マシンビジョン照明企業、ニッチなイメージング要件に対応

ジェームズ・キャロル

マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージング、コンピュテーショナルイメージング、3Dイメージング、ウォッシュダウン環境のビジョンシステムには、特殊な照明が求められる。

マシンビジョン用途に対して適切な種類の照明を選択すれば、信号、露光、均一性、ノイズ抑制機能を最大限に高めつつ、検査対象物の特徴とその背景の間のコントラストを改善することができる。バーコード読み取り、測定、製品識別などの処理がより簡単に実行できるようになり、システムの信頼性、精度、再現性が高まる。それが、正しい種類のマシンビジョン照明を導入する効果である。

マシンビジョン市場の成長と拡大に伴い、この分野で現在使用されている基盤技術や製品にも改良と拡張が求められる。これを認識して幾多のマシンビジョン照明企業がこの数年間で、ニッチなイメージング分野と技術を特に対象とした照明製品を開発している。

マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージング

そのような例の1つが、マルチスペクトル／ハイパースペクトルイメージングシステムである。このシステムは、人工製品を含む物質を、化学組成または元素組成に基づいて区別するために用いられる。そのデータは、隠された欠陥や内部欠陥の検出、液体識別、食品検査などを行うマシンビジョン分野において有効である。

こう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技術の高い有効性は既に実証されているが、照明が課題となる可能性がある。従来のLED光源では波長範囲が狭いので、その問題を解決しなければならないためである。

これを受けて米メタフェーズ・テクノロジーズ社（Metaphase Technologies）などの企業は、このような用途に特化した照明を開発している。同社は、Vision Systems Design誌の2018年度Innovators Awardsの金賞を受賞したハイパースペクトルLED照明システムにおいて、ハイパースペクトルカメラ向けに設計された、ハイパースペクトル照明製品（400nm ～近赤外域）と広帯域SWIR（短波赤外）照明製品（1000 ～ 1700nm）の他、全波長範囲を必要としないケースに対するカスタムオプションを提供している。

マルチスペクトルイメージング分野に対しては、米プロフォトニクス社（ProPhotonix）が、LEDライン照明「COBRA MultiSpec」を提供している。365 ～ 1500nmの2 ～ 12波長のLEDで構成可能な同製品は、2018年度Innovators Awardsの銀賞を受賞している。シーシエス傘下の仏エフィルクス社（EFFILUX）も、SWIR用途向けのLED照明製品シリーズにおいて、マルチスペクトル製品を提供している。

「マシンビジョン照明業界はまだ、マシンビジョンイメージング向けのイメージング部品をさらに改良するための方法を模索している状態にある。企業各社は現在、マシンビジョン用途向けの高品質イメージングに適用できる各種先進技術に、的を絞って取り組んでいる。例えば、モノクロ光源でより多くの波長を提供する、柔軟な照明システムなどである」と、米インテグロ・テクノロジーズ社（Integro Technologies）のビジョンシステム主要アーキテクトを務めるデビッド・デホー氏（David Dechow）は述べた。

図1　LumiTrax技術は、対象物の表面に変化は存在するが、目に見える差異はほとんどない場合に、生産量を損なうことなく不良品を除外する、安定した検査を実現するように設計されている。

同氏はさらに、「その例として、800 ～ 950nmの波長範囲で提供されるNIR（近赤外）光源や、400nm ～ NIRの波長範囲と900 ～ 2500nmのSWIR波長範囲に対応するハイパースペクトルLEDシステムが挙げられるが、1650nmより上の波長を提供する光源は、私は見たことがない」と付け加えた。

コンピュテーショナルイメージング

マシンビジョン分野において、コンピュテーショナルイメージングとは、演算と光符号化を組み合わせたデジタル撮像および処理手法のことである。異なる照明条件または露光条件の下で一連の入力画像をキャプチャし、ソフトウエアによって画像を組み合わせることによって、画質を高めたり、例えば何かのマシンビジョン処理に必要となる、特定の特徴が抽出された、出力画像を作成する。

キーエンスは、2015年のInnovators Awards金賞を受賞した「LumiTrax」技術によって、CMOSベースの高速カメラ、部分照射のLED照明、高度な検査アルゴリズムを融合し、部品表面の特徴、形状、テキストを検出するためのソリューションを生み出している（**図1**）。LumiTraxは、高輝度で多方向のLED照明を使用して、最大16色のカラー画像またはモノクロ画像をキャプチャし、各ピクセルの相対輝度を解析して、背景面のパターンから不規則性を分離する。同社は、特にこの処理向けに設計されたこのシリーズにおいて、3つの異なるLEDモデルを提供している。

「LumiTraxは、製造プロセスにおいて当然発生する許容範囲内のばらつきを除外して主要な特徴を抽出し、不合格と判定される良品の数を減らすことを最終的な目標として開発されている」と、キーエンスの国内製品販売ディレクターを務めるジョン・スクラーツ氏（John Sklarz）は述べた。

シーシーエスは、2018年のInnovators Awards金賞を受賞したオープンアーキテクチュアのソフトウエアプログラム可能な照明コントローラ「LSS-2404」に始まる、コンピュテーショナルイメージング向けに設計された一連の製品を発表している。LSS-2404は、同社が特にコンピュテーショナルイメージング向けに設計したLED照明と組み合わせることができる。同社はそのような製品として、リング照明、バー照明、フルカラー照明、マルチスペクトル照明、セグメント化されたフルカラー照明を提供している。

また、このコントローラにはソフトウエア開発キットが同梱されており、フォトメトリックステレオ、拡張被写界深度、明視野／暗視野、ハイダイナミックレンジ（HDR）といった、コンピュテーショナルイメージング機能を開発者が構築できるようになっている。

「コンピュテーショナルイメージングは、マシンビジョンシステムで作成される画像の改善や、これまでは不可能だった画像の作成を可能にする拡張技術である」と、シーシーエスのシニア技術アドバイザーを務めるマーク・ランドマン氏（Marc Landman）は述べている。「現在、コンピュテーショナルイメージングやマルチショットイメージング手法の例が数多く存在し、コントラストの向上、色解像度の向上、マルチスペクトル機能、被写界深度の拡張、セグメント化された3D情報、組み合わせ照明など、産業用ビジョンシステムの改善に活用可能な効果が実現されている」（ランドマン氏）（**図2**）。

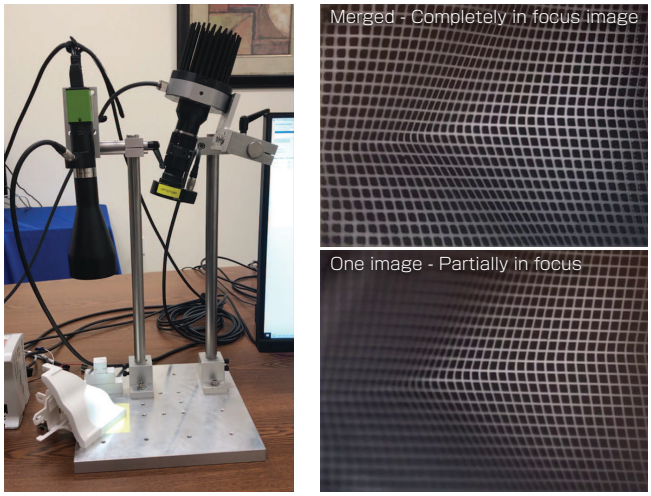

図2　（a）この拡張被写界深度のデモは、3D再構築に向けて複数プレーンにおいてカメラと構造化光プロジェクタの焦点を同時に変更することにより、動作する。（b）上の図は、焦点が完全に合った合成画像、下の図は、焦点が部分的にしか合っていない1枚の画像である。

「コンピュテーショナルイメージングにより、システム設計者は、イメージングのさまざまな問題に対する解決策を生み出すための新たな方法を考案し始めることができる」と同氏は述べた。

米アドバンスト・イルミネーション社（Advanced illumination）の「Quad」コントローラシリーズである「DCS-400E」と「DCS-800E」も、フォトメトリックステレオ、HDR、マルチスペクトルイメージング、拡張被写界深度、複数照明／複数軸による連続イメージングなど、類似の用途向けに設計されている。これらのコントローラは、4または8チャンネル構成で提供されており、設計者がGUIソフトウエアインタフェースを介して、照明のシーケンスをプログラムできるようになっている。このシステムには、セグメント化／4象限分割されたリング照明、複数波長照明、複数軸シングル照明（暗視野と明視野など）、複数の個別照明など、同社の複数の照明製品が使用されている。

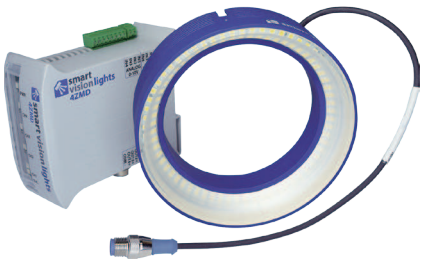

図3　4ZMD LEDドライバとRM140-4Zミニリング照明。RM140-4Zは、4象限に分割されており、各ゾーンをそれぞれ個別に制御することができる。

「Quadコントローラシリーズの開発を始めたとき、当社の目的は、使いやすくて費用対効果の高いソリューションを市場に提供することだった。当社のすべてのコントローラと同様に、SignaTechが採用されている。SignaTechは、顧客が当社の照明を、破損させることなくピーク出力で稼働できるようにするための、独自のプラグアンドプレイシステムである」と、アドバンスト・イルミネーション社の社長兼CEOを務めるジョン・スレールキル氏（John Thrailkill）は述べた。

米スマート・ビジョン・ライツ社（Smart Vision Lights）は、2018年のInnovators Awards銀賞を受賞した「LLM Multiple Quadrant」ライトマネージャーを、フォトメトリックステレオ向けに提供している。このマネージャーを使用して、4つの光源による連続照明を変化させることにより、1台のカメラで連続画像を撮影し、物体表面上の各画像点における表面の向きを判定することができる。

3Dイメージング

3D技術を採用する任意のイメージング手法に、制御された光源であるか、アンビエント光源であるかにかかわらず、何らかの照明が必要になる。例えば、3Dフォトメトリックステレオ・コンピュテーショナルイメージングでは、「shape from shading」と呼ばれる手法によって、物体形状を2Dテクスチャから分離する。物体に7つの異なる方向から照明を当てて、1台のカメラで画像を撮影する。こうして撮影された画像の陰影の違いに基づいて、照明を当てた物体の表面の向きとテクスチャの両方を示す表面画像を計算することができる。この手法を採用する1つの例が、LumiTraxシステムである。

このイメージング手法を特に対象として設計されたLED照明が存在し、その1つが、スマート・ビジョン・ライツ社の「RM75-4Z」と「RM140-4Z」シリーズである（**図3**）。暗視野リング照明と放射状照明に理想的な形で設計されたこれらのミニリング照明は、4チャンネルLEDドライバ「4ZMD」を含むキットとして販売されている。このLEDドライバは、最大4つの個別照明または照明ゾーンを、任意の組み合わせと任意の光度レベルで、個別または同時に制御することができる。このドライバによって、測光や複数光の用途に対して照明を個別にストロボ発光させ、同社のプログラム可能なLEDライトマネージャに接続されている場合は、照明の各チャンネルを連続オン／オフ、またはその間の任意の光度レベルや、「OverDrive」ストロボモードに設定することができる。

「4ゾーン照明と4ZMDドライバは、Cognex In-Sightカメラに対応するように設計されており、当社のCognex SurfaceFXソフトウエアから最大限の機能を引き出したいと考えるユーザーにとって、理想的なソリューションとなっている」とスマート・ビジョン・ライツ社の社長を務めるデーブ・スポールディング氏（Dave Spaulding）は述べている。

3D構造化光システムにおいて、狭帯域の光を3D表面に照射すると、使用した光やレーザとは異なる視点から撮像した場合に、ゆがんで見える照射ラインが生成される。この反射ラインの形状を解析することにより、物体の表面形状を幾何学的に再構築することができる。

この処理を特に対象としたレーザ代替手段として設計されているのが、伊オプトエンジニアリング社（Opto Engineering）の「LTPR」シリーズである（**図4**）。3つの出力強度（3W、10W、90W）を備えた、複数のLEDパターン

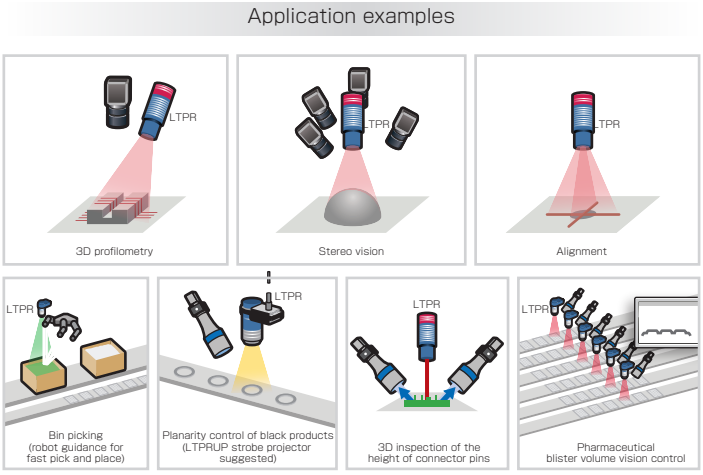

図4　LEDパターンプロジェクター「LTPR」は、ロボットベースのビンピッキング、コネクタピンの高さ検査、医薬品のブリスター量のビジョン制御などの3D用途をターゲットとする。

プロジェクタで構成されている。Cマウント対応のこのプロジェクターを、3D形状測定、ステレオビジョン、アライメントシステムなどのシステムの一部として使用すれば、ロボットベースのビンピッキング、コネクタピンの高さ検査、医薬品のブリスター量のビジョン制御などの用途に対応することができる。

これらのプロジェクターは、3Dイメージング用途に適用した場合にレーザよりも有効となるように設計されていると、オプトエンジニアリング社の照明製品担当製品マネージャーを務めるマッシモ・カステレッティ氏(Massimo Castelletti)は言う。

「レーザエミッタの場合、ラインの断面方向とライン幅沿い方向の両方で、照度が減衰する。また、レーザエミッタのラインは太く、エッジはぼやけ、回折やスペックルの影響も現れる。当社のプロジェクターは、レーザよりもラインが細く、エッジがシャープで、照度が均質であるだけでなく、反射性物体に適用した場合により良い結果が得られるように設計されている」と同氏は述べた。

LTPRプロジェクターシリーズ向けに、PTPRシリーズのパターンが設計されている。パターンを保持するリテーニングリングを取り外すことなく、簡単にパターンを交換することができる。外径は21mm、アクティブプロジェクションエリアは直径11 mmの円形で、3D形状測定、ステレオビジョン、アライメント用の多数のオプションを含む、標準設計とカスタム設計のパターンが提供されている。

ウォッシュダウン環境

ウォッシュダウン(強力洗浄)が重要となる食品検査環境では、照明を含むマシンビジョンシステムのすべてのコンポーネントがその条件に耐えられなければならない。このような環境への照明の設置は新しい概念ではないが、多数の照明企業が、ウォッシュダウンを必要とする食品検査分野を特に対象とした製品を開発している。

例えば、米スペクトラム・イルミネーション社(Spectrum Illumination)の「Monster Washdown Dome」は、グレード316のステンレス鋼とFDA準拠のプラスチックでできたIP68定格のウォッシュダウンドームで、食品グレード環境で使用できる耐久性が確保されている。照明そのものが、9色と赤外光源を備えるCDI(Cloudy Day Illuminator)のドーム型LEDとなっている。使用時には、カメラをドーム型照明の上に、ドーム上部の穴を覗く形で配置し、ドームの下を通過する物体に、間接照明が当てられる。間接照明には、高反射性表面からのグレアを除去する効果がある。

スマート・ビジョン・ライツ社も、過酷なウォッシュダウン環境向けの複数のLED照明を提供している。例えば、暗視野ウォッシュダウンリング照明である「DFLW-200-4Z」は、シカゴで開催されたAutomate 2019で発表された。この照明は、ステンレス鋼または黒アルマイト加工されたアルミニウムの筐体で提供されており、LED光ビームを検査対象物に対して25°の角度で照射するためのマイクロレンズフィルムを備える。これによって、光度と均一性を維持しつつ、光の作動距離を長くすることができる。IP68定格のこの照明は、外付けMulti-Driveドライバを含むキットとして販売されており、連続動作またはストロボモードでの動作が可能である。

「食品や飲料は、マシンビジョン市場において最も成長著しい分野の1つである。この分野の顧客は、品質と規制の問題を特に重視するためだ。DFLW-200-4Z(4ゾーン)は、この重要な市場分野に対する当社の広範なウォッシュダウンソリューションを、さらに拡大するものである」とスポールディング氏は述べた。

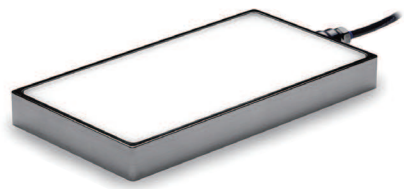

図5 BL245 UltraSealブラックライトは、照明本体が腐食性ウォッシュダウンや高圧スチーム洗浄による悪影響を受けないようになっている。

アドバンスト・イルミネーション社が提供予定の「UltraSeal」製品ファミリーに含まれる「BL245」バックライトは、IP69Kに準拠する(**図5**)。FDA準拠で独自のニッケル仕上げによって、照明本体が腐食性ウォッシュダウンや高圧スチーム洗浄による悪影響を受けないように保護されている。シールドされた埋め込み型ディフューザーによって割れ目のない構造を持つこのバックライトは、食品や薬品分野の他、シールドされた洗浄可能部品を必要とする過酷な環境をターゲットとしている。

ウォッシュダウンやその他の防水環境仕様のマシンビジョン照明製品を提供するその他の企業としては、米バナー・エンジニアリング社(Banner Engineering)、モリテックス、米オムロン・マイクロスキャン社(Omron Microscan)、中国OPTマシンビジョン社(OPT Machine Vision)、仏TPLビジョン社(TPL Vision)などがある。

VSDJ