エッジコンピューティングなどによって推進される組み込みビジョン

クリス・マクルーン

定義可能か否かに関わらず、エンドユーザーはますます多くのアプリケーションに、組み込みビジョンを導入し続けている。

組み込みビジョンは、ビジョン／イメージング業界において新しいものではないが、多くの人々にとって、これまでとは何か異なるものを意味する。Vision Systems Design誌が最近開催したウェビナー「Embedded Vision—Is It Right for Your Application?」(組み込みビジョンは、あなたの用途に適しているか)の中でペリー・ウェスト氏(Perry West)は、組み込みビジョンはコンピュータビジョンの興味深い成長分野だが、「『それが正確に何を意味するか』を定義する、規格委員会は存在しない」と述べた。

独ビジョンコンポーネンツ社(Vision Components)の最高経営責任者(CEO)を務めるヤン-エリク・シュミット氏(Jan-Erik Schmitt)は、カメラが「多くのアプリケーションにおいてセンサとして組み込まれて」、画像取得と処理のためのビジョンソリューションは、さらに小型で高性能になっていると述べた。「それに伴って『組み込みビジョン』という名称がよく使われている。しかし、私たちにとってその名称には、それ以上の意味がある。組み込みビジョンは、コンポーネントが個々の用途に合わせて完璧に調整されており、コンポーネントと機能の面で不要なオーバーヘッドが取り払われていることを意味する。それらのソリューションは最大限に小型化されており、エッジデバイスやモバイルアプリケーションに最適である」(シュミット氏)。

エッジにおけるビジョン

エッジコンピューティング機能は、組み込みビジョンの急速な成長を促進する要因の1つとなっている。

米イーコンシステムズ社(e-con Systems)の事業開発担当副社長を務めるハリシャンカル・スブラマニヤム氏(Harishankkar Subra manyam)は、カメラ技術と組み込みプラットフォームの進歩によって、組み込みビジョンが適用可能な用途の幅が飛躍的に拡大したと述べた。続けて同氏は、多くの従来のマシンビジョンシステムが、エッジ処理機能を理由に組み込みビジョンシステムに移行しているとした。「カメラと処理プラットフォームの小型化が進み、品質と性能が向上したことで、スマートカメラシステムを利用する新しいアプリケーションが、イノベーターらによって次々と考案されている」と同氏は述べた。

台湾シンコーズ社(Cincoze)の製品マネージャーであるマイケル・ファン氏(Michael Huang)は、組み込みビジョン向けの主流PC技術は成熟していると述べた。しかし、組み込みPCは、サイズが縮小し、価格と性能の面で明らかにメリットがある。「センサやIoT(Internet of Things:モノのインターネット)デバイスを搭載することで、エッジコンピューティングは、ローカルエッジネットワークにおいてさらに効率的に演算を実行する」と同氏は述べた。

独マトリックスビジョン社(MATRIX VISION)のテクニカルエディターであるウリ・ランシェ氏(Ulli Lansche)は、組み込みビジョンシステムの目的は通常、ハードウエアとソフトウエアを含む画像処理を、顧客の筐体の中に組み込むことだとしている。カメラは、コンピュータプラットフォームの比較的近くに配置され、特定用途向けのハードウエアは、システムに組み込まれるか、接続される。その他のコンポーネントとして、照明、センサ、デジタルI/Oなどが搭載または提供される。「このビジョン・イン・ア・ボックスのアプローチは、多くの用途に自然に適合し、エッジコンピューティングに自然に合致する。エッジコンピューティングは、データ処理を分散化するアプローチとして知られている。つまり、圧縮データのいわば最初の前処理を、エッジで実行してからネットワークに送り、さらなる圧縮を(クラウド)サーバで実行する。IoTにおいて組み込みビジョンは、エッジコンピューティングのための画像処理ソリューションである。従って、インダストリー4.0(Industry 4.0)においても、組み込みビジョンの要件プロファイルは、明らかにあまり変わって

いない」と同氏は述べた。

ディープラーニング／AI

台湾ネオシステクノロジ社（Neousys Technology）の米国法人で製品ディレクター兼副社長を務めるクリス・ニー氏（Chris Ni）は、ディープラーニングによって組み込みビジョンは新たな用途へと拡大されているとして、従来の組み込みビジョンシステムは一般的に、カメラ、適切な照明、十分な演算能力、コンピュータビジョンアルゴリズムで構成され、高品質画像を画像処理の拠り所にしていると述べた。「ディープラーニング技術の急速な進歩は、低光量条件下で取得された低品質画像の影響緩和に役立っている。ディープラーニングビジョンは、フィーチャマップを自動生成して、人間が自分の目と脳で世界を認識するのと同じように、物体を識別して分類することができる。ディープラーニングビジョンというこの新しい分野は、新しい種類のカメラとともに、動的な環境においてさらに複雑なビジョン用途に対応できるように、私たちを支えるものである」と同氏は述べた。

スブラマニヤム氏は、ロボティクス、インテリジェントなビデオ解析、遠隔患者モニタリング、診断、自律型ショッピングシステムなど、さまざまな用途において人工知能（AI）の導入が増加していることも、近年の組み込みビジョンの成長を促進していると付け加えた。

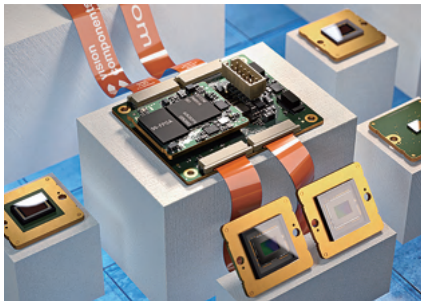

図1　「VC Power SoM」。（写真提供：ビジョンコンポーネンツ社）

ギリシャのイリダラブズ社（Irida Labs）でマーケティングマネージャーを務めるトーマス・カリシス氏（Thomas Charisis）は、組み込みビジョン市場においてカメラメーカーは、半導体やIoT企業によってこれまで占有されていた分野で存在を主張し始めているという見解を示した。「大きなカメラ製造企業が次々に、組み込みAI処理機能を装備したスマートカメラソリューションを発表している」と同氏は述べた。

カリシス氏によると、この移行は、これまで主流のソリューションだった、多くのリソースが必要でプライバシーに関する懸念が伴うクラウドコンピューティングと併用する形で、ビジョンAI処理がエッジで実行される場合に、新たな能力がもたらされることを示唆しているという。エッジコンピューティングに伴って、既存インフラへの統合が容易で、業界標準のIoT及びセンサプロトコルを介して既存ソフトウエアスタックとの相互接続が可能な、コンパクトなセンサも登場している。

ファン氏は次のように付け加えている。「（もう1つの）重要な進歩は、AIと機械学習の普及である。GPUによって、ディープラーニングのための演算処理は劇的に高速化している。組み込みビジョンは、シンプルな環境認識からインテリジェントなビジョンガイドのオートメーションシステムへと進化している。それは、より複雑な状況の処理や、エッジにおけるリアルタイムの意思決定に役立つ」。

新しいアプリケーション

組み込みビジョンのすべてを網羅した定義を思いつくのが難しいのと同様に、そのアプリケーションの包括的なリストを作成するのは難しい。組み込みビジョンは、工場フロアから始まったものだが、今日のその利用は、産業オートメーションの範囲を大きく超えている。「産業分野は、組み込みビジョンの出発点だとみなすべきだろう。組み込みビジョンは、工場の生産ラインに広く利用されて、位置決め、測定、識別、検査を行う設備に固定されていた。今日の組み込みビジョンは、産業用ロボットや自律走行型搬送ロボット（Autonomous Mobile Robot：AMR）という形で、その『枠組み』から独り立ちして、農業、輸送、自動車、採鉱、医療、軍用など、さまざまな分野で広く利用されている」とファン氏は述べた。

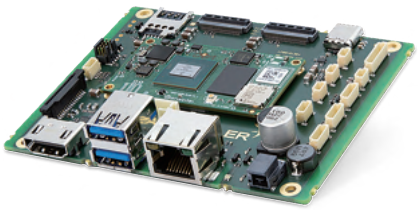

図2　バスラー社の組み込みビジョン処理ボード。（写真提供：バスラー社）

AMRが出てくると、より動的な環境へと議論は展開していく。例えばニー氏は、そうしたより動的な環境の1つとして、物流倉庫を挙げた。生産ラインに実装される、適切に構成された照明を備えた組み込みビジョンシステムとは異なり、倉庫では、位置特定と障害物検出にビジョンを利用する、無人搬送車（Autonomous Guided Vehicle：AGV）/AMRが用いられる。もう1つの例は、カメラを自律誘導に利用するインテリジェントな農業機械である。「これらの用途は新たな課題をもたらす。適切に設定された安定した照明条件を維持するのは、ほぼ不可能だからだ。処理を実行するために、新しいカメラ、新しいコンピューティングハード

ウエア、新しいソフトウエアが必要になる可能性がある」と同氏は述べた。

シュミット氏によると、ビジョンコンポーネンツ社は、民生と産業の両方のあらゆる事業分野において、組み込みビジョンの需要の高まりを認識しているという。ある最近のアプリケーションでは、イントラロジスティクスと製造プロセスにAMRが利用されていた。MIPIカメラモジュールは、特に他のロボットシステムと協調する場合と、狭い通路での位置決めと位置調整を行う場合に、信頼できる正確なナビゲーションを提供する。

台湾アスロックインダストリアル社（ASRock Industrial）でシステム製品事業部門の副社長を務めるケニー・チャン氏（Kenny Chang）は、産業オートメーションをAMRの例として挙げて、AMRには、工場内で周辺環境を検知するために組み込みビジョンが採用されていると説明した。「これに加えて、AIを実装する自動光学検査も、スマート製造の大きなトレンドの1つで、メーカーに多大なメリットをもたらしている」（チャン氏）。

AIと言えば、台湾アエティナ社（Aetina）の製品マネージャーを務めるジェレミー・パン氏（Jeremy Pan）は、組み込みビジョンのその他のAIアプリケーションとして、AI推論を挙げた。

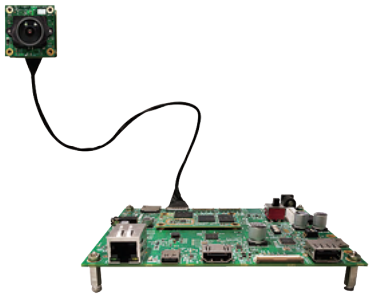

図3　「Qualcomm® QCS610」ベースのAIビジョンキット「qSmartAI80」。（写真提供：イーコンシステムズ社）

その一例が、ロボットアームの動作／モーションの範囲内に工場作業員が侵入したことを検知してロボットアームを強制停止する、仮想フェンスソリューションである。また、AI視覚検査を工場における欠陥検出に利用することもできる。

加プレオラテクノロジーズ社（Pleora Technologies）のマーケティングマネージャーを務めるエド・ゴフィン氏（Ed Goffin）は、次のように付け加えた。「おそらく他の多くの企業も同じだと思うが、AIと組み込み処理をビジョン処理用に搭載する、新しいアプリケーションが増えているのを、当社は実感している。オフラインまたは手動の検査処理に対し、カメラ、エッジ処理、ディスプレイパネル、AIアプリを搭載して、作業者の意思決定を支援するデスクトップシステムが存在する。そうしたシステムの開発における次のステップは、処理をカメラに直接組み込むことによって、それらを製造環境向けにさらに小型化することである。手動検査処理に対し、それらのデスクトップ型組み込みビジョンアプリケーションは、作業者が製品品質をすばやく確認できるように支援する。その舞台裏では、ユーザーの動作に基づくAIモデルのトレーニングが、絶えずトランスペアレントに行われている。このようなシステムは、サイズが小さく、ローカルな意思決定が可能で、処理能力が高く、コストが低いという、組み込み処理の『最も優れた部分』を最大限に生かして、メーカーがAIのメリットを活用できるように支援する」。

カリシス氏は、スマートシティを組み込みビジョンの新しいアプリケーションとして挙げた。「当社が新しいトレンドとして認識しているのは、スマートシティやスマート空間に関する民生及び商業分野において、組み込みビジョンの大規模な導入が増加していることである」と同氏は述べた。この分野のアプリケーションとしては、道路状態を検知して、車両の交通状況や歩行者の利用状況に合わせて明るさを調整するスマート照明ポール、交通管理を最適化して、リアルタイムの交通状況に合わせた調整によって通勤時間や滞留時間を最小化するスマート信号機、人間を検知して、運行計画と経路の改善によって待ち行列を緩和するスマートバス停留所などがある。廃棄物管理とメンテナンス計画を最適化する、スマートごみ箱までもが存在する。

図4　ハイレベルなGPUを備えた「Aetina SuperEdge AIS-D422-A1」。（写真提供：アエティナ社）

独バスラー社（Basler）で組み込みビジョンソリューション担当製品マーケティングマネージャーを務めるフロリアン・シュメルツァー氏（Florian Schmelzer）は、ハイダイナミックレンジ（HDR）によって、同社の「dart」カメラシリーズの用途が広がったと説明した。例えば、インテリジェントな照明システムである。それらのシステムは、変化の激しい条件下で高い信頼性を維持する必要がある。強い日差しを浴びる時間帯もあれば、薄明の時間帯もある。「それは、HDR機能を搭載するバスラー社の組み込みカメラdartを利用すれば、組み込みビジョンシステムが全体として機能するために必要な画質が得られるシナリオの1つにすぎない」と同氏は述べた。

ランシェ氏は、マトリックスビジョン社の最近の例を挙げた。それは、英国の交通監視企業向けのナンバープレート認識システムの一部として開発された、2つのリモートセンサヘッドで、それぞれ日中と夜間用に、異なるイメージセンサを搭載している。「これ以外に、農業、食品業界、医療技術、生産におけるマルチカメラアプリケーションも、組み込みビジョンに適している」と同氏は述べた。

「組み込みビジョンにおける最も興味深いイノベーションが現在、エッジとクラウドの組み合わせと最適化によって行われている」と、加アイエンゾ社（iENSO）の社長を務めるセバスチャン・ディグナード氏（Sebastien Dignard）は述べた。「それは、カメラを組み込む目的がもはや、素晴らしい画像を撮るためではないことを意味する。重要なのは、いかにして画像を解析するか、どのようなビジョンデータが抽出できるか、そのデータで何を行うかである。カメラの『頭脳』であるSoC（System on Chip）が、この新しい現実を推進している。SoCはさらに小さく、高性能で、手ごろな価格になっている。エッジからクラウドまでの最適化、複数デバイスからのビジョンデータの集約と解析、その解析結果に基づくビジネス意思決定のすべてが、組み込みビジョンの要素として注目を集めている。家電製品からロボティクスや精密農業に至るまでのさまざまな分野で、これが導入されている状況を確認している」（ディグナード氏）。

スブラマニヤム氏は、組み込みビジョンは小売、医療、農業、工業分野に大改革をもたらしていると述べた。同氏はさらに、組み込みビジョンが変化の波を作り出している、これらの市場における最先端アプリケーションの一部として、自動スポーツ配信システム、スマート看板やキオスク、自律型ショッピングシステム、農業用車両やロボット、ポイントオブケア診断、ライフサイエンス、実験用装置を挙げた。

製品実装例

顧客のために構築するシステムに適した組み込みビジョンが決まったら、次はどうすればよいのだろうか。以下では、システム設計に利用できる製品の例を紹介する。

ビジョンコンポーネンツ社の28×24mmの「VC Power SoM」（**図1**）は、約12万個のロジックセルと内蔵MIPIコントローラを備えたFPGAを中心に設計されている。色変換、1次元バーコード識別、エピポーラ補正などの組み込みビジョン用途に適している。AIアクセラレーションを目的に、任意のMIPIデータストリームに直接実装することも可能である。

バスラー社の組み込みビジョン処理ボードは、画像処理用のさまざまなインタフェースを備え、蘭NXPセミコンダクターズ社（NXP Semiconductors）の「i.MX 8M Plus」SoCをベースに、柔軟なSoM及びキャリアボード（**図2**）を構築するためのアプローチが採用されている。ボードには、全種類のカメラインタフェースに対応する認証済みドライバ、シンプルなプログラミングインタフェース、カメラのセットアップをサポートする包括的なツールセットを提供する、バスラー社の「pylon Camera Software Suite」が搭載されている。ビジョン向けには、BCON for MIPI、GigE Vision、USB3 Visionがインタフェースとして提供されている。ファクトリオートメーション、物流、小売からロボティクス、スマートシティ、スマート農業にいたるまでの、さまざまな用途に利用することができる。

イーコンシステムズ社の「qSmart AI80」（**図3**）は、そのまま実装可能な「Qualcomm® QCS610」ベースのAIビジョンキットで、ソニー製の4K超低光量カメラをAIベースのカメラアプリケーション向けに装備する。このエッジAIビジョンキットは、ソニーの「STARVIS IMX415」をベースとしたイーコンシステムズ社の4K MIPI CSI-2カメラモジュール、Qualcomm® QCS610ベースのSoMである「VVDN」、キャリアボードで構成されている。4Kカメラモジュールは、低光量条件下においても明瞭な画像を提供する。また、このキットは、オンデバイスの画像処理用のコンピューティングを、高い電力効率と熱効率で実行できるように設計されている。

「Aetina SuperEdge AIS-D422-A1」（**図4**）は、高性能GPUを搭載し、スマートシティ、スマートファクトリ、スマートリテールなど、さまざまな分野のAIトレーニングプラットフォームとして使用できる。AIS-D422-A1は、AIトレーニングと推論を実行する以外

図5 「Neousys NRU-52S」。（写真提供：ネオシス社）

図6　イリダラブズ社が最近、ルネサスエレクトロニクスと共同開発した「Vision AI Sensor」。（写真提供：イリダラブズ社）

に、アエティナ社の遠隔監視ソフトウエアの1種である「EdgeEye」によって、ユーザーによる複数のエッジAIデバイスの監視を可能にする。ユーザーは、EdgeEyeのダッシュボードによって、エッジデバイスのシステム状況を確認することができる。このプラットフォームは、「NVIDIA A2 Tensor Core」GPUにも対応し、これを搭載することによって、AI関連の開発タスクをさらに高い性能で実行することが可能である。

ネオシス社の最新「Jetson Xavier NX」プラットフォーム（**図5**）である「NRU-51V」と「NRU-52S」は、コンパクトでファンレスのフォームファクタを特長とし、広い温度範囲で信頼性の高い動作を提供する。NRU-51Vは、SerDesインタフェースを備えた車載CMOSまたはToF（time of flight）カメラからの画像を取得するためのGMSL2インタフェースに加えて、高解像度カメラをサポートするための10GBASE-Tインタフェースを備える。NRU-52Sは、GigEまたはIPカメラを接続するための複数のGigEポートを備える。

イリダラブズ社は最近、ルネサスエレクトロニクスと共同で「Vision AI Sensor」（**図6**）を開発した。これによって都市インフラ事業者、公益事業会社、OEMは、交通監視、歩行者流量監視、スマートパーキングを目的に、AIを利用するスケーラブルなソリューションを展開することができる。このセンサは、ルネサス社の「RZ/V2L」ハードウエアモジュール上に構築されており、イリダラブズ社独自のVision AIソフトウエアである「PerCV.ai」を搭載している。プロトタイプシステムの簡単かつ迅速な実装を可能にして、全体的な市場投入時間を短縮するために、このセンサは、あらかじめ設定されたプラグアンドプレイ式のプロトタイプパッケージに搭載する形で、出荷されている。このパッケージには、必要なハードウエア（カメラモジュール、ボード）とVision AIソフトウエアの他、センサとプロジェクトの管理に加えて洞察や解析結果の表示が可能な、ユーザーインタフェースが付属している。

シンコーズ社の「DS-1300」（**図7**）は、堅牢で高性能な、拡張性に優れた組み込みコンピュータで、「Intel® Xeon®」または「Core™」CPUを搭載し、最大2個のPCI/PCIeスロットをサポートする。GPU、イメージキャプチャ、データ取得、モーション制御用の各カードの追加による、柔軟なPCI/PCIe拡張が可能で、産業用組み込みビジョンの用途に適している。

アイエンゾ社の新しいプラットフォーム「Embedded Vision Platform as a Service」（EVPaaS）（**図8**）は、ビジョンデータのキャプチャ、解析、製品への統合を行うために必要なものすべてと経常収益計画を、製品のメーカーやOEMに提供する、エンドツーエンドのセキュアな組み込みビジョンソリューションプラットフォームである。企業は、プラットフォーム全体を導入するか、その個々の要素の導入を検討することが可能である。

図7　拡張可能な組み込みコンピュータ「DS-1300」。（写真提供：シンコーズ社）

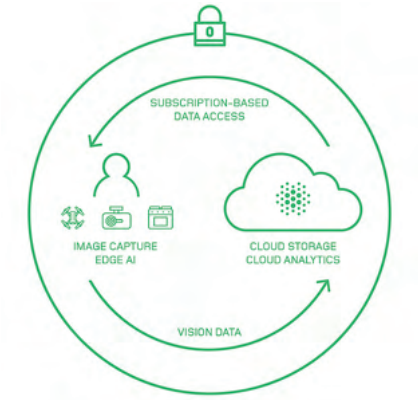

図8　「Embedded Vision Platform as a Service」（EVPaaS）。（写真提供：アイエンゾ社）

マトリックスビジョン社の「mv BlueNAOS」（**図9**）は、PCI Express（PCIe）を使用して画像転送を行う。GenICam準拠のソフトウエアサポートによって、既存の画像処理プログラムとの互換性が確保されている。ソニーの「Pregius」及び「Pregius S」センサを搭載する最初のモデルは、1.6～24.6メガピクセルの解像度を備える。4つのPCIeインタフェースによって、最大毎秒1.6 GBの転送速度が実現可能で、より高いビット深度や同時画像前処理の他、より高いフレームレートを持つ将来のセンサに、十分に対応する余裕がある。

プレオラテクノロジーズ社は、同社のマシンビジョンポートフォリオに、組み込みプラットフォーム、センサ、

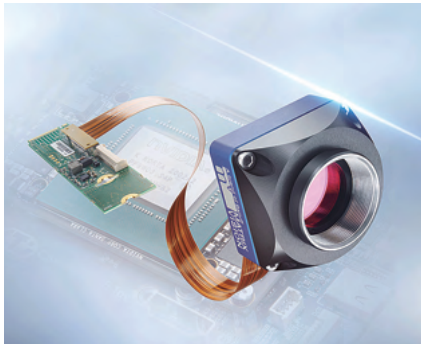

図9　PCIeを採用する「mv BlueNAOS」。（写真提供：マトリックスビジョン社）

カメラをGigE Vision対応デバイスに変換する、新しいソフトウエアソリューションを追加した。「eBUS Edge™」（**図10**）によってメーカーは、新しいハードウエアに投資することなく、3D検査や、マルチセンサ搭載の産業用IoT（IIoT）システムを含む、さらに高度な用途を対象に、イメージングソリューションを設計またはアップグレードすることができる。プレオラ社のソフトウエアソリューションは、3D画像とデータをGigE VisionとGenICamに準拠するタイムスタンプ付きデータに変換する。このデータは、関連メタデータとともに、低遅延のイーサネットケーブルを介して転送される。1次元や2次元の画像を含む、複数センサからのデータを同期して、複数のストリームを使用して並列に転送することが可能である。

アスロックインダストリアル社の堅牢なAIoTプラットフォーム「iEPF-9010S-EY4」（**図11**）の構成要素は、次のとおりとなっている。「R680E」チップセット搭載の第12世代Intel® Core™プロセッサ（Alder Lake）。4つの260ピンDDR4 SO-DIMM（DIMM1枚あたり32 GBで、最大128 GB）。1つのPCIe x16（PCIe Gen 4）または2つのPCIe x8（PCIe Gen 4）、2つのPCIe x4（PCIe Gen 4）。1つのM.2 Key M、1つのx M.2 Key B、1つのM.2 Key E、2つのMini PCIe。6つのUSB 3.2 Gen2x1、6つのCOM、4つのSATA3、8つのDI、8つのDO。5つのIntel 2.5G LAN（2つはPoE、1つはvProをサポート）、1つのDisplay port、1つのHDMI 2.0b、1つのVGA。

図10　「eBUS Edge™」ソフトウエアソリューション。（写真提供：プレオラ社）

図11　堅牢なAIoTプラットフォーム「iEPF-9010S-EY4」。（写真提供：アスロックインダストリアル社）

今後の展望

スブラマニヤム氏は、組み込みビジョンの未来は、人的介入を最小限またはほとんど必要とすることなく、さらにインテリジェントな意思決定をマシンが行えるように、複雑なAIアルゴリズムを実行する、自立的なスマートカメラシステムを構築することにあると考えている。「スマートカメラ革命は既に始まっているが、今後は組み込みカメラによって、そうしたカメラシステムがさらにスマートかつ高精度になっていくだろう」と同氏は述べた。

ディグナード氏は、次のように述べている。「組み込みビジョンを製品に追加することや、現行製品のイノベーションを検討している企業は、差別化を図るための大きな機会としてこれを捉えることが重要である。包括的な組織規模のアプローチをとることにより、単なる『me too』製品にとどまらず、組み込みビジョンによって自社製品のロードマップをどこまで拡大できるかを検討することができる。単なる組み込みカメラ搭載製品にとどまらないビジョンを構築することによって、自社製品の使用方法、それによって解決される顧客ニーズ、自社のビジネスモデルと市場投入戦略の意味合いを、一から再定義することができる。画像取得、エッジ処理、クラウド、セキュリティを含む、完全な組み込みシステムを構成するすべての要素について考察することによって、新たな応用分野において顧客が思い描くものを、把握することができる」。

「組み込みビジョンは、マシンビジョン市場に大改革をもたらし続けている」とゴフィン氏は述べた。「用途によっては、マシンだけでなく人間にとっても、ローカルな意思決定を容易にすることができる。製造市場では、特に人間による目視検査を必要とする処理に対して、組み込みビジョンは、リアルタイムの意思決定を支援する洞察を、作業者レベルに直接もたらすことを約束する。新しいIIoTの用途を対象に、マルチキャスト、ネットワーク接続、処理の柔軟性といったGigE Visionのメリットに、組み込みビジョンを組み合わせたいという実際の需要も存在する」（ゴフィン氏）。

結局のところ、組み込みビジョンが定義可能か否かに関わらず、エンドユーザーはますます多くのアプリケーションに、それを導入し続けている。

VSDJ