

# ブロードバンド光源のコンパクト波長選択を全自動化

ナムドウ・キム

新開発の回転型光学ブロードバンドフィルタ技術によって、ブロードバンド光源を使用する際に、紫外領域から近赤外領域までの範囲で波長を選択して調整できるようになる。

分光法や顕微鏡法において、適切な波長を選択することは重要な手順である。フィルタ、モノクロメーター、音響光学チューナブルフィルタなどの従来の方法には、メリットとデメリットがある。使用目的、コスト、要求特性、システムとの互換性などを考慮し、最適なものを選択する。新たに開発した回転型光学ブロードバンドフィルタによって、ブロードバンド光源を使用する際、紫外領域(UV)から近赤外領域(near-IR)までの範囲で波長を選択し、帯域幅を調整できる。

分光法と顕微鏡法は、どちらも光を用いて物体との相互作用で物理的・化

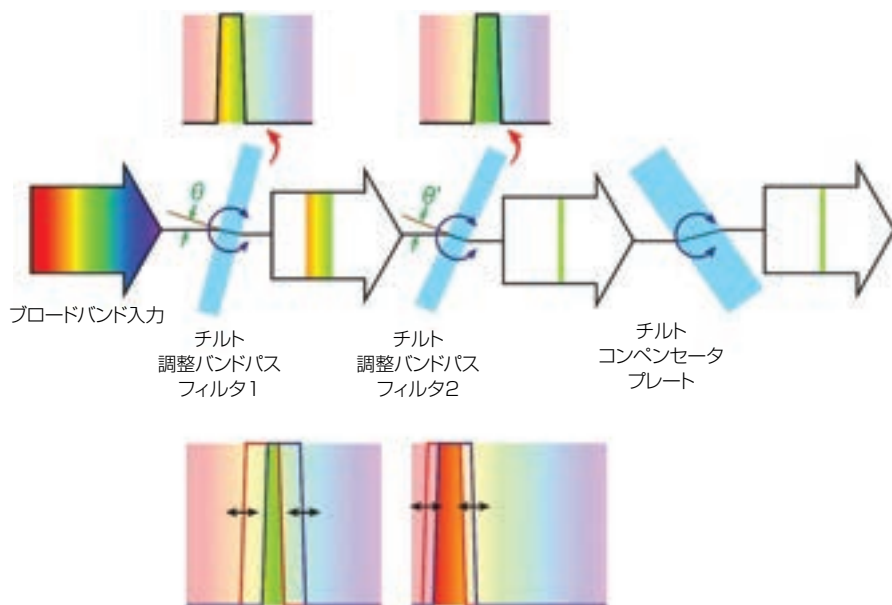
学的情報を取得する方法である。これらの手法では、さまざまな光源が開発されており、検出器の感度や処理速度の向上や、光学系製造技術の開発の伴い、進化を続けている。学術研究だけでなく、医療や産業など幅広い分野で利用されている。

スペクトルイメージングの場合、試料中のさまざまな変数の物理値をマッピングして測定できるため、食品加工、気候、医療用イメージング技術、マシンビジョンにおいて積極的に活用されている。使用される光の波長は技術の目的によって異なるため、利用可能な励起波長が多様であることと、スペク

トルから取得できる情報量が多いことが密接に関連している。単色光源であるレーザは、半値幅(FWHM)が非常に小さく、強度が強い上に、コヒーレンス特性を持つため理想的だが、使用可能な光領域をすべて網羅するには高額な費用がかかる。そこで、ブロードバンド光源から必要な波長域を選択して使用できる光学系やデバイスが開発された。

## フィルタホイール

化学やバイオの分野で広く使用されている蛍光顕微鏡には、ターレット内に6個程度のフィルタキューブが搭載されており、それぞれが励起フィルタ、ダイクロイックビームスプリッター、エミッションフィルタとして機能する。また、対物レンズやカメラの手前にフ



2つのバンドパスフィルタは独立回転型で、中心波長と帯域幅の両方が調整可能になる。

図1 TwinFilm技術の模式図



図2 USBインターフェースで制御ソフトウェアに接続され、自動化されたFWS Polyモデル

フィルタホイールを取り付けて、特定の励起波長や発光波長を選択できるようにする場合もある。通常、フィルタホイールには3～12枚のフィルタを装着できる。例えば、フィルタホイール2台にフィルタ6枚を取り付けた場合、合計で $6 \times 6 = 36$ 通りの組み合わせが可能である。モーター付きの自動フィルタホイールを使用した場合、シャッタースピードにもよるが、30～100msの切替時間が生じる。

細胞イメージングに広く使用される有機蛍光色素や蛍光タンパク質の場合、紫外域と可視域から近赤外域で使用するために、さまざまなフィルタが開発された。そのため、フィルタセットの組み合わせが多様であればあるほど、応用範囲が広がる。また、開口サイズが大きく、比較的安価で構成できる。しかし、フィルタを使用するデメリットとして、特定の励起・発光範囲でしか使用できない(自由度が低い)。損傷しきい値が高くないため、強い光源を使用した場合、表面コーティングが損傷する可能性がある。また、一般にフィルタは帯域幅が広いいため、帯域幅の狭い

光を必要とする分光イメージングには適していない。さらに、広い波長域のスキャンは不可能である。

ストークスシフトのために、フィルタセットの構成には制限がある。独カールツァイス社(Carl Zeiss)が提供した蛍光色素の情報を統計的に解析したところ、ストークスシフトが20nm以下の色素は全体の26%、40nm未満の色素は73%(276種)であった。ストークスシフトの小さい蛍光色素を使用する場合、励起ウインドウと発光ウインドウの間にスペクトルの重なりが必要である。これを回避するには、励起の最大波長から離れた波長の光を伝送するか、発光させる必要があり、ある程度の損失が生じる。しかし、新製品は励起域・発光域とスペクトル幅を調整できる。

### モノクロメーター

プリズムまたはグレーティングを利用するモノクロメーターは、分光法に広く使用されているもう1つの波長選択装置である。ブロードバンド光源からの光が入射スリットとグレーティン

グやプリズムを通過する際、波長ごとに屈折角(または回折角)が異なる。グレーティングやプリズムを適切に回転させると、特定の波長だけが狭いスリットから出射される。モノクロメーターは、スリットの幅に応じて帯域幅を調整し、広い波長域をスキャンして目的の波長を選択する。

また、フィルタを使用した際に問題となる、強い励起光の漏れも防止できる。しかし、2D画像を取得するには、ラインごとのスキャンやポイントスキャンが必要であり、フィルタよりも高価な上にデバイス構成が複雑である。また、広視野のイメージングには非現実的であり、フィルタに比べスループットも低い。

### 音響光学チューナブルフィルタ

音響光学チューナブルフィルタ(AOTF)は、ブロードバンド光源からの光をさまざまな波長と強度に変調する電気光学デバイスである。二酸化テレル( $\text{TeO}_2$ )や水晶異方性結晶などの複屈折結晶を用いて、音響波(高周波)との相互作用で結晶の屈折率を変化さ

Newport®

米国ニューポート製品

年度末 特別値引き

SALE

定価より

10~15%  
OFF



Actuators



Optomechanics



Optics



Laser Diode  
Control



Light Sources



Light Analysis

2023年2月28日ご注文分まで  
国内在庫品 当日・翌日発送

光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: [jlc@japanlaser.co.jp](mailto:jlc@japanlaser.co.jp)

JLC 株式会社 日本レーザー

本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711

## ◆feature チューナブルフィルタ

せる。音響波を調整することで、特定の波長のみを開口部に通過させ、強度も調整できる。AOTFは小型でありながら、調整範囲が非常に広い上に、調整速度が速い、分光分解能が高いなどのメリットがある。しかし、購入コストが高い、フィルタに比べて開口部が非常に小さい、帯域外消光が低い、といったデメリットもある。また、出力波長によって屈折角が異なるという課題もある。

米スペクトロライト社(Spectrolight)は、既存の装置のメリットを打ち合わせている装置を開発した。基盤となる技術は、広帯域の角度依存性バンドパスフィルタとコンペンセータプレートから構成されたTwinFilm技術である(図1)。バンドパスフィルタは独立回転型であり、平行光源の広帯域光から、任意の中心波長と帯域幅の透過光を抽出する。コンペンセータプレートは、回転する2つのバンドパスフィルタによって、ビームパスの微小なずれを補正する。この技術は、モノクロメーターのような帯域外消光を抑制する効果( $10^{-6}$ )を示すが、フィルタのような10mm以下の有効開口で約95%の均一特性を持つ。透過効率は75%以上で、AOTFやグレーティングよりも大幅に高く、コンペンセータプレートが作用するため、AOTFでのウォークオフ現象は発生しない。非常にシャープな励起ウインドウと発光ウインドウを搭載しており、帯域幅は半値幅を3~15nmに調整できる。また、調整範囲は紫外域から近赤外域まで網羅している。これらのメリットから、広視野のイメージングに適している。

TwinFilm技術は、Autoモデルをはじめ、スペクトロライト社のフレキシブル波長セレクター(FWS)ラインの構築に使用されている。FWS Autoモ

デルには、「Auto Mono」と「Auto Poly」の2種類がある。従来モデルでは、Auto Monoの調整範囲は100nm以下であり、Auto Polyの調整範囲のほうが広い。Autoモデルは、2つのバンドパスフィルタを2つのDCアクチュエータで回転させることで、帯域幅と中心波長を自動調整できる。直感的なGUI(図2)を搭載しているため使いやすい。

FWS Polyモデルは、USBインタフェースでコンピュータに接続できる。中心波長、半値幅などは、シンプルなソフトウェアで簡単に個別調整できる。FWS Polyモデルは、中心波長を最大500nmの広範囲で制御でき、通常、半値幅を3~15nmに調整できる。また、中心波長の分解能は約0.5nmと非常に高精度で、半値幅の分解能は約1nmまで正確である。255~1650nmの範囲では、吸光係数は平均光学濃度(OD)が12以下である。IR遮断領域は930~1600nmの範囲で光学濃度(OD)6程度である。また、光学フィルタのデメリットである、強い光源によるコーティングの損傷にも強い。つまり、損傷しきい値が高いので、光源として安全に使用できるのである。さらに、この仕様でも170mm×129mm×200mmと非常にコンパクトなサイズで、開口サイズも5mm以下である。定格電圧はDC12V、定格電流は5Aである。

あらゆる光源に接続可能なFWS Polyモデルは、プラズマ光、ハロゲンランプ、タングステンランプ、スーパーコンティニューム光源、高出力レーザ励起プラズマ光源(LDLS)など、さまざまな光源に対応する。

### 著者紹介

ナムドゥ・キムは米スペクトロライト社所属。

e-mail: [info@spectrolightinc.com](mailto:info@spectrolightinc.com)

URL: [www.spectrolightinc.com](http://www.spectrolightinc.com)

LFWJ