みが発生するが、この歪みを補正するため、前面投影プロジェクタで投影する画像は図 7(a) のようにアフィン変換して投影結果が正方形になるように補正した。また、網膜投影では鏡面ハイライトのみを高輝度化する必要がある。そのため、網膜投影で投影する画像は図 7(b) の元画像の全ピクセルの輝度値から鏡面ハイライト部を抽出し、それに補正ゲインを乗じることで作成した。

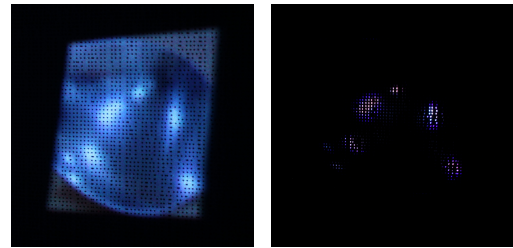
### 3.3 目視結果

前面投影のみ、網膜投影のみの投影結果を図 8、これらを組み合わせた投影結果を図 9 に示す。前面投影と網膜投影により、前面投影を網膜投影により局所高輝度化することができ、網膜投影を前面投影に重畳表示できることが示された。

## 4. おわりに

今回実装したシステムにより、提案手法が前面投影を網膜投影により局所高輝度化することが視認でき、網膜投影を前面投影に重畳表示できることが示された。今後は微細孔板の穴径や穴の配置を変えることで適切な微細孔板の穴パターンを模索する。

また、提案手法を質感表現に用いるためには、前面投影



(a) 前面投影のみ

(b) 網膜投影のみ

図 8: 前面投影・網膜投影の投影結果

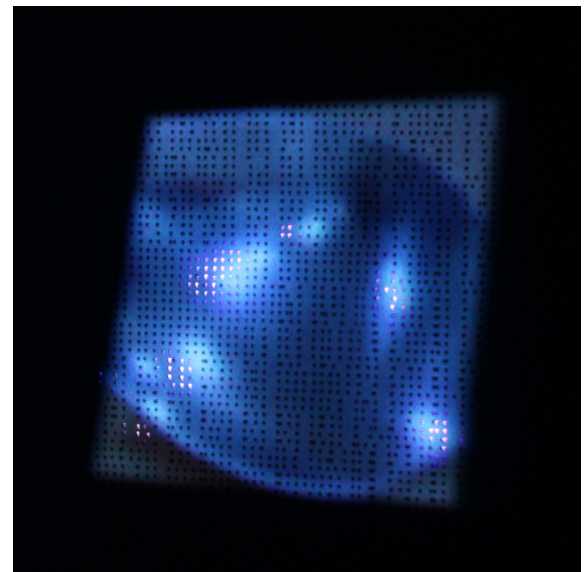


図 9: 前面投影と網膜投影の組み合わせによる投影結果

と網膜投影を実際の輝度比で投影することが必要である。そこで、網膜投影と前面投影の輝度計測に取り組む予定である。前面投影は容易に輝度計測が可能であるが、網膜投影は光が収束する 1 点でしか像として観察できないため、輝度の正確な計測が難しい。今後はこうした課題の解決に取り組む予定である。

### 参考文献

- [1] 志水英二. 網膜走査・投影方式ディスプレイ. 映像情報メディア学会誌, Vol. 65, No. 6, pp. 758–763, 2011.
- [2] Kazuki Takazawa et al. Leaked light field from everyday material: Designing material property remained light-field display. In SIGGRAPH ASIA 2016 Posters, SA'16, 2016.