

フレネルハーフミラーを用いた 車載ヘッドアップディスプレイ用コンバイナ

Combiner for Head-Up Display Systems Using Translucent Fresnel Reflector

堀内 一男

嶋川 茂

岡田 直忠

■HORIUCHI Kazuo

■SHIMAKAWA Shigeru

■OKADA Naotada

近年、自動車のフロントウインドーに映像を表示するヘッドアップディスプレイ (HUD) の導入が進んでいる。ドライバーの視線移動が少なくなることで交通事故の減少効果が期待されているが、HUDの投影ユニットの容積が大きいことなどから、多様な車種に搭載することが難しかった。

東芝は、フレネルハーフミラーをフロントガラスに接着することにより、ドライバー前方の風景がひずむことなく、映像を拡大投影できるフレネル型コンバイナを開発した。画質を劣化させるゴースト像の発生を抑える方法を確認し、実用的な画質を実現した。これにより、投影ユニットの容積を従来の1/2以下に小型化することが可能になる。

The introduction of head-up display (HUD) systems, which project images on the windshield of an automobile, is expected to contribute to a reduction of traffic accidents as drivers can see the images with minimal eye movement, allowing them to keep their eyes on the road and background. However, the large size of the projection unit has made it difficult to install HUD systems in a wide variety of automobiles.

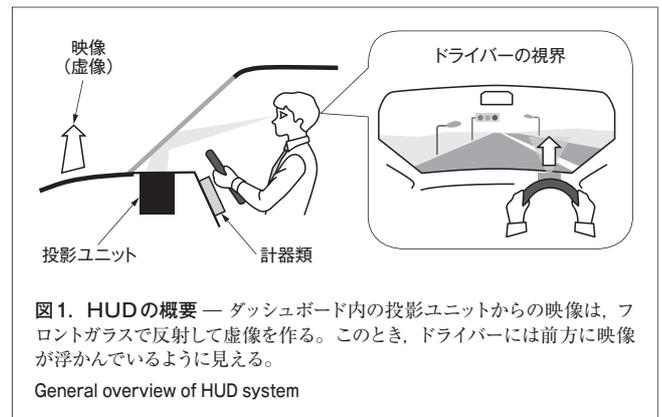
Toshiba has developed a combiner for HUD systems equipped with a translucent Fresnel reflector, which reduces the size of the projection unit to about half. The combiner makes it possible to magnify projected images without disturbing the background while maintaining the image quality, though the use of a newly developed technology to decrease ghost images.

1 まえがき

自動車事故の原因の一つであるわき見運転などを減らすため、欧州を中心に、フロントガラスに映像を反射させてドライバーの視野内に情報を表示するヘッドアップディスプレイ (HUD) の導入が進んでいる。HUDの仕組みについて、その概略を図1に示す。運転席前のダッシュボード内に搭載されたHUDの投影ユニットからの映像は、フロントガラスで反射して虚像を作る。このとき、ドライバーには前方に風景とともにその映像が浮かんでいるように見える。HUDのメリットは、ドライバーが視線をわずかに移動するだけで、ナビゲーション情報や緊急情報などを確認できる点にある。自動車向けには1990年代から適用されており⁽¹⁾、徐々に搭載車種も増えてきている。

東芝は、このような状況のなかで、単眼視によって映像の奥行き感を自由に変えられるWARP (Wind-Shield Reflected Augmented Reality Projector) と呼ぶHUDを提案し、開発してきた⁽²⁾⁻⁽⁵⁾。

HUD普及のうえで大きな課題となるのは、投影ユニットが大きいことである。様々な情報をドライバーに提供するには映像の表示サイズを大きくする必要があり、そのため投影用の光束の幅も広くなり、投影ユニットが大きくなってしまふ。しかし、フロントガラス表面を鏡のように使うため、投影ユニットの搭載位置は、図1のようにフロントガラスに接近した場所に限



られ、車両に対する制約となっている。

投影ユニットの小型化には、投影ユニットから出る光束の幅を狭くしなければならないが、狭くするだけでは映像の表示サイズが小さくなってしまふため、映像を拡大させる仕組みが必要になる。ドライバーとフロントガラスの間に置いた凹面型のハーフミラーに映像を反射させて拡大表示する方法があるが、ハーフミラーを置くことで視界が妨げられるという課題がある。また、フロントガラスに映像を拡大させる仕組みとして半透明のホログラムを付加した例もあるが⁽⁶⁾、カラー表示では画質が低下しやすく、ホログラムパターンの金型製作に時間も掛かり、材料が特殊でコストも高かった。

そこで当社は、HUDの投影ユニットの小型化とコスト低減

を同時に実現するために、市販のルーペなどに使われているフレネルレンズを応用したフレネルハーフミラーを組み込んだ独自のフレネル型コンバイナを開発した。ここでは、その概要と開発上の課題及び対策について述べる。

2 フレネル型コンバイナの概要

2.1 原理

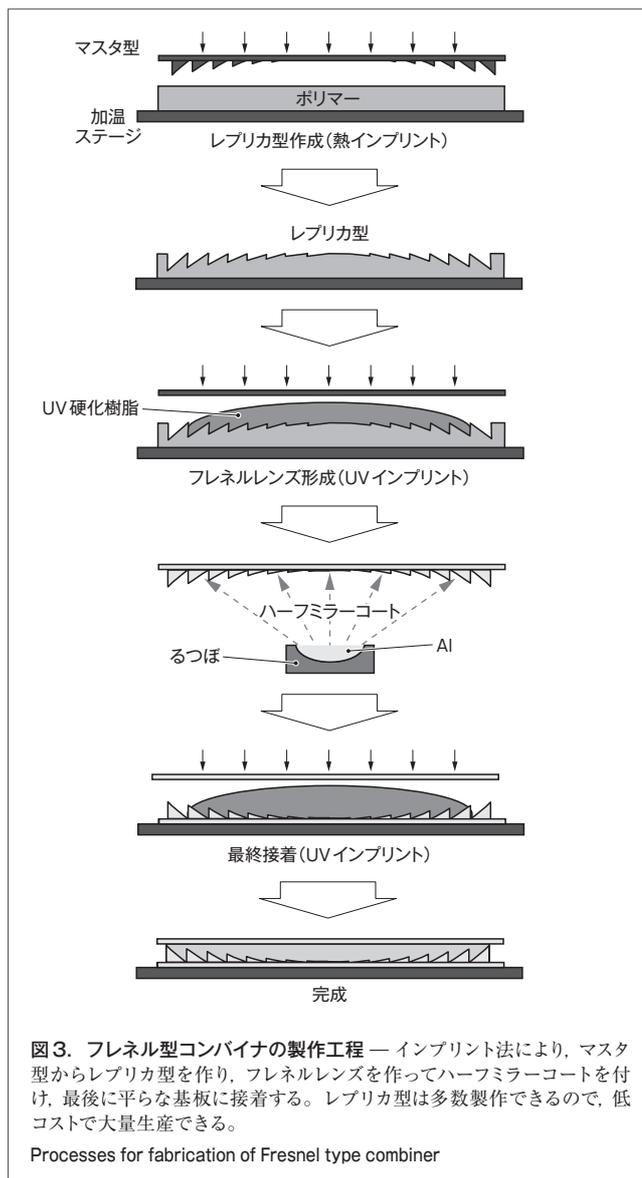
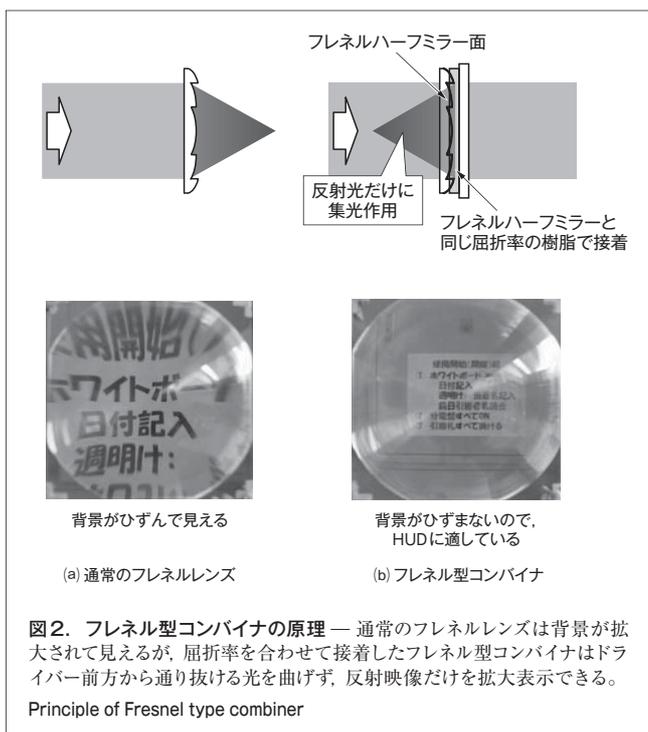
コンバイナとは、HUDにおいてドライバー前方の風景と映像を重ねて見せるハーフミラーのことである。フレネルレンズを応用したコンバイナの原理を図2に示す。

フレネルレンズは、レンズの曲面を細かい同心円状のパターンに分け、薄くて平らな板状にしたもので、レンズ面にハーフミラーをコーティングすればフレネルハーフミラーとして映像を拡大反射させることができる。しかし図2(a)のように、背景がひずみ大きさも変わってしまうためHUDとしては使えない。

自動車用としてはドライバー前方の風景が自然に見える必要があるため、当社は、屈折率の近い透明樹脂を挟んでフレネルハーフミラー面とフロントガラスを接着する、フレネル型コンバイナ構成を考案した。この構成では、外から見ると平らな板なのでコンバイナを透過する光は曲がらないため、前方の風景は拡大されない。一方フレネル面で反射した光に対しては、凹面鏡の場合と同様に反射映像が拡大表示される仕組みになっている。

2.2 製作工程

フレネル型コンバイナの製作工程を図3に示す。インプリン



トと呼ばれる、加熱やUV（紫外線）照射をしながら、型をスタンプのように押しつけて立体パターンを形成する手法を用いた。

まず、熱インプリントでマスタ型からポリマー材料でできたフレネルレンズのレプリカ型を作る。続いて、UV硬化樹脂を流し込んでUV照射を行うUVインプリントにより、フレネルレンズを形成する。次に、電子ビーム蒸着などによりアルミニウム（Al）のハーフミラーコートを付ける。最後に、再びUV硬化樹脂を流し込んで、平らな基板などで押しつけながらUV照射して完成となる。

この製作方法では、レプリカ型を多数製作できるので、低コストで大量生産することが可能である。

2.3 HUDの光学系レイアウト

従来のフロントガラスで反射させるタイプのHUDと、今回開発したフレネル型コンバイナを適用したHUDの構成を図4に示す。

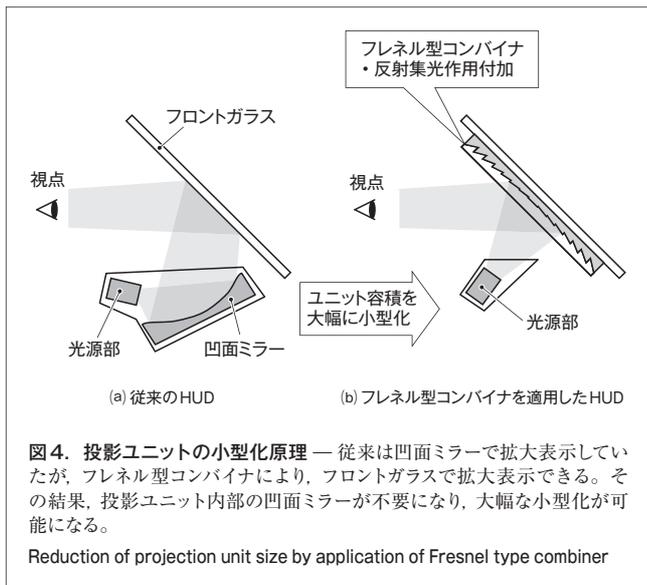


図4. 投影ユニットの小型化原理 — 従来は凹面ミラーで拡大表示していたが、フレネル型コンバイナにより、フロントガラスで拡大表示できる。その結果、投影ユニット内部の凹面ミラーが不要になり、大幅な小型化が可能になる。
Reduction of projection unit size by application of Fresnel type combiner

従来のHUDでは、投影ユニットや光源部を小型化するために、投影ユニット内に大型の凹面ミラーを用いていたが、凹面ミラー自体が大きく投影ユニットの小型化には限界があった。それに対して、フレネル型コンバイナを使った構成では、樹脂を挟んでフレネルハーフミラーとフロントガラスを接着することで、凹面ミラーの拡大表示機能をフロントガラス上に持たせることができ、投影ユニットを大幅に小型化できる。しかしフレネルミラーは、従来の凹面ミラーに比べて、ミラー面が細かいパターンに分かれているため画質が低下しやすいという課題がある。

3 フレネル型コンバイナの画質向上対策

3.1 事前対策

フレネル型コンバイナの画質を検証するにあたり、あらかじめわかっていた以下に述べる二つの課題については、事前に対策を実施した。

一つは、コンバイナの材質内で映像の色が虹のように分離する現象である。カラー表示では赤、緑、青の3色が使われるが、3色のずれ量から逆算して映像のパターンをずらすことで対策できる。もう一つは、ミラー面に投影される映像に、コンバイナ表面で反射される映像がゴースト像として重なって表示されて画質を劣化させる現象である。これを避けるため、図5に示すように、フレネルパターンの中心をずらして重ならないようにした。

これらの対策をしたうえで、更に背景多重像と投影二重像という2種類のゴーストが確認されたので、それらの原因と対策について次に述べる。

3.2 背景多重像

コンバイナを通して背景を見るときに発生したゴースト像を

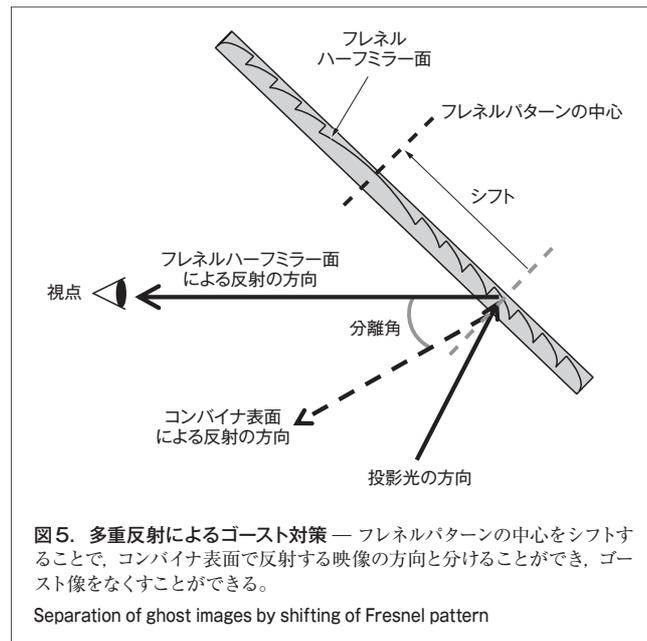


図5. 多重反射によるゴースト対策 — フレネルパターンの中心をシフトすることで、コンバイナ表面で反射する映像の方向と分けることができ、ゴースト像をなくすことができる。
Separation of ghost images by shifting of Fresnel pattern

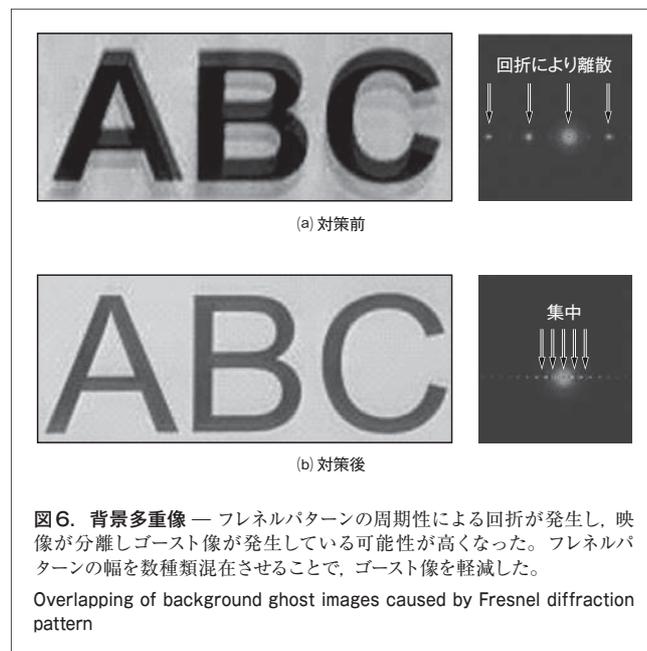


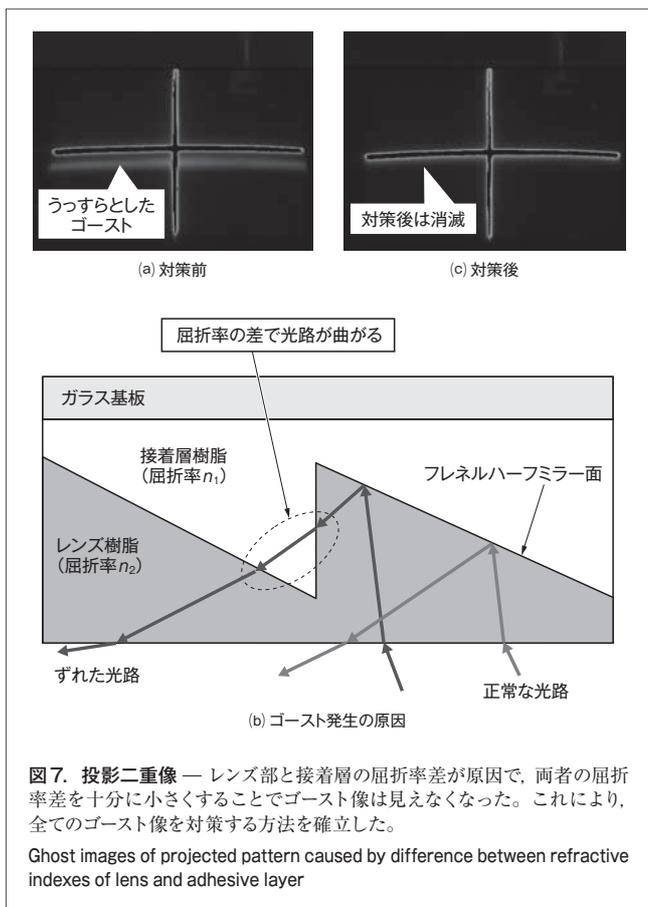
図6. 背景多重像 — フレネルパターンの周期性による回折が発生し、映像が分離しゴースト像が発生している可能性が高くなった。フレネルパターンの幅を数種類混在させることで、ゴースト像を軽減した。
Overlapping of background ghost images caused by Fresnel diffraction pattern

図6(a)に示す。このゴースト像は位置がずれながら何個か重なっていた。それらのずれ量を元に計算したところ、周期的なフレネルパターンが回折格子のように働き、映像の方向が分離されている可能性が高くなった。

そこで、フレネルパターンの溝の幅を数種類混在させることで回折の影響を小さくすることを検討した。回折シミュレーションで実用レベルに改善できる条件を見つけ、試作検証によってゴースト像が抑制されていることを確認した(図6(b))。

3.3 投影二重像

最後に確認されたゴーストは、図7(a)に示すような非常に薄く見える二重像である。これはクロスパターンの反射映像で、



ゴースト像は一つだけで、ずれ量が3.2節で述べた回折による影響とは異なっていることを確認した。

他の理由をシミュレーションで検討したところ、レンズと接着層のわずかな屈折率差によって、一部の光が分離されている可能性が高くなった(図7(b))。そこで、屈折率差を十分に小さくしたサンプルを試作し検討したところ、ゴースト像は見えなくなった(図7(c))。

4 あとがき

自動車用HUDの普及のうへで課題となる投影ユニットの小型化を目的として、フレネルハーフミラーを組み込んだ当社独自のフレネル型コンバイナを開発した。フレネルハーフミラーの課題である画質の検証において、背景多重像や投影二重像といったゴースト像が発生したが、光学的な原因を明らかにし、それぞれに対策を確立したことでHUDに適用できる画質レベルを実現した。また製作工程についてもインプリントで製作できるため、ホログラムなどに比べてシンプルで、かつ汎用材料を使えることから、低コスト化が可能である。

実用化に向け信頼性などの検証が必要となるが、このコンバイナの適用により、投影ユニットの容積を1/2以下にできる見込みである。今後も当社は、フレネル型コンバイナの開発を進めるとともに、自動車用HUD以外の分野への応用も検討していく。

文献

- (1) Okabayashi, S. Visual Optics of Head-Up Displays (HUDs) in Automotive Applications. UK, Gordon and Breach Publishing Group, 1996, 129p.
- (2) Okumura, H. et al. "Monocular hyper-reality display". Proceedings of the 29th International Display Research Conference (Euro display 2009). Rome, Italy, 2009-09, IOP, 2009, p.24.
- (3) Sasaki, T. et al. "Hyperrealistic Display for Automotive Application". SID Symposium Digest of Technical Papers. 41, 1, 2010, p.953 - 956.
- (4) Sasaki, T. et al. "Novel Depth Perception Controllable Method of WARP Under Real Space Condition". SID Symposium Digest of Technical Papers. 42, 1, 2011, p.244 - 247.
- (5) Hotta, A. et al. "Depth Perception Effect of Dynamic Perspective Method for Monocular Head-up Display Realizing Augmented Reality". The 18th International Display Workshops (IDW 2011). Nagoya, 2011-12, ITE and SID, 2011, p.521 - 524.
- (6) Ohe, Y. et al. Application of a novel photopolymer to a holographic head-up display. Polymers for Advanced Technologies. 10, 9, 1999, p.544 - 553.



堀内 一男 HORIUCHI Kazuo

生産技術センター 光技術研究センター主任研究員。
光学部品、光学システム、及びディスプレイの研究に従事。
電気学会、日本光学会会員。
Optical Technology Research Center



嶋川 茂 SHIMAKAWA Shigeru

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 EPS用 ECU製品部主務。光ディスクレーザ制御システム、車載用 ECU 装置の開発・設計、光学部品及び光学システムの研究に従事。
Railway & Automotive Systems Div.



岡田 直忠 OKADA Naotada, Ph.D.

生産技術センター 光技術研究センター研究主幹、博士(光学)。
光学部品、光学システム、光学検査、及び光プロセスの研究に従事。応用物理学会、日本光学会、レーザー学会会員。
Optical Technology Research Center