



産業用制御システムを自律化する

2020 年 4 月

 Microsoft

目次

加速する産業機械設計のインテリジェント化.....	3
インダストリー 4.0 はインテリジェントでコネクテッドなシステム上に構築される.....	3
インダストリー 4.0 へのロードマップ	4
デジタルトランスフォーメーションを加速させる自律制御システム	5
既存の制御システムの限界	5
自律制御システムが推進するイノベーション	6
自律制御システムは、環境や入力の変化に応じてリアルタイムで調整し、さらには複数の目標に 対して最適化する.....	6
Microsoft Project Bonsai の概要	7
Project Bonsai の仕組み.....	7
幅広いユースケースを支える Microsoft Project Bonsai.....	9
動作制御のケーススタディ：自律型ブルドーザーブレード制御	9
機械調整のケーススタディ：シーメンスの CNC マシン	10
プロセス制御と最適化のケーススタディ：ウェハー製造プロセス制御.....	10
AI を活用した自律制御システム開発を一般に広く普及させる Microsoft の取り組み	11



加速する産業機械設計の インテリジェント化

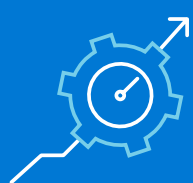
あらゆる産業部門にわたり、動的で直感的なマシンがビジネスの経営方法を変化させています。ルールベースだった従来のテクノロジーと異なり、こうしたマシンとプロセスはフレキシブルで、動的な環境や変化する要素に適応します。たとえば、ロボットアームでマシンに電子部品を取り付ける製造ラインの例を考えてみましょう。製造ラインで部品が正しい向きに装着されなかった場合、通常は、アームを一時停止しなければなりません。しかし動的で適応性の高いテクノロジーがあれば、部品がどんな向きになっていても、アームが動きを調整して、簡単に正しく取り付けることができます。

このテクノロジーは、遠い将来の話ではありません。個別のパイプラインを検査するドローンから自律的に最適化する農業用の温室まで、インテリジェントなテクノロジーが今日の世界に影響を与える例は数多く存在します。1 世紀前、蒸気と電気が産業に革命をもたらしたように、今、AI ベースのテクノロジーは第 4 次産業革命、すなわちインダストリー 4.0 を加速させています。

インダストリー 4.0 はインテリジェントでコネクテッドなシステム上に構築される

インダストリー 4.0 の定義は、物理的な世界へのインテリジェンスと接続性、自動化の取り込みです。新たなデジタル産業の時代の到来を告げるのは、スマートでコネクテッド、かつ俊敏な経営です。つまりこれは、テクノロジーだけでなく、コネクテッドなエンドツーエンドのエコシステムや、革新的なビジネス戦略、さらに、生産的で十分な権限を持つ従業員も包含する概念です。以前の産業革命と同様、インダストリー 4.0 はほぼすべての組織で大きな価値を生み出す可能性を持ち、その規模は 2025 年までに最大で 3.7 兆米ドルに達すると試算されています¹。この数字を平均的な企業に当てはめると、今後 5 - 7 年間に AI を導入する企業の 50% で、キャッシュフローが倍増する可能性があるということになります。インテリジェントシステムを実装するメーカーでは、生産性が 17 - 20% 向上すると考えられます²。このような潮流は、イノベーションを実現し、明確な競争優位性を確立する素晴らしい機会となります。

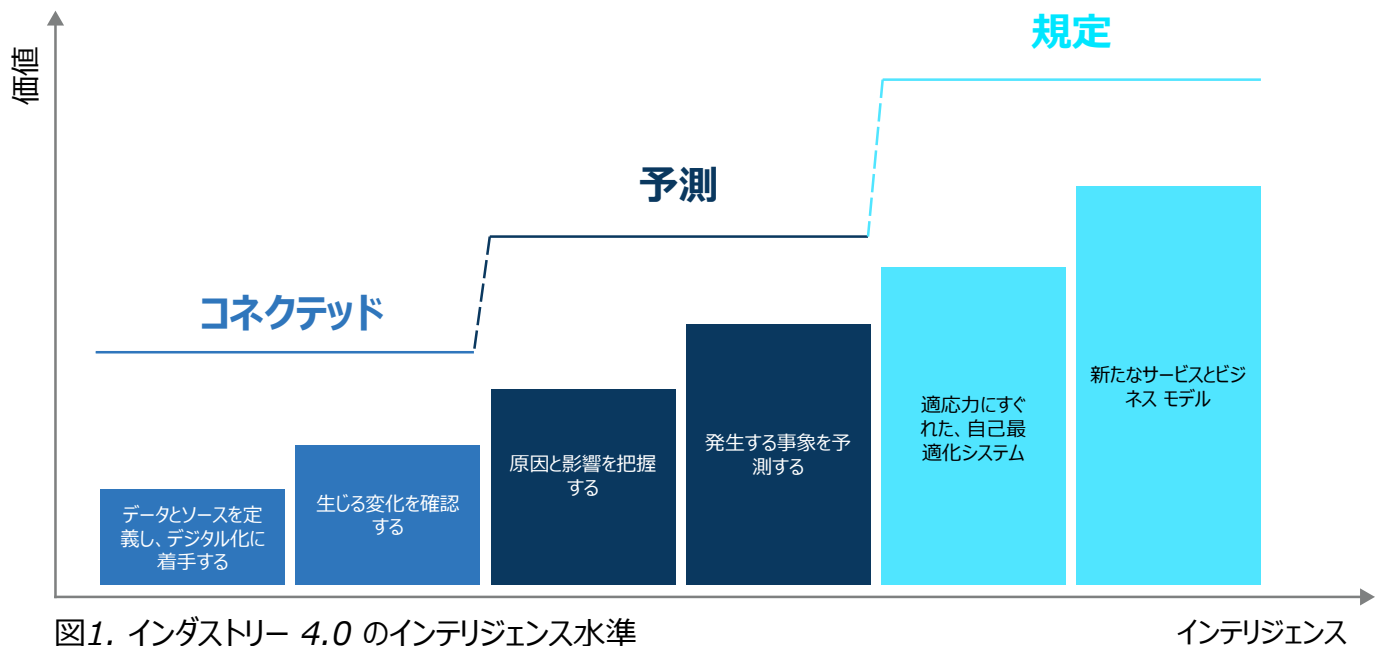
インダストリー 4.0 は莫大な可能性を秘めています。しかしこの転換に必要なものは何でしょうか。



17 - 20%

インテリジェントシステムを実装する製造業者が達成する生産性向上率²

インダストリー 4.0 へのロードマップ°

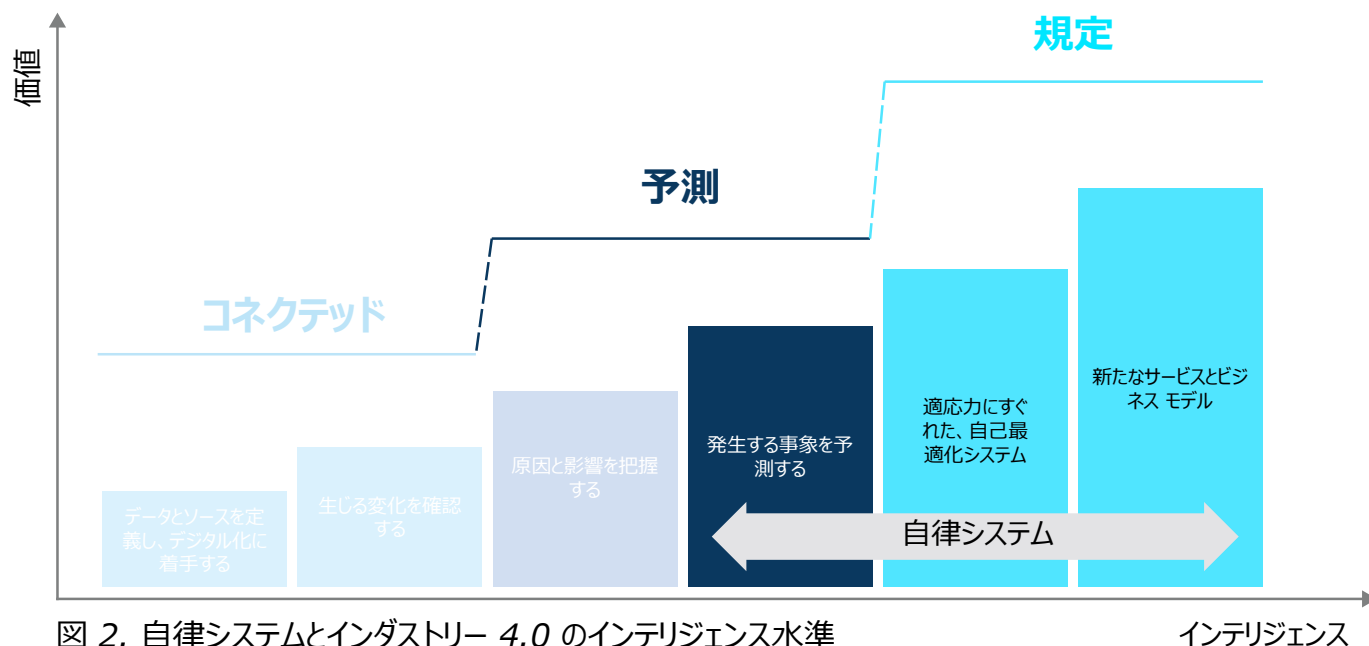


Microsoft はあらゆる業界の組織に向けて、デジタルトランスフォーメーションの達成と、インダストリー 4.0 の成果の実現を支援してきました。上の図は、一般的な組織の進展状況を説明しています。

- 現在、多くの製造業メーカーは「コネクテッド」の段階、つまり、マシンと製造ライン、制御システムとの間の接続を確立しているところです。
- 「予測」の段階に進むと、組織は IoT データを活用してオペレーションをより深く理解し、機械学習を使用して、機械がメンテナンスを必要とする時期など、起きる事象を予測することができます。
- 「規定」段階になると、企業は適応力を備えた、“自己最適化”するテクノロジーと各種プロセスを実装します。中でも、**インテリジェント制御システム**は、変化する入力や環境条件に応じた、装置や機械のリアルタイムな適応を支援します。これは、静的で硬直的な制御システムと大きく異なる点です。この 3 番目の段階は、産業全体を変容させ、新たな市場を創出する力を備えた革新的なテクノロジーを表象します。



デジタルトランスフォーメーションを加速させる自律制御システム



既存の制御システムの限界

各種の産業用制御システムは、部門を問わずあらゆるビジネスの支柱です。ところが、既存のシステムは制約を抱えています。MPC、PID、APC などの従来型のコントローラーは予測可能な環境下で、一連の確定的指示に基づいて動作します。これらの制御システムは一度に 1 つのタスクを効果的に実行する一方、さまざまなシナリオ、条件、または目標について、人間のオペレーターがマシンを手動で再調整し、設定する必要があります。たとえば、オペレーターは湿った泥か、岩石か、砂の土かに応じてブルドーザーコントローラを調整する必要がある、といったことです。さらにこれらの既存のテクノロジーが重点を置くことができる最適化目標は、スループットを最大化する、エネルギー使用量を最小限に抑えるなど、一度に 1 つだけです。

これらのシステムには、ユーザーに関する制約もあります。オペレーターやエンジニアにとって、異なるシステムにわたり変数を管理することは、しばしば困難を伴います。各システム内の複雑さの水準が異なるということは、初心者と熟練したのオペレーターの

間に大きな乖離が生じることを意味します。結果的に、施設全体で一貫して各種システムを管理することが難しくなります。これは多くの製造業者にとっての課題です。現在、製造業者の 40% に、インダストリー 4.0 システムを構築、または実行するスキルがありません³。デジタルトランスフォーメーションを実現させるということは、革新的なテクノロジーを活用できるようにすること、そしてより効率的に働けるよう従業員へのエンパワメントを行うということです。

既存システムの制約：

- シナリオや条件の変化に対応する制御実行能力がない
- 複数の最適化目標を管理することが困難
- 未知の入力に応答できない
- 人間のオペレーター同士のパフォーマンスに一貫性がなく、手動の設定調整に時間がかかる

自律制御システムが推進するイノベーション

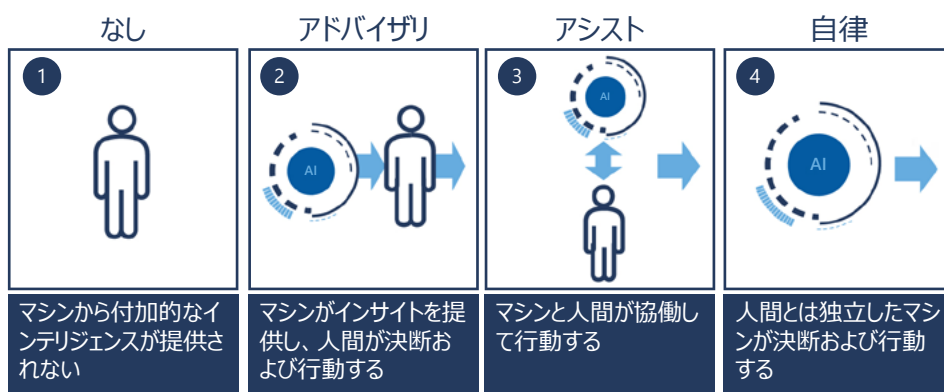
自律制御システムは人工知能（AI）を搭載することで、高度な自動化を実現できます。特定のタスクを繰り返し、何の変化もつけず実行するのではなく、自動制御システムが環境や入力の変化に合わせてリアルタイムで調整を行い、さらには複数の目標に対して最適化します。一例として、シュナイダーエレクトリック社は自律制御システムを使用し、快適な温度、CO₂ レベルの遵守、およびエネルギー消費の削減を同時に最適化するHVAC システムを運用しています。また、ある食品加工会社は、成分組成や水分含有量などの可変的な投入物に適應する成型機を備えた、自律的な成型ラインを開発しました。

自律的なモノの能力水準の図が示すように、自律には異なる水準があり、さまざまなシナリオで活用することができます。シンプルな「アドバイザー」の自律は、システムが何が起こるかを予測し、従業員が情報に基づいた意思決定を行えるようになることから始まります。より支援的なテクノロジーになると、最適な行動を取るための提案と推奨事項が従業員に提供されます。最も高度な機能水準に達すると、機械とシステムは完全に自律的に動作し、人間によるわずかな監視だけで自己最適化も行います。これにより従業員は解放され、価値の高いタスクに集中することができます。これは、工場全体または施設が独立して稼働するという意味ではなく、個々のプロセスやマシンにその可能性があるということです。

自律制御システムは、環境や入力の変化に応じてリアルタイムで調整し、さらには複数の目標に対して最適化する

Microsoft は、最も効果的な自律システムがデジタルなフィードバックループと、実際の人間のエクスペリエンスを組み合わせることで活用していることを突き止めました。デジタルなフィードバックループは、リアルタイムのテレメトリデータを使用してアクションと推奨事項、また履歴データを通知するプロセスであり、オペレーションや製品の改善を促進します。人間の関与は 2 つの主要な局面で価値をもたらします。1 つは、システムが適切に機能するよう、エンジニアとオペレーターの専門知識がシステムの開発に活用されていることです。2 つ目は、デプロイ後も常に人間に情報が提供され続け、ソリューションを監視し、その推奨事項に基づいて行動する機会がある点です。

自律的なモノの能力水準



ID: 377675

© 2019 Gartner, Inc.

出典: Gartner, Top 10 Strategic Technology Trends for 2019: Autonomous Things (March 2019)

アドバイザーの例	アシストの例	自律の例
従業員は、機械の状態を確認し、メンテナンスの実施予定時期について根拠ある意思決定を下す	アプリケーションがメンテナンスに最適な時間枠を提案してコストのかかる混乱を回避し、メンテナンスコストを最小限に抑える	システムが理想的な時間枠を特定し、自動でメンテナンスの実施予定を立てる

図 3. 自律的なモノの典型的な進化



このようなシナリオは、ビジネス上の大きなメリットにつながります。以前は不可能だった機会を引き出し、スループット、効率、品質の大幅な改善を促すためです。自律システムは、機械のキャリブレーションやチューニングといったタスクを人間のオペレーターよりも迅速に完了します。また正確性と精度を高めて運用することにより、出力品質を向上させることが可能です。従業員は、より効率的かつ効果的で、大規模な作業を実行でき、また重要なタスクに集中することが可能になります。ユースケースにかかわらず、ビジネスへの潜在的な影響力は相当な範囲に及びます。

Microsoft Project Bonsai の概要

Microsoft は、産業組織が独自の要件に基づいて自律システムを構築し、管理できるよう支援するというビジョンを掲げています。このようなシステムは各々のビジネスの専門的な要件を満たす必要があり、複雑です。製造業やエネルギー企業の従業員の大半は、データサイエンティストではなく、エンジニアです。こうした企業は AI システムの構築をサードパーティに頼ることが少なくありませんが、“ブラックボックス”のようなソリューションで、トラブルシューティングや改善を簡単に行うことはできません。高度なデータサイエンスのスキルがなくても、組織が固有の内容領域専門知識を活用し、インテリジェントな制御システムを構築することが可能であるべきです。

それを可能にするのが、Microsoft Project Bonsai プラットフォームです。企業は Project Bonsai を活用して、インテリジェントな管理機能を備えた、最も動的なシステムとプロセスを導入できます。Microsoft のプラットフォームは、説明、監査、再利用が可能な、信頼できる自律システムを構築および管理できるよう内容領域専門家を支援します。組織はオペレーション上の必要に応じて、オペレーターに推奨事項を提供したり、直接的な意思決定権を与えたりすることができます。この斬新なイノベーションが新たな可能性を切り拓き、スループット、効率性、品質を大幅に向上させます。

Project Bonsai の仕組み

あらゆる業界の内容領域専門家が、機械教示、強化学習、シミュレーション、デプロイ機能を一意に組み合わせることにより、インテリジェントな制御システムを支える AI エージェント、すなわち AI ブレーンを構築することができます。

ブレーンが成功するユースケースを特定する

1. 高度に複雑なシステム
2. 競合する最適化の目標または戦略
3. 変化する入力
4. 予測できない環境や条件

Microsoft が先駆者として提供する**機械教示**は、AI の専門知識がなくても使える、機械学習の新しい補完的なアプローチです。機械教示を使って複雑な問題を個別のスキルに分解することにより、AI のブレーンに高速学習のための重要な手掛かりを与えることができます。たとえば倉庫や物流に関わるシナリオで、エンジニアリングチームが機械教示を使用し、自律型フォークリフトを教育するといったことが可能です。まずは、パレットを揃えるなどの簡単なスキルから開始します。そのスキルを足掛かりにして、フォークリフトをパレットに向かって運転し、持ち上げ、降ろす動作を学習させることができます。最終的に、自律型フォークリフトは、他の人や装置を検知することや、充電ステーションに戻ることを学んでゆきます。

このプラットフォームは機械学習のプロセスで定義された手順を使い、教育プロセスを通知します。現在使われている機械学習技術は**強化学習 (RL)**と呼ばれます。強化学習において、AI は決断を実行しながら学習し、行動に対する報酬を受け取ることで最終目標に近づいてゆきます。従来型の強化学習は、多くの試行錯誤を伴う時間のかかるアプローチです。機械教示を使うとその教育プロセスを促進、および改善でき、さらにエンジニアが個別の手順を他の AI のブレンに再利用することも可能です。また機械教示で、デプロイ済みの自律制御システムの動作について理解、および監査することも容易になります。これは、安全を最重視するアプリケーションに不可欠なプロセスです。

企業には、重要な機器をオフラインにしたり、システムに損傷を与えるリスクを冒してまで AI を教育するわけにはいきません。したがって RL のプロセスは安全で費用対効果の高い**シミュレーション環境**で実施されます。たとえば、ブルドーザーのブレードを制御する方法を学習する AI ブレンの場合、シミュレーション環境で土壌の種類や、近くを歩行する人間との距離といった変数の情報を受け取り、行動します。さらに、その内容に応じて報酬を受け取ります。AI のブレンは報酬の最大化を目指して時間とともに決断を改善します。さらに、領域の専門家が報酬システムを調整することで、効果的なソリューションへと導くことができます。

従来型の強化学習

- 試行錯誤による学習
- 演算効率が悪い

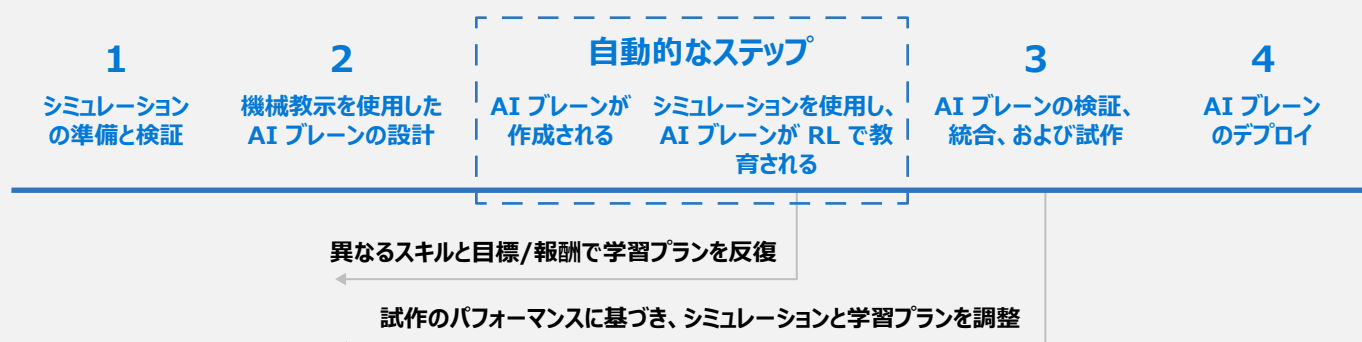
機械教示との組み合わせ

- 教育を加速
- 再利用可能なステップとプロセス
- 説明および監査可能

AI のブレンに適応の方法を学習させるために、シミュレーション環境ではセンサー障害のようなエッジデバイスの状況も含め、現実世界でシステムが直面する可能性がある、何百万パターンものシナリオを再現することが可能です。また、これらのシミュレーションを Microsoft Azure で並列に実行することにより、AI のブレンを短期間に教育することもできます。Microsoft はパートナーのエコシステムと連携し、AspenTech や MATLAB などのシミュレーションに特化した各種製品と、プラットフォームの確実な互換性を実現しています。このため、エンジニアは作成済みのシミュレーション設計を再利用できます。

企業は、AI のブレンを次の 3 つのいずれかの方法で**デプロイ**できます。1 つ目は、サービスとしてのクラウドにデプロイする方法で、制御コンピューターは必要な際に推論することができます。2 つ目は、デバイス上にデプロイし、相互運用可能な制御コンピューターに直接統合する方法です。そして 3 つ目は、エッジにデプロイし、制御コンピューターとリアルタイムに通信できるコンパニオンコンピューターを使用する方法です。

AI ブレンの教育プロセス



企業は、オペレーション上のニーズに応じて一部のシナリオにおけるオペレーターの**意思決定のサポート**に AI のブレンを使用し、他のシナリオでは AI のブレンに直接的な**意思決定権限**を持たせるといったことも可能です。意思決定をサポートするシナリオでは、既存の IoT 監視ソフトウェアと統合したソリューションで、推奨事項や予測結果を提供します。これによりオペレーター間の一貫性を高め、また経験の少ないオペレーターには熟練者レベルのインサイトを与えることができます。直接的な意思決定権限が与えられている場合、AI のブレンは経験豊富なオペレーターに匹敵するほど創造的なソリューションを開発することができます。

このような機能は、自律システムが築く未来へと向かう第一歩に過ぎません。Microsoft は今後も産業部門の変革に役立つ画期的なツールやサービスの統合を継続的に進める予定です。

幅広いユースケースを支える Microsoft Project Bonsai

企業は、Microsoft の Project Bonsai ツールチェーンを活用することにより、風力タービンの最適化から機械やロボティクスまで、新規、および既存の産業用制御システムにインテリジェンスを取り入れることができます。

自律型テクノロジーを使用すればどのようなシステムも強化できますが、Microsoft はシステムを最適化する、3 つの重要なシナリオを重視しています。

- 動作制御：ロボットアームや、ブルドーザーのブレード、フォークリフト、地下掘削装置、救急車両などの動きと経路を最適化します⁴。
- プロセス制御と自動化：消費財の製造、食品加工、熱反応器、蒸発制御バルブなど、産業プロセスのスループットや効率、品質を最適化します。
- 機械のチューニングと調整：人間の知能だけで実施する水準よりも迅速に、正確に機械を調整することにより、機械のダウンタイムを劇的に短縮します。

動作制御のケーススタディ：自律型ブルドーザーブレード制御

ビジネス上の課題

切削用のブルドーザーブレードを準備するには、オペレーターが PID コントローラーを調整する必要があります。装置の部品と切断材料に対して各々調整を行う必要があることから、このプロセスは反復的で時間がかかることがあります。

現行の手法と制約

ブルドーザーブレードの上昇と下降のプロセスは、5 つの PID パラメーターによって制御されます。既定の設定が適切でない場合は、現場でオペレーターによるパラメーターの増減が必要となることもあります。

自律システムイニシアチブの目的と成果

このシステムの改善を目指したある企業は、AI のブレンを教育し、切削中にブルドーザーブレードをリアルタイムで調整する制御コマンドを出力させることにしました。これにより、さまざまな速度で動作する単体のブルドーザーで、切削の波斑の数（すなわち平坦さ）を最大化するという取り組みです。

AI のブレンは、ブルドーザーに接続された専用の CPU ベースのシステムにデプロイされました。各種アクションは、AI のブレンからブルドーザーにリアルタイムで渡されます。その結果、このブレン



は複数のブルドーザーモデルと複数の速度にわたり、PID のベンチマークを超える波斑数を達成しました。

機械調整のケーススタディ：シーメンスの CNC マシン

ビジネス上の課題

他の多くのメーカー同様、シーメンス社が製造する CNC マシンのキャリブレーションは、ダウンタイムを伴う、時間のかかる手動のプロセスであり、多くの場合、サードパーティの専門家によって実施されていました。

現行の手法と制約

マシンのキャリブレーションプロセスには、熟練した人間のオペレーターが必要です。2 時間以上にわたって平均 20 - 25 の反復的な手順を実施しますが、それでも精度が不十分であることも珍しくありません。

自律システムイニシアチブの目的と成果

シーメンスは機械技術者の専門知識を活用して AI のブレインを構築し、機械のキャリブレーションを自動化して数時間や数日から、数秒、あるいは数分程度のプロセスへ短縮しました。平均で 4 - 5 回の反復手順を 13 秒で実施し、2 ミクロンの精度に到達しました。このシステムは、およそ 10 回の反復手順で 1 ミクロン未満という驚異的な精度を実現しており、また複数の種類とサイズのマシンのキャリブレーションに対応しています。

プロセス制御と最適化のケーススタディ：ウェハー製造プロセス制御

ビジネス上の課題

シリコンエピタキシーには熱反応器を使用し、厳重な制御で均一に加熱して成長させる必要があります。反応器を最適な条件に保つには、このプロセスのそれぞれのフェーズで、ヒートランプに異なる設定を行う必要があります。この設定は、レシピとも呼ばれます。

現行の手法と制約

PID コントローラーは、エラー修正指示を提供して温度を一定に管理します。コントローラーは熱分散のみに焦点を当てており、速度やエネルギー使用量など、他の最適化目標は考慮しません。

自律システムイニシアチブの目的と成果

この企業は、反応器を自動で制御する AI のブレインを構築し、プロセスの高速化とコスト削減を図りました。この結果、AI のブレインが成長の時間とコストを最小限に抑え、目標としていた品質一貫性基準を上回るウェハー基板を製造することができました。



AI を活用した自律制御システム開発を一般に広く普及させる Microsoft の取り組み

Microsoft の Project Bonsai ソリューションを使うことで、エンジニアは、変化する条件に応じて機械やプロセスのリアルタイムな適応を図る、スマートかつ俊敏な制御システムを構築できます。Microsoft のソリューションがあれば、データサイエンティストの力を借りずとも、エンジニアが内容領域専門家の知識を活用したコントローラーの開発を加速し、独自の要件を確実に満たすことが可能です。説明、監査、再利用可能で、信頼できるインテリジェントな制御システムをデプロイ、および管理するこのソリューションは、Microsoft 独自のものです。

詳しくは、[Project Bonsai Web サイト](#)をご覧ください、Project Bonsai チーム (bonsaiq@microsoft.com) までお問い合わせください。自律システムを最適に統合し、ビジネスを強化する方法の発見に、Microsoft が提供する Project Discover Worksheet とコンサルティングセッションを役立てていただくことができます。また Bonsai Hands on Lab にて、ソリューションの実例を公開しています。



© 2020 Microsoft. All rights reserved. この白書は情報提供のみを目的としています。Microsoft は、このプレゼンテーションの情報に関して、明示か、暗黙か、または法令に定められているかを問わず、一切保証をいたしません。

このドキュメントは現状有姿で提供され、このドキュメントに記載されている情報や見解 (URL 等のインターネット Web サイトに関する情報を含む) は、将来予告なしに変更されることがあります。お客様は、その使用に関するリスクを負うものとします。このドキュメントは、Microsoft 製品の知的財産に関する法的な権利をお客様に許諾するものではありません。内部的な参照目的に限り、このドキュメントを複製して使用することができます。

¹ [The Next Economic Growth Engine, World Economic Forum 2018](#)

² [Factory of the Future: Achieving Digital Excellence in Manufacturing Today, Microsoft 2019](#)

³ [Forrester Infographic: Manufacturing Firms Look Beyond Core IT for Digital Capabilities, Forrester 2019](#)

⁴ [Helping first responders achieve more with autonomous systems and AirSim, Microsoft 2019](#)