

自動車用ヘッドアップディスプレイの開発

藤田 広大*, 伊藤 研治*, 米山 一也*, 馬場 智之*, 川名 正直*,
原田 恵介*, 大島 宗之*

Development of an Automotive Head-Up Display using a Free-Form Mirror Based Optical System

Kodai FUJITA*, Kenji ITO*, Kazuya YONEYAMA*, Tomoyuki BABA*, Masanao KAWANA*,
Keisuke HARADA*, and Hiroyuki OSHIMA*

Abstract

In June 2013, the Optical Devices Division (Former Fujinon) and Electronic Imaging Division were integrated to establish the Optical Device & Electronic Imaging Products Development Center. This collaboration enabled us to develop a novel Head-Up Display (HUD) system for automotive devices. We adopted a newly designed free-form mirror system. By the mirror system, we were able to simultaneously realize following features in our HUD system: distortion-less large virtual images, high brightness/contrast, and small unit size. Herein, we report the development results related to this HUD system.

1. はじめに

近年、自動車の多機能化に伴い、運転者に対してさまざまな情報を提供する機器が多く搭載されている。その中で、運転者に視覚情報を提供する機器、例えばカーナビゲーション、運転席前の計器類が浸透している。一方でその情報を得るために視線移動が発生し、これがわき見運転を誘発し、事故原因となることは従来から危惧されていた。そこで、運転者前方のウィンドシールドのさらに前方に、背景と重畳する形で運転支援情報を表示することで、視線移動無く情報認知を補助するヘッドアップディスプレイ（以降HUD）技術が注目されており、今後も市場の成長が見込まれる。

一方で、2013年6月に光学デバイス事業部（旧フジノン）と電子映像事業部が統合され、光学・電子映像商品開発センターが新設された。光学技術と電子映像技術双方の競争力を持ち寄り、その相乗効果を活かして新規ビジネス創出に繋げるべく検討を開始した。その中で、市場の成長が見込まれ、従来から培ってきた民生・シネマ向けプロジェクター光学設計技術、光学材料製造技術を応用出来るHUDに注目。2013年9月から自動車用HUDシステムの開発に着手した。

2. HUDの原理

HUDの原理についてFig. 1を用いて説明する。

画像表示機から投影される画像が中間像として拡散板表面に結像される。その中間像が拡大鏡で拡大され、光線がウィンドシールドで反射して観察者に導かれる。この時運転者（観察者）は中間像を虚像として認識する。画像表示機を発した実際の光線は、Fig. 1の実線の光路を通り、運転者の目（瞳）に入射する。この時運転者は光線があたかもFig. 1の点線の光路（ウィンドシールド右側）を通して瞳に入射しているかのように感じる。この結果、運転者には中間像として表示された画像（A,B,C）が、あたかも（A',B',C'）点にあるように認識され、道路上に運転支援情報が浮いているように感じる。

3. 画像表示機の構成

画像表示機の概略構成図をFig. 2に示す。光源は、発光ダイオード（LED：Light Emitting Diode）、レーザー等が使われている。画像表示素子には、VFD（Vacuum Fluorescent Display）、液晶ディスプレイ（モノクロ、カラー）、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）素子等が使われている。

本誌投稿論文（受理2016年12月6日）

*富士フイルム（株）R & D統括本部

光学・電子映像商品開発センター

〒331-9624 埼玉県さいたま市北区植竹町1-324

*Optical Device & Electronic Imaging Products Development Center

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Uetake, Kita-ku, Saitama-shi, Saitama

331-9624, Japan

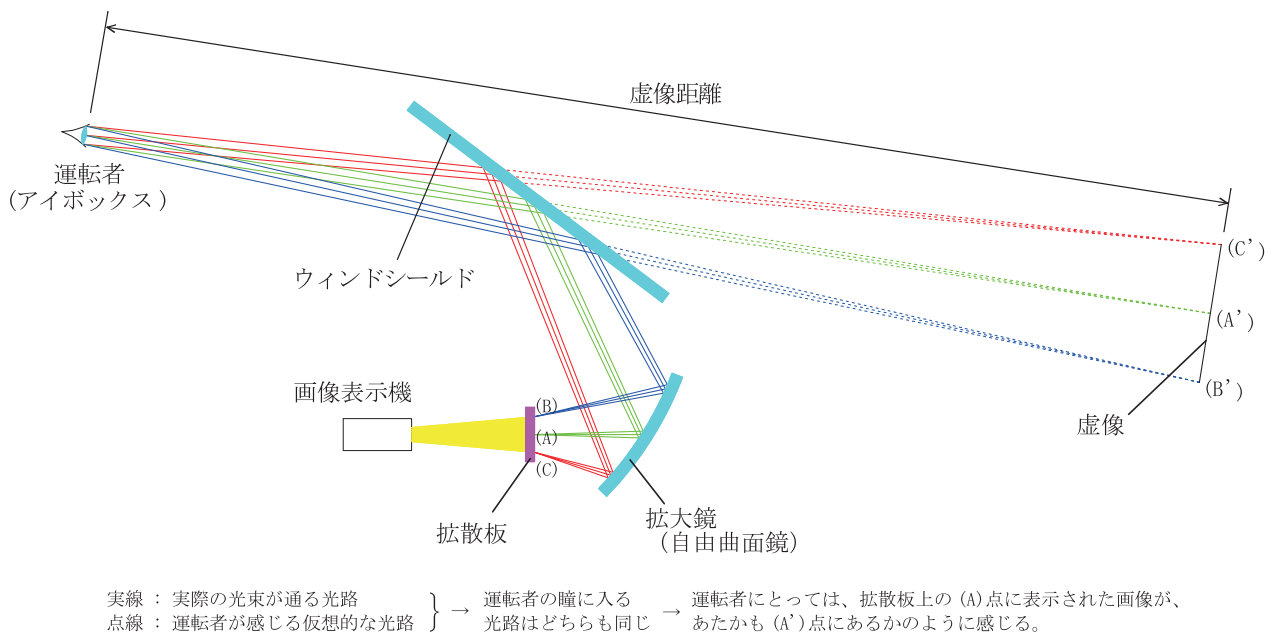


Fig. 1 Schematic of the optical system used to develop the HUD

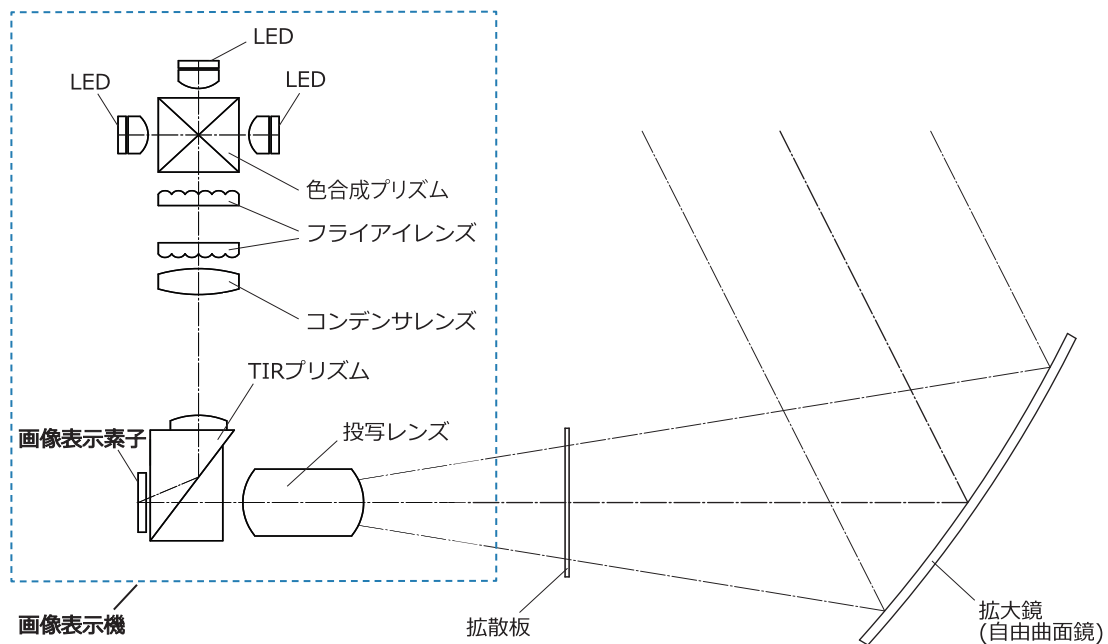


Fig. 2 Schematic of the internal structure of the projection system

また、光源から画像表示素子に至る光路を構成する光学部品、画像表示素子を拡大投影するレンズが用いられる。このほかにもさまざまな構成部品により、画像表示機は構成されるが、大別すると光学、機構、電気・電子、ソフトウェア、材料の要素技術で成り立っている。

4. HUDシステムの試作機の開発

従来から培ってきたプロジェクター技術を用いてHUDシステムの構成要素のひとつである画像表示機を試作し、各社に営業活動を2014年4月より開始した。営業活動を進め

る中で、①HUDシステム全体としての提供要望が多いこと、②性能に関するキーワードは「大画面」「高輝度」「高画質」「HUDユニットボディサイズが小型」であること、③構成要素ひとつの商品提供では付加価値が見出しづらく、価格競争に陥ることが分かった。

このような背景を踏まえ、HUDシステムの試作機の開発に着手。試行錯誤を繰り返す中で、新規設計自由曲面鏡を盛り込むことにより、大画面でありつつも歪曲が小さく、高輝度、高画質を維持しながらボディサイズのさらなる小型化を実現した。その開発過程で取り組んだ各課題について、以下に記載する。

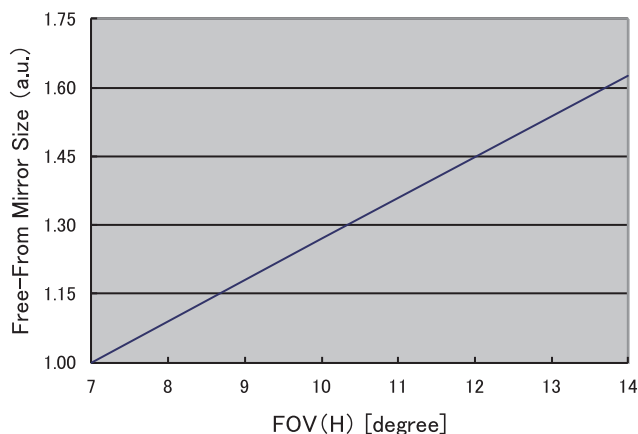


Fig. 3 Schematic of the relative horizontal FOV vs. mirror size

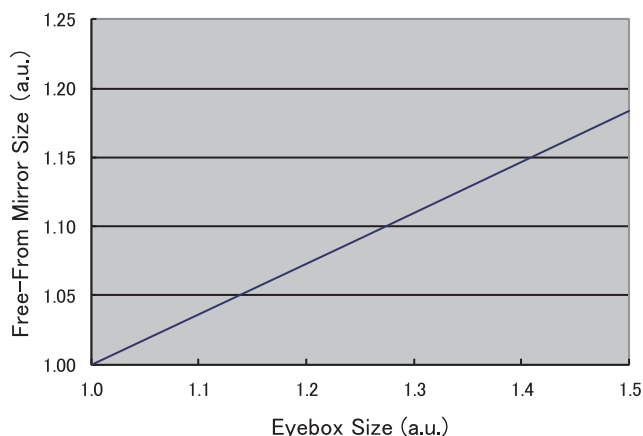


Fig. 4 Schematic of the relative eyebox size vs. mirror size

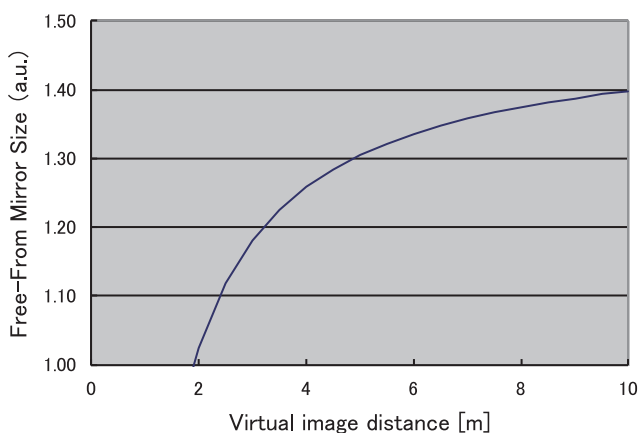
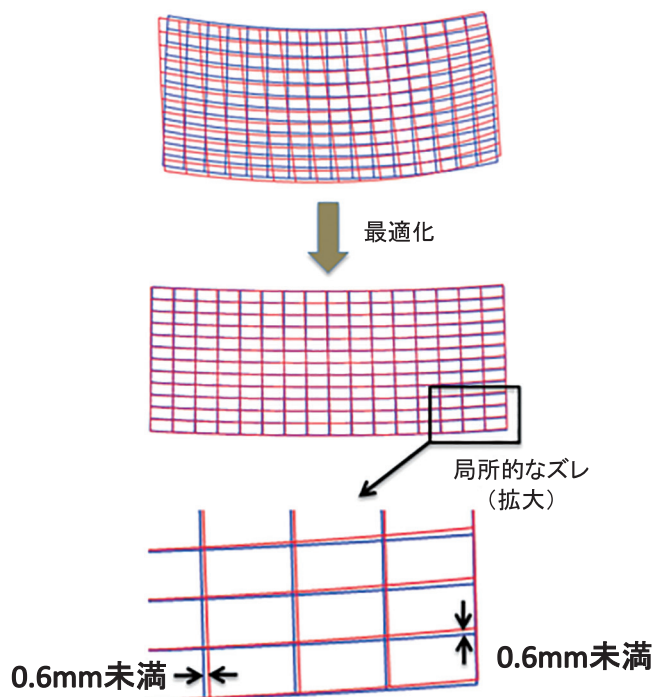


Fig. 5 Schematic of the virtual image distance vs. mirror size

4.1 HUDユニットボディサイズ

光学設計は、光学部品形状を規定するさまざまなパラメータを最適化し、所望の光学性能と加工適性を維持しつつ実現する。制御すべき光線本数、光線の集光状態を規定する性能指標関数の数は膨大であり、最適化を実行する過程で使用する光学設計ソフトが非常に重要である。光学・電子映像商品開発センターは自社開発光学設計ソフトを使用し、数々の製品群の光学設計を実施している。この光学設計ソフトには数十年にわたる多種多様な光学設計の経験、ノウハウが蓄積され現在も光学設計者と共に進化し続けている。

設計を進めて行くとユニットのボディサイズは特に「視野角 (Field Of View : 以降FOV)」、「アイボックス (虚像が視認される範囲)」、「虚像距離 (目から虚像までの距離)」に依存することが分かった。顧客からはFOV拡張、アイボックス拡大を要請されるが、ユニットボディサイズ(≒自由曲面鏡サイズ)は比例して増加する (Fig. 3, 4)。また従来は2m程度の虚像距離をより遠方としたい顧客要請もあり、これに対してもユニットボディサイズは増加するが、概ね10m程度で飽和する (Fig. 5)。上記の傾向は、運転者からウィンドシールドを経て、拡大鏡に至る光路中に光学的な収斂発散作用が存在しないためである。以上が自動車搭載の条件であり、これらの条件のもとで如何にしてユニットボディサイズ小型化を実現するかが競争力となる。



The difference in the red and blue grids is a cause for discomfort and eye fatigue.

Fig. 6 Representation of the virtual image viewed by the right eye (red) as compared to that viewed by the left eye (blue)

4.2 HUDの虚像画質

4.2.1 瞳の位置による像の位置・形状ズレの抑制

アイボックス内における瞳の位置 (ex. 右目と左目) によって像の位置や形状が変わってしまうと、像が二重に見える、走行時の振動等により頭が動いたときに像が揺らいで見える等、運転者にとって違和感や眼の疲労の原因となる。この課題に対し、ミラーの位置や形状を光学的に最適化することにより、アイボックス全領域内で瞳の位置による像の歪曲を極小化した (Fig. 6)。

4.2.2 左右視差の抑制目標

ここで、虚像を局所的に注視する場合を考える。人の視力1.0の定義とは、直径7.5mmのリングに設けられた幅1.5mmの切り込みの方向を5mの位置から認識できる能力（角度分解能1分）である。例えば、虚像距離を2mとすると、視力1.0の人が認識出来る分解能は計算上で0.6mm程度となる。前述のFig. 6最下図においては視差による格子のずれは最大0.6mm程度である。

4.2.3 解像感の定量化

虚像で情報を投影する場合、運転者の判読性も重要な要素であり、仕様の適正化、製造ラインでの検査手法の適用を見据え、Fig. 7の評価環境を構築し、解像感（官能評価）に対する定量化を実施。必要十分な解像度を定量化し、光学系の設計目標を定めた。

4.2.4 歪曲評価

HUD光学系は一般的な回転対称ではないため非対称な歪曲が発生しやすい。前段、4.2.1、4.2.2で記載した通り、右目と左目で像の歪みが異なるとドライバーの目の疲労の原因となることから厳しく管理したい。そこで、光学設計シミュレーション結果と試作における歪曲の妥当性を検証した（Fig. 8）。

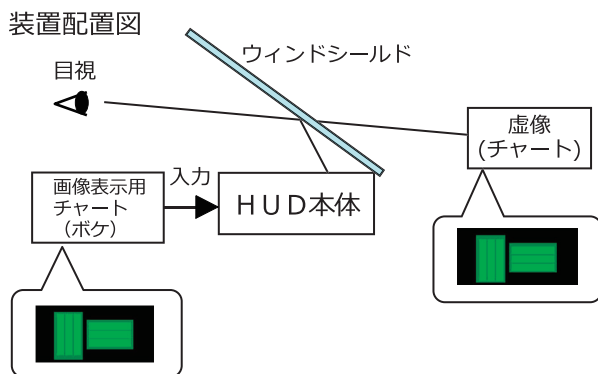


Fig. 7 Schematic of the quantification methods used for quantifying resolution

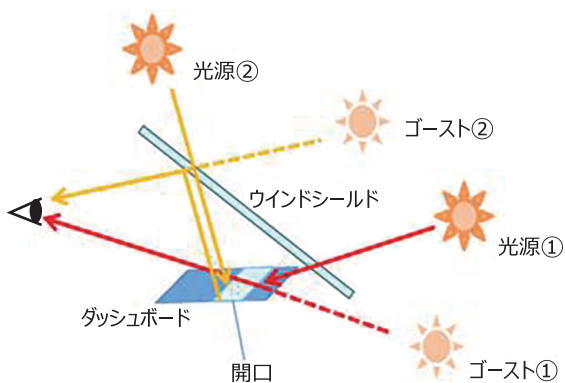


Fig. 9 Schematic of the paths of stray light that hit the HUD

結果として、正面視ではシミュレーション結果と実機の歪曲がほぼ一致することを確認した。一方で、左端/右端からの視認時の歪曲はシミュレーション結果と乖離があったため、原因を解析し、評価精度を上げていく。すでに歪曲測定値の数値化は実現しており、非対称歪曲の厳密な管理手法は構築されつつある。今後は必要十分な目標仕様の定義、さらには画像処理を積極活用した歪曲補正への発展を計画している。

4.2.5 環境ロバスト設計（迷光対策）

車載HUDは屋外のさまざまな環境において視認性の確保が求められる。視認性の障害要因のひとつである太陽光起因の迷光を抑制する設計指針を立てるため、光学設計シミュレーションと実機評価を比較することで、光学設計シミュレーションの有効性検証、および対策検討を実施した（Fig. 9, 10, 11）。

①の経路については、HUD開口部を機械的に覆うことで対処可能な目途が立っている。②の経路に関しては、光学設計シミュレーションで再現することを確認出来たため、引き続き、対策の検討を進めている。

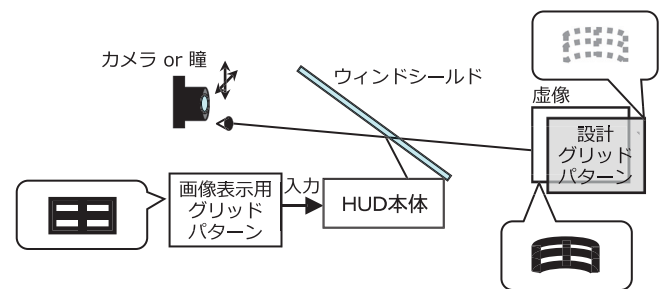


Fig. 8 Schematic of the quantification methods used for quantifying distortion

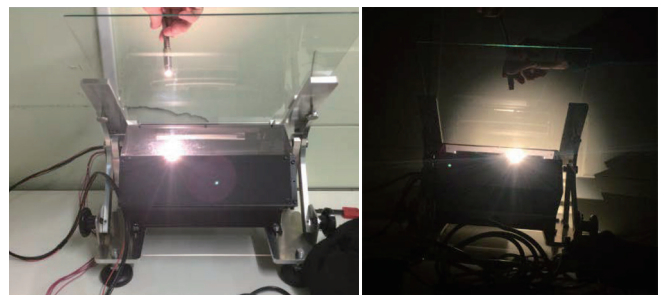


Fig. 10 Illustration of the optical simulation of the stray light path ①

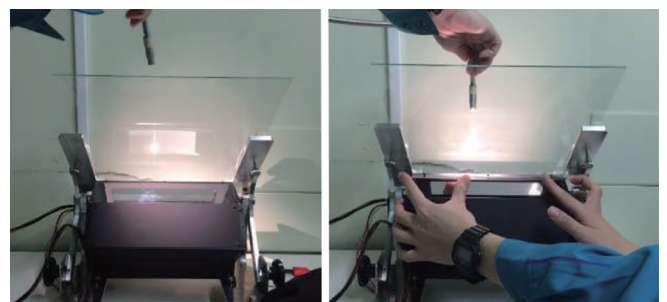


Fig. 11 Illustration of the optical simulation of the stray light path ②

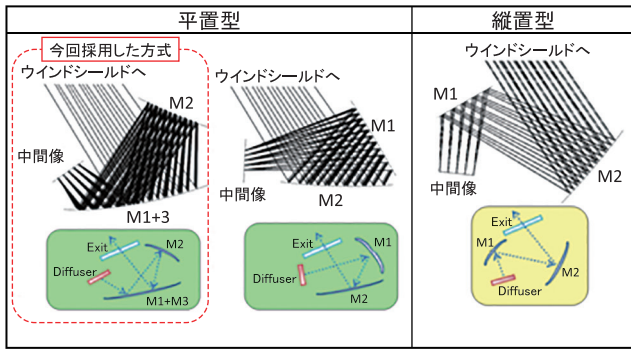


Fig. 12 Schematic of the variation of the free-form mirror

	試作機名称	
	過去試作機	最新試作機
ユニット外形 (mm ²) (volume in litter)	316×241×160 (Real volume: 6.1L)	298×248×129 (Real volume: 5.1L)
視野角	水平 7度 × 垂直 2度	
虚像大きさ	対角10インチ (水平245mm × 垂直70mm)	
虚像距離	肉眼より2m前方	
アイボックス	水平180 mm × 垂直40 mm	

Fig. 13 Comparison of the specification

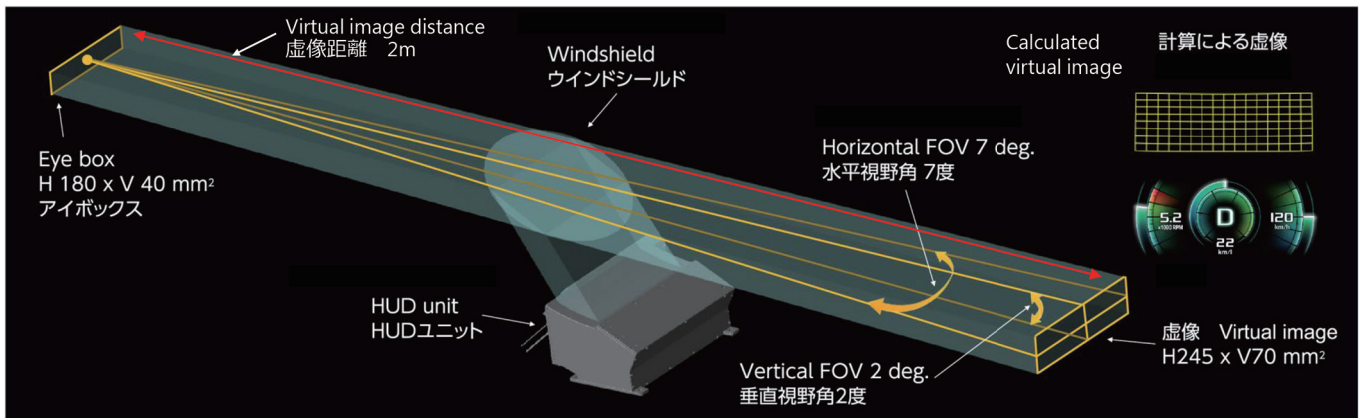


Fig. 14 Schematic of the configuration of the proposed prototype

4.3 試作機的设计 (さらなる小型化)

4.2でHUDの虚像画質における基本性能の検証結果を説明した。今回、これらの性能を満足しつつ、新規自由曲面鏡設計を盛り込み、さらなるボディサイズの小型化を実現した(最新試作機)。新規の光学設計とは (Fig. 12左端)、中間像の後段に配置される拡大鏡で光線を2面3回反射させることで光路と光線収差補正自由度を稼ぎ、大画面 (=広視野角) を維持しつつ、さらなる歪曲の抑制とボディサイズ小型化を実現した。

HUDを搭載する自動車において、許される容積・形状が異なるため、最善の光学特性を実現すべく自由曲面鏡の構成のバリエーションが存在するが、その例をFig. 12中央と右端に記載する。

過去、そして今回試作したHUDシステムの簡単な仕様を以下Fig. 13に、構成図をFig. 14に記載する。光学特性は維持したまま、ユニット小型化 (特に薄型化) を実現している。この最新試作機を複数の見込み客へデモンストレーションしているが、広視野角かつ歪曲のない虚像表示に好評を得ている。また、ユニットボディサイズについては実車搭載可能な水準にあることも確認できている。

5. まとめ

本稿では、新規設計2面3回反射自由曲面鏡を盛り込むことで、「歪み無し大画面虚像」「高画質」「ボディサイズの小型化」を実現した試作機開発について報告した。現在、歪曲の電子補正、自由曲面鏡の自社生産・材料検討 (ガラス→樹脂)、材料技術を盛り込んださらなる高輝度化等の各種課題に取り組んでいる。今後は、富士フィルムの技術力を駆使して、顧客価値を打ち出し、市場参入を図っていく。

参考文献

- 1) Panasonic Intellectual Property Management Co., Ltd. Kuzuhara, Satoshi. Display equipment and display unit. WO2015098078. 2015-07-02
- 2) フジノン株式会社. 小泉昇. ミラー光学系及びヘッドアップディスプレイ装置. 特開2009-115908. 2009-05-28.

商標について

・本文中で使われている会社名、システム・製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。