

はじめに

今日の顕微鏡システムに対するユーザーの要求は、顕微鏡対物レンズの性能とエンジニアリングの限界を押し広げつつあります。ライフサイエンスや半導体検査などの分野にデジタル顕微鏡や演算処理が導入されたことで、広い視野とさまざまな波長帯域にわたって優れた画質が期待(および要求)されるようになりました。最先端の高品質光学システムの性能限界を理解するには、高品質、高信頼性、高精度の計測システムが必要です。

COTS顕微鏡対物レンズの性能のばらつき

すべての顕微鏡プラットフォームは、後にカスタムソリューションに移行したとしても、主要メーカーの市販対物レンズ(COTS)から始まります。しかし、COTS対物レンズの課題は、ベンダーや製造ロットによって性能にばらつきがあることです。システムの性能を完全に理解するためには、計測が絶対に不可欠です。

メーカー間のばらつき

顕微鏡対物レンズの光学測定はメーカーが行いますが、定量的なデータは顧客と共有されません。そのため、ユーザーは対物レンズの性能についてサプライヤーの言葉や評判を信用するしかありません。一見すると同じ対物レンズの中から選択する場合、光学測定は非常に貴重です。図1は、異なるベンダーの4つの20倍、0.4 NA対物レンズの波面性能を比較したものです。すべての候補が回折限界性能のレイリー基準に近い性能を示していますが、用途によっては大きなばらつきがあります。

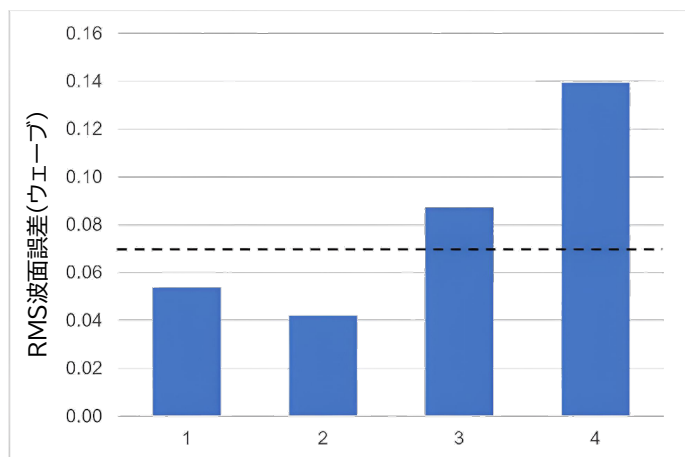


図1. 各ベンダーの20倍対物レンズの性能比較。破線は回折限界波面を表します。

対物レンズの品質は多くの要素で構成されます。

色度性能は多くの顕微鏡アプリケーションにとって重要です。メーカーのデータは、多くの場合、特定の波長帯域と使用可能な測定器の性能範囲に限定されています。図2は、635nmと520nmの間の顕微鏡対物レンズの性能の低下を示しています。これらの測定は、スペクトル幅の広いアプリケーションにおいて重要です。

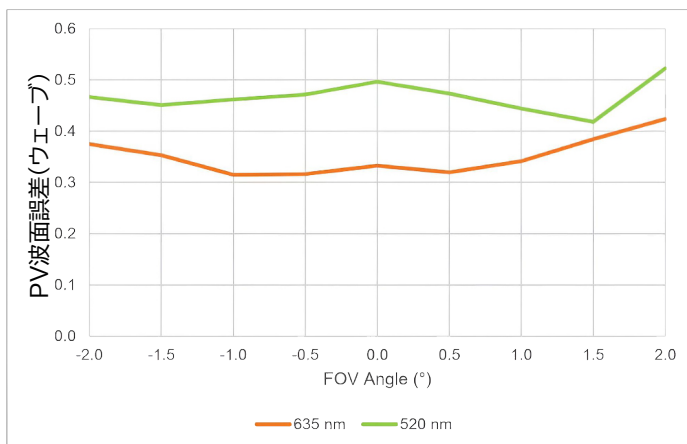


図2. 0.64 NA COTS対物レンズの色度性能

同様に、対物レンズは軸上でしかテストできず、全視野にわたる性能は要求されません。Optikosは、画像の端で使用可能なデータを得るのに苦労している顧客と定期的に仕事をしています。

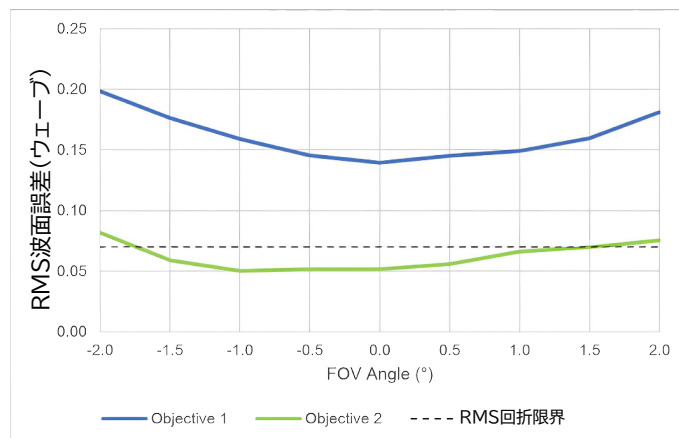


図3. 3つの同一の対物レンズについて、視野角全体にわたって測定されたRMS波面。

ブラックボックスレンズデータ

ベンダーは、レイトレース・シミュレーション用の光学ブラックボックス設計ファイルを提供することがあります。ユーザーは、これらが公称または最良のケースでの設計を表していることを知っておく必要があります。製造公差は、“As-built”性能が公称設計より低くなることを意味します(図4)。Optikosは、ユニット間のばらつきが大きく、ブラックボックス設計ファイルと性能が大きく異なる顕微鏡を観察したことがあります。

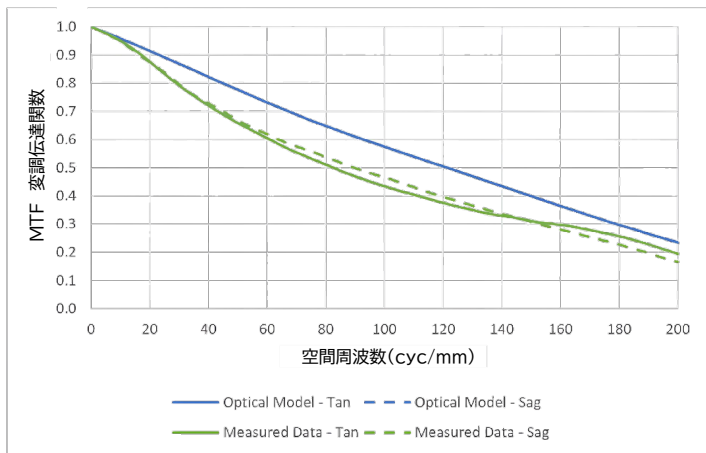


図4. 光学設計ファイル(青)と実測MTF(緑)の比較

受入検査

顕微鏡対物レンズの受入検査を行うお客様はほとんどいません。残念ながら、同じ製造ロットの対物レンズであっても、個体差が大きい場合があります。例えば、同じメーカーの同じタイプのレンズ4個を測定しました(図5)。この小さな集団全体では、性能に大きなばらつきがありました。

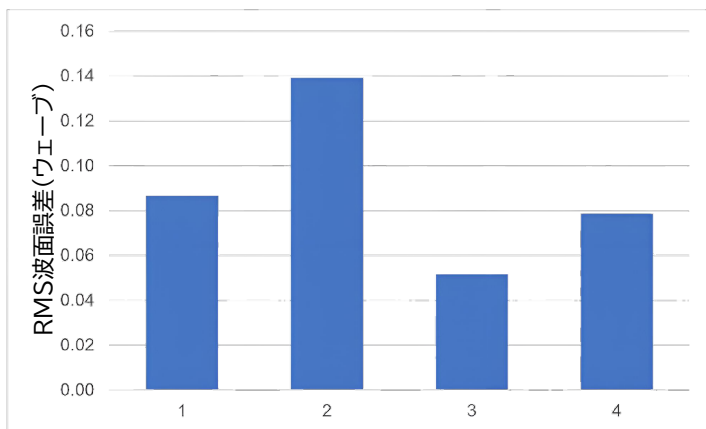


図5. 4つの“同一の”市販対物レンズの軸上RMS波面データ

受入検査や定量的なベンダーデータがない場合、どのコンポーネントが根本的な原因であるかを特定するメカニズムがないため、顧客は装置の性能や製造歩留まりに苦慮することになります。その結果、光学部品が要求を満たしていないのに、ユーザーはシステムのアライメントを追いかけることになります。また、性能の低さを、完全に良好なコンポーネントのせいに行っているケースもあります。多くの場合、コンポーネントの性能不良は、組み立てと校正の労力が費やされた後、システムレベルのテスト中に製造ラインの最終段階で初めて特定されます。

顕微鏡対物レンズの測定ツール

波面センサー、干渉計、MTFベンチは顕微鏡の性能を評価する有効な方法です。これらのシステムは既製品として購入できますが、高価であり、万能ではありません。最も一般的な光学計測法の概要は、最終ページの表1に記載されています。

さらなる考察

従来の計測システムの能力を拡張する高性能システムの計測には、考慮すべき点が数多くあります。次のような質問をします。

- スペクトル要件。単色測定と多色測定のどちらが必要ですか？測定で色収差を評価していますか？
- 浸漬の必要性。測定対象システムは浸漬液（水または油）を想定していますか？空中測定は浸漬システムの適切な代替手段ですか？
- カバーガラスの要件。テストはカバーガラスを使用して行われていますか？高NAアプリケーションの場合、カバーガラスの厚さと屈折率がパフォーマンスに測定可能な影響を与える可能性があります。カバーガラスが使用されていて、厚さが標準外の場合、パフォーマンスが著しく低下する可能性があります。
- フィールド測定。全視野を測定していますか？軸外のパフォーマンス評価には、通常、追加の固定具とより複雑なセットアップが必要です。
- 無限共役と有限共役。目標はフルシステム(オブジェクトからセンサーまで)ですか、それともスタンドアロンの顕微鏡対物レンズ測定ですか？
- インラインフィルター。他の光学コンポーネントを配置して測定を行う必要がありますか？同軸システムでは通常、光路に1つ以上のフィルターまたはビームスプリッターが存在します。これにより計測セットアップが複雑になることがあります。

これらすべての項目を考慮すると、カタログ計測システムではシステム評価に必要な正確なデータが得られない可能性があります。Optikosは、業界標準の計測システムをカスタムハードウェア構成と組み合わせて使用し、これらの顧客の課題を軽減します。

結論

OptikosがIQ Lab™テストサービスを通じて顧客をサポートする場合でも、カスタム製品ソリューションを設計する場合でも、顕微鏡光学計測における顧客の課題に対処することは、顧客の成功を確実にするために不可欠です。Optikosは、アプリケーションに適した計測ソリューションを使用すること、およびそれが顧客にとって価値の高いデータを生成するように構成されていることを確認することに重点を置いています。これにより、顧客は製品を開発から生産に移す際に自信を深めることができます。

表1. 顕微鏡計測法

計測方法	MTF	干渉測定	波面センサー	画像ベースのテスト
NA 範囲	<0.9	制限なし	制限なし	制限なし
多色	Yes	No	No	Yes
軸外（視野）測定	Yes	ユーザーによるカスタマイズが必要	ユーザーによるカスタマイズが必要	標準
カバーガラスで使用可能	Yes	Yes	Yes	Yes
浸漬で使用可能	No	ユーザーによるカスタマイズが必要	ユーザーによるカスタマイズが必要	Yes
業界定義（繰り返し可能）	Yes	Yes	Yes	Yes
自動化に最適	Yes	ユーザーによるカスタマイズが必要	ユーザーによるカスタマイズが必要	No
歪み測定	Yes	No	No	Yes
対物レンズのみで測定	Yes	Yes	Yes	Yes
チューブレンズで測定	Yes 有限共役 オプション付き	Yes カスタマイズ可能	Yes カスタマイズ可能	Yes
内蔵カメラで測定	No	No	No	No
コスト	初期費用は高いが、カスタム開発はほとんど必要なし	初期費用は控えめだが、通常は大幅なカスタム開発が必要	初期費用は最も低い、カスタマイズのレベルは最も高い	非標準ソリューション、サンプル準備/ウェットラボ機能が必要な場合があります