

集光とシステムのスループット

Light Collection and Systems Throughput

このチュートリアルでは、お客さまのアプリケーションに最も適した光学システムの選定をお手伝いします。ここで説明することは、アークランプや石英タングステンハロゲンランプなどの光源の一般的な用途に限定されます。回折効果やコヒーレント効果は除外しています。本セクション全体は、集光に関する重点的なご説明となります。

システム全体の検討事項

システムには、光源、集光光学、ビーム操作およびビーム処理光学、伝送光学および検出器が含まれます。システムの構成部品を選択する前に、システム全体を分析することが重要です。ひとつのアプリケーションで最適な集光光学でも、他のアプリケーションでは性能を制限する可能性があります。光源の光を最も多く集光することが、必ずしも最適でない場合があります。

Fナンバーと開口数 (NA)

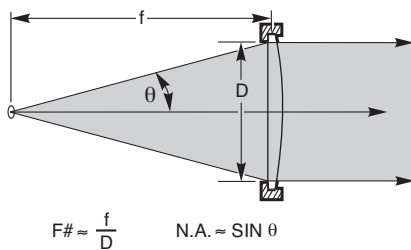


図1：光源の光を集光し、コリメートするレンズ。

図1は開口部 (D) があり、光源の光を集めてコリメートしているレンズを示しています。光源は、レンズから1焦点距離 (f) 離れています。ほとんどの光源はあらゆる角度に光を放射しますので、Dが増加する、またはfが小さくなると、レンズがより多くの照射光を捉えられるのは明らかです。Fナンバーの概念は、これらの2つをまとめ、光学を簡単に比較できるようにするものです。

Fナンバーは、次のように定義されます。

$$F/\# = \frac{1}{2 n \sin \theta}$$

ここで、

n = 光源が位置する場所の屈折率

θ = 図1で示す、放射光の円錐角の半角

小さい角度 (15°) にのみ有効ですが、近軸近似 (f/D) がFナンバーとして広く使用されています。

$$F/\# \approx f/D$$

Fナンバーが小さくなるほど、レンズが集光した放射束 (φ_c) が大きくなります。

放射束 (φ_c) は、Fナンバーの二乗の逆数で増加します。

$$\phi_c \propto \frac{1}{(F/\#)^2}$$

写真用語では、Fナンバーは光学の「速度」を意味します。高速なレンズほど、Fナンバーが低くなります。虹彩絞りを使用してDを変化させ、カメラの開口部を制御すると、Fナンバーが変化します。

開口数

顕微鏡およびファイバ光学の世界では、Fナンバーよりも「開口数」を使用して集光能力を表します。屈折率nの媒質において、開口数は次の式で表すことができます。

$$N.A. = n \sin \theta$$

N.A.が大きくなれば、集光量も大きくなります。 空気中の最大のN.A.の値は1です。顕微鏡の対物レンズで利用可能なN.A.は、0.95です。

N.A.とFナンバーの関係は、次の式で表すことができます。

$$N.A. = \frac{1}{(2F/\#)}$$

開口数の概念は、円錐角が大きい光学システムの場合さらに有益です。

ミラーのFナンバー

集光には、凹面の球面ミラーを使用する場合もあります。このミラーは、弊社のモノクロメータ用イルミネータに使用します。色収差があるため、レンズの焦点距離は波長によって異なりますが、ミラーのシステムは真に広帯域で使用できます。Fナンバー (F/#) と開口数の概念は、ミラーにも当てはまります。PhotoMax™ランプハウジングのように楕円形の反射板を使用する場合、Fナンバーを使用して、反射板の開口部の焦点と、楕円形の外側の焦点の間の距離に対する、反射板の開口径の割合を表します。

非円形光学のFナンバー

製品によっては、角形および長方形のミラーを使用します。ここで言及するFナンバーは、そのミラーの面積に等しい円の直径の面積をベースにしています。このFナンバーは、集光効率を考慮した場合、対角線をベースにしたFナンバーよりも重要です。

集光した光と有用な光

集光量は $1/(F/\#)^2$ で変化するので、Fナンバーを低くすることは、集光量を簡単に最大化する方法です。しかし、集光した合計照射束がすべて有用というわけではありません。Fナンバーが低いレンズは、より多くの照射束を集光しますが、コリメートした出力の品質はレンズの収差が決定します。これらの収差は、Fナンバーが低くなると急激に増加します。Fナンバーが非常に低いレンズでは、より多くの光が集光されますが、発生するビームは不完全です。点光源の場合でさえ、さまざまな角度の光線を含み、理想的なコリメート光には及びません。低品質なビームを集光して光源の良好なイメージングを行える光学システムは存在しません。Fナンバーが低い一重レンズ (F/4) は効果的な集光を行えますが、集光した光の品質が低いいため、その光を再び効果的に集光することはできません。弊社のAspherabs™はこの問題に対処し、二重レンズを使用することでF/1のコンデンサの収差を低減しています。イメージ品質またはスポットサイズが重要なアプリケーションでは、Fナンバーが高いコンデンサの方が、良い結果が得られる場合があります。

この基本的な概念を理解することが重要です。集光は簡単ですが、その集光した光が利用できるかどうかは、発生したビームの品質と、アプリケーションにより決まります。弊社のPhotoMax™システムは効果的な集光器ですが、出力ビームにはそれぞれ独自の制限事項があります。

集光：Fナンバーと最小スポットサイズ

一枚のレンズを使用してビームを集光する場合、Fナンバーが小さいほど、レンズに当たるコリメートした入射ビームの集光スポットサイズは小さくなります（収差がこのシンプルな規則に重大な例外をもたらす場合があります）。

レンズの実用的なFナンバーの最小値

一重球面レンズのFナンバーに対する実用的な限界は、アプリケーションにより異なります。高性能イメージングの場合、限界値は約F/4です。F/2~F/1.5は、アークランプのコンデンサとして使用する場合の許容値です。レンズは適切に成形され、側面を光源に向かって正しい向きに配置する必要があります（弊社のF/1.5平凸コンデンサは、反対方向に配置すると収差性能が大きく低下します）。

低いFナンバーで十分な性能を得るには、素子数を多くする必要があります。F/1カメラのレンズには、5または6個のコンポーネントが使用されています。弊社のF/0.7のAspherabs®では、4つのコンポーネントを使用しています。顕微鏡の対物レンズは、10個以上の素子を使うとF/0.5の限界に達し、非常に小さなフィールドに限り良好な性能を有します。

実際の光源とコンデンサ

ここに挙げるのは、コンデンサを選択し、使用する場合の主な検討事項です。

透過率

コンデンサに使用されるすべての材料には、スペクトル透過率の限界領域があります。有害な紫外光 (UV光) を遮断する場合など、これらの限界が役立つこともあります。他の例として、IRで動作しているときに、石英タングステンハロゲンランプなどのVIS-IR光源とゲルマニウムレンズを使用する場合です。このレンズはロングパスフィルタとして作用し、可視光を吸収します。

コンデンサやその他のコンポーネントにおける紫外光の透過率は、光源からの限られた紫外コンポーネントを一定に保つことを試みる場合に重要となります。*「石英」または「フューズドシリカ」の紫外光の透過率は、材料の起源および短波長の照射光への累積曝露量 (ソラリゼーション) に大きく依存します。弊社のコンデンサは、紫外光の透過率が最大となるように選別したUVグレードの人工シリカで構成されています。

* 石英とは、天然のオリジナルな結晶性物質です。透明なフューズドシリカは、人工的に製造された光学材料を、より正確に表現したものです。

熱による問題

屈折率、従って焦点距離も温度に依存しますが、高パワー光源における最も深刻な熱による問題は、レンズの破損です。Fナンバーが低いコンデンサの最も奥にあるレンズは、照射光源に非常に近く配置されています。このレンズは赤外光や紫外光を吸収し、その結果生じる起動時の熱応力や熱衝撃は、レンズを破壊できます。F/0.7のコンデンサを搭載した弊社の高パワーランプハウジングでは、光源の近くに特別にマウントした素子を使用しています。素子はランプハウジングのファンで冷却され、光源に最も近い場所にある素子の材料は、必ずフューズドシリカを使用しています。この位置に使用した熱ホウケイ酸クラウン素子でさえ、1000 Wから1600 Wのランプの照射光を集光すると、すぐに破損してしまいます。

平行光

実際の光源ではすべて、出射光の拡がりには有限です。図2は、光源からの光を集光し、イメージングするときの形状の一部を拡大して表したものです。代表的な光源のサイズは、数ミリです。弊社の出力1 kWの石英タングステンハロゲンランプには、直径6ミリで長さが16ミリの円筒状のフィラメントを使用しています。フィラメントを理想的な50ミリの焦点距離のコンデンサの焦点に置いた場合、この最悪な状態における「平行光」には、光軸に対して0°から9° (160ミリラジアン) の角度の光線が含まれています。

ほとんどのレンズの表面はシンプルな球面状なので、そのような球面のオプティクスを使用して高度にコリメートしたビームを集光するには限度があります。

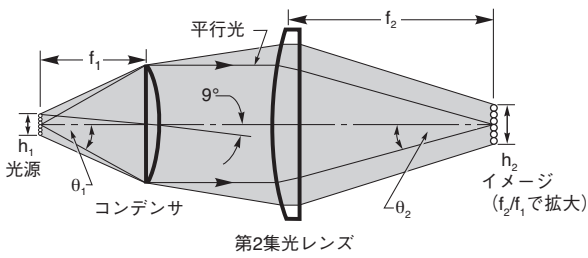


図2：有限サイズの光源の不十分な平行

球面収差

図1は理想的なレンズを示しています。単独の素子からなる実際のコンデンサでは、近軸の光線はコリメートされますが、球面収差により、大きな角度で集められた光線は集光します（図3a）。図3bで示すようにレンズを配置すると、球面収差を抑えることができます。レンズ、光源、アプリケーションによって最適な場所は異なります。弊社の研究用光源上のコンデンサは集光調節機能を備えていますので、最適な場所を実験により探すことができます。

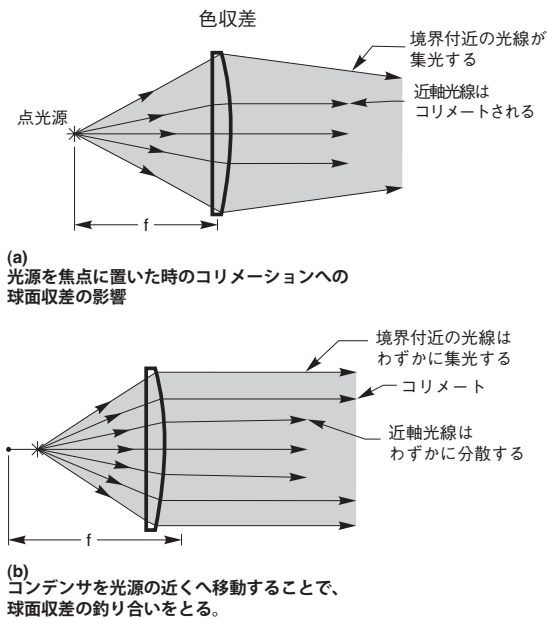


図3(a)は、単独素子のコンデンサにおける球面収差の影響を示しています。(b)はレンズを光源に向けて移動させることで効果的な妥協策となることを示しています。

色収差

どのようなレンズでも、焦点距離はレンズの材料の屈折率に依存します。屈折率は波長に依存します。図4は波長に対するシリカレンズの焦点距離および集光度合いの変化を示しています。ホウケイ酸塩クラウンガラスとフューズドシリカの屈折率は、可視光から赤外光にかけてそれぞれ1.5%と3%変化します。紫外領域では、この変化はさらに急激になります。このため、スペクトル全体の正確なイメージングを行うのに、単純なレンズシステムを使用することはできません。また、単純なコンデンサでは、広帯域な点光源から高度にコリメートしたビームを作ることでもできません（図5）。光源およびモノクロメータの最も実用的なアプリケーションでは、広帯域の正確なイメージングは必要とされませんので、経済的な、補正されていないコンデンサで十分です。弊社の研究用ランプハウジングコンデンサアセンブリには、目的のスペクトル領域に合わせてレンズを配置する集光調節機能があります。また、深紫外領域で使用するための特別なバージョンであるF/0.7コンデンサもご用意しています。

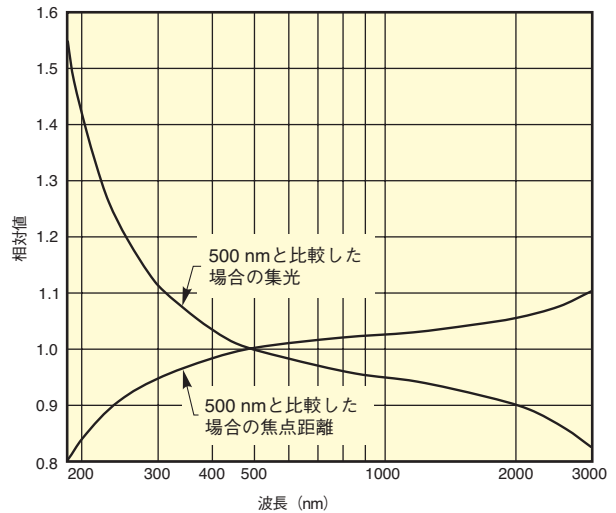


図4：フューズドシリカレンズにおいて、波長に対する屈折率の変化が焦点距離と(1/F#)に与える影響。(1/F#)は、レンズと光源の距離が1焦点距離の場合に、コリメートしているコンデンサによって集光する手段となります。波長が短いと焦点距離も短くなるので、レンズを光源に向けて移動させ、これらの波長をコリメートする必要があります。光源に近づけるほど、より多くの光を集光することができます。

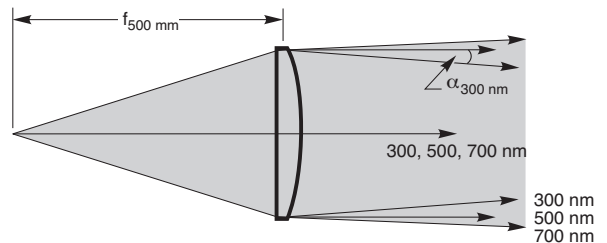


図5：コリメートしているコンデンサにおける色収差の影響。この図は、実際よりも大きな角度で表示しています。F/1.5のフューズドシリカのコンデンサでは、波長300 nmでの境界付近の光線の拡がり角はわずかに0.33°です（球面収差がないと仮定）。

アクロマティックレンズ

アクロマティックは色収差を受けにくくします。その多くは可視領域向けに設計されており、複数の素子を光学接着剤で接着したものもあります。この接着剤は、弊社の高強度アーク光源からの紫外および赤外光束のレベルには耐久性がありません。材料が変色し、光を吸収してしまいます。これらのレンズのイメージング性能が必要な場合、標準的なコンデンサを使用して光源からの光を集める必要があります。その後、紫外光と赤外光を除去し、第2コンデンサとピンホールを使用して、第2光源として使用できる、輝度の高い十分に鮮明なイメージを作ります。その後、アクロマティックレンズを使用してこの第2光源をイメージングすることができます。カメラレンズおよび別のアクロマティックレンズは、低強度光源または遠隔可視光源に役立ちます。

光源の放射輝度における指向性

現実の光源でも、方向によって輝度は異なります。Newportの石英タングステンハロゲンランプは、フィラメントの面に対して垂直な時に最大の放射照度を持つように設計しています。Newportのランプハウジングは、コンデンサの光軸が放射輝度の最大方向に位置するように設計しています。Newportの6333 100 W石英タングステンハロゲンランプの出力は、約3600ルーメンです。もしこれがあらゆる方向に均一に放射されたら、弊社のF/1.5のコンデンサが集光できるのはわずかに94ルーメン（2.6%）です。事実、レンズ部分が集光するのは約140ルーメンです。

代替手段としてのミラー

曲面ミラーは、レンズシステムと同様の問題を抱えています。その例として、熱影響、限定された視野、球面収差などが挙げられます。とはいえ、光の収集、集光およびイメージングアプリケーションによってはメリットがあり、レンズの代わりに反射光学が有用な場合があります。この理由により、弊社の7340/1モノクロメータ用イルミネータ、ApexイルミネータおよびPhotoMax™ ではミラーを使用しています。

ミラーには色収差がありません

光が反射するのはこれらの光学系の表面なので、波長依存の屈折率はここでは関与しません。そのため、入射光の波長が違ってても、ミラーの反応に変化はありません。ミラーの反射コーティングを選ぶ際には、注意を払う必要があります。なぜなら、各コーティングが微妙に異なるスペクトル反射を示すからです（図6参照）。その一方で、ミラーの場合、広帯域光源で集光やイメージングを行う間に再集光を行う必要がありません。前面が凹面のミラーなどの単純な球面反射板は、多くのアプリケーションにおいてコンデンサとして最適です。

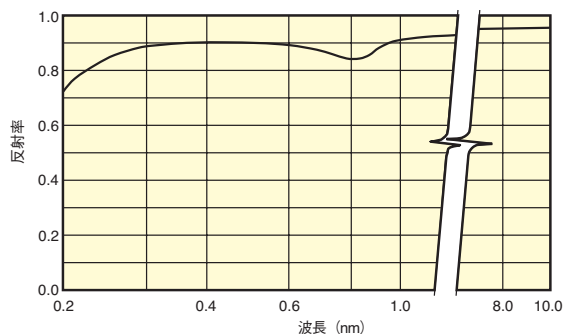
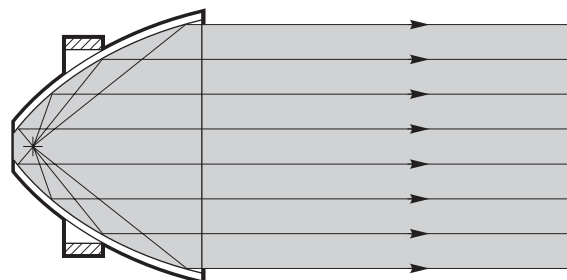


図6：AlMgF₂をコートした前面反射板の反射率。

放物面反射板

これらの反射板は光源からの照射光を焦点で集め、軸に平行な垂直なコリメートビームとして反射します（図7）。放物面に入るコリメートビームは焦点でしっかりと集光されます。弊社の軸外し放物面反射板は、完全な放物面の片側から切り出した円形の断片です。焦点はメカニカル軸からずれていますので、反射板の焦点領域を自由に操作できます（図8）。検出器または光源を焦点に置けば、シャドーイング問題は起こりません。拡大光源の場合、これらのミラーは大幅な誤差を発生させるので、注意が必要です。



集光された光源

図7：放物面反射板は、焦点からの光を反射してコリメートビームにします。または、焦点でコリメートビームを再集光します。

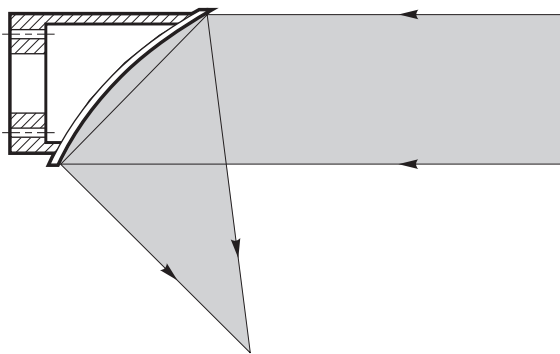


図8：軸外し放物面反射板の焦点は、メカニカル軸からずれています。

楕円形反射板

これらの反射板には、2つの共焦点があります。光が反射すると、片方の焦点の光が他の焦点を通ります（図9）。光源の周囲の深い回転楕円面は、光源が発振した光の合計に対して球面ミラーまたは従来のレンズシステムよりもはるかに多い光を集めます。有効な集光Fナンバーは非常に小さく、その形状はアークランプからの出力の空間分布によく適しています。楕円ミラーを2つ使用すると、光源と対象物をほぼ完全に囲い、ほぼすべてのエネルギー伝達が可能です。

これよりも、拡大光源のイメージングにおける楕円ミラーの効果の方が重要かもしれません。純粋に点光源を楕円の片方の焦点にぴったりと配置すると、ほぼすべてのエネルギーがもうひとつの焦点に伝搬します。残念ながら、アークランプのような実際の光源の拡がりには限られています。つまり、光源には楕円ミラーの焦点に一致しない部分が生じ、それが拡大され、イメージ地点で焦点がぼけてしまいます。図10は、焦点F₁から外れたS地点からの光がF₂付近で再イメージングされず、その代わりに軸に沿って広がる様子を示しています。この効果により、楕円ミラーは、大量の光が必要なシステムと共に使用する場合に最も有効です。

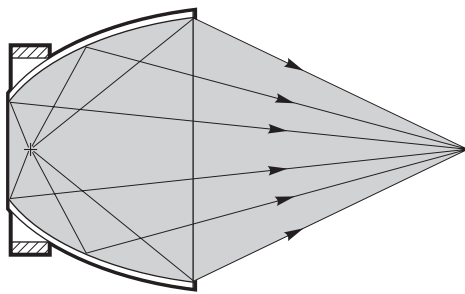


図9：楕円形反射板は片方の焦点からの光を2番目の焦点（通常は外側）に向けて反射します。

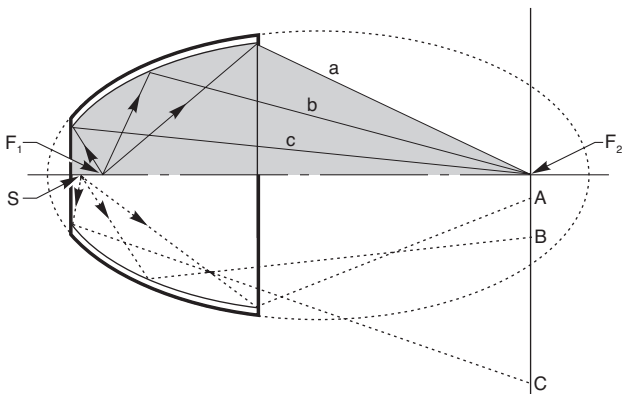


図10：楕円形反射板の一部。楕円の上半分に示す光線a、bおよびcはすべてF₁から楕円ミラーの2番目の焦点であるF₂を通過します。楕円の下半分に示すA、BおよびCは、F₁に近い地点からの光線を正確に追跡したものです。これらはa、bおよびcと同じ地点で楕円に当たりますが、F₂を通過しません。F₂で小さいスポット（イメージ）を得るには、極めて小型の光源が必要です。

ビームの品質

前述のビーム品質の概念は、コンデンサまたはその他の光学システムの品質測定にFナンバーのみを使用する場合の危険性のひとつとして言及しました。

アプリケーションに依存する定義

図11は、光源からの距離が異なる3つにおける同じレンズを示しています。図1の定義に従えば、レンズのFナンバーはf/Dですが、明らかに、レンズの位置によって集められた光が大幅に異なります。集光用Fナンバーと、イメージング用Fナンバーも含めて表記する必要があります。

特定の光学構成では、単一のFナンバーが定義されることがあります。弊社では、f/Dを使用してコリメートするコンデンサを比較します。コンデンサを焦点または他のイメージングシステムに置かない場合、イメージ距離に対する光の直径の割合と、光源（対象物の距離）に対する光の直径の割合の大きい方を使用します。Fナンバーの誤った使用は、システムにとって最悪のパラメータを表すこととなります。

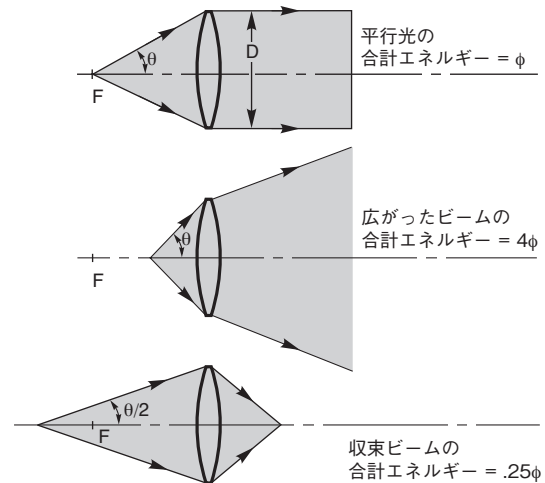


図11：光源からの距離が異なる3つの同一レンズによる集光。

スループットを最適化するには、Fナンバーだけでは足りません

Fナンバーを一致させることは、光学システム全体にとって重要です。たとえば、光ファイバを使ってモノクロメータに光を入射するシステム（図12aおよび12b）では、光ファイバの出射面（開口径またはFナンバーで特徴付けられる）は、モノクロメータの入射面と正確に一致する必要があります。しかしながら、Fナンバーのみを考慮してこのようなシステムを最適化するような方法はありません。これは、Fナンバーが光源、イメージ、または検出領域に関する情報を含まないことが理由です。ファイバから出るビームのFナンバーを大きくし、モノクロメータの受け入れ側のFナンバーに一致させると、スリット上のビームサイズが大きくなり、モノクロメータに入る光の量が減ります。「光学拡がり」という概念を考えれば、何が実現可能で、何が実現できないかを理解することができます。

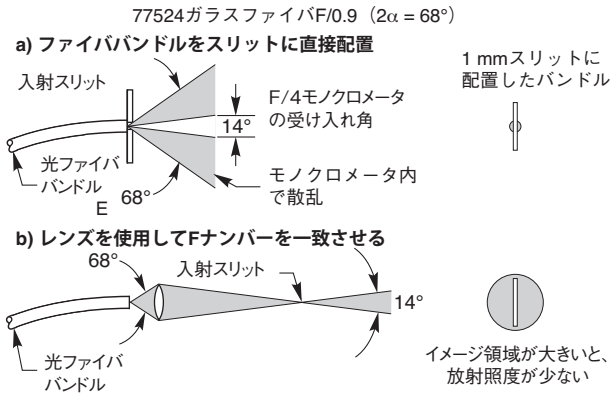


図12：光ファイバによるモノクロメータへの入射。Fナンバーを一致させるだけでは、最適な性能を保証できません。

幾何学的拡がり、光学拡がり、線形時不変

光学システム設計における目標として最も多いのは、光源から検出器に伝搬する放射パワーの量を最大化することです。図13は、光源、光学システム、そしてイメージを示しています。光学システムは収差がなく、ビームを限定する内部の開口部もありません。屈折率は1です。近軸光学理論を使用して、次のように証明できます。

$$A_s \Omega_s = A_i \Omega_i$$

ここで、

A_s = 光源領域

A_i = イメージ領域

Ω_s = 光学システムの入射開口部により光源で定められた立体角

Ω_i = 出射開口部によりイメージで定められた立体角

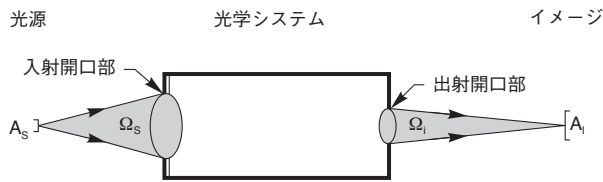


図13：光源、光学システム、イメージ。

量 $G = A\Omega$ は光源とイメージで同一であり、システム内の他のどの面でも同様です。Gは**幾何学的拡がり**と呼ばれます。

表面の媒質が異なる屈折率を持つ場合、 $n^2\Omega$ (光学拡がり) がGに代わります。光源に一定の (または平均) 放射輝度Lがある場合、(多くの場合検出器で) イメージに到達する放射束は、次の式から求められます。

$$\phi = tGL^*$$

ここで、

t - 透過率 (反射損失とコンポーネントの透過率も含みます)

* 繰り返しとなりますが、収差のない光学システムを仮定しています。収差がある場合、tGLは到達可能な光束の上限、 ϕ tGLになります。

光学拡がりの概念は幅広く適用されてきましたが、その名称はさまざまであり、エタンデュ、光度、集光力、スループットなどと呼ばれます。図14は、 h_1 、 h_2 、 θ_1 、および θ_2 を定義します。

$$h_1\theta_1 = h_2\theta_2$$

反射率が等しい場合、 $\theta_1 h_1$ の積は光学システム全体を通じて不変です。この積は、光学的不変量、ラグランジュの不変量、スミス=ヘルムホルツの不変量など、複数の名称で呼ばれます。sin θ を θ に代入すると、この式は「アッペの正弦条件」と呼ばれます。

どのようなシステムでも、一次元の不変量の値が2つあり、光軸を含む2つの直交する面それぞれにひとつの値があります。明らかに、スリット付の装置の場合、スリットの幅と高さで定義した面を使用することが最もシンプルです。この場合、通常は直交する面に対する光学拡がりの2つの値が異なっていることを忘れないでください。通常、入射スリットと出射スリットが細長い形状であることが原因です。このため、スループットを最適化するためのカップリングレンズの選定が複雑になります。

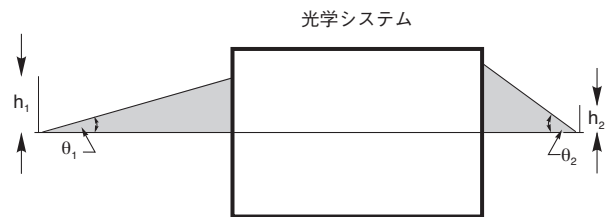


図14：光学的不変量。

光学拡がりの重要性

Gの概念の導入で、図13の光学システムには内部開口部がないと仮定する必要がありました。これは、Gは光源の領域と光学システムの入射受け入れ角によって決まることを意味しています。この場合、大きさと放射輝度が固定された光源から得られるシステム全体の合計光束を多くするには、Gを大きくすれば良いということです。これは、前述のとおり、コンデンサのFナンバーを低くすることと同じです。

どのような光学システムでも、Gを限定する何らかの要素があります。空間または経済的な制限の場合もあります。多くの場合、 G_{lim} は分光計が決定します。システムによっては、小さい検出器の領域1および検出器が受け入れるビームの最大立体角における実際の制限がGを制限します。システムが光ファイバを使用する場合、開口部と光ファイバの受け入れ角が G_{lim} を限定します。

¹ 完全なシステムモデリングには、検出器のノイズに注意が必要です。多くの場合、これが検出器の領域に関連します。

Gを制限する要素が何であろうと、最大のスルーポットは固定され、光学システムをどれだけ巧みに設計しても、その制限を改善することはできません。

システム全体の放射束は、次のようになります。

$$\phi = t G_{lim} L$$

特定の波長 λ では、次のようになります。

$$\phi_{\lambda} = t_{\lambda} G_{lim \lambda} L_{\lambda}$$

(高い頻度でGは波長に依存しないと考えられます)

システム全体の光量を最大化するには

まず、提案されたシステムをよく見て、光源とコンデンサを超えてGを制限する要素を探します。そしてもし可能であればより高いGを有するコンポーネントに置き換えます。制限要素であるGの最終的な調整が完了したら、コストを最小限に抑えるために他のコンポーネントを慎重に選択することができます(通常、光学系の価格は開口部により高くなります)。

光源とコンデンサ

光源と集光光学系を選択する際は、次の条件を満たすようにしてください。

1. G_{lim} を一致させる

集光光学系のGは G_{lim} と同じ大きさとしてください。Gの値が小さいと、光源からの光の集光が合計光束伝搬量を制限します。Gが G_{lim} よりも大きい数値でも使用できます。集光される放射輝度は多くなりますが、光学システムを通過できません。 G_{lim} が分光器によるものであれば、過剰な放射輝度はスリットで失われるか、分光計の内部で散乱しますので、迷光の問題を引き起こす可能性があります。

2. $G_{lim}L$ を最大化する

G_{lim} は光源の領域と集光角度の積を決定します。これは、光源の能力における制約と最大集光角度でトレードオフすることができます(F/0.7 Aspherab®の場合1.17 sr、F/1の場合0.66 sr)。任意の光源領域で、放射輝度の多い(L)光源を使用すると、システムからの放射輝度も大きくなります(表1を参照)(分光法では、必要な波長におけるスペクトル放射輝度を使用してください)。

注：光学素子が引き起こす収差は、画像の劣化から光束の低下につながります。Aspherabs®のような収差補正光学系を使用すると、 G_{lim} の大幅な改善につながります。

表1：さまざまな光源の平均スペクトル放射輝度

光源の種類	モデル	入射出力	公称光源寸法 (mm)	平均スペクトル放射輝度* (W cm ⁻² sr ⁻¹ nm ⁻¹)			
				300 nm	400 nm	500 nm	633 nm
石英タンクステンハロゲン	6333	100 W	4.2 x 2.3	0.0015	0.013	0.034	0.065
キセノンアーク	6253	Xenon	0.5 x 2.2	0.085	0.16	0.21	0.24
3400 K Blackbody				0.0037	0.03	0.08	0.15
太陽光**			1.4 x 10 ¹²	0.75	2.1	2.9	2.2
HeNeレーザー		2 mW***	0.63 (直径)	0	0	0	108****

*公称領域上。小さな領域では、放射輝度がさらに高くなります。

**地球外からの太陽光放射に基づきます。

***これは出力パワーです。通常、ランプは入射パワー、レーザーは出力パワーで評価されます。

****4 x 10³ nmの線幅に基づきます。

不変量の活用事例

光源の拡大

θh が不変なので、光源と画像サイズを容易に関連付けることができます。図15はシンプルなコンデンサフォーカシングレンズの配置によりこれを示しています。また、図14はあらゆる光学システムを示しています。

図1は弊社の光源から出た光を集め、コリメートしているコンデンサを示しています。多くのアプリケーションで、コリメートパスを設けると、ビームのフィルタリングや分割を行うコンポーネントを配置する時に便利です。図15は短いコリメートパスと、光源を再イメージングする第2フォーカシングレンズを示しています。 θh が不変なので、イメージサイズ (h_2) は次の式で求めます。

$$h_2 = h_1 \theta_1 / \theta_2$$

配置から、次の式が成り立ちます。

$$h_2 = h_1 f_2 / f_1 \text{ (角度は小さいと仮定した)}$$

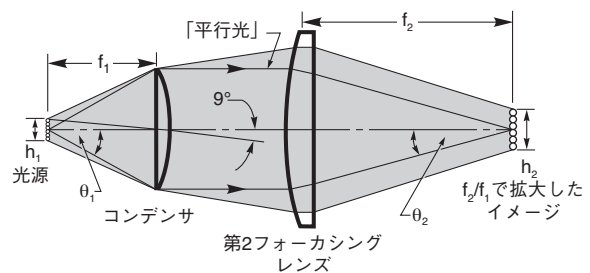


図15：光源を再イメージングする第2フォーカシングレンズ。

拡大光源に関連したモノクロメータとフィルタ

不変量は、分光システムを設計する際の特定の値です。モノクロメータには受け入れ角、スリット高さ、そしてスリット幅があり、望ましい分解能を提供するように設定されています。これらの要素がモノクロメータの光学拡がりGの値を決定し、異なるシステムの比較や光源オブティクスの選択を可能にします。比較は、単純にモノクロメータのFナンバーに基づくものではありません。Fナンバーが小さいモノクロメータは、Fナンバーが大きいモノクロメータに比べて光学拡がりが少ない、つまりスループットが低い場合があります。しかし、大きいスリットを使うので、望ましい分解能が得られます。たとえば、弊社の1/8 mおよび1/4 mモノクロメータのFナンバーはほぼ同じですが、同じ分解能を得るには1/4 mの方が大きい G_{lim} を有します。

光学フィルタのメリットは、次の例ですぐに明らかになります。

例

拡大光源から得られた波長365 nm、帯域幅20 nmの光のアイソレーションを54630ナローバンドフィルタと77250 1/8 mモノクロメータで比較します。モノクロメータには標準的な1200 l/mmの回折格子が付けられています。

帯域幅20 nmにおけるこのフィルタの受け入れ角は、約15°です。対応する立体角は、0.21 srです。フィルタのホルダにより、開口部が0.9インチ (22.9 mm) に狭くなると、その領域は4.1 cm²となり、

$$G_{fil} = 0.86 \text{ sr cm}^2$$

となります。

スループットを比較するには、フィルタの透過率0.2をこの数に乗算する必要があります。

$$G_{fil} T_{fil} = 0.17 \text{ sr cm}^2$$

77250モノクロメータの受け入れ角は7.7°であり、対応する立体角は0.57 srです。帯域幅20 nmでは、スリット幅は3.16 mmです。使用可能なスリット高さが12 mmなので、この領域は0.38 cm²であり、従って、次の式が成り立ちます。


$$G_{mono} = 0.022 \text{ sr cm}^2$$

かつ

$$G_{mono} T_{mono} = 0.007 \text{ sr cm}^2$$

この拡大光源から得られる帯域幅20 nmの光にアイソレーションを行う光学フィルタは、モノクロメータの約24倍多くの光を通過させます。フィルタから出た光を検出器につなげれば、つまり検出器がシステムを制限しなければ、フィルタの効率はさらに向上します。

この割合は、弊社のアークランプのアークのような小型の非対称光源には当てはまりません。各光源を個別に調査する必要があります。

 詳細は当社のWebサイトを参照してください。