

## AR/VR ディスプレイ試験において、人間の視覚を再現する光学部品

ダグ・クレイサー、エリック・アイゼンバーグ

**拡張現実と仮想現実のディスプレイ品質を測定するには、装着者の実際の視覚的体験を確認するために、人間の目の大きさ、位置、視野を模倣しなければならない。**

拡張現実 (Augmented Reality: AR)、仮想現実 (Virtual Reality: VR)、ウェアラブルデバイス市場は、急速に成長しており、56.1%の年平均成長率 (Compound Annual Growth Rate: CAGR) で、2021年までに8120万個に達する見込みである<sup>(1)</sup>。この市場成長に伴い、ディスプレイを装着した場合の装着者の視界という観点でのディスプレイの視覚品質を評価する必要性が高まっている。その品質評価には、新しい測定手法が必要である。

ニアアイディスプレイ (Near Eye Display: NED) の画像は、ユーザーの視野 (Field Of View: FOV) いっぱいに拡大されるため、それとともにディスプレイの欠陥も拡大されてしまう。そうした欠陥は、ユーザーエクスペリエンスを損なうだけでなく、最終的には、ますます競争が激化するこの新し

い市場におけるその企業のブランドイメージを傷つけることになりかねない。そのため、AR/VRを特に対象としたディスプレイ試験という、新たなニーズが高まっている。

従来のフラットパネルディスプレイの視覚品質試験では、輝度 (明るさ)、色、均一性、視覚的欠陥などのパラメータが評価される。従来の測定システムの制約に基づき、NEDに対して同じ測定を行おうとすると、メーカーは課題に直面することになる。

AR/VRデバイスのメーカーは、それぞれ固有の方法でディスプレイをヘッドセットに搭載しており、その技術やハードウェア構成はそれぞれまったく異なる。したがって、NED試験に対する有効なソリューションは、各デバイスの形状や異なるディスプレイ仕様に適応可能でなければならない。

### NED測定の課題

すべてのAR/VRデバイスにおいて、NEDには視覚的測定にこれまでとは異なる課題をもたらす、固有の特徴がある。装着者は、頭部装着型かゴーグル型のディスプレイを通すことにより、物体が非常に近くに見えるか、または、広い視野が見渡せるようになる。

残念ながら、ディスプレイに欠陥があった場合、NEDにはそれも拡大されて投影される。不均一な色や明るさ、デットピクセル、線状欠陥、両目の画像の不一致は、至近距離で見るとより顕著に現れる。解像度も、AR/VRディスプレイの非常に重要な要素である。ディスプレイいっぱいに視覚的にリアルな映像を作成するために、NEDでは、片目あたりのディスプレイピクセルを多くする必要がある。ピクセル密度の高いディスプレイには、高分解能の測定装置が必要になる。

NEDのFOVを広げると、さらに没入感あふれる視覚的体験がユーザーに与えられるが、ディスプレイのFOVが広いほど、イメージング・システムを使ってディスプレイ全体を包括的に捉えて測定する作業は難しくなる。人間の両眼視野は、水平方向に約114~120°だが、いくつかの主要なNEDデバイスで100~120°のFOVが達成されている (図1)<sup>(2)</sup>。

NEDは通常、ヘッドアップディスプ



図1 さまざまなVRヘッドセットディスプレイの視野 (FOV) の比較。図に示されていない他のデバイスとしては、米グーグル社 (Google) の「Daydream」(FOV: 100°)、台湾HTC社の「Vive Pro」(110°)、韓国サムスン社 (Samsung) の「Odyssey」(110°)、米デル社 (Dell) の「Visor」(110°)、中国レノボ社 (Lenovo) の「Explorer」(110°) などがある。

レイ (Heads Up Display : HUD) や、ヘッドセットやゴーグルのようなヘッドマウントデバイス (Head Mounted Device : HMD) に搭載される。人間がそのデバイスを装着した場合と同じ状態でディスプレイを測定するには、人間の目と同じ位置になるように、測定システムをヘッドセット内に配置する必要がある。測定システムの入射瞳(レンズ開口)は、ヘッドセット内の人間の瞳の位置を模倣して、ヘッドセットの視覚開口部を通して見える、ディスプレイのFOV全体を捉える必要がある。

### その他の測定基準

AR/VRデバイスのディスプレイ試験には、特有の画像特性評価データや解析が必要である。例えば、両目の画像を組み合わせるときや、(ARのように)周辺環境の上に画像を重ね合わせるときには、輝度(投影画像の明るさ)と色均一性が非常に重要となる。

目の近くにディスプレイを表示する場合には、画像のシャープネスと明瞭度が重要である。ゴーグルやディスプレイのFOVに起因する画像の歪みを特性評価することも、空間画像精度と投影位置合わせを高めるためのカギを握る。AR/VR測定ソリューションは、こうした一般的な基準を解析する機能に加えて、デバイス間の一貫した品質を確保するために、再現可能なイメージ精度を備える必要がある。

つまり、新しいAR/VR技術には、ディスプレイを試験するための革新的な方法が必要で、それには、新しい方法論、ソフトウェアアルゴリズム、そして、ヘッドセット内測定において最も重要な、新しい光学ジオメトリが含まれる。従来のイメージング・ソリューションをAR/VRデバイスに固有の試験基準に適合させる試みもあるが、

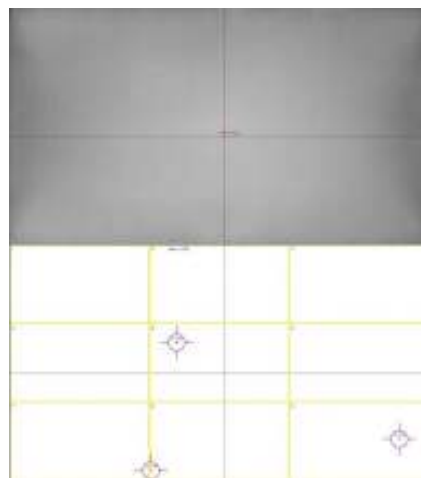


図2 高分解能イメージング・システムは、この図のディスプレイの不良ピクセルのように非常に微妙な欠陥も含めて、至近距離で見ると気づく可能性がある、高解像度ディスプレイ上のすべての視覚的欠陥を検出することができる。

AR/VRディスプレイの測定可能なすべての特性に包括的に対応するには、かなり制約がある。何よりもまず、実際のユーザーエクスペリエンスを評価するには、人間の目の視覚的機能と厳密に合致する測定ソリューションを構築する必要がある。

### 人間の視覚的体験の再現

NEDの光学性能は、人間の視覚を基準に判定する必要がある。人間の視覚的体験を客観的に評価するために、ディスプレイ試験システムが提供する必要のある主要要素としては、測光データ、FOV全体の解析、高分解能などが挙げられる。

すべてのディスプレイに共通する必

須要素は、光と色の見え方である。イメージング光度計と色彩計は、異なる光波長に対する人間の目の反応(明所視反応曲線)を模倣する特殊なフィルタが組み込まれているため、視覚的なディスプレイ品質を評価するのに最適である。

測光イメージング・システムは、ディスプレイ試験に一般的に用いられている。ディスプレイ全体を単一の2次元画像として取得し、空間コンテキストにおいて測光データを解析するためである。このコンテキストは、均一性、歪み、シャープネス、コントラスト、画像位置の評価に不可欠である。NED測定システムは、明所視フィルタや比色分析フィルタを用いた測光技術

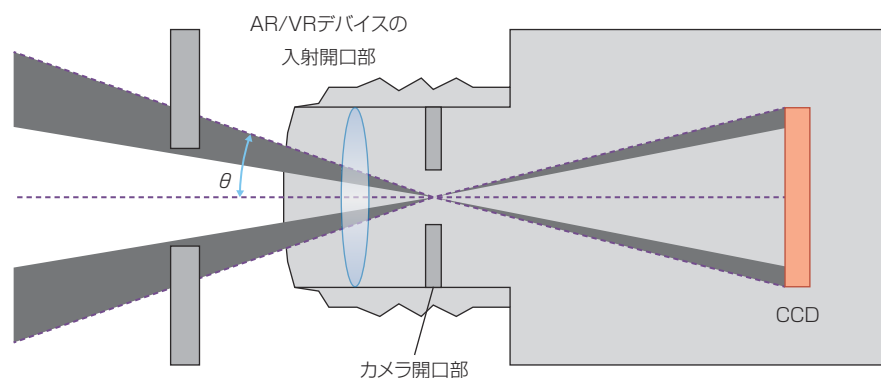


図3 内部に開口部がある標準的なレンズ構成では、開口部の位置によって視野が制約される。

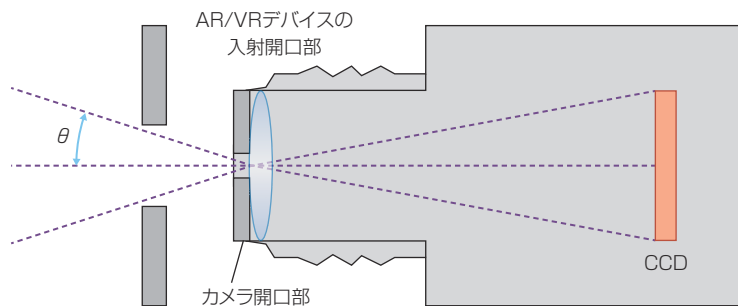


図4 NED測定には、人間の瞳の位置を再現するためにレンズの前にカメラ開口部を設け、ヘッドセットやゴーグルを通して見た場合のディスプレイのFOV全体を視覚化することのできる、特有の光学設計が必要である。

を採用し、人間の目に届く光値を評価する必要がある。

NEDヘッドセットにおいて、ユーザーはディスプレイに投影されるFOV全体を視覚的に捉えることができるため、ディスプレイ上の任意の箇所にある欠陥に気づく可能性がある。イメージセンサ(CCDなど)を採用するイメージング光度計や色彩計は、たった1つの画像でディスプレイ全体を捉えることができる。人間の目と同様に、イメージング・システムは、1つの視界におけるすべての細部を一度に捉えることができる。広FOVの光学部品を組み合わせることで、人間の両眼視野を模倣して、広FOVのディスプレイを捉えることができる。したがって、最も正確かつ包括的なNED測定を行うためには、広FOVの光学部品を備えるイメージング・システムが推奨されることになる。

目はそれ自体が高精度のイメージング装置であり、ほとんどのAR/VRディスプレイが目のすぐ近くに表示される。そのため、NEDはディスプレイの中でも最高水準の分解能を備え、よりシームレスな視覚的体験を実現するために、最も小さなフォームファクタに最も多くのピクセルが集積されている。組み込み型のAR/VRディスプレイを測定するためのシステムは、至近

距離の高ピクセル密度のディスプレイにおいて、人間の目に見える可能性があるすべての細部を捉えられるだけの十分な分解能を備える必要がある。高分解能のイメージング・システムを使用することにより、ディスプレイの各ピクセルを、イメージセンサの複数のピクセルにイメージングして、ピクセルレベルの高精度な欠陥検出を行うことができる(図2)。

高い分解能に加えて、NEDデバイスの評価のためのイメージング・システムは、最大限の精度で人間の視覚を模倣するために、ダイナミックレンジが高く(より広範囲のグレーレベル値を区別する能力)、イメージノイズが低くなければならない。

### 開口部の重要性

ヘッドセット内のNEDを測定する際の最も難しい課題の1つは、ヘッドセットのゴーグルまたはレンズを通したディスプレイのFOV全体が捉えられるように、測定デバイスを配置することである。測定システムによって、ユーザーと同じようにディスプレイのFOV全体を捉えることができれば、試験を行うことによって、ユーザーが装着した場合に見える可能性がある任意の欠陥を評価することができる。課題は、AR/VRヘッドセット内の人間の目

の正確な位置を、多くのイメージング・システムは再現できないことである。

ディスプレイの特性と均一性を最も効率的かつ一貫して測定できるように、NED測定ソリューションによって、ディスプレイのFOV全体を単一の画像に捉えることができれば理想的である。目に見えるFOV全体を捉えるために必要な、イメージング・システムの光学パラメータとしては、レンズ開口部の位置や形状などがある。レンズやカメラなどの光学システムにおいて、開口または「入射瞳」は、光がレンズに入射する最初の面である。人間の瞳にも類似の部分が存在する。

ユーザーの目に映る画像のすべての品質が評価できるように、理想的なディスプレイ測定システムは、ヘッドセット内の人間の瞳の大きさ、位置、視野を再現して、ディスプレイの画像を取得しなければならない。

システムに人間の目と同量の光が入射するように、人間の入射瞳サイズを再現することが重要である。人間の目と同等の光を取得することにより、測定システムは、人間の目と同等の細部と明瞭度を捉えた測定画像に対して品質を評価することができる。

AR/VRヘッドセット内の人間の目の位置の模倣も、非常に重要である。従来の35mmレンズの内部開口では、ディスプレイのFOV全体を捉えることができない。AR/VRデバイスの入射開口部に対して、人間の瞳の位置を再現できるほど近くには配置できないためである(図3)。

これに対し、レンズの前に開口部を持つように設計された光学部品ならば、AR/VRヘッドセット内の人間の瞳の位置を再現することができる(図4)。これを広FOVの光学部品と組み合わせることにより、ディスプレイのFOV全体

(ヘッドセットを通して人間が見ることのできる画像全体)を捉える測定システムを構成することができる。

## 最適なNED測定解決への基準

AR/VRなどのヘッドマウントデバイスのような、最新のディスプレイ搭載環境には、ヘッドセットハードウェア内の固定位置からの至近距離に表示されるディスプレイの光学品質を評価するための、新しい手法が明らかに必要である。標準的なディスプレイ測定装置には、人間の視覚と同じようにヘッドセット内のディスプレイを捉えて、ディスプレイのFOV全体を評価するための光学的仕様が備わっていない。

結論として、AR/VRディスプレイ

に対する最適な試験ソリューションには、AR/VRデバイス内の人間の瞳の大きさと位置を再現する光学部品が必須である。それによって、水平方向に約120°という人間の両眼視野と同じディスプレイFOVを捉え、高分解能イメージングによって、人間の目と同じ精度でディスプレイFOVのすべての要素をすばやく評価する必要がある。また、最適なソリューションを構成す

るには、ディスプレイの輝度、色度、コントラスト、均一性、キズ、ピクセル欠陥や線状欠陥などの視覚的なディスプレイ品質を表す項目を正確に評価するための、イメージング光度計と解析ソフトウェアが必要である。これによって初めて、AR/VR業界は、装着者が期待する適切な視覚的体験を製品が提供しているかどうかを確認することができる。

### 参考文献

- (1) See <http://bit.ly/ARVRRef1>.
- (2) See <http://bit.ly/ARVRRef2>.

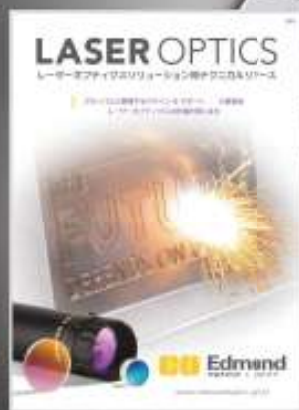
### 著者紹介

ダグ・クレイサー (Doug Kreysar) は、米ラディアント・ビジョン・システムズ社 (Radiant Vision Systems) の上級副社長兼最高ソリューション責任者、エリック・アイゼンバーグ (Eric Eisenberg) はアプリケーション・エンジニアリング・マネージャー。

e-mail: [eric.eisenberg@radiantvs.com](mailto:eric.eisenberg@radiantvs.com) URL: [www.radiantvisionsystems.com](http://www.radiantvisionsystems.com)

LFWJ

## THE FUTURE DEPENDS ON OPTICS™



NEW

### レーザーオプティクスカタログ 創刊!

エドモンド・オプティクスの2019年度版レーザーオプティクスカタログ - 2019年、新創刊の全164ページの本カタログは、レーザーオプティクスに特化したテクニカルリソースです。50ページを超えるテクニカルコンテンツ、広範囲に及ぶ製品情報、更には方程式や用語集までも網羅し、複雑なレーザーオプティクスの理解に役立つ情報源として編集されています。

無料送付受付中!



エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社  
〒113-0021 東京都文京区本駒込2-29-24  
パシフィックスクエア千石 4F  
TEL: 03-3944-6210 E-mail: [sales@edmundoptics.jp](mailto:sales@edmundoptics.jp)

**Edmund**  
optics | japan

詳しい情報はこちらへ:

[www.edmundoptics.jp/099-8152](http://www.edmundoptics.jp/099-8152)