

# 高速3Dイメージングの最新技術を理解するーパート1

ジェームズ・キャロル

ToFやレーザを利用する複数の3D製品が現在市場に存在する。本稿では、それらの機能を紹介する。

3Dイメージング製品を現在開発する多くの企業が、そうした製品は高速であるとしている。その主張は多くの場合で正しいが、高速とはいったい何を意味するのか、また、その製品で実際に何ができるのかは、必ずしも明白ではない。本稿では、いくつかの最新の高速3D技術を取り上げ、その速度が実際に意味するところを示したいと思う。

## ToF

ToF (Time of Flight)は、注目を集める最新技術の1つで、変調光源でシーンを照射し、反射光を観測することによって機能する。照射光と反射光の位相のずれを測定し、距離に変換することができる。パルスに基づく測定手法が実装された製品も存在する。

ToFに基づく製品を数年前に最初に発売した英オドス・イメージング社 (Odos Imaging、米ロックウェル・オートメーション社 [Rockwell Automation]傘下)は、「Swift-G」カメラを提供している。物流 (パレット管理、パ

レタイゼーション/デパレタイゼーション)、寸法・形状測定、ファクトリーオートメーションなどの用途向けに設計されているこのToFカメラは、640×480の解像度を備え、動的シーン(動きのある場面)を44fpsでアーティファクトなしでとらえることができるとされている。また、レンズと照明(波長850nmのLEDを7個)を搭載し、作動距離は最大6mで、44プロファイル/秒の速度を達成する。

加ルーシッド・ビジョン・ラボ社 (LUCID Vision Labs)から新たに提供されたのは、「Helios」というToFカメラである。ソニーの裏面照射型イメージセンサ「DepthSense IMX 556PLR」を搭載し、波長850nmのVCSELレーザダイオード4個を使用して、6mの作動距離で640×480の解像度を実現する。30fpsのフレームレートを備え、ロボットナビゲーション、3D検査、物流オートメーション(ピンピッキングやパッケージ寸法測定)をターゲットとする。

ルーシッド社はこれ以外にも、「Helios

Flex」という組み込みビジョンシステム用の3Dカメラモジュール(図1)を最近発表した。米エヌビディア社 (NVIDIA)の「Jetson TX2」に接続するように設計されている。この3Dカメラモジュールは、MIPI接続を介して60fpsで未加工データを伝送し、デプス(奥行き、深度)情報はTX2モジュールにおいて、ルーシッド社の「Arena」ソフトウェア開発キットを使用して処理される。

独バスラー社 (Basler)のToFカメラ「blaze」も、ソニーの同じセンサを採用して設計されている。2019年12月に連続生産に入る予定のこのカメラは、VCSELレーザダイオード(波長はNIR域の940nm)を使用し、作動距離は最大10m、フレームレートは最大30fpsである。同社によると、このカメラは組み立てラインにおいて、連続的に流れてくる物体を1秒間に30個測定できるという。

同社はこの他に、解像度645 x 480のパナソニック製センサをベースとするToFカメラも提供している。このToFカメラは、赤外LEDからのパルス光を使用し、20fpsのフレームレートと最大13mの作動距離を備える。どちらのカメラも、積荷の寸法測定、パレタイジング、個数カウント、パレットの位置決め、自動運転車などの用途をターゲットとしている。

独ifm efector社は、パッケージング、保管、マテハン(マテリアルハンドリング)、空港物流、ロボティクス、衝突回避などの用途向けに同社の3D



図1 ルーシッド・ビジョン・ラボ社の3Dカメラモジュール「Helios Flex」は、エヌビディア社の「Jetson TX2」に接続するように設計されており、MIPI接続を介して60fpsで未加工データを伝送する。

ToFカメラ(図2)を設計しており、一連の異なるモデルを提供している。これらのカメラは、シーンを照らすためのアクティブな赤外光源を備え、最大読み取りレートは50Hzである。カメラモデルは、屋内(解像度:352×288ピクセル、範囲:8m)と屋外(解像度:64×16ピクセル、範囲:30m)の両方で使用できるように設計されており、さまざまな開口角度で提供されている。

「当社のToFカメラは、1分間に120個の箱が測定可能で、ケースの完全性検査を1分間に240個以上の速度で行うことができる」と、ifm efector社のロボティクス知覚事業開発を担当するガレット・プレース氏(Garrett Place)は述べた。

ifm efector社傘下の独PMDテクノロジー社(PMD Technologies)は、独インフィニオン・テクノロジー社(Infineon Technologies)と共同で、PMD社独自のpmdピクセルマトリックスをベースとするCMOS 3D ToFセンサ(図3)を開発した。解像度が224×172、352×288、448×336のToFセンサ「REAL3」がインフィニオン社から販売されており、2020年にはさらに高い解像度のものが追加される予定である。

PCベースの開発キットは、PMDテクノロジー社から直接提供されている。「picoFlexx」モジュールは、解像度224×172のセンサを搭載し、フレームレートは最大45fps、測定距離は0.1～4mであるのに対し、「Monstar」モジュールのセンサ解像度は352×288で、フレームレートは最大60fps、測定距離は0.5～6mである。組み込みシステム用の開発キットが、2020年初頭に提供される予定である。

民生電子機器やモバイル設計に対し、PMD社とインフィニオン社が共同開発したデプスモジュールは、複数

の企業から提供されている。例えば、韓国LGイノテック社(LG Innotek)は、2019年初頭に発売されたスマートフォン「LG G8」において、3D顔認証用のToFモジュールを提供した。2020年には、両社のデプスモジュールを搭載するスマートフォンがさらに発売される予定である。

「PMD社とインフィニオン社の焦点は、スマートフォン、IoTデバイス、民生ロボティクスなどの量産市場向け製品に3Dイメージングを適用することにある。ほんの数年前まで、3Dイメージングデバイスは煉瓦ほどの大きさだったが、われわれは現在、親指の爪ほどの大きさで、高い集積性、低い消費電力、小さなフォームファクタを備えた3Dモジュールを提供している」と、PMDテクノロジー社の事業開発および販売担当バイスプレジデントを務めるミッチェル・レイフェル氏(Mitchell Reifel)は述べた。

独ジック社(SICK)も、「Visionary-T」と「Visionary-T AP」の各シリーズで、一連のToF 3Dスナップショットカメラを提供している。これらのGigE(ギガビットイーサネット)カメラは、赤外光(LED、波長850nm)を使用し、144×177ピクセルの3D画像を1秒あたり最大50枚提供することができる。衝突警告、物体検出、デパレタイジングなどの用途に適している。



図2 ifm efector社の3D ToFカメラは、1分間に120個の箱が測定でき、ケースの完全性検査を1分間に240個以上の速度で行うことができる。



図3 PMDテクノロジー社のCMOS 3D ToFセンサは、同社独自のピクセルマトリックスをベースとし、224×172、352×288、448×336の解像度で提供されている。2020年にはさらに高い解像度のものが追加される予定である。

ToFといえば、米マイクロソフト社(Microsoft)の第2/第3世代の「Kinect」カメラは、この技術の最も認知度の高い例だろう。第3世代で最新バージョンにあたる「Azure Kinect DK」には、30fpsで640×576または512×512、15fpsで1024×1024の解像度に対応する1メガピクセル(MP)のToFデプスセンサが搭載されている。同社は、米オムニビジョン・テクノロジー社(OmniVision Technologies)の12MPのCMOSローリングシャッターセンサ「OV12A10」(フル解像度でのフレームレートは30fps)に基づくRGBカメラも提供している。

マイクロソフト社によると、Azure Kinectは、複数のKinectカメラとの同時同期や、同社の「Azure」クラウドサービス(Azure Machine Learningの使用を可能にするAzure Cognitive Servicesなど)との統合が簡単にできるように設計されているという。同社によると、このカメラのターゲット用途は、理学療法や患者のリハビリ、在庫管理、スマートパレタイジング/デパレタイジング、部品識別、異常検出、ロボティクスプラットフォームへの搭載などだという。

## 3D ToFの速度の解釈方法

すべてのケースにおいて、ToFカメ



図4 LMIテクノロジーズ社の3Dレーザプロファイラ「Gocator 2500」では、1つのプロファイル(1本のイメージライン)を10kHzでスキャン、測定、制御する機能のすべてがセンサ上に搭載されている。

ラは基本的に、メーカーが記載するそのカメラのフレームレートで、3Dデータの単一のフレームを出力する。この手法に基づき、個々のフレームから直ちに3D画像が生成される。しかし、カメラが1分間または1秒間で検査可能な部品や物体の個数や、カメラが1分間または1秒間で提供できる3D結果の数になると、処理時間を考慮に入れる必要がある。自律型ロボット/自動運転車のガイダンスや干渉回避などのケースを除き、カメラのフレームレートが50fpsであるからといって、1秒間で50個の箱や部品を検査できるということにはならないと、米インテグロ・テクノロジーズ社(Integro Technologies)のプリンシパルビジョンシステムアーキテクトを務めるデビッド・デホー氏(David Dechow)は述べた。

「3D ToF画像の処理は、オンボードのカメラファームウェアか、PCなどの外部プロセッサで行われる。必要な処理量に応じて、どれだけの速度で結果を生成できるかという観点での産業用途におけるカメラの実際の能力は、用途によって大きく異なる」と同氏は述べた。

ソフトウェアによる3D画像解析には時間がかかるため、ほとんどの産業用途において、ソフトウェアでカメラのフレームレートに対応するのは難し

い。フレームレートは確かに重要だが、ほとんどの用途において、与えられたToFカメラの画像取得速度に合わせて処理を実行することは現実的には不可能だと、デホー氏は説明した。

### レーザベースの手法

三角測量も、アクティブな3Dイメージング手法の1つである。3Dレーザスキャナによって物体表面にレーザを投光し、カメラによって物体表面上のそのラインの反射をとらえるというものである。三角測量によって表面の各点の距離を計算することで、物体形状の3Dプロファイルまたは輪郭が得られる。個々の画像には、被検査物体の1本のラインしか含まれておらず、レーザベースの3D手法では、そうした画像を多数使用することによって、検査を必要とする物体または特徴の完全な3D画像を生成する。その結果、レーザベースの手法は、全般的にToFよりも低速だが、一部のストラクチャードライト(構造化光)手法よりは高速である。

加LMIテクノロジーズ社(LMI Technologies)は、同社の3Dレーザプロファイラ「Gocator」でこの手法を採用している。同社の「G1300」シリーズは、32kHzのRAWスキャン速度を達成するが、「Gocator 2500」シリーズ(図4)では、完全検査速度は10kHzと記載されている。つまり同社によると、1つのプロファイル(1本のイメージライン)を10kHzの速度でスキャン、測定、制御する機能のすべてが、センサ上に搭載されているという。

キーエンスは、2Dおよび3Dのインライン測定/検査を対象とした複数の3Dレーザプロファイラを提供している。同社によると、ユーザーが用途の技術的仕様と予算要件に最も適したセンサとコントローラを選択できるよう

に、ラインナップが取り揃えられているという。解像度が高い「LJ-X」シリーズと速度が高い「LJ-V」シリーズの両方が、3つのどのコントローラ(2D/3D、2D、未加工データ出力)とも組み合わせ可能である。この構成によって、溶接/ビード検査、フラッシュ(同一平面度)とギャップ(隙間)の測定、360°欠陥検出などの用途における、品質管理とプロセス改善に対応する。

LJ-XとLJ-Vの両方において、クラス2Mの青色レーザ(波長405nm)と、データ処理と判定値出力を高速に実行するように設計されたコントローラ装置が組み合わされている。最大サンプリング速度は、それぞれ4kHzと64kHzである。

独マイクロエプシロン社(Micro-Epsilon)は、「ScanCONTROL」シリーズの3Dレーザスキャナにおいて、最大10kHzの速度を達成するモデルを提供している。コンパクト、高速、スマートの各バージョンで提供されているこれらのスキャナは、赤色レーザ(658nm)または青紫色レーザ(405nm)が選択可能で、最大550万ポイント/秒の測定レートと、最大2048ポイントのX軸分解能を備える。同社は応用分野の例として、台上の欠陥認識、車体上のギャップ測定、ブレーキディスクのプロファイル測定、溶接シームのプロファイル測定、接着ビード検査などを挙げている。

米コグネックス社(Cognex)は、3D変位センサシリーズ「DS1000」において、「DS1050」「DS1101」「DS1300」の3つのモデルを提供している。各モデルは、同じ設計に基づくが、視野(近視野と遠視野)、空間距離、測定範囲、X軸/Z軸分解能がそれぞれ異なる。DS1000のレーザスキャナは、最大10kHzのスキャン速度を備え、自動車、

エレクトロニクスや民生製品、食品や薬品の検査などの用途をターゲットとしている。コグネックス社は、「DSMax」という3Dレーザ変位センサも提供している。こちらは、最大18kHzのスキャン速度を達成し、31mmの視野内で2000個のプロファイル点画像を取得する。DSMaxセンサは、反射性が高い部分や暗い部分を含む電子部品など、非常に小さな部品の検査をターゲットとしている。

ジック社は、「TriSpector1000」と「TriSpectorP1000」（プログラマブル）という3Dラインスキャンセンサにおいて、最大高さ範囲、フロントカバーの素材、最大作動距離時の幅がそれぞれ異なる、複数のモデルを提供している。TriSpectorP1000は、3Dロボットガイダンス、プロファイル検証、エッジや表面の欠陥検出、ビード検査などの用途をターゲットとし、TriSpector1000は、日用品の品質管理、箱の完全性検査、食品加工における製品寸法測定に適している。どちらのシリーズも、赤色可視光レーザ（660nm）を使用し、2,000 3Dプロファイル/秒のスキャン/フレームレートを達成する。

ジック社の「Ranger」シリーズの3Dカメラは、別個のシートオブライト・レーザとともに使用するように設計されており、3D形状、コントラスト、色、散乱のすべてを同時に測定するためのMultiScan機能を備える。Ranger 3Dカメラのターゲット用途は、高速3D検査、タイヤ形状の点検、ソーラセル製造における色及び3Dトレイ検査、材木測定などである。

Rangerカメラの最新シリーズである「Ranger3」では、この技術の小型バージョンである「V3DR3-60NE31111」というモデルが提供されている。77×55×55mmのこのカメラには、ジック社

のCMOSイメージセンサが搭載されており、7kHzでフルサイズ画像（2560×832ピクセル）を処理して、1つの3Dプロファイルを作成することができる。GigE VisionとGenICamに準拠し、最大処理速度は15.4ギガピクセル/秒である。同社によると、Ranger3のカメラは、電子部品やPCB（プリント回路基板）の検査、タイヤの品質点検、食品の包装点検およびインライン品質点検などの用途に適しているという。

ジック社から提供されているレーザベースの3Dセンサとしては他に、「Ruler E」というラインスキャンセンサがある。この製品は、赤色可視光レーザ（660nm±15nm）を使用して、1万3Dプロファイル/秒のスキャン/フレームレートを達成する。

独オートメーション・テクノロジー社（Automation Technology：AT）による「C5」シリーズの3Dセンサは、別個のレーザとともに使用するように設計されており、4K UHDの解像度を備え、最大20万プロファイル/秒の速度で3Dデータを収集する。外部照明に対する制御機能、シャインブルーアダプタ、GigE Visionインタフェースに加えて、自動スタート、自動AOI（Area Of Interest：関心領域）追従、マルチAOIといった3Dスキャン機能を搭載する。

「C5-CS」シリーズの3Dセンサは、3D技術とレーザエレクトロニクスがコンパクトなIP67筐体に組み合わされている。CMOSイメージセンサ、FPGA、内蔵されている3D評価アルゴリズムを使用する。C5-CSセンサは、最大200kHzのプロファイル速度と、最大4096点/プロファイルのプロファイル分解能を備え、C5センサと同じ3Dスキャン機能を搭載する。検出器と光学部品はシャインブルーの原理に従っ

て配置されている。また、工場で校正済みのC5-CSセンサは、GigE Visionインタフェースを備え、青色レーザ（405nm、クラス2M/3R/3B）または赤色レーザ（660nm、クラス2M/3B）のいずれかを搭載する一連のモデルが用意されている。

最近発売された「MCS」シリーズの3Dセンサは、装備と性能はC5-CSセンサと同じだが、モジュール式の問題が採用されており、ユーザーが個々の用途に合わせてデバイスを構成できるようになっている。同社によると、すべての3Dセンサモデルが、PCB検査、溶接シーム検査、タイヤ点検、接着ビード検査、BGA（Ball Grid Array）検査、木材表面検査などの用途に適しているという。

## レーザベースの3D手法の速度の解釈方法

レーザベースの3D手法の速度は、ToFカメラよりもやや直感的にはわかりにくい。しかし、両者の速度の比較は可能である。

「640×480のToFカメラの速度を、レーザベースの3D手法と比較するには、480本のラインの取得に必要なライン数と時間を計算する必要がある」とデホー氏は述べた。

3Dセンサの速度として、メーカーが取得速度を記載しているか、取得と処理の速度を記載しているかにかかわらず、レーザベースの手法で1つ変わらないのは、そのセンサが、一度に1本の情報ラインをスキャンして、連続画像を合成することである。個々の用途の要件に照らし合わせてそうしたセンサの速度を検討する際には、そのことに留意することが非常に重要だと、同氏は説明した。

本稿のパート2は7月号で掲載の予定。

VSDJ