

# 高速トラッキング ハイパースペクトルソリューション

ウーター・シャルル

使いやすく低コストでコンパクトな産業用ソリューションとして、チップの集積化がハイパースペクトルイメージングの可能性を最大限に引き出すと見られている。現在、ハイパースペクトル動画を中心にエコシステム全体が出現している。

ハイパースペクトルカメラは、物体から反射された光を多数の狭いスペクトルバンドに分割し、それらを個別に取り込んで処理し、シーン内の各ピクセルのスペクトルシグネチャを記録する。このシグネチャは、人間の眼がとらえる赤・緑・青の画像よりもはるかに豊かなものだ。各分子は光と特定の方法で相互作用し、スペクトルフィンガープリント（指紋）を生成するため、画像内の物質を比類なく特定ができる。

この固有のフィンガープリントは、あらゆる種類の材料や物体の識別や分類に優れた価値を発揮し、産業工程のさらなる自動化に不可欠だ。例えば、橋の構造要素の腐食を判明できる。

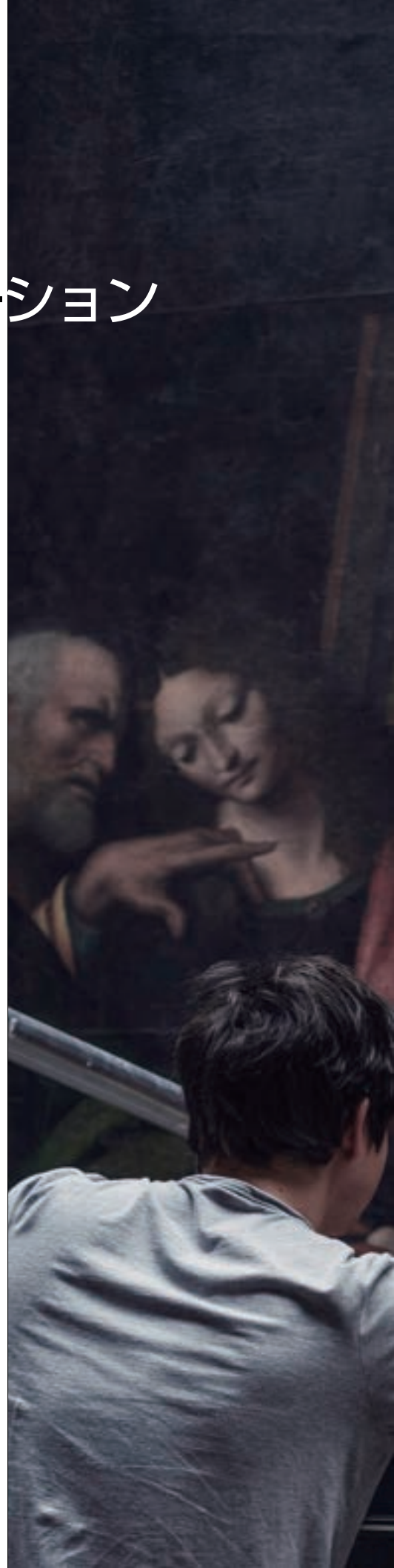
ハイパースペクトルカメラの最も一般的な実装方式は「プッシュブルーム」と呼ばれるもので、数秒から数分かけて、ライン上のシーンを1ラインずつスキャンするものだ。さらに、ハイパースペクトルカメラは、ガラス内の高価で重い高精度光学系をはじめ多数の単機能部品を、手作業で組み立てて作製される。慎重なアラインメント（位置合わせ）とキャリブレーション（ずれの調整）が必要となる。このような実装形態であることから、ハイパースペクトルデータを実際の産業ソリューションにキャリブレーション、補正、適用できるのは、ハイパースペクトルイ

メージングの専門家のみということになる。

プッシュブルーム方式はベルトコンベアのような一定動作の状況では素晴らしく機能するが、カメラやシーンのように自由に動く状況では困難が伴う。探査ロボットや自由に飛行するドローンに搭載された検査用カメラならどうだろうか。このような状況では、リアルタイムの変化を観察するために、フレーム全体を、できれば動画速度でスキャンする必要がある。例えば、ロボットが瓶からランダムに品物を取り出す場合、各動作の後に新たな判断を下すために写真を撮り続けなければならない。毎秒30フレームレートの速度で画像が更新される場合、ハイパースペクトル動画になる。今日、ハイパースペクトル動画は、品質検査、選別、材料検出など、さまざまな産業分野で利用可能になってきている。では、どのように実現可能になったのだろうか。その答えは「チップ技術」だ。

## 集積チップでの ハイパースペクトルイメージング

ベルギーのimecは、CMOSベースのインフラストラクチャーとクリーンルームでのプロセス技術を用いて、干渉ベースの光学フィルタをウエハレベルで構築し、イメージセンサのピクセ





ハイパースペクトルイメージングを用いて、レオナルド・ダ・ヴィンチの「最後の晩餐」の絵の構成についての非常に詳細な情報を、キャンバスと物理的に接触させずに、つまりキャンバスを傷つけずに取得した(提供:imec)



ル上に直接蒸着してパターンニングすることにより、ハイパースペクトル機能を集積化したチップを開発した。このアプローチは、重要な競争優位をもたらした。集積されたイメージセンサは、汎用コンピュータチップと同等のコストで大量生産が可能なのだ。また、小型であるため、標準レンズ付きの通常のカメラに挿入できる。このようなカメラなら、ドローンや小型ロボットに搭載するのに適している。

ハイパースペクトル用チップは、従来のスキャン技術の精度とさらなる利便性を兼ね備えており、シーンの高速リフレッシュレートを実現する。このチップでは、毎秒最大2880ラインをスキャンできる。これは、 $2048 \times 1088$ ピクセルの視野画像を、日中の環境では約30fps、マシンビジョン用

途で通常使用されるような高い照明レベルの環境では最大340fpsの速度でスキャンすることに相当する。非常にコンパクトで信頼性が高く、費用対効果の高い、ハイパースペクトル機能をチップに搭載できることは、この種のイメージングを新しい市場に導入できる鍵となる。

### モザイクパターンニング技術

モザイクパターンニング技術は、動画モードのハイパースペクトルイメージングを実現するために使用される。ピクセルは $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $5 \times 5$ の配列にグループ化される。このような各グループ、例えば、 $4 \times 4$ モザイクパターンの16ピクセルのグループ上に、16個の狭帯域フィルタが組み合わせられ、実質的に1イメージセンサ分のピクセル

サイズのフィルタが作られる(図1)。このモザイク設計技術のおかげで、デュプリケータやビームスプリッタなどの別のハードウェアが不要になった。

産業用途の場合、科学レベルのデータ量は必要としない。各用途に必要なスペクトルバンドを適切に取得することが求められる。各用途の仕様を満たすには、特定の速度、感度、ピクセル数を有する適切なイメージセンサを選択すればよい。

### エコシステム全体の改善

有望な技術と業界での応用との間のギャップを埋めるためには、チップの集積化に加えて、カメラのハードウェアメーカーからエンドユーザーまで、バリューチェーン全体にわたるコラボレーション(協働)が必要だ。その観点から、imecの研究者は独フォトンフォーカス社(Photonfocus)と提携し、集積チップを搭載した軽量コンパクトカメラを開発した。さらに、imecの研究者はあらゆるカメラのスペクトル性能を検証し、エンドユーザーが直接サポートを受け、ソフトウェアを利用できるようにした。その結果、前例にないほどシステム性能が向上し、導入障壁が大幅に低減した。

ハイパースペクトルカメラファミリーの中で最新製品は、フォトンフォーカス社の10 GigEシリーズである(図2)。このカメラシリーズでは毎秒1.1Gbitでの画像データ伝送が実現する。ケーブル1本で最大100mの長距離伝送が可能になり、広帯域幅を必要とする用途で強力なソリューションを提供する。動作解析や仮想現実アプリケーションなどの高速処理において、強みを発揮するだろう。

ハードウェアと言えば、光だ。優れたマルチスペクトル画像には、まず適

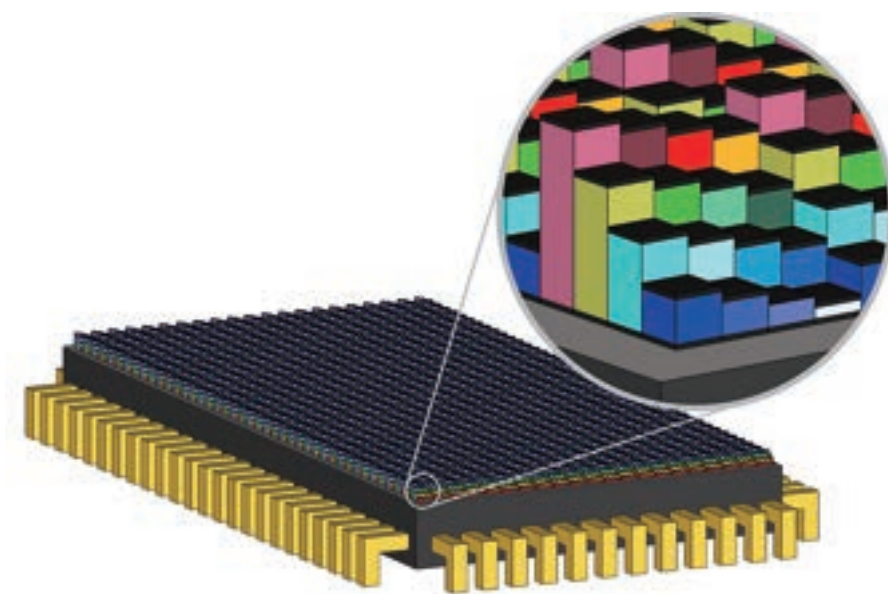


図1 4×4ピクセルのモザイクを形成する、ピクセル単位のフィルタを備えたハイパースペクトルイメージング用チップ



図2 フォトンフォーカス社製10GigEシリーズのハイパースペクトルカメラでは、毎秒1.1Gbitでの画像データ伝送が実現する

切な照明が必要である。LED、ハロゲン、電球などのさまざまな光源を徹底的に検証した後、imecの研究者は仏エフェルクス社 (Effilux) との共同イノベーションを開始した。スペクトル範囲、パワー、安定性などに関するフィードバックを継続的に行い、統合されたセンサとの理想的な適合性を示した。

バリューチェーンのもう一端であるエンドユーザー側の主な課題は、機械学習やハイパースペクトルイメージングの専門家でなくてもハイパースペクトルデータを解釈できるようにすることだ。蘭パークラス社 (perClass)、独ルックスフルックス社 (Luxflux) のソフトウェア会社2社は、imec向けのソフトウェアスイートを構築した。imecのAPI、ソフトウェア、その背後にあるデータ処理のアルゴリズムを詳しく解説し、ハイパースペクトルの洞察への参入障

壁を低くしたのである。

### 課題からハイパースペクトルイメージングソリューションへの近道

バリューチェーン全体にわたるこのような改善の結果、業界内の顧客は研究開発段階をほとんど省略でき、課題とハイパースペクトルイメージングのソリューションの間のギャップが埋められた。

エンドユーザーからハードウェアまでの知識を結集することは、市場の成熟に不可欠であることが証明された。精密農業、生態系保護、腐食検出と処理、鉱業、食品検査、ガス漏れ検出などの分野で、新たなハイパースペクトル用途と関連するソフトウェア企業が出現している。有望な技術が実用化されつつあるのだ。

#### 著者紹介

ウーター・シャルル氏はベルギーのルーヴェンにある imec 社のハイパースペクトルイメージングプログラムマネージャー。e-mail: wouter.charle@imec.be URL: www.imechyperspectral.com

LFWJ

