

マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージング用のカメラ、レンズ、照明

クリス・マクルーン

これら3つのコンポーネントの組み合わせによって、ますます多くの用途に対する画像が提供されている。

マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージングが適切な技術となる用途の範囲は、絶えず拡大している。この技術は、工場以外のビジョン／イメージング用途を促進する、主要要因となっている。イメージング手法は、多種多様な業界においてまだ有効性が検証されている状態にあり、対象用途は増加し続けているため、そのすべてを1つの記事で取り上げることは不可能である。以下では、マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージング技術を提供するさまざまな企業に本誌が話を聞く中で、共通して話題に上る新しい用途を紹介し、現在提供されている製品を総括する。

光学式選別

「選別」という語は、マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージング

を導入する場所について語る際に多く用いられ、「光学式選別」という語は、マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージングがソリューションとなる用途の多くを説明する際に用いられる。光学式選別には、多くの分野の用途が含まれる。「世界中でリサイクル活動が推進される中で、この業界のマルチスペクトル／ハイパースペクトル用途が増加している」と、米プロフォトニクス社(ProPhotonix)の技術担当ディレクターを務めるサイモン・スタンレー氏(Simon Stanley)はコメントした。「マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージングは、再利用可能材料の選別に利用でき、特に布地のリサイクルでは、例えば有機素材と合成素材の違いの識別に、異なる波長が用いられる」(スタンレー氏)。

その他の例として、加テレダイナ

ルサ社(Teledyne DALSA)のシニア製品マネージャーを務めるシン＝フェイ・ホー氏(Xing-Fei He)は、食品選別とリサイクル選別を挙げた。NIR(近赤外)波長帯によって、米、茶葉、ナッツなどの詳しいスペクトル情報が明らかになり、食品の中の水分量など、目には見えない特性に基づく、より正確な選別を行うことができる。また、NIRイメージングによってガラスやシリコーンなどの異物を簡単に検出して除去することができる。

特にリサイクルについて、コニカミノルタ傘下フィンランドのスペキム・スペクトラム・イメージング社(SPECIM Spectrum Imaging)のグローバルマーケティングマネージャーを務めるミンナ・トルマラ氏(Minna Törmälä)は、この種のイメージングは、従来のイメージング手法では不可能な黒色プラス



図1 ルシッド・ビジョン・ラブズ社の「Atlas™ SWIR」カメラ



図2 AVALグローバル社(AVAL Global)のハイパースペクトルカメラ「AHS-003VIR」

チックの選別や、世界中で大きな課題となっている衣料廃棄物の選別にも適していると指摘した。

米スマートビジョンライツ社 (Smart Vision Lights) のトレーニング/コンプライアンス/技術ソリューション担当ディレクターを務めるスティーブ・キニー氏 (Steve Kinney) は、次のように述べた。「米国に供給される食糧の大部分が、原産地から店舗の陳列棚に届くまでの間のどこかでマシンビジョンによって検査されている。例えば、NIRまたはSWIR (短波赤外) 光を使用して、さまざまな種類の豆、米、穀物から石などの無機物を除去したり、カラーと NIR/SWIR 光を組み合わせ、果物の成熟度検出 (カラー) と傷検出 (NIR/SWIR) を同じシステムで行ったり、収穫可能な農産物と不要な部分 (トウモロコシの実と殻部分) を区別したりしている」。

食品についてスタンレー氏は、「光学式選別は、食品の選別と等級分別を行うために食品業界で古くから使用されている。マルチスペクトル/ハイパースペクトル技術は、この業界におい

て優れた光学式選別を可能にし、これらのシステムは現在、水分含有量、異物、汚染物質の検出に利用されている。魚の選別と等級分別では、寄生虫検査と、魚そのものに含まれる特定の有機物質のレベルに基づく品質の等級分別に、ハイパースペクトルイメージングが利用されている」と付け加えた。

タムロン米国法人の産業用光学系及び新規事業開発担当副社長を務める山口礼氏は、「食品検査や選別などの用途には、可視光では見えない果物の傷などを見るために、SWIR 波長が必要である。短い波長の方が可視光よりも、高いコントラストと解像度が得られるためだ」とコメントした。

検査

マルチスペクトル/ハイパースペクトルイメージングは、さまざまな種類の検査に適している。

例えば、ホー氏は、紙幣や機密文書などの印刷検査に利用できると指摘した。「NIR 波長帯は、紙幣や文書に偽造防止対策として印刷された、NIR 光だけを反射するセキュリティインクの



図5 スマートビジョンライツ社の「DoAll」照明

検査に利用される」と同氏は述べた。PCB (プリント回路基板) の検査にも利用できると同氏は付け加えて、「NIR 波長帯は侵入深さが深いために、表面下の欠陥まで検出することができる」と述べた。

印刷検査についてスタンレー氏は、「マルチスペクトル/ハイパースペクトルイメージング手法は、貨幣検査を含む印刷検査にも利用されている。UV (紫外) または IR (赤外) 波長によってセキュリティ機能の検査が行われ、他の波長によって印刷の検査が行われ



図3 コンピュータ・옵ティクス・グループ社のViSWIRシリーズのハイパー/マルチスペクトルレンズ



図4 テレダインダルサ社のマルチスペクトルカメラ「Linea ML 8K」

る」と述べた。

キニー氏は、次のように語った。「UV、NIR、SWIR波長が、モノクロまたはカラーの可視光イメージングと併用されるケースがますます増加している。その一例として、当社は最近、発熱パッドのメーカーを支援した。この発熱パッドの内部は、網目部分が約1cm四方のメッシュ材に取り付けられた蛇行形状の発熱体でできている。発熱体の位置を特定してメッシュ材の上に配置するとともに、サーモスタットと電気制御を正しく配置するために、可視光検査が必要だった。このメーカーは、発熱体をメッシュ状の支持材に固定するために、中間色のシリコーンシーラントを使用していた。このシリコーン接着剤を、似たような色のメッシュ材と区別して、接着剤の位置が正しいことを確認する処理が難しかった。発熱パッドには柔軟性があり、使用時に商品を曲げてもコイルが取れたり動いたりしないように、シリコーン接着剤をワイヤ長に沿って100%塗布する必要があったため、それは重要な処理である。従って、すべての検査を確実に完了するために、可視光とUVの両方の画像が必要だった」。

米メタフェーズ・テクノロジーズ社

(Metaphase Technologies)のシニア技術セールスマネージャーを務めるマーク・コルバイテス氏(Mark Kolvites)は、次のように付け加えた。「コンベアを流れるナッツ(クルミ、ヘーゼルナッツ、ピーカンなど)の混入物の自動検査は、一般的なマシンビジョンカメラとモノクロ照明で、ある程度まで行うことができるが、ハイパースペクトルを利用すれば、はるかに堅牢なソリューションが可能である。一般的なマシンビジョンシステムは、既知の欠陥(金属ボルトや、プラスチックの異なる色部分など)を検出するように設定できるが、ありとあらゆる混入物が対象で、欠陥の種類に関する事前知識がない場合、例えば、ナッツのように見えるが実際にはナッツではない物質が混入する場合は、ハイパースペクトル技

術が必要である。この種の検査で高い信頼性を確保するには、ナッツではないものをすべて検出する必要がある。周知のとおり、ハイパースペクトルは、ナッツと石や砂糖と塩など、外観は同じだが実際には同じではない物質の区別が必要な場合に、理想的である」。

薬品検査も、ハイパースペクトル/マルチスペクトルイメージングが有効となる分野である。従来のビジョンシステムがしばらく前から、プリスターパックの検査に使われているが、スタンレー氏によると、「ハイパースペクトルイメージングは現在、パッケージの検査だけでなく、検証と品質管理を目的としたプリスターパックの中の錠剤の分析にも使用できるようになっている」という。キニー氏は、「マルチスペクトルイメージングは、薬品製造と、

図7 メタフェーズ社の「RGB + IR LED Line Light」



図6 「Specim FX」シリーズのカメラ

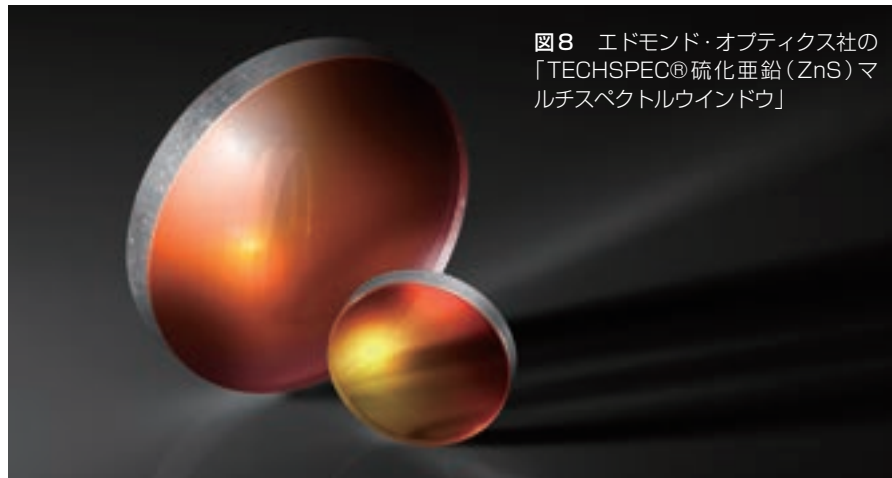


図8 エドモンド・オプティクス社の「TECHSPEC®硫化亜鉛(ZnS)マルチスペクトルウインドウ」



図9 プロフォトニクス社の「COBRA HyperSpec」



図11 キューベルト社のハイパースペクトルイメージングカメラ「Ultris 5」

それに関連する追跡、トレース、検証処理に利用できる。それらの処理は現在、製品の安全性と改ざん防止を徹底するために、法律によって求められている。ほとんどの開封防止ラベルや税金ラベルの他、一部の隠された商品／製造コードに、マルチバンド保護が適用されている。開封防止ラベルと税金ラベルを正しく識別または解読したり、消費者に対して隠された製造ロットコードなどの情報を確認したりするには、マルチスペクトルイメージングシステムと具体的な知識が必要である」と付け加えた。

農業

「ハイパースペクトル／マルチスペクトルイメージングの興味深い新用途は、農業だ」と、米エドモンド・オプティクス社(Edmund Optics)のイメージング製品開発担当ディレクターを務めるニック・シシュカ氏(Nick Sischka)は述べた。「可視域以外の追加波長でのイメージングによって、穀物の病気の有無、相対水分量、果物の成熟度といった重要な項目を観測することができる。この追加情報が分析できるのは、穀物によって赤外波長や紫外波長の吸収、透過、反射がそれぞれ異なるためである」と同氏は続けた。

光学式選別と同様に、「マルチスペクトルイメージングが使われているのは、農場や温室の他、(今増えている

のが)垂直農業だ。マルチスペクトルイメージングは、農産物が熟して収穫できる状態にあるかどうかの判断や、収穫可能な農産物とそれ以外の部分の識別、穀物の菌や病気を検出して問題になる前に根絶すること、植物と雑草を区別して植物のみに肥料や農薬を正確に散布することによって土壌汚染を減らすことに、役立てることができる」とキニー氏は述べた。

「当社の対象分野の50%以上が、農業、林業、スマート農業、または食品の安全とセキュリティである」と、独キューベルト社(Cubert)の共同創設者であるアンドラス・ユング氏(Andras Jung)は述べた。同氏は、水または水中の分光法に対する需要が高まっているとも述べた。



図10 タムロンの「SMA」シリーズ

その他の用途

新たに登場しているその他の用途としては、製造品質管理または芸術遺産分析を目的とした色測定、パッケージング、IR顕微鏡法、半導体検査、医療、航空マッピング、農業／園芸業界におけるリモートセンシング、廃棄物選別、水分量測定、化学イメージング、脅威検出、メタンガス検知、石油／ガス／鉱物探査などがある。山口氏は、「医療分野では、長波長によって深部組織イメージングが可能となり、例えば、可視光では見えなかった血管が観測できるようになっている」と述べた。ユング氏は、脳神経研究の用途も新たに登場していると付け加えた。

フィンランドのエンベリオン社(Emberion)でシニア製品マネージャーを務めるサミウル・ハク氏(Samiul Haque)によると、業界では、選別(食品や廃棄物リサイクル)または検出処理における、検出物質の種類最適化と選別能力の確保を目的として、より広い波長範囲のスペクトルシグネチャを検出する要求が高まっているという。その一例が、1920nmにおける水の吸収ピークで、従来の1450nmのピークよりも高いコントラストが得られる。広い波長を備えるカメラは、水分検出と水分侵入に対して、その高コントラストのピークを検出することができる。

英ラプター・フォトニクス社(Raptor



図12 エンベリオン社のGigE Visionカメラ「VS20」

Photonics)のセールス及びマーケティング担当副社長を務めるマーク・ドナヒー氏(Mark Donaghy)は、次のように付け加えた。「ハイパースペクトルイメージングシステムの高いスペクトル分解能は、表面物質の検出、識別、定量化と、生物的及び化学的プロセスの推測を可能にする。工場のベルトライン、監視用プラットフォーム、ロボット、ドローンから、宇宙の小型衛星(Mini/Cubesat)に至るまでのさまざまな分野において、利用の増加が見られる。これは、瞬時データを提供する、非常に時間効率の高い手法である」。

照明

照明は、どのようなマシンビジョンシステムにおいても課題となるもので、さまざまなハイパースペクトル光源が、システムインテグレータの選択肢として提供されている。

シーシーエス(CCS)の新規アプリケーション開拓課の課長を務める鈴木大輝氏は、「ハイスpekで手頃な価格のハイパースペクトルカメラの数が増加している。応用分野の範囲とハイパースペクトル光源の種類も、それに伴って拡大している。複数の種類の照明が、ハイパースペクトルカメラ向けに提供されている」と述べた。

鈴木氏は、ハイパースペクトルカメラの性能を最大限に引き出すには、広い波長範囲の分光情報を取得することが最も望ましいと説明した。センサによって感度波長が異なるため、ハイパースペクトルカメラの照明には、可視光からSWIRまでの広い波長範囲が必要である。

「ハイパースペクトルカメラの応用分野は、今後さらに拡大すると予想される。照明に求められる仕様はますます厳しくなり、それに伴ってますます多様化するだろう」と同氏は付け加えた。

ソリューション

加ルシッド・ビジョン・ラブズ社(LUCID Vision Labs)の「Atlas™ SWIR」(図1)は、広帯域で高感度のソニー製SenSWIR搭載InGaAsセンサである1.3MPのIMX990と0.3MPのIMX991を備える、GigE PoE+カメラである。可視光と不可視光の両方のスペクトルの画像を撮影することが可能で、5μmの微小ピクセルサイズを特長とする。

韓国 AVAL グローバル社(AVAL Global)のハイパースペクトルカメラ「AHS-003VIR」(図2)は、XY座標の2次元空間情報と波長軸のデータ(スペ

クトル情報)を同時に取得できる。450~1700nmの波長を640画素のラインで分光し、512バンドのスペクトル情報として取得する。

米コンピュータ・オプティクス・グループ社(Computar Optics Group)のViSWIRシリーズのハイパー/マルチスペクトルレンズ(図3)は、超低分散ガラスと低部分分散ガラスを採用して、400~1700nmの可視光からSWIR領域までのフォーカスシフトを数ミクロンの範囲内に補正する。すべてのレンズ素子にブロードバンド反射防止コーティングを採用することにより、有害な迷光の発生を最小限に抑えている。

テレダイナミクス社のマルチスペクトルカメラ「Linea ML 8k」(図4)は、スペクトル的に独立したRGB及びNIRを、最小限のスペクトルクロストークで出力する。紙幣などの高セキュリティ印刷物の検査に対し、Linea ML 8kは、紙に印刷された近赤外(NIR)光のみを反射するセキュリティインクを正確に検出する。半導体ウエハやプリント回路基板(PCB)の検査などのその他の用途に対しては、NIR光を照射することによって表面下の欠陥を簡単に検出することができる。これまで、カラーとNIRイメージングの両方を必要とする顧客は、カラーカメラとNIRカメラを個別に使用する必要があった。両方の機能が1台のカメラに統合されたLinea ML 8kは、システム設計の簡素化をもたらす。

スマートビジョンライツ社の「DoAll」照明(図5)は、6つのフォームファクタを組み合わせることで1つにした統合型製品である。DoAllは、RGBとNIRのリング照明が標準構成に含まれているため、マルチスペクトル機能をネイティブに備える。特別注文によ

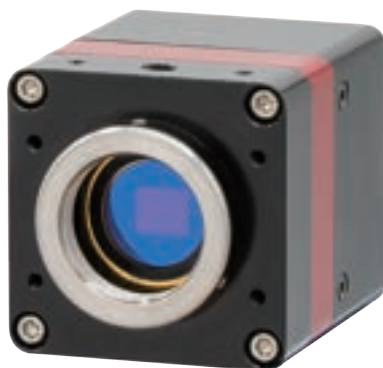


図13 ラプター・フォトリクス社の高速Vis-SWIRカメラ「Owl 320 HS」

って、UVやその他の波長を追加することができる。DoAllは、2つの補助ポートも装備しており、任意のスペクトルの照明の追加と制御が可能で、マルチスペクトル機能をさらに拡張することができる。

「Specim FX」シリーズのカメラ(図6)は、対象物の化学組成に基づく信頼性の高い分類結果を提供する。Specim FXシリーズのカメラは、産業用途向けに特別に設計されている。同カメラの高いフレームレートは、業界の速度要件を満たし、堅牢な構造と小さなサイズは、どのような設置場所にも柔軟に対応する。食品やリサイクル業界の選別や品質管理に広く利用されている。

メタフェーズ社は、「RGB + IR LED Line Light」(図7)を提供している。従来、農業検査などのマルチスペクトルのラインスキャン検査には、複数の検査ステーションが必要で、カメラと特定の単一波長(カラー)のLED照明を、各ステーションに個別に装備する必要があった。個別に制御可能なRGB LEDとIR LEDで構成された同社のライン照明とともにマルチスペクトルカメラを使用すれば、単一のステーションでこれらの検査を行うことができる。個別に制御可能なRGB LEDとIR LEDによって、コントラストが最大限に高められる。

エドモンド・オプティクス社の「TECHSPEC® 硫化亜鉛(ZnS)マルチスペクトルウインドウ」(Zinc Sulfide Multispectral Window、図8)は、0.4~12 μ mの透光波長範囲において低い吸収及び散乱特性を持つ、水分含有のない多波長スペクトル対応の硫化亜鉛によって製造されている。マルチスペクトル硫化亜鉛は、熱イメージングに一般的に用いられる化学蒸着材料である。マルチスペクトル硫化亜鉛は、可



図14 シーシーエスのハイパースペクトルLEDライン照明「EFFI-FLEX-HSI」

視光センサと中波または長波赤外センサの両方を搭載するシステムに適している。セレン化亜鉛よりも少し硬く、化学的耐性は高い。

プロフォトニクス社の「COBRA HyperSpec」(図9)は、最適な画像を取得するためのハイパースペクトルチューナブル照明である。最大12種類の波長を個別に制御することで、空間的にも分光的にも均一性に優れた幅広いスペクトルを生成し、高品質なイメージングを可能にする。可視光とIRのオプション(400~1000nm)と、新しいSWIRのオプション(950~1750nm)が提供されている。

タムロンの「SMA」シリーズ(図10)は、可視光からSWIRの全波長領域(400~1700nm)をカバーする。SMAシリーズ(12mm、16mm、25mm)は、ピントずれを抑制し、一貫した高解像度画像と高い分光透過率を、可視光からSWIRの全波長領域で実現する。SMAシリーズの最大の特徴は、異なる波長帯にピントを再調整する必要がなくなることである。

キューベルト社の「Ultris 5」(図11)は、ライトフィールド技術に基づく超小型(30×30×50mm、120g)のスナップショット型ハイパースペクトルイメージングカメラである。入射光線の強度と向きを両方を使用して、画像

あたり8万スペクトルを生成する。このカメラには、連続波長可変のバンドパスフィルタ、マルチレンズアレイ、高速CMOSセンサが組み合わされている。このスペクトルカメラのネイティブ解像度は290×275ピクセルである。

エンベリオン社がまもなく提供予定の、400fpsでVGA解像度のGigE Vision高速カメラ「VS20」(図12)には、99.98%を超える高いピクセル操作性と最大120dBのHDRを備えるセンサが搭載されている。このカメラで撮影した画像は、明るい物体と暗い物体の両方の検出が可能で、マルチスペクトルイメージングと有効なハイパースペクトルソリューションを可能にする。

ラプター・フォトニクス社は、600~1700nmの波長範囲に対応する、高速Vis-SWIRカメラ「Owl 320 HS」(図13)を提供している。フル解像度で349Hzで動作する(ROIまたはビニング時は、さらなる高速化が可能)。

ハイパースペクトルLEDライン照明「EFFI-FLEX-HSI」(図14)には、広帯域LEDが採用されている。照射範囲は、レンズ位置を変更することによって調整できる。また、明るさまたは均一性が強調された異なる拡散板や、集光用のシリンドリカルレンズを選択して、発光面の前に配置することが可能である。