ディープラーニング／AIの課題と新しい応用分野

クリス・マクルーン

開発者は、コストやトレーニングデータの利用といった課題を克服して、マシンビジョンアプリケーションにディープラーニングを実装しようと取り組んでいる。

現段階で、ディープラーニングや人工知能（AI）がビジョン／イメージング分野にメリットをもたらしていることを認識しているイメージング関係者は、ほとんどいない。ほぼすべての新しい技術がそうであるように、最初に登場するときにはかなりの議論が交わされる。すぐに飛びつかずにその技術の第2世代か第3世代が出るまで待とうと考える人もいれば、早期に導入する人もいる。ディープラーニング／AIに関しては、実装にはまだ課題が残っているものの、新しい応用分野が次々と出現している状態にある。

課題

AI経験の欠如が引き続き、プロジェクトのデータセットと費用に並んで、ディープラーニング／AIソリューションの導入を検討している人にとっての課題となっている。米ニューララ社（Neurala）の最高経営責任者（CEO）で共同創設者のマッシミリアーノ・ヴェルサーチ氏（Massimiliano Versace）は、「最大の課題は一般的に、AI専門知識の欠如、プロジェクトの全般的な費用、モデルをトレーニングするための高品質なデータ（特に欠陥部品の画像）の欠如のいずれかである場合が多い。今日のメーカーは、柔軟性と費用対効果に優れた、簡単に導入できるソリューションを必要としている」と述べた。

加テレダインダルサ社（Teledyne DALSA）の製品マネージャーを務めるブランドン・ハント氏（Brandon Hunt）も、経験の欠如が引き続き、実装者の課題になっていると述べた。「群を抜いて最大の課題は、教育／トレーニング、または、ディープラーニング／AIの専門知識の欠如だ。AIはまだ、マシンビジョンにおいて出現し始めたばかりで、ほとんどの企業が、AI対応のビジョンシステムを有効に特定して実装するための適切な知識を持ち合わせていない。マシンビジョンの初期の時代と状況が似ていると言う人もいる」と同氏は述べた。

AI経験の欠如は課題だが、その解決もまた課題である。独IDSイメージングデベロップメントシステムズ社（IDS Imaging Development Systems）のAIスペシャリストであるロバート＝アレキサンダー・ウィンドバーガー氏（Robert-Alexander Windberger）は、課題は「プログラミングスキルとAIの背景知識を不要にすることによって、スキルのあるビジョン／AIエキスパートが不足しているという問題を解消し、技術のスケールアップを図ることだ」とコメントしている。同氏はさらに、データの管理と保存に伴う高いコストを抑えることなど、課題は他にもあると付け加えた。「当社はデータだけでなく、AIビジョンシステムを開発する人にも着目して、取り組みを進めている。当社の目標は、適切なツールを提供することによって、それらの開発者がそれぞれのAIソリューションに向かって効率的に作業を進め、そのAI開発過程の各段階を理解して制御できるようにすることにある」と同氏は続けた。

それは、導入のしやすさとも言い表すことができる。米ディープビュー社（Deepview）のリードエンジニアであるエリ・デイビス氏（Eli Davis）は、「ディープラーニングの成熟に伴って、設定プロセスは効率化されつつある。この数年間、ディープラーニングの導入に伴う最大の課題は、顧客の部品から十分な量のトレーニング画像を収集することだった。2021年には400件のトレーニングサンプルが必要だったアプリケーションが、2023年には40件のトレーニングサンプルで実装されている。かつてないほど多くの視覚的インテリジェンスを組み込んだディープラーニングモデルをデプロイ（展開）することによって、これが実現されている」と述べた。

AIの経験に加えて、もう1つ課題となるのが、モデルの構築に必要なデータである。仏プロフェシー社（Prophesee）のCEOで共同創設者のルカ・ヴェール氏（Luca Verre）は、次のように述べた。「どのようなAIアプリケーションにも、かなりのデータ処理性能が必要になる。大量の演算能力と電力が利用できるユースケースであ

れば、この要件に比較的簡単に対応できる。このデータ量が、より難しい問題になってくるのは、エッジアプリケーションやモバイルアプリケーションを検討し始める場合だ。それらの分野では、ビジョンがより一層重要な機能となる。遠隔カメラ、車内、ARヘッドセットなどのウェアラブルデバイス、モバイルデバイスなどの動作環境では、必要なデータを実用的に、有効に、適時に処理できるように、はるかに効率的な形でAI対応ビジョンを実装する必要がある。そして当然ながら、電力効率も非常に重要である。その結果、ビジョンアプリケーション開発者は、シーンの中で変化したデータだけを取得して処理する、イベントベースのビジョンなどのアプローチを、ますます検討するようになっている。イベントベースのビジョンは、AIビジョン実装のデータ処理と電力の課題を解決できるだけでなく、難しい照明条件においてより効率的に機能するソリューションとなる」。

加ムサシAI社（Musashi AI North America）のAI技術マネージャーを務めるマーティン・バフィ氏（Martin Bufi）は、次のように付け加えた。「ディープラーニング／AIの実装の最大の課題は、大量の高品質データと演算処理能力が利用できるかどうかだ。ディープラーニングアルゴリズムには、モデルのトレーニングと検証に膨大な量のデータが必要で、それはかなりの演算量になる可能性がある。また、新しい未知のデータに対して適切に一般化されたディープラーニングモデルを設計して、それらのモデルの内部動作を解釈するのは、困難な作業となる可能性がある」。

イスラエルのビジョナリーai社（Visionary.ai）の共同創設者で最高技術責任者（CTO）を務めるヨアブ・タイエブ氏（Yoav Taieb）も、データセットを課題として挙げた。「今日のディープラーニング実装の最大の課題は、クリーンかつ適用可能な、大規模データセットを取得することである。データセットには『ダーティ』データが高い頻度で含まれている。例えば、画像分類データセットを見ると、正確にラベル付けされていないデータ（犬なのに猫とラベル付けされているなど）や、十分に適切に定義されていないデータに遭遇することがよくある」と同氏は述べた。データセットにおいてそれと同等に難しいのは、実世界の分布をできるだけ反映するデータ分布が必要ということだと、同氏は付け加えた。「犬を例に挙げると、ダックスフントは、実世界の犬全体の分布において、ほんの小さな割合しか占めていない可能性がある。しかし、データセットの中の犬の50%がダックスフントであるとすると、そのトレーニングは正確なものにはならず、ニューラルネットワークは正確な分類に苦戦することになる」と、同氏は述べた。

米ゼブラ・テクノロジーズ社（Zebra Technologies Corporation）のソフトウエア、マシンビジョン、イメージング担当製品管理シニアマネージャーを務めるピエラントニオ・ボリエロ氏（Pierantonio Boriero）は、次のように付け加えた。「ディープラーニング（DL）モデルを既存のシステムやワークフローに組み込むのは、難しい作業であり、モデルを大規模に展開するのは、大量のリソースを必要とする複雑な作業である可能性がある。そのようなシステムの開発と導入のための準備作業として、大量の高品質画像データセットを収集して、それらの画像に適切にラベル付けを行ってから、モデルのトレーニングと改良を開始する必要がある。この作業は、極めて反復的な、時間のかかる処理になる可能性がある」。

「学術専門家は最近、データを改良するほうがモデル性能を改良するよりも効果的だと述べている」と切り出したのは、韓国ニューロクル社（Neurocle）のCEOを務めるホンソク・リー氏（Hongsuk Lee）だ。「そのようなデータ中心の視点を実践するには、モデルトレーニングのための膨大な量の高品質データと、そのデータを詳細に理解する人材が必要である。しかし、それはメーカーにとって大きな課題だ。欠陥の発生率が非常に低い現場から膨大な量のデータを取得するのは難しいためである。また、データを詳細に理解している産業エンジニアは通常、ディープラーニングの専門知識を保有していない。従って、ディープラーニングエンジニアを雇用するか、あるいは、社外に外部委託するための労力とコストが必ず必要になる」と同氏は考えている。

新しい応用分野

ディープラーニング／AIは、マシンビジョンを工場フロアから遠くかけ離れた場所に押しやり、工場以外の環境に導入することを可能にする1つの技術である。上述の課題が解消されるにつれて、新たな応用分野が明らかになっている。

例えば、ヴェルサーチ氏によると、「当社が今日目にする大半のアプリケーションで、部品や製品の品質検査にAIが利用されている。今では、正確さや完了を確認するために、AIによってプロセスを監視するアプリケーションも、登場し始めている。例えば、組み立てが正しい順序で完了していることを確認する。視覚的な用途だけでなく、故障

図1 「IDS NXT」は、インテリジェントなカメラと、AIビジョンアプリケーションの作成から実行までのプロセス全体を網羅するソフトウエア環境で構成される、包括的なAIベースのビジョンシステムである(写真提供:IDSイメージングデベロップメントシステムズ社)

や誤動作を予測するためのマシン内部のセンサ監視にまで、AIが適用される事例も見受けられる」という。

その他の成長分野としては、製造、エレクトロニクス、半導体、自動車、食品、リサイクル業界などがあるが、ハント氏によると、AIはまだ、マシンビジョンにおいてほとんど有効に活用されていないという。「対象分野には、照明と欠陥にかなりのばらつきがある、あらゆる用途が含まれており、食品業界は、本質的にそのような状況が自然に含まれるので、完璧なその例である。最も多いアプリケーションの1つが、プリント回路基板(PCB)の自動光学検査(Automated Optical Inspection:AOI)、材料(板金、アルミニウム缶、布地)の表面検査、バッテリー検査などの欠陥検査である。電気自動車業界ではさらなる成長と投資が見られるため、この業界ではバッテリー検査が増加していくと思われる」と、同氏は述べた。

バッテリー検査について、リー氏は次のように述べた。「電気自動車市場の拡大に伴って、世界の二次電池業界は、著しい成長を続ける。世界の主要な二次電池業界は、生産の大規模拡大を推進していて、その生産能力は2025年までに2020年の3倍以上にまで拡大する。また、電気自動車市場の急速な成長によって、二次電池は2023年から供給不足になる可能性がある。二次電池は電気自動車に使われて、人間の安全性に直接的に関連するため、この分野では、信頼できる品質検査が不可欠である。しかし、二次電池の品質試験には、他の業界よりも多くの問題が伴う。欠陥試験の基準がまだ標準化されていないためである」。

プロフェシー社のヴェール氏は、次のように述べた。「当社が最も興味深い分野として注目しているのは、インテリジェントなセンシングをエッジに移す動きが引き続き進行していることである。これは、すべてのセンシングアプリケーション、特にビジョンに対して、AIとML(機械学習)を実装するためのはるかに効率的で柔軟なアプローチを必須とする動きだ。その結果、AI対応マシンビジョンシステムは、新たな効率レベルで動作しなければならないことになる。処理する必要のあるデータ量を管理することにより、エッジおよびモバイルシステムは、AIの潜在能力を活用することができる。それは、消費電力やその他の運用コストを削減するとともに、低光量動作時の応答時間、走査時間、ダイナミックレンジなどの重要な性能指標となるKPI(重要業績評価指標)を満たすことにもつながる」。

エッジに関連して、タイエブ氏は次のように述べている。「おそらく最も興味深いのは、より多くのものがクラウドからエッジに移行するだろうということだ。ほとんどのカメラにAIチップが採用されるようになり、より多くの処理がエッジで行われるようになると私は考えている。そのほうが簡単だからだ。すべてをクラウドで処理しなければならないというわけではない。エッジで処理するほうがはるかに効率的である。リアルタイムのイメージン

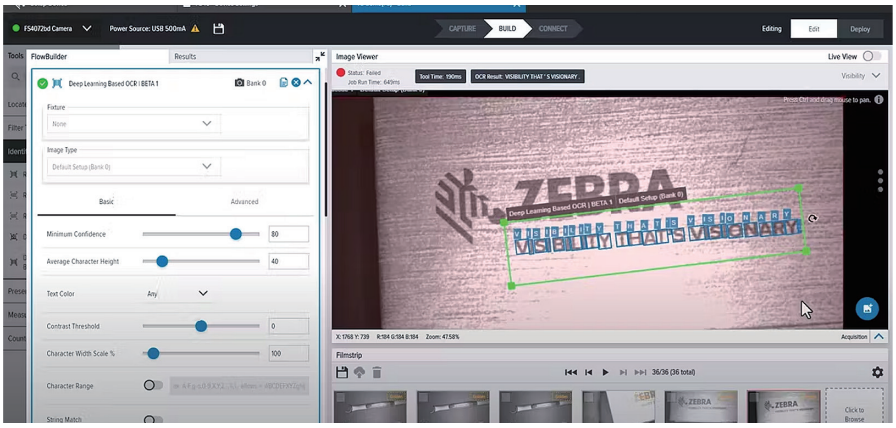

図2 産業品質のこのDL-OCRツールは、テキストを素早く簡単に読み取るためのZebra Aurora™ソフトウエアのアドオン製品である(写真提供:ゼブラ・テクノロジーズ社)

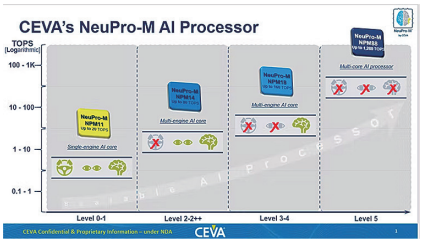

図3　シーバ社の「NeuPro-M™」は、スマートエッジデバイス向けのヘテロジニアスでセキュアなML/AIプロセッサアーキテクチュアで、高いスケーラビリティと性能を備える（写真提供：シーバ社）

グに対しては、エッジのほうがクラウドよりも近く、それは大きなメリットになる」。

独MVTecソフトウエア社（MVTec Software）の製品マネージャー兼事業開発者であるクリスチャン・エクスタイン氏（Christian Eckstein）は、次のような予測を示した。「2023年には、AIアプリケーションがより広く普及するようになるだろう。その証拠として、企業各社は近年、そのようなシステムに投資しており、それらのシステムが現在、1つずつ運用され始めている状況がある。この方向にあるもう1つの点が、多くのAI手法のコモディティ化である。センサやスマートカメラの多くのメーカーが、簡単に使えるAI製品を市場に提供している。それは、マシンビジョンにおいてディープラーニングアプリケーションを利用するハードルを引き下げてもいる」。

米シーバ社（CEVA）の人工知能およびビジョン事業部門でビジネス開発ディレクターを務めるジル・アブラハム氏（Gil Abraham）も、2023年とそれ以降の予測として、監視、自動運転、AR/VR SLAM、通信、医療の分野と、あらゆる種類のセンシングにおいて、急速な普及が見られるだろうとした。

ウィンドバーガー氏は、「AIアプリケーションの市場は、新規分野への拡大よりも既存分野の改良と強化に焦点を当てることになると、当社は予測している。さまざまな分野で有望な概念検証が得られているにもかかわらず、上述の理由に基づき、その多くが実稼働に至っていない」と付け加えた。同氏は続けて、「2023年のもう1つのトレンドとして、AIシステムの透明性の向上に向けた取り組みが続くだろう。それは、性能の予測可能性と意思決定の解釈可能性の両方に影響を与える。ユーザーは、混同行列（confusion matrix）などのデータ視覚化手法を通して、モデルの性能と弱点をより直感的に理解できるようになる」と述べた。

最後にデイビス氏は、ディープラーニングによってマシンビジョン市場の範囲は拡大し、溶接検査、成形プラスチック、金属スタンピングを含むようになるだろうと述べた。

ソリューション

上述のトレンドと課題に対応するために、さまざまな製品が提供されている。以下では、現在市場に提供されている製品の例を紹介する。

「IDS NXT」（**図1**）は、インテリジェントなカメラと、AIビジョンアプリケーションの作成から実行までのプロセス全体を網羅するソフトウエア環境で構成される、包括的なAIベースのビジョンシステムである。そのソフトウエアツールにより、人工知能やアプリケーションプログラミングに関する事前知識がなくても、さまざまなターゲットグループに利用できるAIベースのビジョンを構築することができる。また、オープンプラットフォームのプログラミングを可能にして、IDS NXTカメラを幅広い用途に適した形に柔軟にカスタマイズできるようにする、エキスパートツールも提供されている。

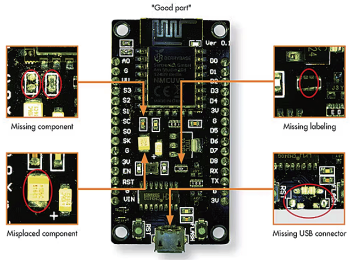

図4　MVTec社の「MERLIC 5.2」は、最新のディープラーニング機能を使いやすい形で顧客に提供するという、「MERLIC 5」から採用されているアプローチを論理的に継承する製品である（写真提供：MVTecソフトウエア社）

メーカーや倉庫運用者は、コンプライアンス、品質、存在のチェックに直ちに使える、高速で正確で信頼性の高いディープラーニングソリューションをますます必要としており、ゼブラ・テクノロジーズ社の「Deep Learning Optical Character Recognition」（DL-

図5　従来のデノイザーによる精度は86.96%で、デノイザーを使用しない場合の精度が65.42%であるのに対し、ビジョナリーai社のデノイザーは93.03%の精度を達成した。この試験は、大半の検出問題が発生し、ほとんどのシステムが対応できない、極端な照明条件を対象に行われたものである（写真提供：ビジョナリーai社）

図6 「Cendiant Inspect」は、視覚的欠陥の検出と分類に加えて、ゲージング(計測)、プロセスの完全性チェック、組み立ての検証確認を対象に導入することができる(写真提供:ムサシAI社)

図7 プロフェシー社の「Metavision® EVK4 - HD Evaluation Kit」は、フィールド試験条件に耐えられるように構築された、超軽量でコンパクトな評価キットである(写真提供:プロフェシー社)

OCR、**図2**)は、そうした人々を支援する製品である。産業品質のこのDL-OCRツールは、テキストをすばやく簡単に読み取るためのZebra Aurora™ソフトウエアのアドオン製品である。DL-OCRには、数千もの異なる画像サンプルを使用してトレーニング済みで、直ちに使える状態のニューラルネットワークが付属している。ユーザーは、わずか数ステップの簡単な操作で堅牢なOCRアプリケーションを作成することが可能で、マシンビジョンの専門知識は不要である。

シーバ社の「NeuPro-M™」(**図3**)は、スマートエッジデバイス向けのヘテロジニアスでセキュアなML/AIプロセッサアーキテクチュアである。スケーラビリティに優れたこの高性能なAIプロセッサアーキテクチュアは、最大24TOPS/ワットの電力効率を備える。NeuPro-Mは、最も厳しい安全性と品質の規格に準拠するように設計されている。

MVTec社の「MERLIC 5.2」(**図4**)は、最新のディープラーニング機能を使いやすい形で顧客に提供するという、「MERLIC 5」から採用されているアプローチを論理的に継承する製品である。「Global Context Anomaly Detection」(グローバルコンテキストでの異常検出)が今回、実証済みのディープラーニング機能である、(MERLIC 5の)「Anomaly Detection and Classification」(異常検出と分類)と(MERLIC 5.1の)Deep OCRに追加されている。これまでのバージョンと同様に、ユーザーはMVTec社の「Deep Learning Tool」を使用して、データのトレーニングを行うことができる。このツールは、データのラベル付けとトレーニングが簡単にできるように設計されている。どちらの処理も実際に、すべてのディープラーニングアプリケーションにおいて重要な工程である。

ビジョナリーai社は、低光量下で結果を達成する、リアルタイム画像デノイザー(ノイズ除去装置、**図5**)をリリースした。従来のデノイザーによる結果には限界があるため、同社は、より多くの画像ノイズを除去してリアルタイムに動作する、AIベースのアプローチを開発した。同社のAI ISPデノイザーによって、はるかに高い精度を達成できたことを示す結果が得られている。従来のデノイザーによる精度は86.96%で、デノイザーを使用しない場合の精度が65.42%であるのに対し、ビジョナリーai社のデノイザーは93.03%の精度を達成した。この試験は、大半の検出問題が発生し、ほとんどのシステムが対応できない、極端な照明条件を対象に行われたものである。

「Cendiant™ Inspect」(**図6**)は、複雑な部品の表面検査用のターンキーAIソリューションの一環として、ムサシAI社が開発した、ディープラーニングに基づく検査ソフトウエアである。このソフトウエアは、視覚的欠陥の検出と分類に加えて、ゲージング(計

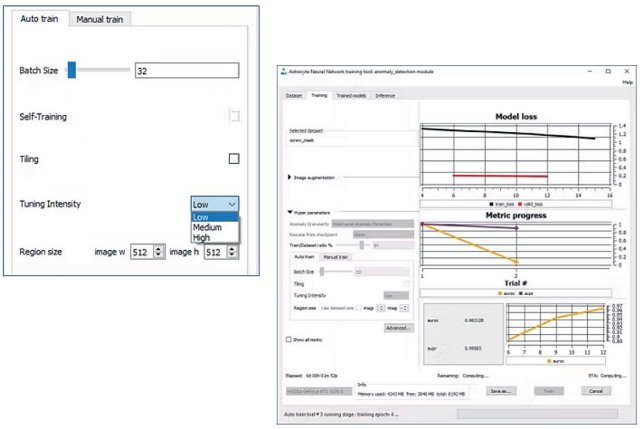

図8 「Sapera Vision Software」開発プラットフォームは、幅広い種類の従来型の画像処理ツールとAI機能を提供し、テレダイン社のハードウェアポートフォリオとシームレスに統合する(写真提供:テレダインダルサ社)

測)、プロセスの完全性チェック、組み立ての検証確認を対象に導入することができる。Cendiant Inspectには、Active i™技術が活用されている。Active iでは、2つの独立した異常およびセグメンテーションアルゴリズムが、設計されたフィードバックループを介して検査出力をやり取りして最適化を行う、独占的なネットワークアーキテクチュアによって、AIによるアクティブなインテリジェンスが実現される。その結果として、データ要件を抑えつつ複雑な検査を行うAIソリューションが得られる。

プロフェシー社の「Metavision® EVK4 - HD Evaluation Kit」(**図7**)は、フィールド試験条件に耐えられるように構築された、超軽量でコンパクトな評価キットである。ソニーのHD積層型イベントベースビジョンセンサ「IMX636ES」が含まれている。この評価キット(EVK)により、誰でも効率的かつ正確にこの積層型イベントベースビジョンセンサの評価を開始して、システム全体の設計、解析、実験を行うことができる。

テレダインダルサ社の「Sapera™ Vision Software」(**図8**)は、広範囲にわたるOEMおよびシステムインテグレーターに対して、AI対応マシンビジョンアプリケーションを開発する手段を提供する。Sapera Vision Software開発プラットフォームは、幅広い種類の従来型の画像処理ツールとAI機能を提供し、テレダイン社のハードウエアポートフォリオ(1D、2D、3D)とシームレスに統合する。テレダイン社のAIトレーニングツールである「Astrocyte」により、ユーザーはディープラーニングの専門技術やコードを一切必要とすることなく、競争的な価格で、迅速にAIモデルをトレーニングすることができる。トレーニングが完了したモデルは、「Sapera Processing」(API)または「Sherlock」(GUI)に直ちに展開できる。

ニューララ社は最近、「Vision AI」(VIA)プラットフォームに「Calibration」(**図9**)という新機能を追加した。このキャリブレーション機能によってユーザーは、照明の違いなどの局所的な環境変数に応じて、「Inspector」に展開したAIモデルを調整することができる。Calibrationによってユーザーは、生じたかもしれない微妙な環境的変化に基づいて、モデルをローカルにインラインで調整および改良することができる。Calibrationは、AIモデルを単にローカルに再校正することによって、そうした変化に適応させる。そうすることで、新しい環境を表すデータを使用してモデルをトレーニングし直すことなく、そのモデルをそのまま適切に動作させることができる。

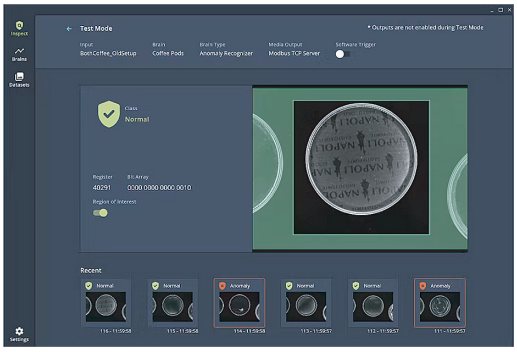

図9 「Calibration」は、AIモデルを単にローカルに再校正することによって、変化に適応させる。そうすることで、新しい環境を表すデータを使用してモデルをトレーニングし直すことなく、そのモデルをそのまま適切に動作させることができる(写真提供:ニューララ社)

ニューロクル社の最新製品である「Neuro-T 3.2」と「Neuro-R 3.2」(**図10**)には、マルチモデルの利用と、改良されたデータおよびモデル管理が導入されている。ユーザーは、複数のモデルの性能を、実際に展開する前に予測することにより、作業効率と安定性の向上を期待することができる。データとモデルを管理するための新しい方法により、ユーザーの利便性と、コラボレーション時のプロジェクト管理効率が高まる。Neuro-Tには、「Inference Center」が追加されている。これは、モデルをフィールドに展開する前にユーザーがモデル性能を予測および評価する空間である。これによってユーザーは、モデルを視覚化して、推論時間予測に基づいてプロジェクトを修正することにより、プロジェクトを設計することができる。

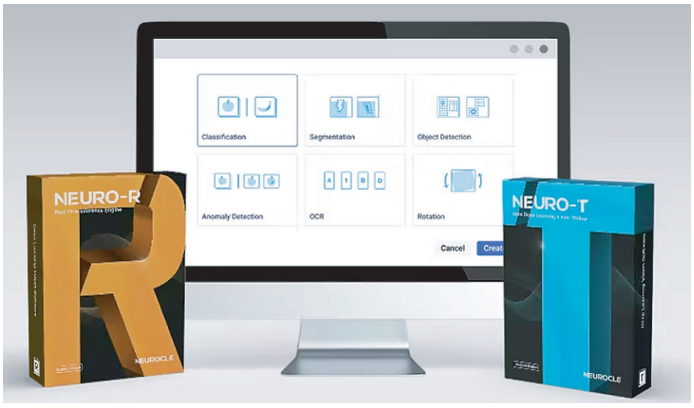

図10 ニューロクル社の最新製品である「Neuro-T 3.2」と「Neuro-R 3.2」には、マルチモデルの利用と、改良されたデータおよびモデル管理が導入されている(写真提供:ニューロクル社)

VSDJ