

# 分光器に関する特別な検討事項

## Special Considerations for Spectrographs

弊社のMS257™ 1/4 mモノクロメータも同様に分光器用に精密に設計された製品です。モノクロメータの設計では、光が入射スリットから入り、回折格子を通り出力スリットに向かう光路が重視されます。対象波長以外の光は吸収されます。いかなる回折格子の設定でも、回折角D近傍の非常に狭い角度範囲のみ、比喩的に言えば「ひとつの」波長のみがモノクロメータを通り抜けます。

弊社の製品では、分光器の出口にはスリットを使用しません。その代わりに広範囲な回折角D、つまりこの角度Dの範囲の回折格子の式を満たす波長範囲を使用します。弊社の分光器のオプティクスは、この目的のために設計されています。出口はスリットではなく細長い切れ目（ストリップ）であり、その上をさまざまな波長が通過します。

### バンドパス

分光器では、バンドパスという用語は検出器に向かう長いストリップ出口の波長域全体を指します。そのため、分光器のバンドパスは非常に広く、出口の開口径以外には制限されません。しかし、モノクロメータからスリットを取り除いた後の大きな開口部を使用するだけでは不十分です。一般的に、モノクロメータのスリットの中心から離れた波長は、機器の少し内側でフォーカスされます。分光器はこの屈曲を補正するように設計されています。つまり、平面のCCDおよびPDAIに適合するよう、分光器の出力フィールドも平面になっているのです。検出器の長さがバンドパスを制限することが多くあります。たとえば、MS257の平面フィールドの長さは28mmですが、弊社の標準的なInstaSpec™ CCDの長さは25.4 mmしかありません。そのため、バンドパスを定義する際は、特定の検出器の仕様（82 nmで1インチのアレイなど）を念頭に置く必要があります。

### 分解能

一般的に、入射スリットの幅が分光器の分解能を決定します。しかし、入射スリットの幅が検出器のアレイの1画素の幅にまで狭くなると、分解能の限界に到達します。ナイキストの標準化定理によると、分解能は画素を2倍にして計算する必要がありますので、ダイオードアレイと25画素を搭載した77700/77778分光器の限界分解能は約0.2 nmとなります。これは、同じ機器を25 μmのスリットの走査型モノクロメータとして使用した場合の限界分解能である0.1 nmの2倍です。

弊社のLineSpec™ CCDなど、より画素の小さいアレイを使用すると幾分の改善は見られますが、ほとんどの機器は10~25 μmの入射スリットで収差限界分解能に達します。この地点を超えると、スリットや画素を狭くしてもシステムのスループットを低下させる以外の効果はありません。

### 迷光

分光器/検出器アレイシステムでは、走査モノクロメータの場合よりも、迷光が大きな問題となります。検出器には視野を制限する出射スリットがないことから、迷光では、アレイが大きな検討対象となります。一部の信号はアレイで反射して迷光として散乱し、一般的に単一素子の検出器よりアレイ自体のダイナミックレンジが少なくなります。

分光器の迷光の動きを特徴付けることは困難です。モノクロメータと同様に、お客様の光源のスペクトル特性の変動、どの回折格子を選択するか、信号の種類が迷光に影響を与えます。アレイ、波長領域および内部の鏡面反射の構造と選択が、分光器の特性の理解をさらに困難にしています。

弊社のOriol分光器は、迷光を低減するように設計されています。MS260™、MS127™、およびイメージング用MS257™はスペクトルの再入射を避ける設計ルールに適合しています。スペクトルの再入射は、回折された光が検出器または1枚のミラーで反射され、回折格子に戻り、そこで再度回折され、アレイに集光されることで発生します。適切な回避策を講じないと、ゴーストと呼ばれるスペクトル線が波長の変化に応じて表われたり消失したり、あるいは移動したりします。

### “イメージング”分光器

“イメージング分光器”という用語は、アプリケーション分野により意味合いが異なります。ここでは、分光器の出力面の入射スリットを点ごとに複製することを表す言葉として用います。この概念は、比較して考えるとわかりやすくなります。単純にするため、光源は単一波長の光とし、機器のFナンバーの入射スリットで集光されます。従来の分光器では、この光源からの照射光は、その波長に最適な位置で、機器の出口面にある細い垂直線に集光されます。従来のモノクロメータの入射スリットの半分を隠すと、出力面での光強度は低下しますが、集光したスペクトルのライン形状にはほとんど変化がないことがわかります。対照的に、イメージング分光器では、光源からの照射光を出口面で集光するので、集光点は入射スリットの形状の分布と等しくなります。事実、イメージングシステムでは、入射スリットの上半分を隠すと、出力画像の半分が消失します。入射と出射の間にこのような空間的な関係があるため、イメージングシステムは複数のサンプルを同時に測定する場合に有効なツールです。図1は単一波長を伝搬している2本のファイバを描いています。ひとつは従来の分光器の入射面にファイバを置いた場合であり、もうひとつは弊社のMS257™のようなイメージング分光器の入射面に同じ2本のファイバを置いた場合です。

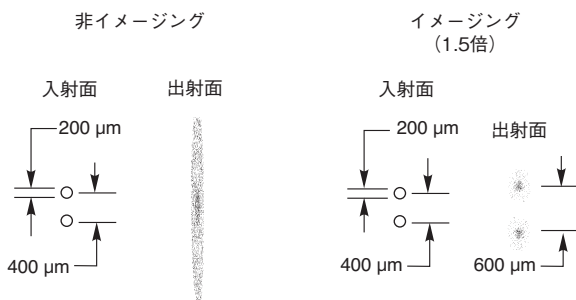


図1：2本のファイバを通過した単一波長の光の出射面における形状。

## 空間分解能

空間分解能とは、イメージング分光器がスペクトル軸に垂直な2点を見分ける能力を指します。これらは、標準の測定方法はありませぬ。分離可能な独立したファイバ光源の数を指すメーカーもありますが、これは特定のファイバ径でのみ有効であり、ひとつのチャンネルから近傍への信号漏れは表しません。

最も重要な測定方法は、収差に限定される空間分解能です。この値は、分解可能な最小点の半値全幅で定義されます。有効な点光源（通常、10~25 μmのピンホール）を入射スリットに置き、機器のFナンバーで照射したときのスペクトル軸に垂直なFWHMを測定します。77702/77780 イメージング分光器では、この値は40 μmです。

WEB 詳細は当社のWebサイトを参照してください。

# モノクロメータのスループット

## Monochromator Throughput

次に、スループットの計算例を2つ示します。これらの2つの例を検出システムにおけるモノクロメータのパワーまたはスループットの予測に役立てることが目的です。若干異なる事例を2つ紹介していますが、弊社の光源や発光サンプルの大部分に適用可能です。

モノクロメータのスループットの計算方法は、次のようにまとめられます。

$$P_0 = P_1 V E_m R^4$$

ここで、

$$P_0 = \text{出力パワー mW}$$

$$P_1 = \text{スリット面における入射パワー mW}$$

$$V = \text{スリット開口径が光源のイメージより小さいことによる開口効率}$$

$$F = (\text{照射光Fナンバー})^2 / (\text{モノクロメータFナンバー})^2$$

(照射光のFナンバーとモノクロメータのFナンバーとは一致しません。照射光のFナンバーとモノクロメータのFナンバーが一致する場合、 $F = 1$  となります。)

$$E_m = \text{回折効率}$$

$$R = \text{モノクロメータのミラー1枚の反射効率。}$$

$$R^4 \text{は、4回反射することを意味します。}$$

通常、波長に伴って大きく変化するのは $P_1$ および $E_m$ のみですのでご注意ください。

## その他の要素

複雑さを回避するため、幾つかの検討事項を省略しました。状況に応じて、これらの2次的考察が重要となる場合があります。以下に、その他の要素をご説明します。

## Fナンバーマッチャー

これはモノクロメータのスループットを改善し、迷光を低減するために使用します。しかし、使用方法に注意が必要です。Oriol 77259 Fナンバーマッチャーは、特にファイバと共に使用した場合、スループットは約75%であり、照射ビームのFナンバーを、ファイバから直接射出する光のFナンバーの2倍に増加させます。また、照射光源の見かけの線寸法を2倍に拡大します。モノクロメータのスリットにより口径食が増大する場合があるので、最終的なスループットが増加するとは限りませぬ。

## 光源の強度分布

一定の矩形ランバート光源を仮定することで、分析が大幅に単純化されます。実際の光源はこの理想的な光源には適合しません。場合によっては、アーク光源の高強度領域を有効に活用できます。

## レンズ損失

レンズの表面からのフレネル反射はパワーを失わせるので、重要な場面では反射防止コート付のレンズを使用してください。レンズ収差は正確なイメージングを妨げます。光源が小型で、Fナンバーが低い場合、光源の期待画像よりも大きな不鮮明な円形領域を生みますので、大きな問題となります。