

安定したディスプレイ生産を可能にする新しいNED計測システム

最近、特に家庭用電化製品の分野で、ニアアイディスプレイ(NED)、特に仮想現実(VR)および拡張現実(AR)ビューアに大きな注目が集まっています。そして、多くの新技術と同様に、初期の熱意と高い需要が、製品を徹底的に特徴付けるメーカーの能力を上回る場合もあります。実際、一部のNEDシステムメーカーは、人間のオペレーターに主観的にディスプレイを見て、特定のユニットが「良く見える」かどうかを判断させる以外に、ディスプレイの品質をテストする客観的かつ定量的な方法を持っていませんでした。

しかし、NEDがノベルティから主流製品に移行するにつれ、信頼性が高く、予測可能な性能を達成することがますます重要になります。民生用NEDシステムの場合、一貫した顧客体験を保証し、メーカーのブランド・アイデンティティに合致した外観と性能の両方の基準を製品が確実に満たすことを保証するために、これは必要なことです。商業用NED、特に航空電子機器や軍事用途のNEDでは、指定された性能レベルを達成することが、アプリケーションでデバイスを正しく機能させるために重要であることがよくあります。

NEDのテスト機能にこの遅れが生じるのは、これらのデバイスで採用されている光学システムと、観察者による光学システムの利用方法がどちらも若干独特であるためです。したがって、従来の光学計測装置をNEDテストの要求に単純に適合させることはできません。新しいアプローチが必要です。この記事では、NED計測の主なニーズのいくつかと、これらの要件を満たすためにGamma Scientificが開発したソリューションについて概説します。

NEDの基本

すべてのNEDは、3つの重要な要素を含んでいます。一つ目は、光や画像を生成するディスプレイや光源です。二つ目は、その光を見る人の目に投影する光学系です。これらの光学系が必要なのは、ほとんどの人が目に近く(例えば2インチ以下)見える対象物に快適に焦点を合わせることができないからです。従って、光学系は、容易な輻輳のために十分な距離にあるように見えるディスプレイソースの仮想画像を作成し、また、デバイスが3D画像を提供する場合、立体画像融合を可能にします。さらに、光学系は、ディスプレイ出力をユーザーを取り囲む実際のシーンのビューと組み合わせたり(AR)、真の環境のビューを完全に遮断したり(VR)することもできます。NEDの最後の構成要素は、最初の2つの要素を視聴者の頭の上または前に保持し、ユーザーの目に対して適切に配置するための機構です。

NEDの設計形態は、すでにかなり多くのものが使用されているか、開発中です。これらは、画像生成に使用される技術や光学系の構成という点で非常に多様です。しかし、特定のNEDの基本設計がどのようなものであれ、ディスプレイと光学系を組み合わせた出力は、いくつかの重要なパラメータによって特徴付けることができます。

具体的には、次の通りです：

- 射出瞳:** NED光学系によって形成される画像または光ビームの領域のこと。眼球を射出瞳内の任意の位置に置くと、ディスプレイの全視野が見えることとなります。通常、射出瞳の幅は15～20mmです。このサイズであれば、光学系に対する眼球の配置にある程度の許容誤差を持たせることができ、また、人口的に自然に発生する瞳孔間距離のばらつきにも対応できるからです。
- アイボックス:** これは、NEDの射出瞳孔から始まり、眼球に向かって後ろに広がる容積です。眼球をアイボックス内の任意の位置に置くと、視聴者はディスプレイの視野全体を見ることとなります。
- アイレリーフ:** 射出瞳孔からNED光学系の最も近い表面までの距離を指します。通常、アイレリーフは、眼鏡をかけたユーザーの目がこのポイントにアクセスできるスペースを確保できるように、十分な大きさ(20mm以上)に設計されています。
- 視野角:** 視野角(FOV)とは、視聴者の目で見たとときに、ディスプレイが傾いて見える水平方向と垂直方向の角度のことです。

測定要件

NEDで最も一般的に測定される光学パラメータには、出力空間均一性、コントラスト比、絶対輝度および色精度が含まれます。フラットパネルディスプレイやプロジェクターのような大型ディスプレイの場合、均一性は、伝統的に、イメージング測色計または他のタイプの校正されたカメラベースのシステムを使用して測定されます。絶対輝度と絶対色度は、通常、狭視野の集光光学系(望遠鏡など)を備えた分光放射計を用いて測定されます。

残念なことに、ほとんどのヘッドマウントNEDの物理的サイズと光学特性は、従来の分光放射計システムの使用に関連するいくつかの特有の問題を引き起こしています。特に、分光放射計で通常使用される集光光学系は、比較的大きな入射瞳を持ちます(通常20mmから40mmの範囲)。これは、被測定光源の射出瞳が光測定装置の入射瞳よりも小さい(アンダーフィル)場合、測定の絶対精度に大きな誤差が生じるという問題を引き起こします。

また、集光光学系が光源の空間情報を保持することも不可欠です。これは、ディスプレイの任意の部分領域の正確な色と輝度の測定を行うために必要です。例えば、表示された1つの文字や記号の特性色と輝度を測定することが望ましいかもしれませんが、したがって、積分球、光ファイバー、または角度情報を保持しないその他の収集光学系は、この種のNED測定には役に立ちません。

ほとんどのNEDで従来の分光放射輝度計の集光光学系を採用するもう一つの難点は、一般的に大きすぎて利用可能なスペースに収まらないことです。具体的には、多くのNEDはゴーグル、ヘッドセット、ヘルメットに内蔵され、ユーザーが装着できるようになっています。つまり、どのようなテスト装置であれ、集光光学系はユーザーの頭や目と同じスペースに収まるものでなければなりません。実際、テストシステムは、NEDディスプレイの左右の出力に独立してアクセスできるほど小さくなければなりません。従って、NED試験用の理想的な光学系は、視聴者の目の利用可能スペースの約半分の大きさのフォームファクターを持つべきです。残念ながら、これらの要件をすべて満たす高精度計測装置は過去に存在しませんでした。



図1. ガンマサイエンティフィックNED測定システムの光学系は十分にコンパクトで、事実上あらゆるNEDの視野スペース内での測定が可能です。

Gamma Scientificソリューション

前述の議論から、高精度のNEDカラーおよび輝度測定システムに使用するには、直径約5mm以下の入射瞳を持つコンパクトな望遠鏡光学系が最適です。絶対精度の高い色や輝度の測定を行う場合、一般的には、ディスプレイ全体を一度に見るのではなく、NEDの一部、おそらくディスプレイ内の1つの文字や記号を見ることが望ましいです。そのため、被試験デバイス(DUT)からサンプリングされる領域のサイズを変えるために、望遠鏡のフィールドストップのサイズ、つまり光学系の視野サイズを簡単に変更されると便利です。

図に示すのは、Gamma Scientific NED測定システムの主要構成要素です。このシステムは、この種の光学系に基づくNEDの絶対色と輝度を高精度で測定するために開発されました。システムの心臓部は直径5mmのコンパクトな望遠鏡で、Gamma Scientific GS-1290 CCDディテクターベースの回折格子分光放射計に接続されています。一連の6つのアパーチャーは、望遠鏡システムのフィールドストップに自動的に挿入され、5°、2°、1°、0.5°、0.33°、0.1°のFOVサイズを定義することができます。さらに、この装置には、テストパターンとカラーフィールドを表示するグラフィックジェネレーター、オートコリメーション基準ミラー、LEDベースのチューナブルライトスタンドも搭載されています。

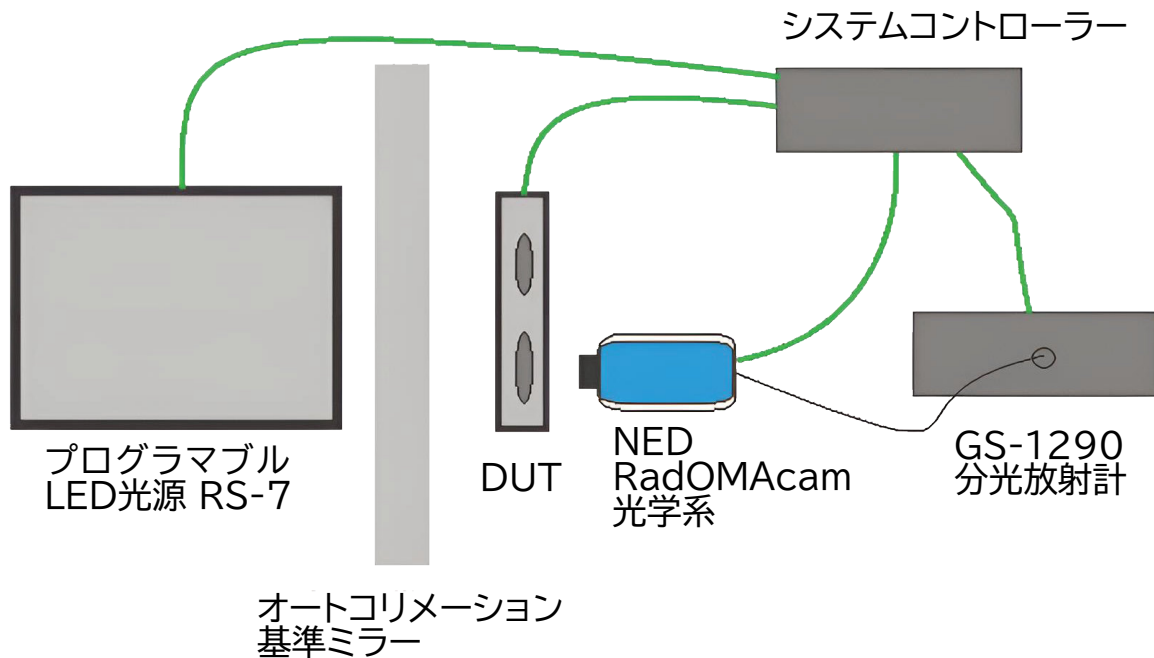


図2. NEDの絶対色と輝度を高精度で測定するシステムの主要要素の概略図。望遠鏡の位置とポインティング方向を制御する機構は示していません。

このようなシステムの製造がこれまで困難であった理由の一つは、集光光学系の入射瞳サイズを小さくすると（従来の20mm以上から5mmに）、大きな信号損失が生じることです。つまり、正確な測定を行うためには、分光放射計の感度が高く、ノイズが非常に少ない必要があります。Gamma Scientific GS-1290分光放射計は、裏面照射型CCDの採用によりディテクターの感度を向上させ、サーモエレクトリック冷却によりセンサーのノイズを大幅に減少させることで、これを実現しています。

正確な分光放射計によるNED測定

収集望遠鏡には3つの動作モードが組み込まれています。1つ目は、オペレーターが測定エリアを表示し定義するモード、2つ目は、定義された測定エリアの画像をキャプチャするモード、3つ目は、分光放射測定を取得するモードです。実際の使用では、ユーザーからのコマンド1つで、画像キャプチャと分光放射計の測定モードが連続して開始されます。



図3. 分光放射計で測定されるNEDの正確な試験領域を示すビューファインダーカメラの画像。

システムが測定エリアの確認と定義に使用される場合、望遠鏡によって撮像されるNEDの正確な部分を特定するために、反射光学系が採用されます。そのために、細いビームスプリッターを光路に挿入します。これにより、同じく視野角(FOV)アパーチャーの後方に配置されたLEDランプからの光がNEDに投影され、望遠鏡が見ているディスプレイ上の正確な領域を照らすことができます。この照明は、NED上に表示されたものとともに、カメラのセンサー面に再画像化されます。オペレーターはこれらすべてをモニターで確認し、望遠鏡の視野とポインティングポジションをNED上の測定したい特徴に簡単に合わせるすることができます。

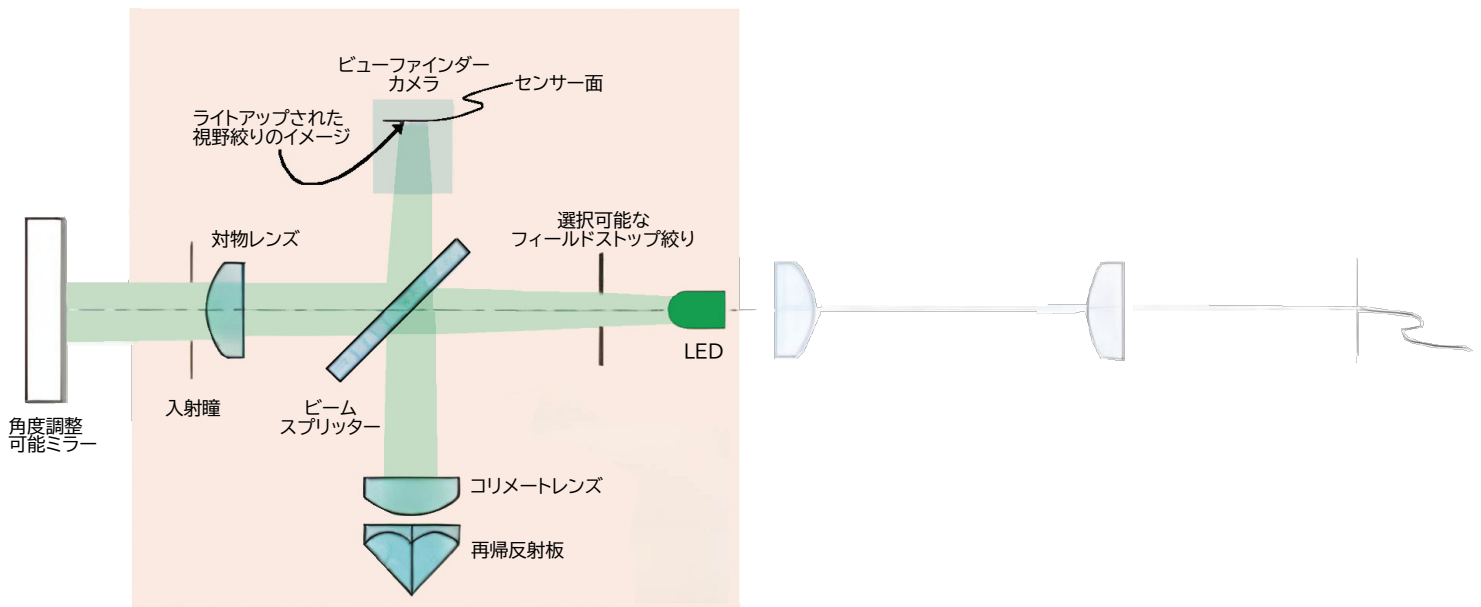


図4. Gamma Scientific NED測定システムの「ビューイングモード」での光学レイアウトの概略図。このミラーに光学系を合わせることで、NEDの左側と右側の両方から、ポインティング方向を変えずに測定を行うことができます。

ARシステムで作業する場合、この機能は、NEDの左右の目の間の視差の測定と同様に、測定システムのアライメントも容易にします。これを実現するために、NEDの左右両方をカバーするのに十分な大きさのミラーを、仮想画像が表示される位置に配置します。その後、レフレックスシステムをオートコリメーターとして使用し、ビームがそれ自体に戻るまでミラーの角度を調整します。つまり、ミラーは望遠鏡の光学系に対して完全に垂直であり、無限遠にあるように見える望遠鏡の仮想物体(自身の投影されたフィールドストップ)を提供します。望遠鏡をNEDの片側からもう片側に移動させると、オートコリメーターがポインティング角の変化を表示します。さらに、望遠鏡をNEDの左目用と右目用のディスプレイの間隔に相当する距離だけ動かすと、測定システムはディスプレイに表示されるあらゆる要素のシフト(または視差)を決定することができます。

画像キャプチャモードでは、ビューファインダーカメラがNED上のサンプル領域の画像を取得します（光学系のフィールドストップで定義）。その後、一連の画像解析ツールを使用して、色均一性、輝度均一性、画像コントラスト、MTF、色収差などの測定基準を決定することができます。これらの量は、その後の分光放射測定と相関させることができます。

分光放射測定モードでは、ビームスプリッターは望遠鏡から自動的に引き込まれ、収集された光は光ファイバーケーブルの端に集光され、グレーティング分光放射計の入射スリットに送られます。分光放射計のデータを分析すると、望遠鏡のFOV内に含まれるNEDからの光の輝度と色が得られます。光学系は、仮想画像内の任意の場所をサンプリングするために、入射瞳の平面内で回転させることができます。

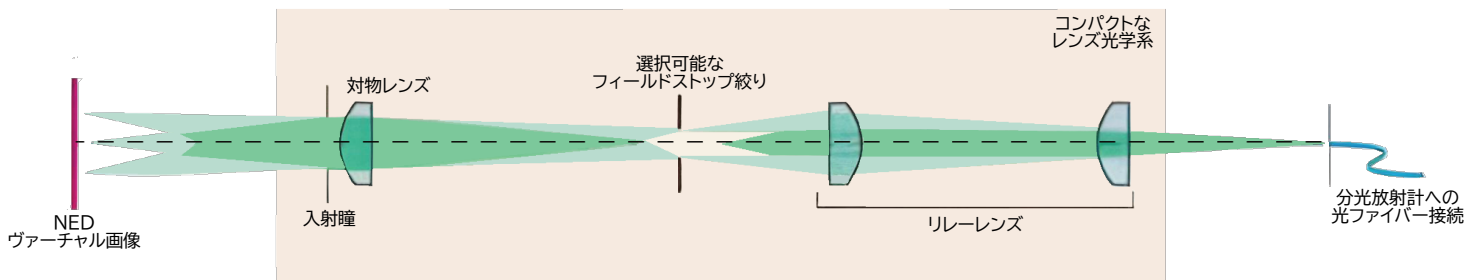


図5. Gamma Scientific NED測定システムの分光放射計測定モードでの光学レイアウト概略図。ここで、NEDの仮想画像からの光は、左から直径5mmの入射瞳に入射し、分光放射計に供給する光ファイバーケーブルの端に結像します。

結果

Gamma Scientificでは、35のスペクトルチャンネルを持つLEDベースの調整可能な標準光源 RS-7を使用し、各チャンネルの強度設定を16ビット分解能で行うことで、装置の性能を検証しました。具体的には、各LEDスペクトルチャンネルに対して11の輝度値を設定し、5つの異なるFOVアパーチャーについて輝度と色の変化を測定しました。

次の図は、Epson BT200 AR (拡張現実)グラスで取得した実際の測定セットの一部を示しています。Gamma Scientific NED 測定システムを使用すると、設計アイボックスのさまざまな領域に測定光学系の入射瞳を配置することによって生じるディスプレイの輝度と色の変化を正確に定量化することができました。これらの測定では、2つの異なる方法、つまり全視野イメージング(ビューファインダー カメラを使用)と仮想画像フィールドの方向マッピング(分光放射計を使用)を通じて視覚 FOV 内の色の均一性も比較しました。このようなタイプの測定値は、NED ディスプレイに関してこれまで報告されたことがありません。まとめると、これらの結果は、Gamma Scientific NED 測定システムが、事実上あらゆるタイプのNEDについて、輝度と色、およびその他の定量的パラメータの高精度の絶対測定を迅速に取得するための使いやすい方法を提供することを示しています。

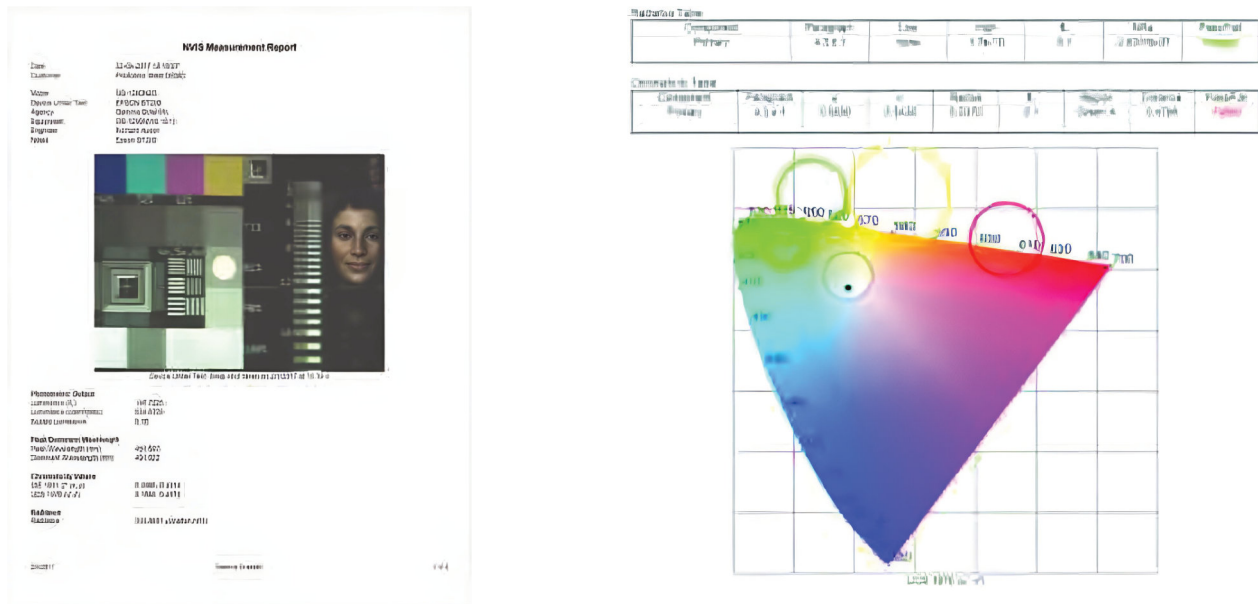


図6. Gamma Scientific NED 測定システムによって実行される 1 回の測定には、輝度、色度、スペクトル データが含まれます。