

簡易導入可能な AI 製品群（レコーダ、PLC）の開発

Easy-to-Use AI-enabled Recorders and PLCs

服部 仁 ^{*1}	坂上 正徳 ^{*2}
Hitoshi Hattori	Masanori Sakagami
小郷 命 ^{*2}	出分 卓矢 ^{*3}
Mikoto Ogou	Takuya Debun

横河電機は、IA (Industrial Automation) 分野のドメイン知識に基づき、独自のAI技術を活用した解析の実績を積み重ねてきた。今回、製造や製品開発の現場で簡易に使えるAI導入のニーズに応えるべく、高度なAI技術をベースとしてレコーダおよびPLC (Programmable Logic Controller) でAI対応を図った。

AI未来ペン機能は、未来のデータを予測して描画する機能で、GX/GPシリーズに標準搭載した。また、AI違和感検知機能は、設備のいつもと異なる動作を違和感として検知し、予知保全につなげる機能で、Sushi Sensorとの併用が可能なGA10に標準搭載した。そして、Python言語の豊富なライブラリを活用してAIアプリケーションを効率的に開発できる産業用AIプラットフォームを、e-RT3 Plusで実現した。

本稿ではこれらの狙いと開発のポイント等について解説し、現場でのAI利用の実現方法とその提供価値について述べる。

Yokogawa has a solid track record in AI analysis based on its experience and knowledge of industrial automation (IA). To meet customers' needs for introducing easy-to-use AI functionality to manufacturing sites and product development, we have incorporated AI functionality based on our advanced AI technology into recorders and programmable logic controllers (PLCs).

The AI future pen function, which predicts and draws data in the future, is implemented in the GX/GP series as standard. The AI anomaly detection function, which automatically detects unusual equipment behavior that could indicate trouble and enables users to perform predictive maintenance, is built into the GA10 software as standard for use with Sushi Sensor. Furthermore, we have developed the e-RT3 Plus industrial AI platform, which enables users to efficiently develop AI applications by using various Python-based software libraries.

This paper explains these products and their development strategies and describes how AI applications are used on site and what values they deliver.

1.はじめに

製造や製品開発の現場では、既存の設備を最適なコストで保全し、生産性を向上させ最大の利益を上げることが求められている。老朽化する生産設備、熟練作業者の引退や少子化による労働人口の減少などの環境変化の中

で、厳しい品質要求を確保し、高度な設備保全活動を進めていく必要がある。

近年では、製造現場へAI技術を導入し、解析ツールなどを活用することで、工場内の問題発生防止や生産性向上につなげる活動に注目が集まっている。

横河電機は、石油、化学、鉄鋼、食品、薬品等のIA (Industrial Automation) 分野において培った豊富なドメイン知識をベースに、IA分野に特化した独自のAI（人工知能）技術を開発し、実践的な解析を数多く実施してきた⁽¹⁾⁻⁽⁹⁾。これまで、多くのプラント・工場での設備異常予測解析や、原因特定解析、製品品質予測解析において機械学習技術などを活用したコンサルティングサービスで多くの実績がある。現在、これらの高度なAI技術は、お客様へのコンサルテーションによって、新たな価値を生み出すソリューションビジネスとして展開されている。

*1 IA プロダクト&サービス事業本部
インフォメーションテクノロジーセンター
エッジソリューション統括部

*2 IA プロダクト&サービス事業本部
インフォメーションテクノロジーセンター
エッジソリューション統括部商品開発3部

*3 IA プロダクト&サービス事業本部
インフォメーションテクノロジーセンター

一方、AI 技術の導入に関しては、コンサルテーションは費用も時間もかかる重いプロセスとなり、その障壁は高いと言われている。このため、製造や製品開発などの現場においては、「まずは AI を使ってみたい」「自社製品（装置）に AI を組み込んで動かしてみたい」など、手軽に使える AI 対応製品へのニーズが存在している。

そこで横河電機は、保有する高度な AI 技術をベースとして、製造や製品開発などの「現場でよく使われている既存の製品群」を対象に、AI 技術を利用できるようになる AI 対応を図った。これにより、高度なコンサルテーションから現場まで、AI のもたらす価値を幅広く提供することが可能となった。本稿では、今回開発した AI 対応製品群について紹介する。

2. AI 対応製品の開発ターゲット

製造現場や製品開発現場においては、既存の設備を最適なコストで保全し、生産性を向上させ、最大の利益を上げることが求められている。そこで、お客様からの要求である「現場で簡単に使える AI」は、次の 3 つの項目をターゲットとして、それぞれの課題を解決する。

- (1) AI を用いて製品の品質を確保する。これは、適切な判断・行動を促すために、製品品質のトレンドを予測したり、現場の問題を予見したりすることである。
- (2) AI を用いて高度な設備保全を行う。これは、設備のシャットダウンによる生産停止を回避するために、設備のいつもと異なる動作を検知することである。
- (3) お客様自身で独自の AI 機能を搭載する。これは、個別の製品や設備に、お客様自身が AI 機能を搭載できる環境を提供することである。

これらの課題に対応するため、今回、製造や製品開発の現場でよく使われている機器であるレコーダやデータロギングソフトウェア、コントローラに、手軽に使える AI 関連機能を搭載した。(1)については、収集したデータをもとに予測波形をリアルタイムに描画できる当社独自の AI 未来ペン機能と未来アラーム機能を開発し、レコーダに搭載した。(2)については、収集した設備データをもとに設備の異常兆候を検知できる当社独自の AI 違和感検知機能を開発し、データロギングソフトウェアに搭載した。また、(3)については、AI 開発で広く用いられるプログラミング言語「Pythonⁱ（パイソン）」に対応し、お客様が AI を活用した生産性向上活動を支援する AI を使ったアプリケーション（AI アプリケーション）を独自に開発するための環境を組み込んだ産業用 AI プラットフォームを提供した。次の章から、これらの AI 対応の製

品群について詳細を述べる。

3. AI 未来ペン搭載ペーパレスレコーダ

「まずは AI を使ってみたい」という現場のシンプルなニーズへの対応として、身近な機器の 1 つであるレコーダを AI 対応とすることを目指した。すなわち、AI 未来ペン機能を、最新型ペーパレスレコーダである SMARTDAC+ GX/GP シリーズに搭載した。

SMARTDAC+ GX/GP シリーズは、タッチパネルによる携帯情報端末のような優れた操作性と、モジュール構造によるシステム構築の柔軟性・拡張性を備えたペーパレスレコーダである。プロセス監視を主な用途とするパネル取り付け型の GX シリーズと、試験計測を主な用途とするポータブル型の GP シリーズがある（図 1）。



図 1 SMARTDAC+ GX/GP シリーズの外観

レコーダの本来の役割は、リアルタイムで測定されたデータを記録すること、また、記録した過去のデータを確実に取り出せることである。横河電機は、日本初の電子管式自動平衡記録計 ER を 1950 年に発表して以来、約 70 年にわたってマイコン、メモリ、ネットワークといった最先端技術を積極的に取り入れた商品を市場に投入し、業界をリードしてきた。その集大成とも言える GX/GP シリーズの信頼性、機能はそのままに、「いつものレコーダで AI を手軽に使える」ことを目指し、AI 技術に基づく AI 未来ペン機能および未来アラーム機能を標準機能として搭載した。次節以降でこれらの機能について説明する。

3.1 AI 未来ペン機能

レコーダの主な役割は記録装置として「過去のデータを残す」ことであるが、それに加えて「変化の傾向を掴む」ための監視装置の役割を担っているケースも少なくない。この場合、現場のオペレータは、描画された過去から現在までのトレンド波形をもとに、近い未来の状態を暗黙のうちに予見している。

今回、GX/GP に搭載した AI 未来ペン機能は、現場のオペレータと同様に、過去から現在までのデータをもとに少し先のデータ（未来データ）を予測し、それを現在までのデータと同時に未来波形として描画する機能である。その仕様を表 1 に、画面イメージを図 2 に、それぞれ示す。

ⁱ AI の開発現場で広く利用されている汎用のプログラミング言語。コードがシンプルで扱いやすく設計され、様々なプログラムを分かりやすく少ないコード行数で書けるという特徴があり、機械学習をはじめ、AI のアプリケーション開発に便利なオープンソースのライブラリが充実している。

表1 GX/GPシリーズAI未来ペン仕様

項目	仕様
最大チャネル数	10
未来予測範囲	記録周期×60点 (例：30秒周期で30分先まで)
記録周期	1秒以上のときに有効

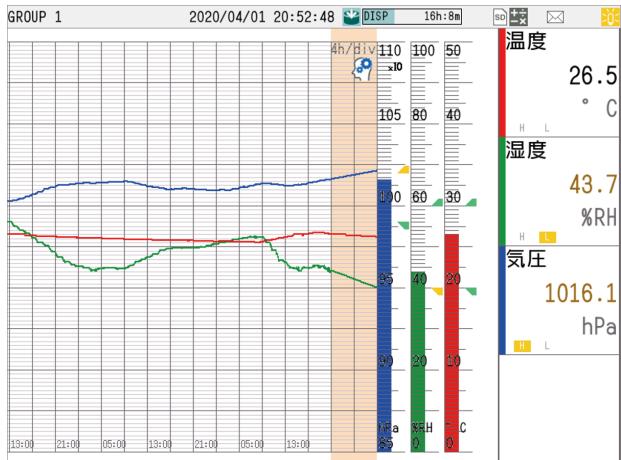


図2 AI未来ペン機能トレンド画面イメージ
(背景がオレンジ色の部分が予測された未来波形)

未来データを予測するアルゴリズムには、最もシンプルな線形モデルを採用した。観測値には、ガウス性のホワイトノイズ（すべての周波数で同じ強度となり、正規分布を持つノイズ）が含まれているものと仮定した。観測値の時系列変化に基づいて最新の観測値を逐次学習していく、それをもとに現在（最新）のもっともらしい状態（値と傾き）を推定する。線形モデルを用いているため、未来波形はもっともらしい傾きによる直線形状となる（図3）。したがって、AI未来ペン機能は、線形性の変動が緩やかな現象の予測への適用が期待できるが、非線形性の変動が急激な現象の予測には適さない。

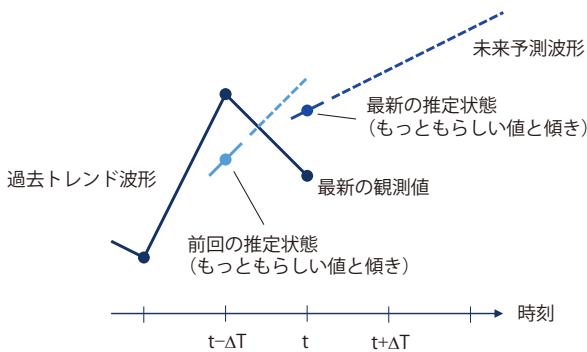


図3 線形モデルを用いた状態推定

3.2 未来アラーム機能

未来アラーム機能は、AI未来ペン機能で予測した波形が設定している上限または下限警報値に達する場合に、

画面上で警告を表示する機能である。また、「未来アラームサマリ」画面（図4）でアラーム発生の可能性を一覧することや、接点出力や電子メールでの通知を設定することも可能である。これにより、現場のオペレータは、レコーダの画面で未来ペンのトレンド波形を常に注視しなくとも、未来に起こりうる問題を予見し、事前に対処することが可能になる。

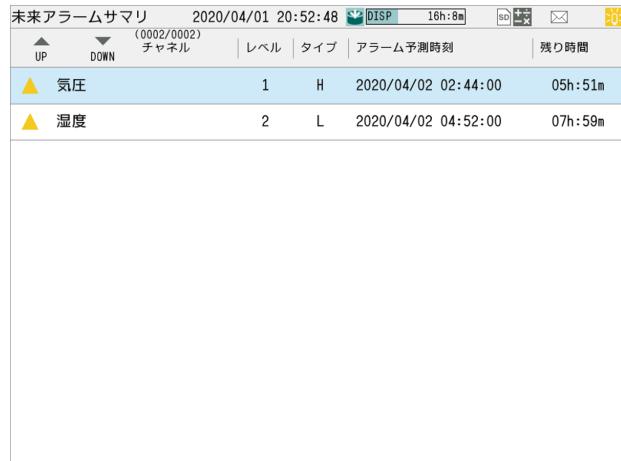


図4 未来アラームサマリ画面

4. AI違和感検知搭載データロギングソフトウェア

産業用IoT(Internet of Things)で期待されている代表的なアプリケーションの1つは、プラント設備の予知保全である。これは、多数の測定点から得られる時系列データを使って傾向分析を行うことにより、適切な保全作業のタイムリーな実施を可能にするものである⁽¹⁰⁾。

多数の測定点からデータを収集し、状態を監視するための手軽なソフトウェアの1つとしてGA10がある。GA10は、工場内や敷地内に分散設置されている様々な機器（レコーダ、データロガーなど）とネットワークを介して接続するデータロギングソフトウェアである。より手軽にプラント設備の予知保全に取り組めるように、GA10に、AI技術に基づく違和感検知機能を標準機能として搭載した。ここで「違和感」とは、設備の正常状態から異常状態に移行する可能性を示す予兆のことである。

4.1 AI違和感検知機能

設備に取り付けたIoTセンサなどによる測定データをGA10に取り込んで、その傾向を監視することは比較的簡単にできる。しかし、その傾向が異常を示すかどうかを判断することは簡単ではない。一般的に、対象が温度や圧力であれば、測定データに上限／下限警報を設定して異常を判断できことが多い。しかし、回転機の振動などは、データに閾値を設定するだけでは異常かどうか

の状態を把握することは難しい。このような閾値の設定だけでは異常を判断できない測定項目については、データの傾向を熟練者が監視し、経験などに基づいて異常の兆候を認知し判断するというような、個人の技量に依存する作業が現場では行われている。

GA10に搭載したAI違和感検知機能は、熟練者に代わり、監視対象設備のいつもと異なる状態を判定して監視画面上に通知するものである（図5）。この機能により、熟練者の監視負荷が軽減する、もしくは熟練者でなくても異常の兆候が捉えやすくなる。

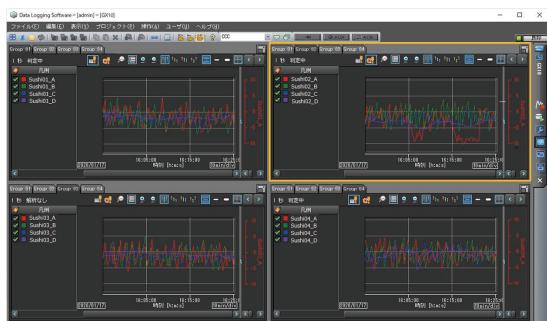


図5 AI違和感検知画面

（違和感検出した設備（右上）をオレンジ色の枠で表現）

GA10に搭載したAI違和感検知機能の機械学習アルゴリズムとしては、任意のデータ集合を学習させ、そのデータ集合に近いかどうかを判定するクラスタリングアルゴリズムを採用した。このアルゴリズムが正常データを使って学習することにより、「いつもと異なる状態」を判定することができる。これにより異常データを学習する必要がなくなり、異常データが存在しない場合でも、異常の兆候の判定をすぐに行うことができる。

4.2 産業用IoTセンサへの適用

横河電機は、産業用IoT向け無線ソリューションとして設備状態の傾向監視を目的としたSushi Sensorを提供している。Sushi Sensorは、無線通信方式としてLPWA (Low Power Wide Area: 低消費電力・長距離通信) の1つである通信規格LoRaWANを採用し、プラント設備の振動・温度・圧力を測定する。測定されたデータは、ゲートウェイを介してクラウドまたはオンプレミスのサーバに取り込まれ、設備状態の傾向監視による簡易診断に使用される⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

GA10は、Sushi Sensorのオンプレミスで運用する時のビューアとして既に利用されている。これにAI違和感検知機能を搭載することにより、設備の異常兆候を事前に検知できるようになる。このことで、Sushi Sensorで期待される効果の一つである設備の劣化状態に合わせてメンテナンスを行うCBM (Condition Based Maintenance)に、手軽に取り組めるようになる（図6）。

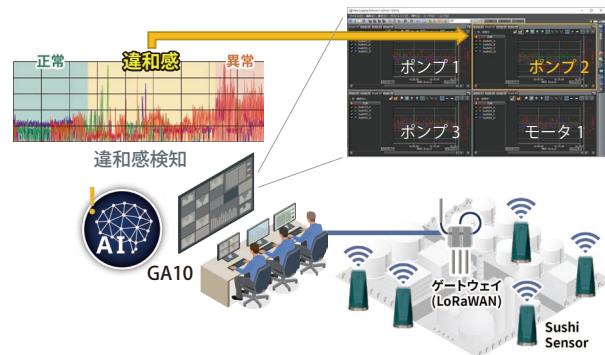


図6 Sushi Sensor AI違和感検知の構成

GA10が検知するのは「違和感=いつもと異なる状態」であり、それが必ずしも異常や故障の兆候と直接関係するとは限らない。正常データと異常データとを明示的に学習させることができれば、より高精度な判定ができる。しかし、実プラントでのデータ解析の初期段階で、設備の劣化・故障時の異常データを取得することは一般的に困難である⁽⁷⁾。今回の違和感検知機能では、事前に異常データの存在しない設備に対しても「違和感」、つまり異常兆候を検知することが可能なアルゴリズムを採用了。

この機能を使うと、工場内の多くの設備の中から、AIがいつもと異なる状態を判定し、点検を強化すべき設備を自動的に抽出することができるようになる。したがって、このGA10違和感検知によるいつもと異なる状態の判定が、CBMへの最初の取り組みとして手軽かつ効果的になると考えている。

5. Pythonに対応した産業用AIプラットフォーム

産業用装置の制御は、PLC (Programmable Logic Controller) を組み込んでIEC 61131-3等の言語で開発するのが一般的である。しかし、近年は、制御ロジック以外の機能や、お客様が求める開発スタイルの変革（「作る」から「使う」「組み合わせる」へ）に対応することが要求されている。そこで、横河電機は2015年、Linux OS (Operating System) を搭載し、90種類以上のOSS (Open Source Software) をプリインストールしたC/C++言語プログラミングコントローラe-RT3 Plusを発売した。e-RT3 Plusは、効率的な開発を可能とすることから、エッジコンピューティング・プラットフォームとして、各種製造装置や生産設備の開発現場に多く採用されている⁽¹³⁾。

一方、AIアプリケーション開発の現場では、データ解析や機械学習などのライブラリが充実したPython言語によるプログラミングが定番になっている。また、産業用装置に組み込む場合には、その装置の用途や製品寿命に応じて、耐環境性や安定供給性を考慮する必要もある。

そこで横河電機は、実績と信頼のある e-RT3 Plus をベースに Python 言語をサポートし、任意のライブラリを自由に追加できるよう、一般的なディストリビューションである Ubuntu Linux が動作する新しい CPU (Central Processing Unit: 中央処理装置) モジュール F3RP70-2L を開発した（図 7）。これにより、e-RT3 Plus は Python 言語および OSS を使って、AI アプリケーションを効率よく開発できる「産業用 AI プラットフォーム」として活用の幅をさらに広げることができる。



図 7 産業用 AI プラットフォーム e-RT3 Plus の外観

5.1 AI アプリケーション開発

新しく開発した新 CPU モジュール F3RP70-2L のハードウェア仕様は、現行の F3RP71-2L と共通である。これに、横河電機 Web で公開する Linux (Ubuntu) イメージファイルを書き込んだ SDHC カードを装着して起動させることで動作する。F3RP70-2L と F3RP71-2L との主な比較を表 2 に示す。

表 2 e-RT3 Plus CPU モジュール比較

項目	F3RP70-2L	F3RP71-2L
提供 Linux ディストリビューション	Ubuntu18.04 LTS GNU/Linux4.14 LTS+ PREEMPT_RT	Yocto Project ベース のカスタム版
OSS 対応	apt, pip3 コマンド等を使用して任意のパッケージ追加が可能 (Python および主要なライブラリはインストール済)	Web, データベースなど 90 種類以上をブリインストール (追加には専用ツールを使用したビルド作業が必要)
I/O モジュール設定方法	JSON 形式ファイルの編集で対応 (ただし主要モジュールに限る)	設定用のプログラミングが必須

Linux イメージファイルには、あらかじめ Python や機械学習などの関連ライブラリがインストールされており、エンジニアは速やかに機械学習を含む AI アプリケーションのプログラミングに取り掛かることができる。また、パッケージ管理コマンド (apt コマンドや pip3 コマンドなど) により、任意のアプリケーションや Python ライブラリを追加することも可能である。

さらに、主要な I/O モジュール用のコンフィギュレーションサービスを用意した。F3RP71-2L では I/O

モジュール設定用にプログラミングが必要であり、設定要素も個々に異なっていたため、IT (Information Technology: 情報技術) エンジニアにとってややハードルが高い面もあった。JSON (JavaScript Object Notation) 形式のファイルの編集で対応可能とすることで、IT エンジニアでも I/O モジュールの設定を容易に扱えることができるようになった。その結果、IT エンジニアが AI アプリケーション開発に集中できるようになった。

5.2 AI アプリケーションの組み込み

AI を導入することで期待した結果 (生産性向上や業務効率化) が得られるかを事前に見通すことは難しい。そのため、その開発過程において、課題設定とデータ検証を繰り返す PoC (Proof of Concept: 概念実証) を実施するのが一般的である。さらに、何度も実証を繰り返す AI アプリケーションの開発では、安価なシングルボードコンピュータが利用される可能性が高い。一方、最終製品においては、機能だけではなく、耐環境性や安定供給性についても考慮しなければならない。このことを考慮すると、耐環境性・安定供給性に優れ、最終製品への採用実績も豊富な e-RT3 Plus を、製品を組み込むプラットフォームとして採用すれば、PoC 段階で開発した AI アプリケーションを、各種入出力部分も含め、簡単に最終製品に組み込むことができる（図 8）。

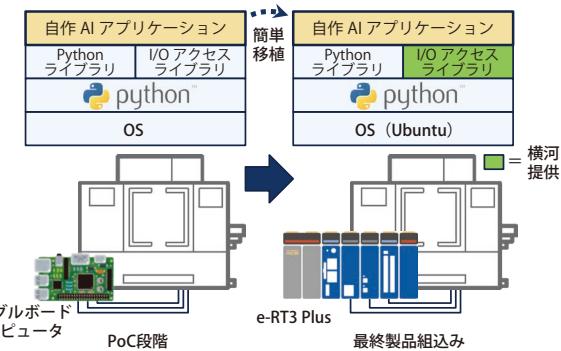


図 8 最終製品への組み込みイメージ

また、e-RT3 Plus は横河電機製 PLC FA-M3 のシーケンス CPU モジュールと共に存させることも可能（マルチ CPU 構成）で、高速性が要求される装置制御はシーケンス CPU モジュールで、高度な AI 判定処理は e-RT3 Plus の AI アプリケーションでというシステム構成も可能である（図 9）。これにより、IT のエンジニアは AI アプリケーション開発に専念し、OT (Operational Technology) のエンジニアは装置制御開発に専念するという分業の形態をとることができる。そして、それぞれが担当した機能を開発した後で、1 台の産業用 AI プラットフォーム e-RT3 Plus 上で IT と OT を融合させることができ簡単に実現可能である。

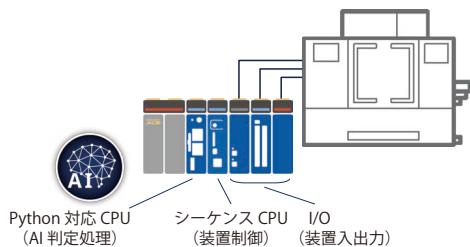


図 9 e-RT3 マルチ CPU 構成による IT/OT の融合

6. AI 対応製品導入の効果

今回開発した AI 対応製品を導入することにより、製造現場や製品開発現場において「既存の設備を最適なコストで保全し、生産性を向上させ、最大の利益を上げる」という要求に対して、次の効果が期待できる。

(1) 製品品質の確保

例えば、温湿度などの環境計測や、ユーティリティの使用量、タンク残量などを測定することで、製品の品質状態をインデックス化して予測したり、未来のある時点までにアラームが発生する可能性の有無を確認したりできるようになる。その結果、問題が発生する前に対応策を講ずることが可能となり、安定した生産につながる。

(2) 設備異常の予兆検知

各種設備の異常の兆候やプラントのシャットダウン発生の兆候を検知することができる。異常が起こる前にメンテナンスを実施することができるので、前もって対策を行い、生産活動への影響を最小限に抑えることで稼働率を向上できる。

(3) お客様独自の AI アプリケーションの開発

AI を活用したお客様独自のアプリケーションを開発、実装する際などに、Python の豊富なソフトウェアライブラリを活用することが可能になり、開発期間の大半を短縮ができる。プラットフォームが耐環境性を持つため、開発で用いた機器をそのまま過酷な環境の製造現場に持ち込むシームレスな開発、実装が可能となり、迅速に AI システムを構築できる。

今回開発した AI 対応製品が、様々な業種での環境モニタリングや設備管理、生産工程や製品開発過程での性能評価試験、製品品質検査過程での安全性・信頼性評価試験などにおいて、電圧、電流、温度、流量、圧力など各種信号の監視および記録、などといった用途で、ここで述べた効果を発揮できると期待している。

7. おわりに

AI 技術を製造や製品開発などの現場で手軽に利用できる製品群（レコーダ、PLC）の開発について、その狙いと開発のポイント、現場での実現方法、および AI 技術によって提供される価値について述べた。今まで、横河電機から提供され、多く実績を積み重ねてきた製品群で新たに AI 対応を図ることにより、AI による新たな価値を

お客様に提供できると確信している。今後も更なる製品の AI 対応を進めていきたいと考える。

なお、横河電機が考える AI 活用の今後の目標は、機械学習などを駆使して設備の異常などを「知ることにどまらず、例えば、最初から異常が起こらないように「制御することである。これについても、早期の実用化に向けて研究開発を進めている⁽¹⁴⁾。

参考文献

- (1) Y. Cui, L. Zhu, et al., "Factorial Kernel Dynamic Policy Programming for Vinyl Acetate Monomer Plant Model Control," IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2018, pp. 304-309
- (2) L. Zhu, Y. Cui, et al., "Scalable reinforcement learning for plant-wide control of vinyl acetate monomer process," Control Engineering Practice, Vol. 97, 2020, Article 104331
- (3) 松原崇充、鹿子木宏明、"強化学習によるプラント自動最適化操業への試み～酢酸ビニルモノマー製造プラントモデルへの適用～", 化学工学, Vol. 83, No. 4, 2019, p. 233-235
- (4) "横河電機と NAIST が化学プラント向けに強化学習 少ない試行回数で高度な制御を実現", 日経 Robotics, 2019年3月号, p. 22-25
- (5) 高見豪、徳岡萌、他、"機械学習を用いたセンサデータ解析の可能性", 横河技報, Vol. 59, No. 1, 2016, p. 27-30
- (6) 鹿子木宏明、高見豪、"機械学習を用いたセンサデータ解析の可能性 Part2", 横河技報, Vol. 60, No. 1, 2017, p. 35-38
- (7) 児玉和俊、"CBM を実現する Sushi Sensor と機械学習の技術", 横河技報, Vol. 61, No. 1, 2018, p. 25-28
- (8) 鹿子木宏明、松原崇充、"プラント操業への人工知能・機械学習活用とロードマップ", 人工知能を活用した研究開発の効率化と導入・実用化《事例集》, 技術情報協会, 2019, p. 449-458
- (9) 古川陽太、小渕恵一郎、他、"横河電機によるプラント設備での機械学習活用方法", 人工知能を活用した研究開発の効率化と導入・実用化《事例集》, 技術情報協会, 2019, p. 459-467
- (10) 米澤正明、"保全活動への Industrial IoT 適用", 横河技報, Vol. 61, No. 1, 2018, p. 3-6
- (11) 斎藤昌久、山路雅人、他、"産業用 IoT を実現する Sushi Sensor", 横河技報, Vol. 61, No. 1, 2018, p. 7-10
- (12) 小田原清喜、"GRANDSIGHT と Sushi Sensor の統合ソリューション", 横河技報, Vol. 61, No. 1, 2018, p. 21-24
- (13) 林崇、池田哲、他、"ユーザビリティを追求するリアルタイム OS 搭載コントローラ e-RT3 Plus", 横河技報, Vol. 59, No. 2, 2016, p. 17-22
- (14) 高見豪、"プラント制御 AI の実現", 横河技報, Vol. 63, No. 1, 2020, p. 33-36

* Sushi Sensor, e-RT3, SMARTDAC+ は、横河電機株式会社の日本国およびその他の国における登録商標または商標です。

* "Python" and the Python logos are trademarks or registered trademarks of the Python Software Foundation, used by Yokogawa Electric Corporation with permission from the Foundation.

* Linux は、全世界における商標保持者 Linus Torvalds 氏から排他的ライセンスを受けている LIM (Linux Mark Institute) からの許諾により使用している登録商標です。

* Ubuntu は、英国 Canonical Ltd. の登録商標または商標です。

* Yocto Project は、米国 The Linux Foundation の米国およびその他の国における登録商標または商標です。

* その他、本文中に使用されている会社名、団体名、商品名、サービス名およびロゴ等は、横河電機株式会社、各社または各団体の登録商標または商標です。