

Application Study: AIを活用したキオクシアのスマートファクトリー

1. スマートファクトリー

キオクシアのフラッシュメモリは、先端技術の粋を集めたスマートファクトリーで作っています。そのスマートファクトリーは数千台の製造装置や検査計測装置で構成されており、毎日30億件以上のデータが生成されています(2025年2月現在)。データは主に、センサデータや検査計測結果で、その量は1日50テラバイト(TB)にのぼります。歩留りや出力を安定させるためには、生成されるデータを解析することが不可欠ですが、その量が膨大であるため、人間が解析できる量を超えています。そこで、キオクシアでは、長年データ解析にAIを活用することで、不具合の発生している装置や工程の特定とその不具合の対策立案、出力を最大化するための生産制御などに役立っています。長年の実績や豊富な生産実績、最新技術の取り込みにより、当社工場は日々進化を続けています。

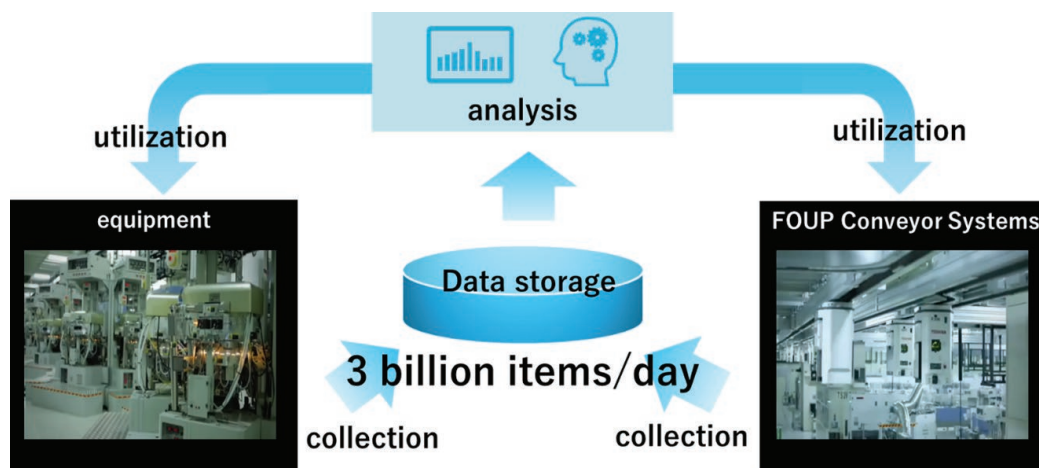


図1. AIを活用したキオクシアのスマートファクトリー

<スマートファクトリー> キオクシア株式会社公式サイト

AIやIoTなど最先端デジタル技術を導入した自律型工場

<https://www.kioxia.com/ja-jp/about/yokkaichi/smart-factory.html>

1-1. ビッグデータ基盤

スマートファクトリーで生成される巨大なデータは、従来のデータベース技術では処理しきれないため、専用のビッグデータ基盤を構築しています。多数のコンピュータで構成され、分散DB、分散処理の機能を持っています。ここには、大規模データの分散処理を支えるオープンソースのソフトウェアフレームワークApache Hadoop/Apache HBase/Apache Sparkなどの先端ビッグデータテクノロジーが適用されています。この基盤により、各種AIのアプリケーションが実現できています。近年では、センサデータのような構造化データと、文章や人の知識などの非構造化データを、生成AI/LLMを用いて融合することを検討しています。

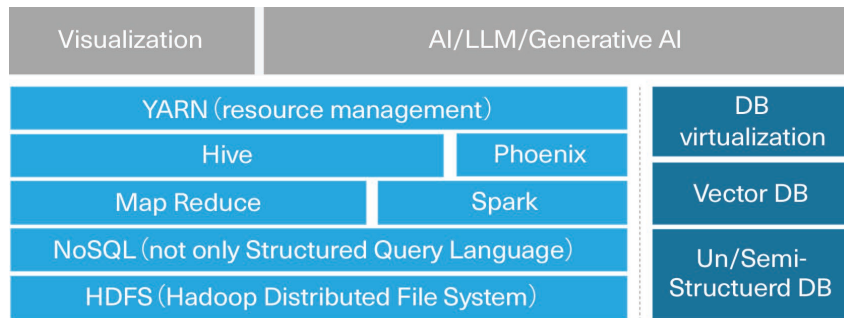


図2. スマートファクトリーにおけるビッグデータ基盤の構成

また、ビッグデータ基盤には、当社四日市工場にある6つのファブと、北上工場の2つのファブの8つのファブのデータが登録され、データの世界で仮想的に1つの巨大工場に見えるようになっています。このデータを元にデジタル空間を作り出し、AIを用いたデータ分析、シミュレーションを用いた最適化や将来予測を行います。この結果をフィジカル空間(リアル空間)にフィードバックし、生産性や品質の向上を実現しています。

Integrate all fabs in Yokkaichi and Kitakami in the data world

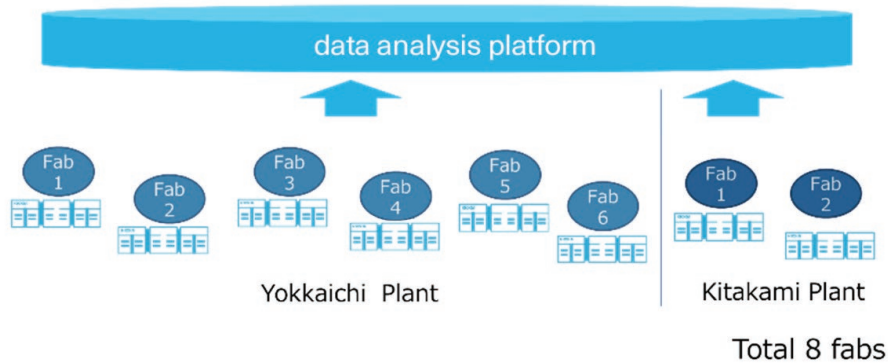


図3. 8つのファブのデータ統合

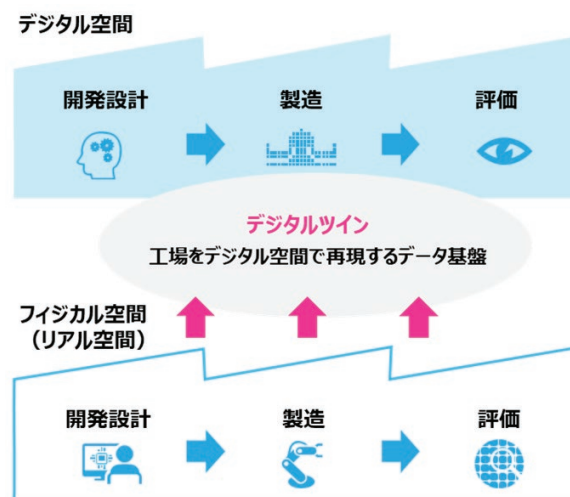


図4. ビッグデータ基盤によるデジタル空間での工場再現

1-2. 画像分類

半導体製造では工程を監視するために多くの検査や測定が行われています。当社のAIシステムは、検査画像を自動解析し、品質管理に役立つ情報を抽出しています。特に検査画像を良品・不良品に分類する、あるいは不良品とみなされるものを不良モードによって分類する画像分類は、最も重要な解析のひとつです。画像分類では、問題に応じて最適な手法を採用しています。手法を大別すると教師あり分類と教師なし分類があり、教師あり分類では、検査画像に良品・不良品といったラベルを事前に付け、ラベルと画像をAIに学習させてモデルを作成します。モデル作成には膨大な労力がかかりますが、信頼度の高い安定的な監視に有用です。これに対して教師なし分類では、画像に対する事前のラベル付けを必要とせず、画像の特徴をAIが見出して分類します。そのため、プロセス開発段階に生じる頻繁なモデル更新にも対応することができます。AI技術の進化によって、昨今では教師なし分類の精度が大きく向上し、問題解決の選択肢が広がっています。

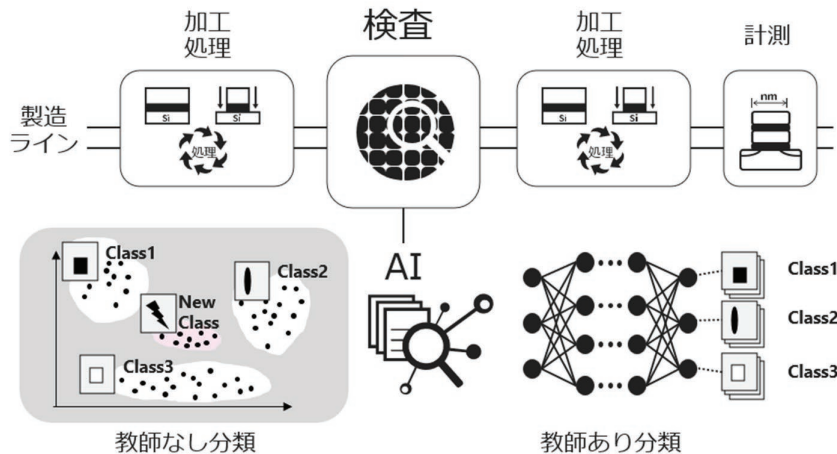


図5. AIによる検査画像の自動分類

1-3. 故障予兆検知

製造装置の多くは処理室内を真空にするため、ドライポンプを使用しています。このドライポンプが突然故障すると製造処理が中断するだけでなく、ドライポンプから真空チャンバへガスが逆流し、製品に影響する場合があります。そのため、工場内の多数のドライポンプを監視下に置き、故障を予知することが大切です。当社では三重大と共同で故障を予知する技術開発に取り組んでいます。

ドライポンプ故障の予兆を検知するため、ドライポンプに加速度センサを取り付け、そのデータから特徴量を抽出します。さらに、その特徴量について、ポンプの長期的な劣化度と短期的な異常度が反映される2つの統計量を用いて評価しています。その結果、故障直前の段階で、高精度に予兆を検知できることが確認できているのです。さらに早い段階で検知できるように、引き続き故障予兆検知技術の発展に取り組んでいます。

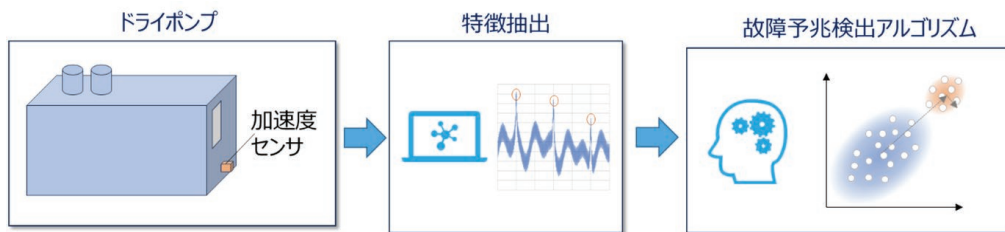


図6. AIによるドライポンプ故障の予兆検知

2. プロセスインフォマティクス

プロセスインフォマティクスは、AIを用いて製造工程(プロセス)を最適化する技術です。3次元フラッシュメモリの大容量化に伴い、積層数増加と水平方向縮小を進めており、半導体プロセス開発の難易度は高まり、開発に要する時間が増大しています。半導体プロセス開発では所望の加工形状を得るために、製造装置の動作条件(プロセス条件)の最適化を行います。また、製造装置の処理室デザインの改良が必要になることもあります。これら最適化に要する期間を短縮するだけでなく、人間では到達できない最適化を実現するためにAI活用を進めています。

2-1. プロセス条件最適化における実験回数の削減

当社では、プロセス条件を少ない実験回数で最適化するため、ベイズ最適化を活用しています。

プロセス最適化でベイズ最適化を活用する場合、これまでの試行結果をもとに、最適条件が得られる可能性が高い条件が提示されます。提示された条件の試行を繰り返すことで、早く最適条件にたどり着くことができます。またベイズ最適化での試行回数をさらに削減するため、新たな初期実験計画法を開発しました。この初期実験計画法では、複数の実験パラメータからなる高次元空間内に、少量の実験点を一様に配置します。この初期実験計画法で導出した条件で初期実験を行った後に、ベイズ最適化で条件探索を行うことで、実験試行回数を大幅に削減可能となりました。なお、この初期実験計画法は、東京大学との共同研究で開発したものです。

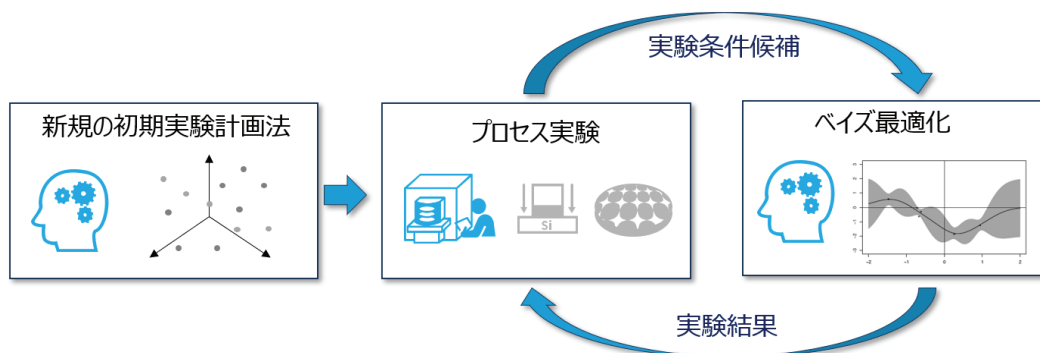


図7. ベイズ最適化によるプロセス条件探索およびそれに適した初期実験計画法の導入

2-2. 製造装置の処理室のデザイン最適化

プロセス条件最適化だけでは所望の加工形状を得ることが難しい場合には、処理室のデザイン最適化が必要になります。従来手法では実ウエハーを使った実験を通してデザイン最適化を進めることが多く、時間や経費などが多くかかりました。また、条件の設定や考察などを技術者が行うため、技術者の経験や勘に依存し、非効率的な場合があります。この課題に対し、処理室内部の流体挙動のシミュレーションとベイズ最適化により、処理室のデザインを自動で最適化する手法を開発しました。この手法では、流体シミュレーションから得られた数値情報だけでなく、流体シミュレーションにおいて、コンター図(図面上の等しい数値を結ぶ等高線図)の特徴量を用いてベイズ最適化を実施し、処理室デザインを最適化します。これにより実ウエハー実験を行うことなく、短期間かつコストをおさえ処理室のデザインを最適化できるようになりました。

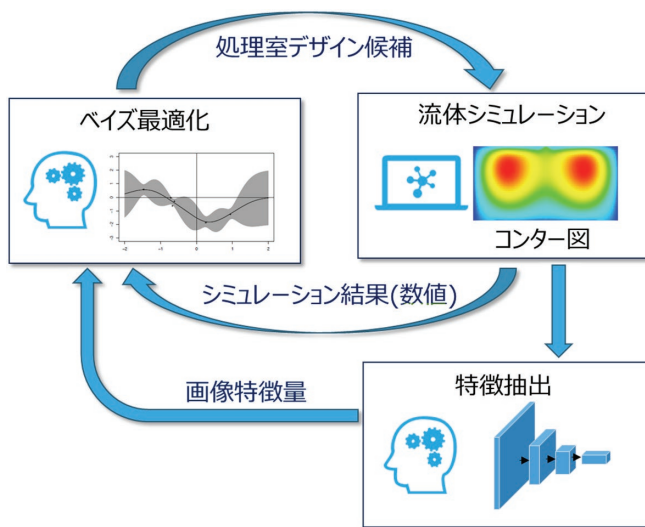


図8. 流体シミュレーションとベイズ最適化による処理室デザインの最適化

・ 記憶容量: 1 MB (1メガバイト) = 1,000,000 (10の6乗) バイト、1 GB (1ギガバイト) = 1,000,000,000 (10の9乗) バイト、1 TB (1テラバイト) = 1,000,000,000,000 (10の12乗) バイトによる算出値です。しかし、1 GB=1,073,741,824 (2の30乗) バイトによる算出値をドライブ容量として用いるコンピューターオペレーティングシステムでは、記載よりも少ない容量がドライブ容量として表示されます。ドライブ容量は、ファイルサイズ、フォーマット、セッティング、ソフトウェア、オペレーティングシステムおよびその他の要因で変わります。

商標:

- ・ Apache Hadoop, Apache HBase, Apache Sparkは、Apache Software 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。
- ・ その他記載されている社名・製品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

免責事項:

キオクシア株式会社は、使用及び製品説明を随時変更することがあります。このテクニカルブリーフに記載されている情報は情報提供のみを目的としており、技術的な誤り、漏れ、誤字脱字が含まれている場合があります。性能試験および評価は、キオクシア製品のおおよその性能を反映するシステムを使用して測定されたものです。ここに含まれる情報は変更される可能性があり、多くの理由で不正確になる可能性があります。

キオクシア株式会社は、本書で参照されている第三者のベンチマークやウェブサイトのデザインや実装については管理を行いません。本書に記載された情報は、製品および/またはロードマップの変更、コンポーネントおよびハードウェアのリビジョンの変更、新しいモデルおよび/または製品のリリース、ソフトウェアの変更、ファームウェアの変更などを含みますが、これらに限定されません。キオクシア株式会社は、本情報を更新またはその他の方法で修正または改訂する義務を負わないものとします。

キオクシア株式会社は、本情報の内容に関して一切の表明または保証を行わないものとし、この情報に表示される可能性のある誤り、漏れについて責任を負いません。

キオクシア株式会社は、商品適格性または特定目的適合性に関する黙示の保証を明確に否認します。ここに含まれる情報の使用に起因する直接的、間接的、特別またはその他の結果的損害について、明示的にそのような損害の可能性を通知された場合でも、何人に対しても責任を負わないものとします。

© 2025 KIOXIA Corporation. All right reserved. 無断複写・転載を禁じます。このテクニカルブリーフに記載されている製品仕様、テスト内容、評価などの情報は、本社の発行日現在のものであり、ドキュメントが公開された日付時点で正確であると考えられていますが、予告なく変更される場合があります。ここに記載されている技術情報及びアプリケーション情報は、最新の該当するキオクシア製品仕様に従います。