自動車のHUDに プラスチックマイクロオプティクス

ニコラウス・ヘトラー、ロバート・ハッチンス

自動車のヘッドアップディスプレイ（HUD）に成形プラスチックマイクロオプティクスを使った斬新な光学設計は、コスト、スペース、重量の問題を解決し、湿度や温度からの影響回避に役立つ。

HUDは最初、軍や航空用途向けに50年ほど前に開発され、当初は数百万ドルのジェット戦闘機のコックピットだけで使用された。自動車への応用は最初は高級車領域だったが、今ではHUDはファミリーカーや他の中級車種にも浸透してきている。

自動車用途では、HUDの基本的実装法は3つある。直接描画する再発光、半透明のスクリーンから反射する光によるコンバイナ、フロントガラス内部から反射する光を利用する反射方式（**図1**）という、3つのアプローチだ。

再発光タイプは、散乱や発光でドライバーに見えるように、フロントガラスの内部表面（恐らくコーティングされている）に画像を描画する必要がある。このアプローチは、対処可能な画面領域、解像度、色域、輝度、画像補正の点で優位性があるが、画像を車のフロントに展開することができない。この点はHUDに必須の特徴であると多くの人々が考えている。ドライバーの注意を道路から逸らすことが最小になるからである。

あとの2つのアプローチは、光学レイアウト全般は事実上同じである。コンバイナタイプは、よりコンパクトに造ることができ、低コストであるが、両アプローチとも効果的な画像を自動車の前方に映し出すことができるので最先端の技術である。

HUD設計で極めて重要な側面の1つが光エンジンの選定だ。薄膜トランジスタ（TFT）ディスプレイ[1]、デジタルマイクロミラー（DMD）ベースユニット[2]、MEMSスキャニングミラー[3]、また他にもアプローチ[4]がある。とは言え、特に高級でない自動車用途では、光コンポーネントの選定と同様に光学レイアウト面が重要になる。

自動車の何がそんなに特別なのか

商用航空あるいは民間航空ではHUD市場はまだ優位を占めている（また、引き続き大規模導入される見込である）が、他の市場での可能性がますます技術開発者の関心を引くようになってきている。

2012年、世界で販売された自動車のわずか2%（120万台）がHUDを導入していた。最近では、日本がHUDシステム導入自動車数が最大だった。しかし、2020年までにはヨーロッパがトップに立つと見られている。ヨーロッパが行っている新規開発の大半が、高級でない分野にその技術を普及させることを狙っているからである（例えば、ドイツのメーカーであるコンチネンタルは、2012年からHUDをBMWの中級クラス3シリーズ向けに供給している[5]）。

市場調査によると、2010年代の終わりまでで、この市場の年平均成長率

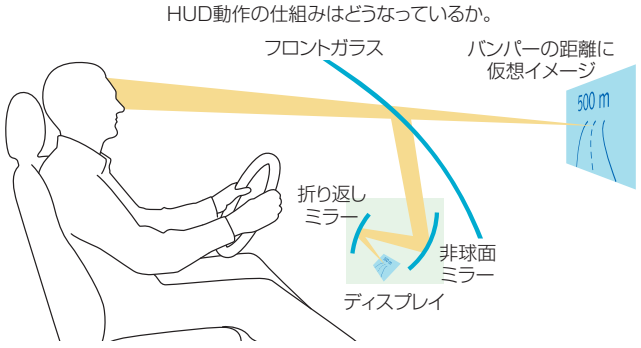

図1　自動車用途反射方式の光路の説明図（資料提供：CDA GmbH社）。

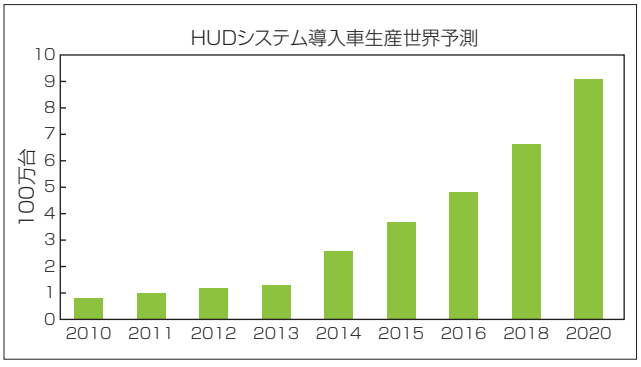

図2　HUD導入は2020年には約900万台に達すると予測されている（出典：IHS社）。

（CAGR）は30％近い。これは、市場全体が約6倍に成長することを意味する。2020年には約900万台のHUD実装車（市場の約9％）が販売される（**図2**）。言うまでもなく、HUDシステム光エンジンの標準的なコンポーネントは、投影光学系、ディスプレイパネル、およびその他で、光コンポーネントメーカーにとっては、これは成長市場でもある。

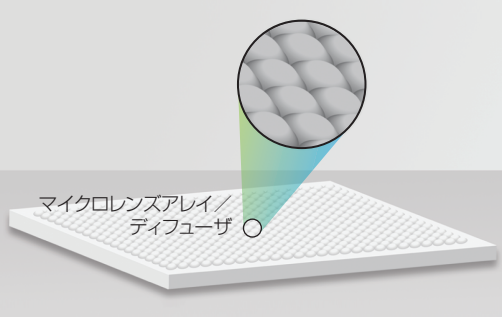

図3　このアプリケーションでは、標準的なマルチレンズアレイは、「ディフューザ」と言われることが多い。レンズサイズと位置は、射出成形マスター（原盤）において疑似ランダムにすることができ、ディスプレイピクセルあたりのレンズは3×3あるいはもっと多い。製造工程においてそのような加工ができるので、ディスプレイとディフューザの調芯が不十分な場合でも、システム画像の乱れを最小化できる（資料提供：CDA GmbH）。

自動車設計特有の問題

見やすいピコプロジェクタやマイクロプロジェクタ技術の開発はHUD開発を推し進める要因とも考えられる。必要な仕様の多くが両方のアプリケーションに酷似しているからだ。最先端のHUDはこのような相乗効果を活用している。またユーザは、快適に見ることのできる距離で重要情報にアクセスできるようになる。したがって、ドライバーはさらに運転に集中することができ、運転も一層楽になる。

しかし自動車アプリケーション特有の問題がある。これに含まれるのは、システム構成、多様なモデルでの再設定が容易であること、環境／性能問題（自動車が使用される温度や湿度環境の範囲を考慮）。さらに、TS16949などの自動車品質管理基準に準拠する規定がある、最後に全ての自動車サブシステムに共通のパフォーマンス仕様がある。つまり、コストをかけないで絶対的なハイパフォーマンス高信頼がある。

ディスプレイの考案

HUD設計の光学的な問題を明らかにするために、光エンジンへのアプローチを考えてみよう。光エンジンは、高解像度TFT-LCDディスプレイからなり、輝度や色域は高輝度バックライトLEDによって規定される。

画像生成ユニット（PGU）はダッシュボードの下やフロントガラスの下にある。その後の光学系は画像を反射面（コンバイナ／リフレクタ）から上方に投影しなければならない、同時に画像が車の前方、コンバイナではドライバーから1.5～2mに遠くの離れたどこかに浮いているような印象を与える。

このような機能で、拡大と結像位置を提供するディスプレイを考案する作業は大した問題ではない。共通仕様は、ピクセルサイズ30μm、ワイドスクリーンフォーマットでドライバの最大5°の視界。従来のマクロオプティクスならこうした仕様は十分に満たせるが、ただしそれはシステムを不必要に大きくしてしまう。

したがって投影／拡大はマイクロレンズアレイで達成するのがのよいが（**図3**）、1つのレンズでTFTディスプレイの3色ピクセルのそれぞれに対応するのが最もシンプルである。最小の品質低下で正確に画像処理をするために適切な製造および接着精度はすぐにも利用できる。また、この種のアレイ素子は様々なレベルの技術で製造可能だ。材料の直接加工、ガラス成形、ガラスの複製、プラスチック成形など、使えるプロセスはいくらでもある。

最適な条件を仮定すると、ピクセルあたり1レンズアプローチが実際的に理想的なソリューションになるだろう。つまり、自動車の内部環境が極度の高低温（－50～＋70℃）や振動にさらされることがなければと言うことだ。さらに、自動車業界は幅広い照明条件で均一性（つまり、ピクセルグレインと端から端までの輝度）やコントラスト（非誘導の光による低減）に対して大きな期待をもっている。

事実上、自動車の寿命を通じて、また著しく違いが出る気候に渡ってアライメントを保証するのは難しい。些細な（例えば、熱に誘導された）調整不良でも、回折効果、モアレ効果などの画像の乱れが出てくる。したがって、時間の経過あるいは温度変化によって見える画像の品質が劣化することになる。

ここでの回避法は、個々のカラーピクセルが多数のマイクロレンズによって投影されるようにレンズサイズを小さくすることである。しかし、現状では、レンズサイズには考慮すべきトレードオフがある。小さすぎると、レンズは回折アパチャのように振る舞い始めるが、大きすぎるとピクセル毎のサンプリングが不十分なレンズになり、グレインを抑制できない。

通常使用されるピクセルサイズでは、ピクセルあたり3×3のマイクロレンズサブアレイがすぐに達成でき、ほとんどの場合、それで十分である。回折効果に敏感な画像生成ユニット（PGU）では、4×4のサブアレイ、サブアレイのランダムシフト、疑似レンズサイズなど全てがパフォーマンス改善で重要な役割を果たす。調整不良は、各ピクセル

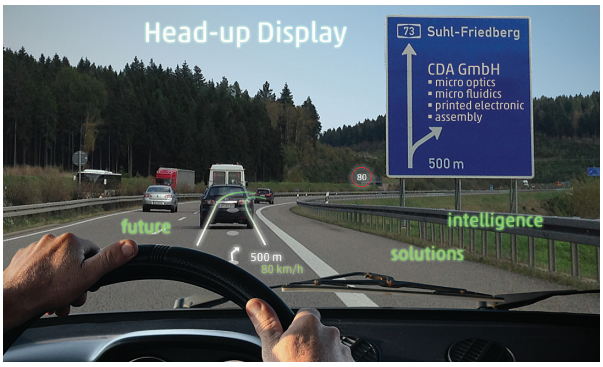

図4 拡張現実と最先端の運転者支援システム(ADAS)が、将来のHUDシステムで可能になる(資料提供:CDA GmbH)。

から見て、ランダムに選ばれたマイクロレンズの一部をわずかに変えるに過ぎない。

このタイプの素子は、利用可能などんな加工技術を使っても簡単には製造できない、具体的に言うと2010年代の終わりまでは量産できない。総合的に判断して、射出成形プラスチックレンズアレイが全ての光学パフォーマンス要件を適切に満足させ、また量産性、コスト、重量、大きさに関連するパフォーマンス要件を満たす。

紛らわしいが、オプティクスの視点からは、このアプリケーションにおけるこの素子は「ディフューザ」と言われることが多い。

ナノ構造とスタッキングで機能強化

材料としての光学樹脂の明らかな利点は別にして、さらなる利点はその成形製品の柔軟性の利用にある。

上に見た投影光学系は事実上、0.6～1.2㎜基板に縮小される。この基板は最大50μmのたわみを持つ片面で疑似ランダムマイクロレンズを支持している。

例えば、いわゆるモスアイ効果—広帯域反射防止効果を生み出す—を真似たナノ構造は、すぐに第2面にスタックできる、したがってディフューザを通した光伝搬最適化へのルートが手際よく提供できる。他の面構造の多くも同じことである。フレネルレンズ、バイナリあるいはマルチレベル回折面、真の拡散面、リフレクタでも同じことだ。さらに、追加のナノ構造が十分に小さければ、それはマスターとの適切なマッチングによって(比較的マクロな)屈折面に直接書き込むことさえできる。

これらの複雑な屈折率や追加のサブ波長ナノ構造の全てを必要な構造精度(約300nm)と位置精度(約1μm)を持つように製造するには、大幅に修正したマスター作製と射出成形アプローチが必要になり、機能(例えばスタッキング)を追加するには次の多段階の微細製造と後処理を結びつけることになる。

プラスチックでは、これらのいわゆるマルチμ機能ソリューションには多くのチャンスが別にある。例えば、光流体、オプトエレクトロニクス、工業用ビジョンシステム向け立体照明、また臨床ポイントオブケア(POC)、診断、環境モニタリング、生体化学/法医学検査などのアプリケーション。標準的な材料は、ポリカーボネート、PMMA、シクロオレフィン共重合を含む。これらはガラスによって提供される光学的、機能的性能面のほぼ全てを提供するが、それに加えて、軽量であり、射出成形で量産でき、一層コスト効率が高い。

HUDの将来

HUD市場の発展は、もちろんパフォーマンスの継続的な進歩を伴うものである。より高解像度の光エンジンと一体になった、より大きな視野(FOV)(10°以上)は得られる内容の範囲がドライバーにとって広がることになる。これを輝度や色域の向上と結びつけ、HUDの次のステップは拡張現実であり、運転者支援システム(ADAS;**図4**)である。また、HUD開発のある段階で、恐らくフラットパネルディスプレイからDMDベースの光エンジンに移行することになるだろう[2]。

最終的に選定される光エンジンに関係なく、これらの仕様全てが上に見たプラスチック光コンポーネントの利用可能なパフォーマンススペクトラムの範囲にあり、ディフューザ構造の設計に適切な変更を加えることで手際よく収容することができる。

参考文献

(1) "Continental now supplying head-up displays to two premium automotive manufacturers," Continental Automotive; http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_com_en/themes/press_releases/3_automotive_group/interior/press_releases/pr_2012_03_22_hud_bmw_en.html.

(2) "Enabling the next generation of automotive head-up display systems," Texas Instruments; http://www.ti.com/lit/an/dlpa043/dlpa043.pdf.

(3) "MEMS scanning mirror," Lemoptix; http://www.lemoptix.com/technology/mems-scanning-mirrors.

(4) A. Olwal, "Next generation head-up displays," http://web.media.mit.edu/~olwal/projects/research/HUD/olwal_next_gen_HUD_2005.pdf.

(5) "The head-up display reduces driver distraction and increases driver safety," Continental Automotive; http://continental-head-up-display.com/.

(6) "Welcome to TS16949.com," http://www.ts16949.com/a55aeb/ts16949.nsf/layoutB/Home+Page?OpenDocument.

著者紹介

ニコラウス・ヘトラーはCDA GmbHのマネージング・ダイレクター、ロバート・ハッチンスはシニア光学設計者。e-mail: nicolaus.hettler@cda.de URL: www.cda-microworld.com

LFWJ