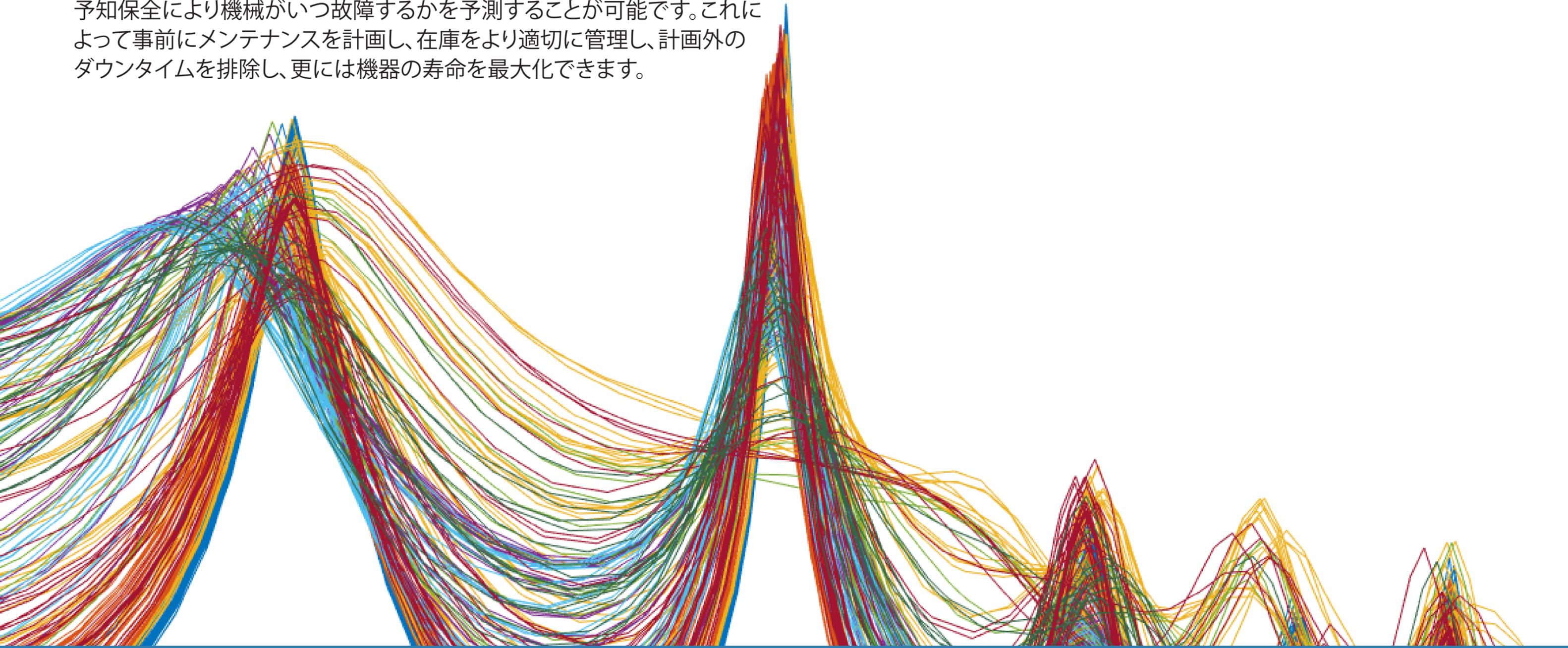


MATLAB による予知保全 - 入門編

予知保全とは?

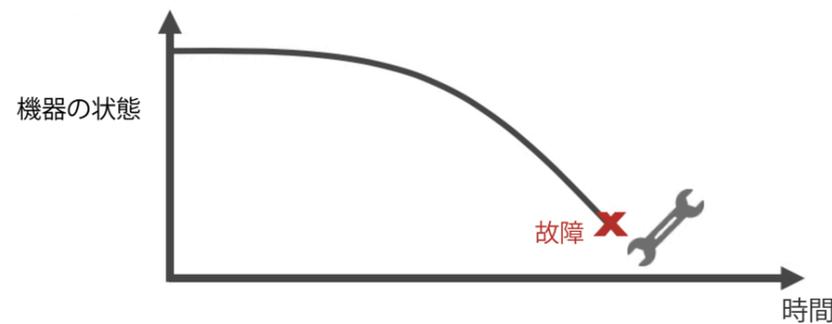
私たちの生活は多くの機械によって支えられています。しかし、メンテナンスされないままではすべての機械はやがて故障を迎えることになります。予知保全により機械がいつ故障するかを予測することが可能です。これによって事前にメンテナンスを計画し、在庫をより適切に管理し、計画外のダウンタイムを排除し、更には機器の寿命を最大化できます。



異なるメンテナンスアプローチ

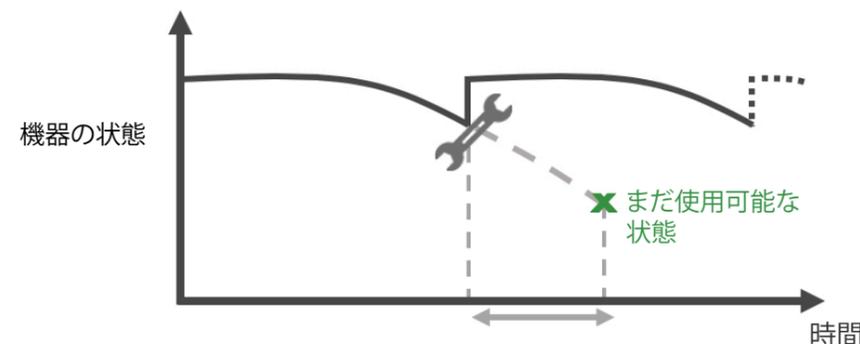
事後保全

事後保全では機械は限界まで使用され、機械が故障した後のみ修理が実施されます。電球のような安価なシステムの維持には、事後アプローチを採用するのが理にかなっています。しかし、航空機のエンジンなどの非常に高価な部品を使用した複雑なシステムを考えてください。損傷の激しい部品の修理には莫大なコストが発生するため、故障するまで走らせるリスクを許容することは不可能です。それ以前のこととして安全性の確保が何よりも重要です。



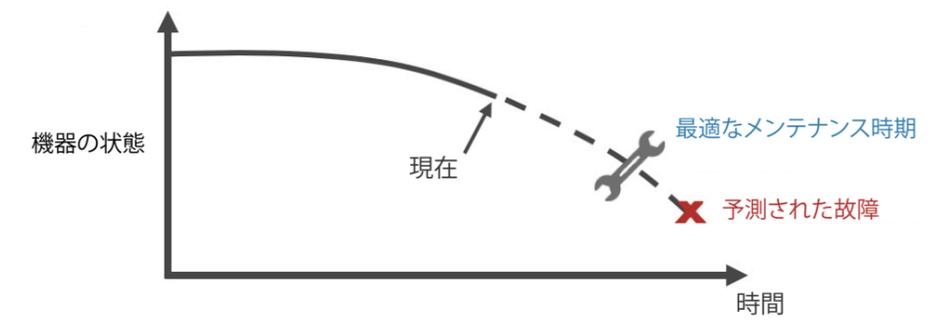
予防保全

多くの組織は機器の定期的な検査を行うことにより故障を未然に防ごうとします。予防保全に関する大きな課題の一つは保守時期の決定です。故障の発生時期を正確に知りえないため、特に故障発生が許されないような機器の稼働に関して余裕をもった保守計画をすることになります。しかし、メンテナンスをかなり早期にスケジュールすることで本来はまだ使用可能な機械の稼働時間を無駄にすることにつながり結果としてコストが増加します。



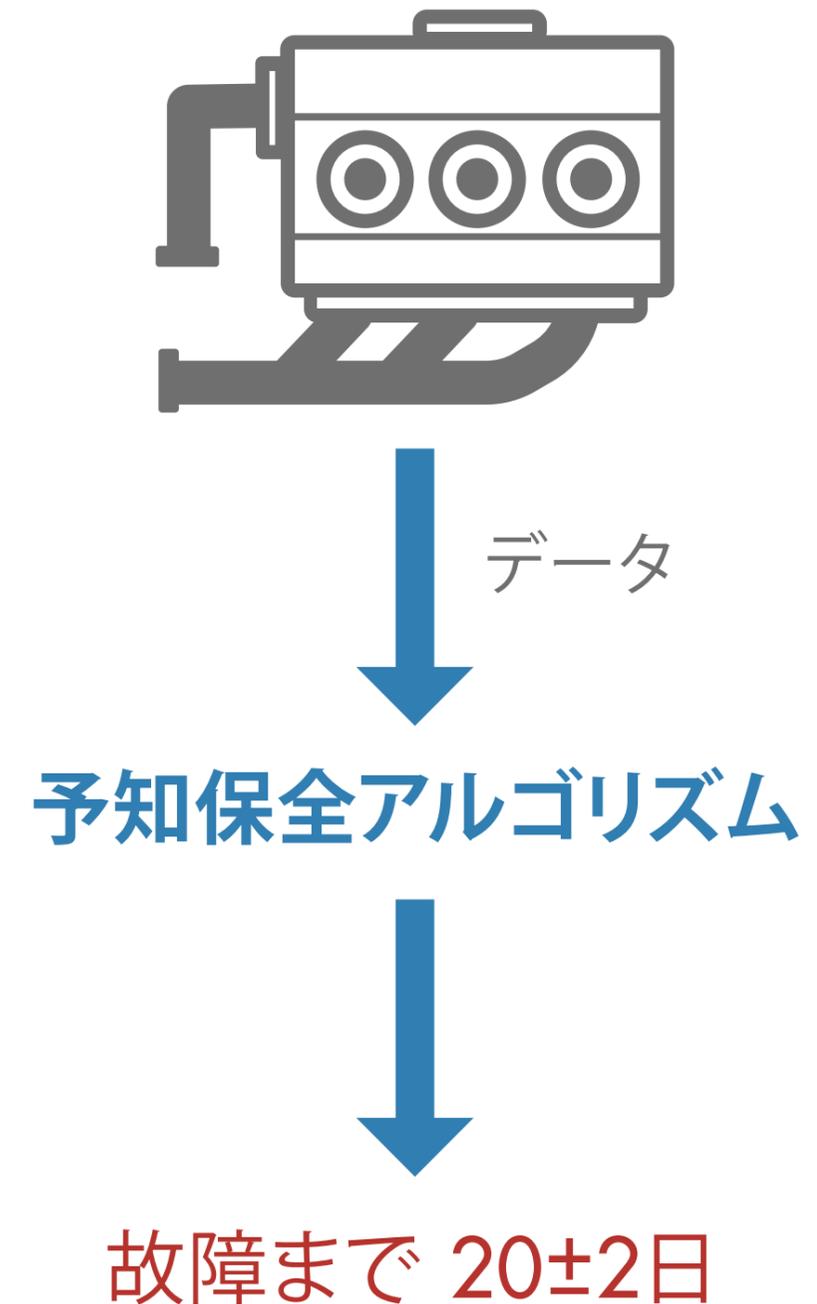
予知保全

予知保全によって機械が故障するまでの時間を見積もることができます。故障時期を予測することによって機器のメンテナンスを行う最適な時期を見つけてスケジュールを立てることが可能になります。予知保全は将来の故障を予測するだけでなく、複雑な機器の問題箇所と修繕が必要な部品の特定にも役立ちます。



予知保全に着手

予知保全の実施はダウンタイムの削減、スペアパーツ在庫量の適正化、機器寿命の最大化に貢献します。しかし、何から始めればよいのでしょうか？まず最初に機械の故障が発生してメンテナンスが必要となる時期を（例えば日数単位で）予測するアルゴリズムを開発する必要があります。アルゴリズム開発に取りかかるために予知保全ワークフローを見てみましょう。



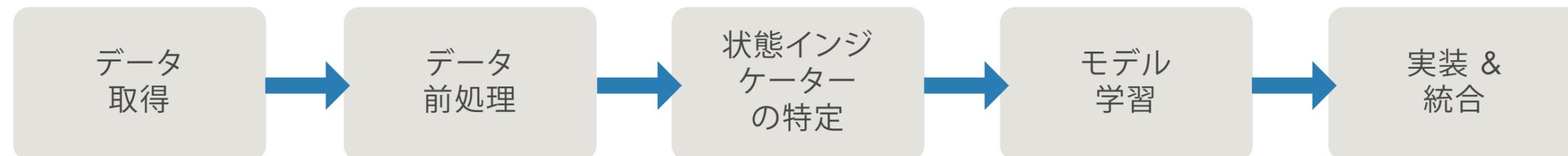
予知保全のワークフロー概要

アルゴリズムの開発には、システムの状態を正常・異常に区別する**データ**が必要になります。機器の**状態を示すインジケータ**を抽出するためには、生データの**前処理**が必要です。状態インジケータとは、状態を正常と異常とに区別するのに役立つ特徴量です。その後、抽出された特徴量を使用して**機械学習モデルを学習**させることで以下のことが可能となります。

- 異常検出
- 異常を異なるタイプに分類
- 機械の残存耐用時間の推定

最後にアルゴリズムを**実装**し、機械の監視とメンテナンスを担うシステムに**統合**します。

次のセクションでは、3筒型ポンプの例を使用してワークフローの手順を説明します。3筒型ポンプは石油・ガス業界で一般的に使用されています。

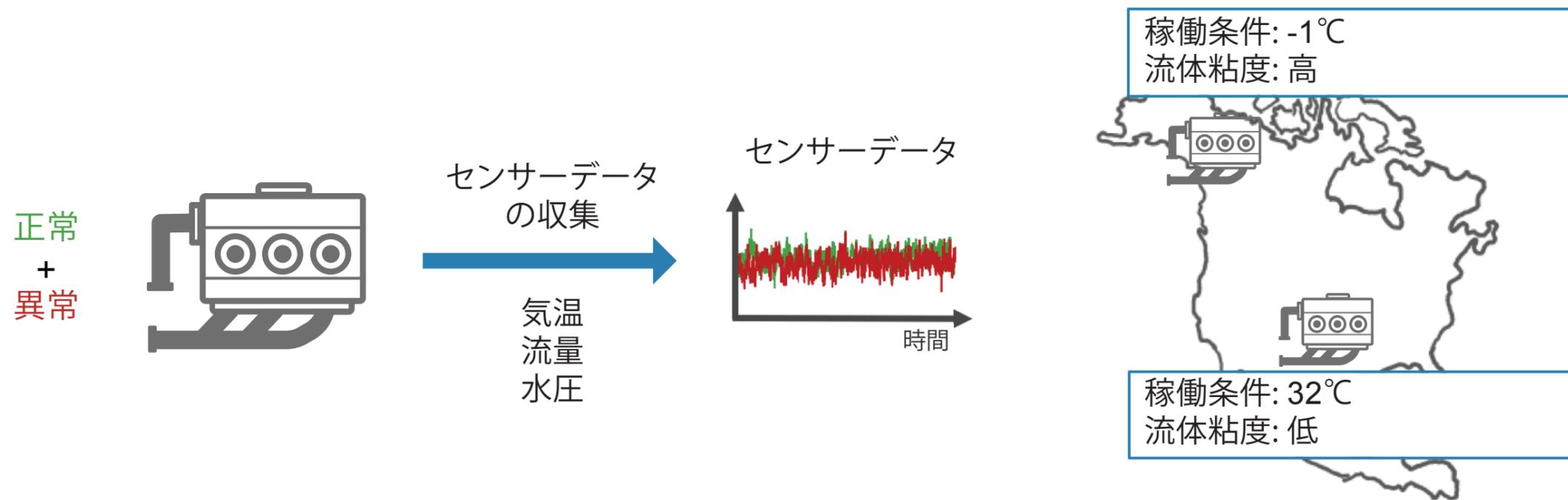


データの取得



最初のステップは、稼働状況の**正常・異常**を捉えた**大規模なセンサーデータを収集**することです。さまざまな稼働条件下でのデータを収集することが重要です。例えば、アラスカとテキサスで場所は違っても同じタイプのポンプを使用している場合があります。一方では粘度の高い液体を汲み上げ、もう一方では粘度の低い液体を扱っているかもしれません。同じタイプ

のポンプを使用している場合、このように**稼働条件**が異なれば、一方が他方より早く故障する場合があります。可能な限り多くのデータを収集することで、高い精度で異常を検出する**信頼性の高いアルゴリズム**を開発することができます。



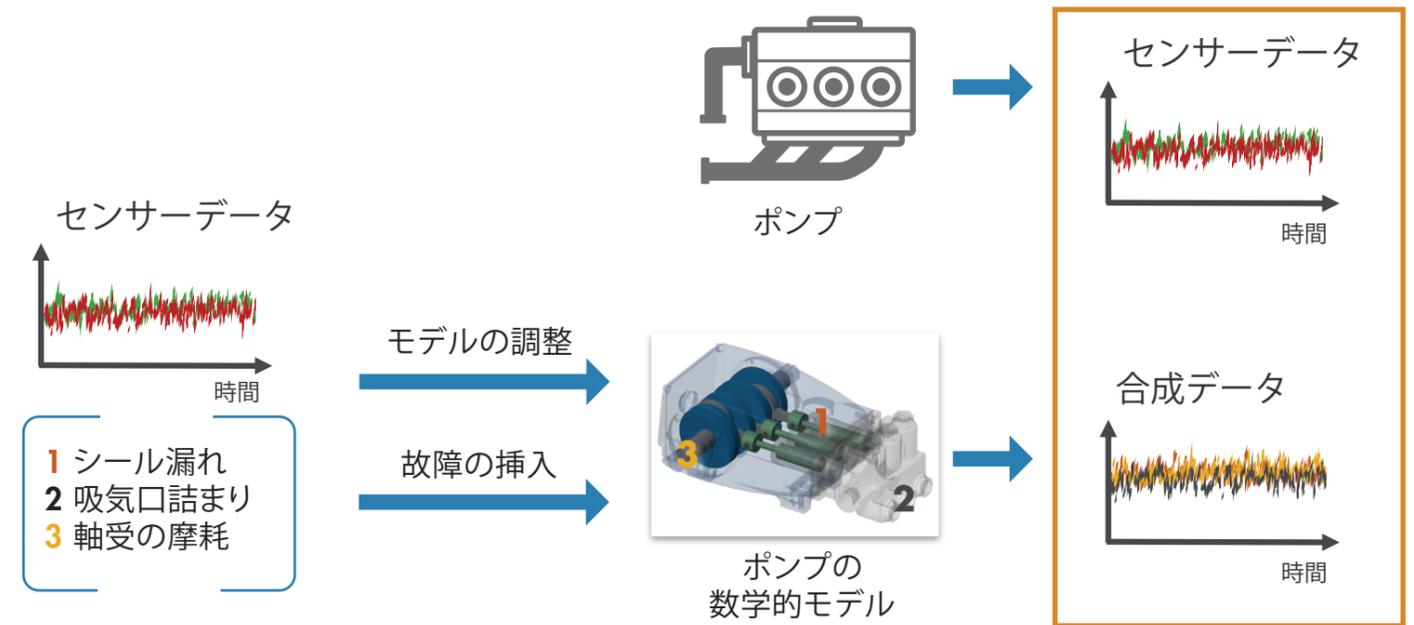
注: この例では説明を単純化するために、正常と異常を示す稼働状況を単一の測定値で表しています。実際には稼働状況の把握に何百もの測定値を用いることがあります。

データの取得 (続き)



正常と異常を表すデータが不足しているケースも考えられます。代替的な手段として**ポンプの数学的モデル**を構築し、センサーデータからパラメータを推定することができます。その後、さまざまな稼働条件下と異なる異常状態でモデルのシミュレーションを行い、**異常データを生成**することが可能です。このデータは**合成データ**とも呼ばれ、センサーデータを補足します。合成データとセンサーデータを組み合わせることで予知保全アルゴリズムを開発することができるようになります。

さらに詳しく: [Simulink による異常データの生成](#)



異なる故障条件下でモデルをシミュレーションし、異常データを生成

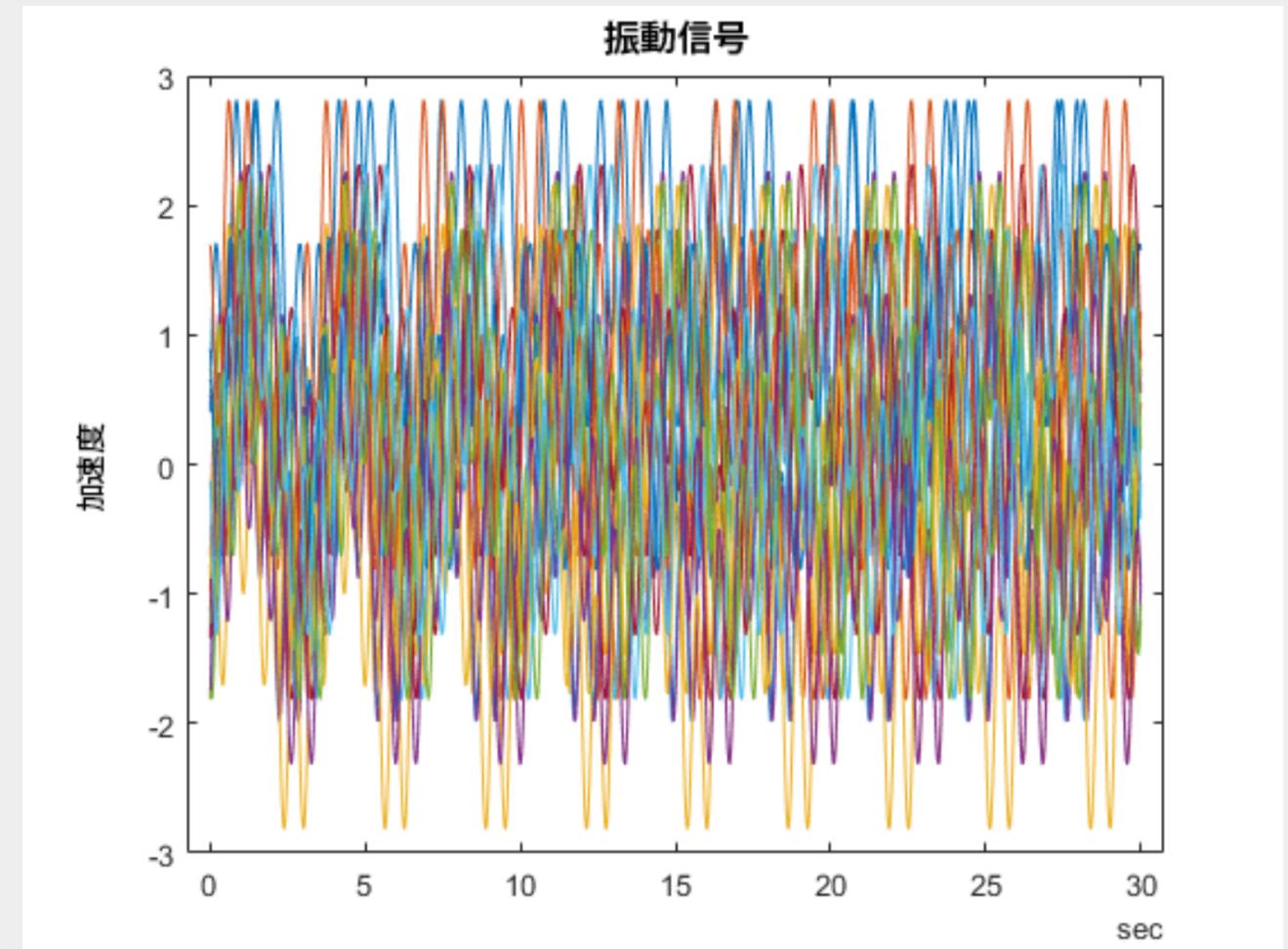
MATLAB によるデータの取得

機器からのデータは構造化されている場合とそうでない場合があります。ローカルファイル、クラウド (AWS® S3、Azure® Blob など)、データベース、データヒストリアンなどの複数のソースに置かれています。データがどこにあっても、MATLAB® を使用してデータにアクセスできます。十分な故障データがない場合でも、信号故障を挿入してシステム故障のダイナミクスをモデル化することで、機器の Simulink® モデルからデータを生成できます。

「MATLAB は、従来読みこむことができなかったデータを、読み込みやすく使いやすい形式に変換し、フィルタリング、スペクトル分析、そして複数のトラックや地域毎に異なる手順の自動化や、最終的には機械学習技術をリアルタイムに適用してメンテナンスを行う最適なタイミングを予測する能力をもたらしました。」

— Baker Hughes, Gulshan Singh 氏

» [ユーザー事例を読む](#)

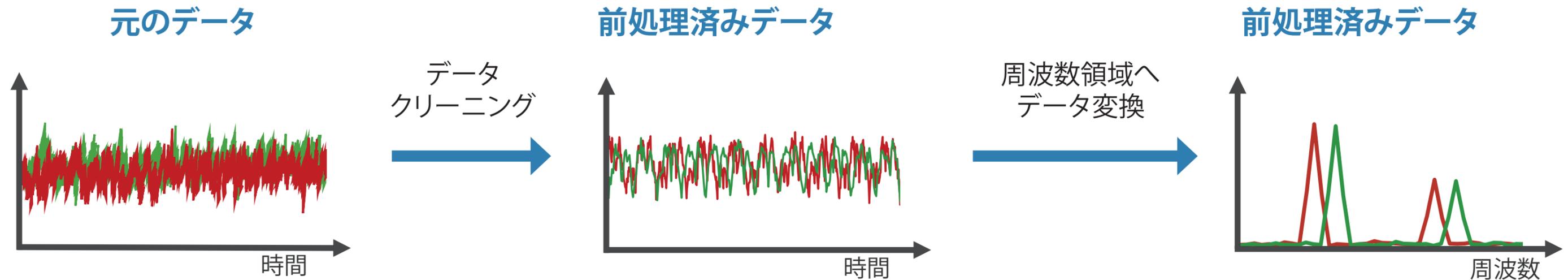


Simulink で生成された伝送モデルの合成異常データ

データの事前処理



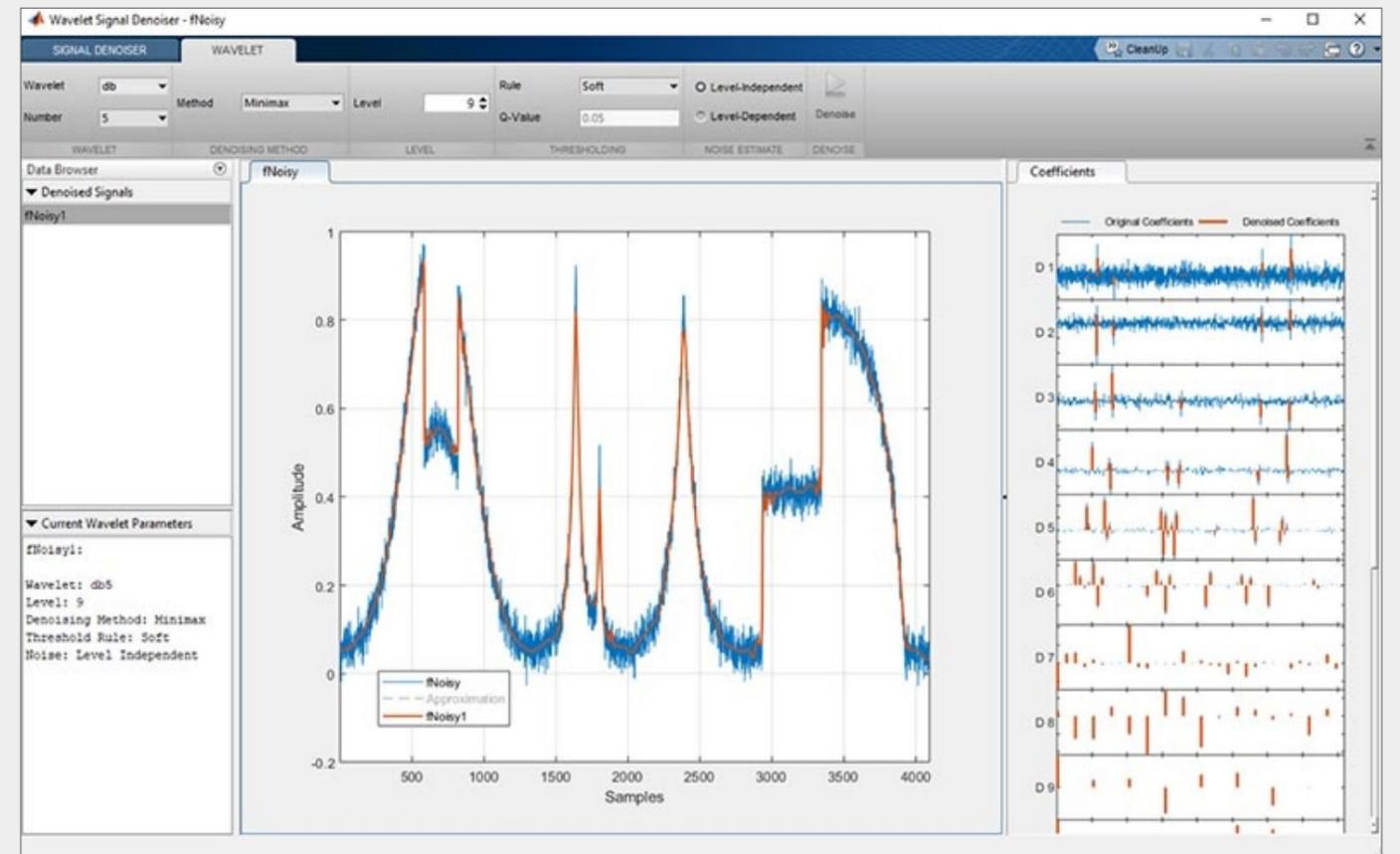
データを取得したら、次のステップとして**データを前処理**して、状態インジケータを容易に抽出できる形に変換します。前処理には、**ノイズ、外れ値、欠損値の除去**などの手法が含まれます。元のデータのままであれば分かりにくい情報を明らかにするために、さらなる前処理が必要になる場合があります。たとえば、下記の前処理の例では時間領域データから**周波数領域**への変換が含まれます。



MATLAB によるデータの前処理

大抵の場合、データがきれいに整った状態で手に入ることはありません。MATLAB を使用して前処理、次元の削減、および特徴量の設計を行います。

- 異なるレートでサンプリングされたデータを調整し、欠損値と外れ値を考慮
- 高度な信号処理手法を使用したノイズの除去、データのフィルタ処理および過渡信号または変化信号の解析
- 特徴量の抽出および選択のための統計および動的解析を使用したデータセットの簡略化と予測モデルの過適合の削減



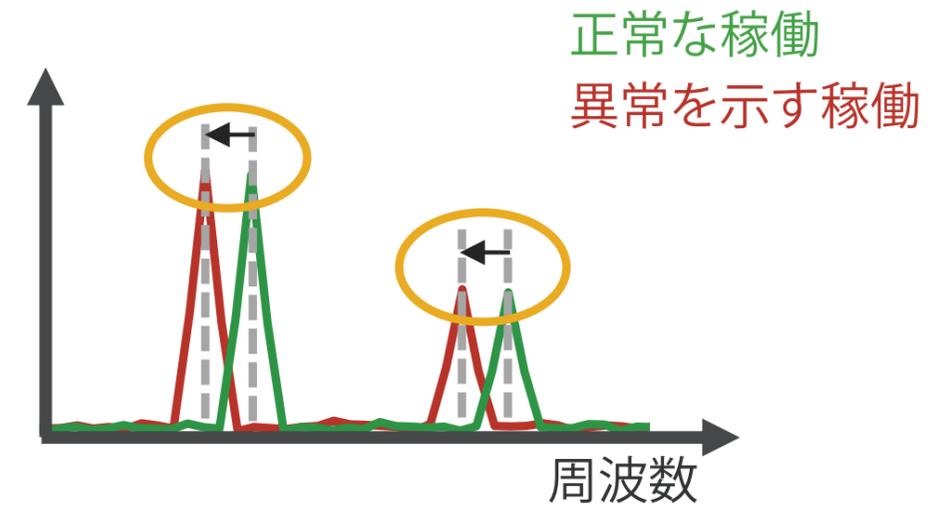
ウェーブレット信号デノイザーアプリによる信号の視覚化、ノイズ除去、結果の比較

状態インジケータの特定



次のステップでは、システムが低下するにつれてある特徴量の挙動が予測可能な方法で変化する**状態インジケータ**を識別します。これらの特徴量は、**正常な動作と異常な動作を区別**するために使用されます。

右のプロットでは、ポンプが劣化すると周波数データのピークが左にシフトするため、ピーク周波数は状態インジケータとして機能します。

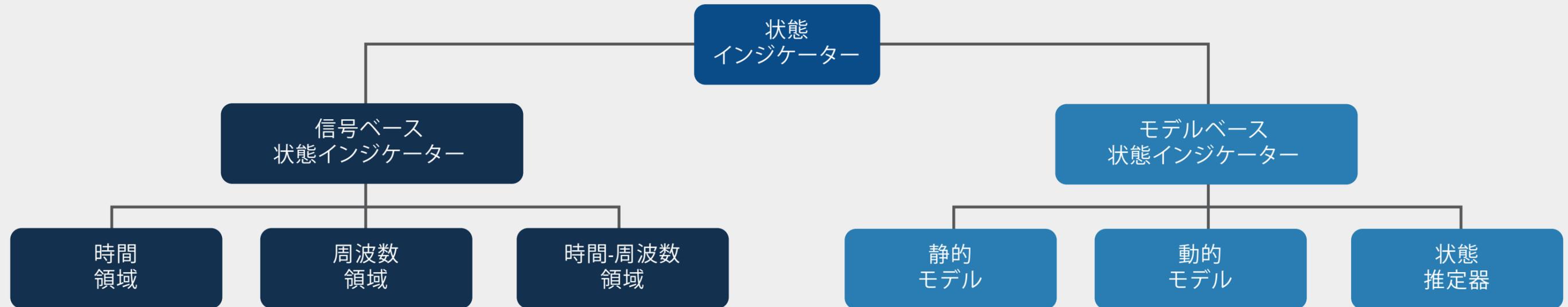


ピーク周波数が状態インジケータとして機能している

MATLAB を使用した状態インジケータの特定

MATLAB と Predictive Maintenance Toolbox™ では、信号ベースおよびモデルベースのアプローチによって状態インジケータを設計できます。振動データを分析する際によく見られる時間変化する特性を表現するのに、例えば時間-周波数モーメントを計算することも可能です。非線形の動作または特性をもつ機器の突然の変化を検出するために、時間の経過に伴うシステムの状態の変化を追跡する位相空間再構成に基づいた特徴量も有効です。

さらに詳しく: [Predictive Maintenance Toolbox の機能紹介](#) (ビデオ)



信号ベースおよびモデルベースの手法を使用して、機械の状態を監視する状態インジケータを設計

モデルの学習

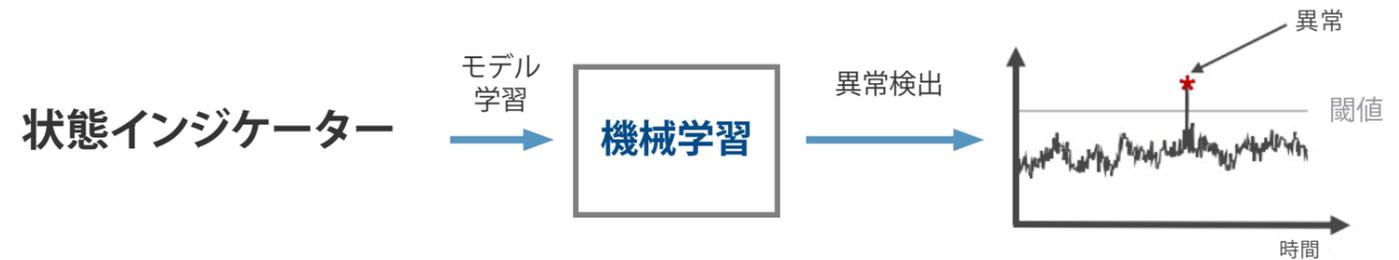


ここまでで、ポンプの正常な動作と異常な動作を理解するのに必要なデータからの特徴量の抽出が完了しました。しかし、この段階ではどの部品を修理する必要があるか、または故障が発生するまでの時間についてはまだ明らかになっていません。次のステップでは、抽出された特徴量を使用して**機械学習モデルを学習**させます。

異常検知

システム内の変化を追跡して異常の有無を判断することが可能です。

さらに詳しく: [メルセデスベンツにおけるパワートレイン製造設備の異常検出](#)

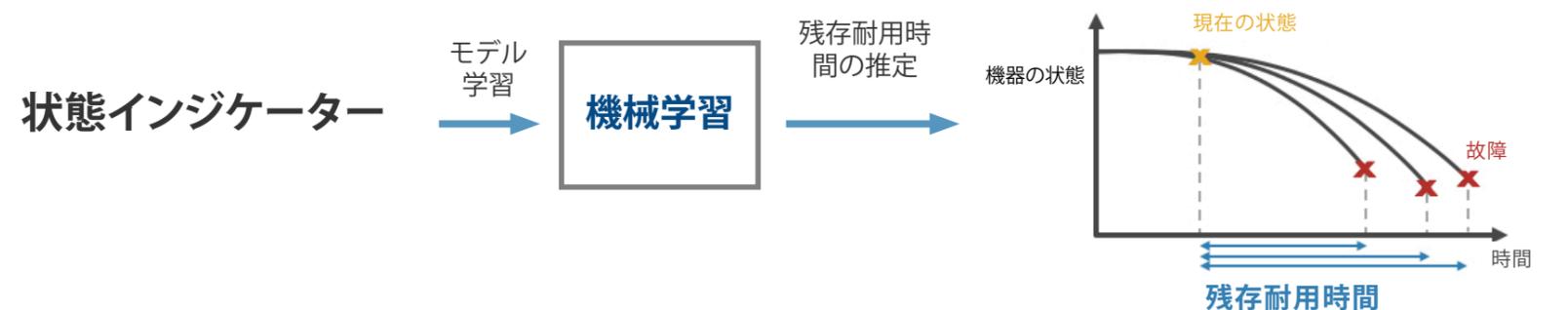
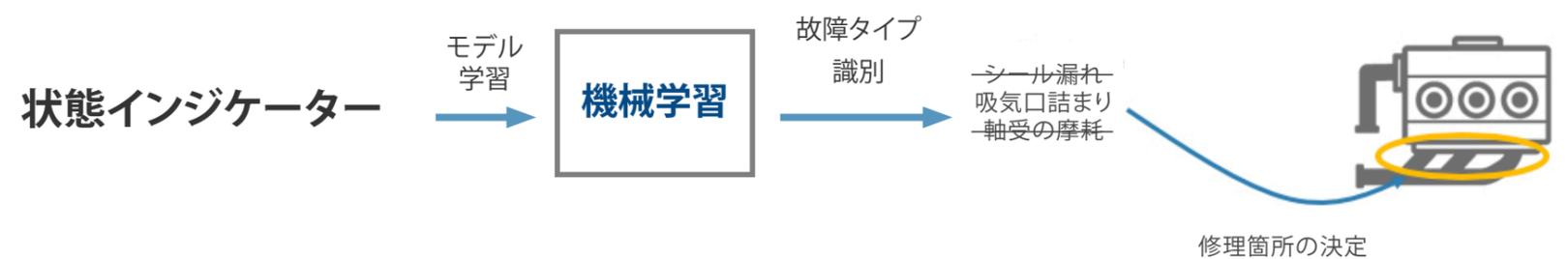


分類による異なるタイプの故障検出

ポンプのどの部分に注意すべきなのかを知ることができます。

正常な状態から異常な状態への遷移の予測

抽出された特徴量とポンプの劣化経路との関係を把握するモデルを見つけることは、故障までの時間 (**残存耐用時間**) とメンテナンスのスケジュール時期の見積りに役立ちます。

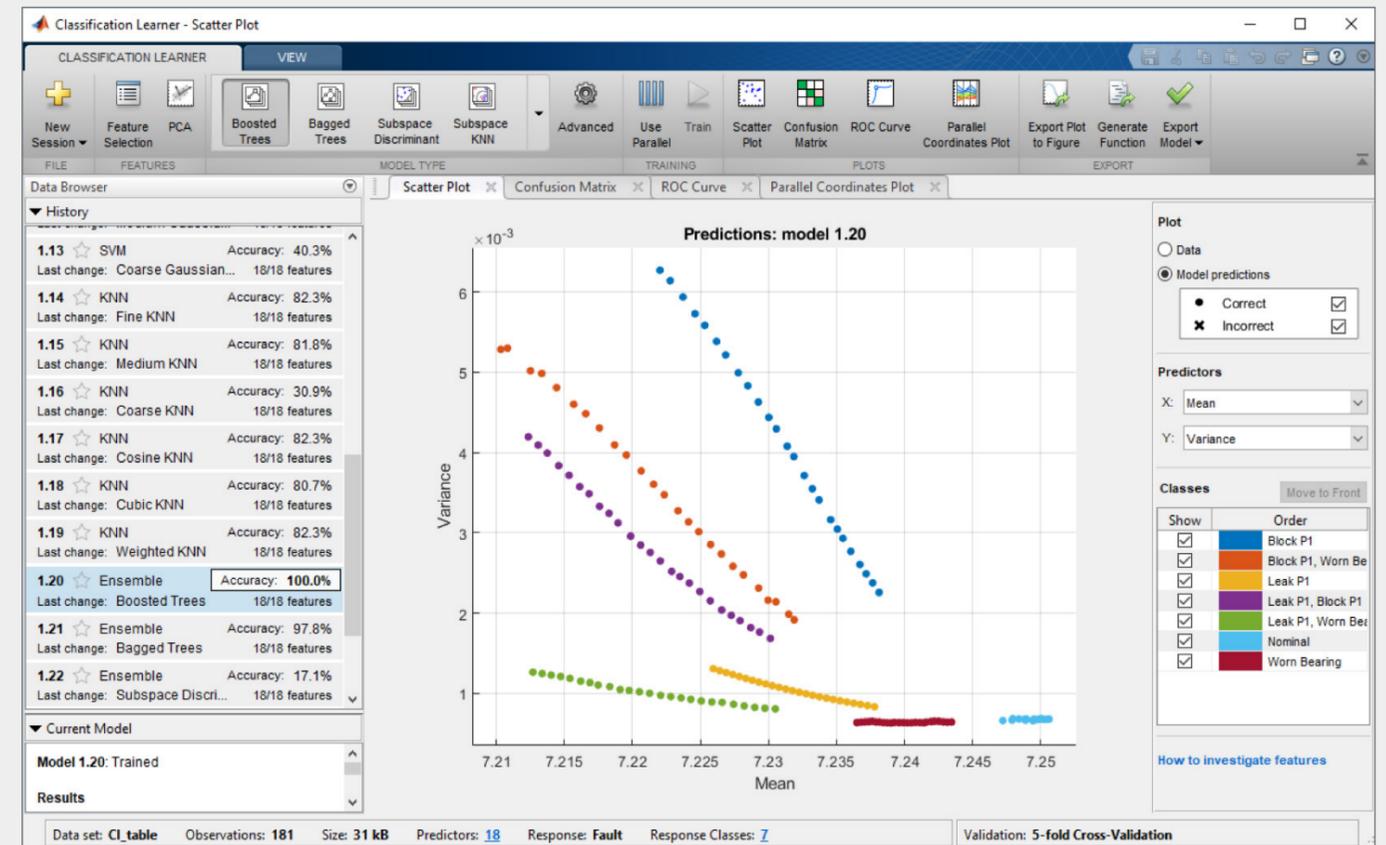


さらに詳しく: [MATLAB で残存耐用時間 \(RUL\) を予測する 3 つの方法](#)

MATLAB による機械学習を使用したモデルの学習

分類、回帰、および時系列モデリング手法を用いて、故障の根本原因を特定し、故障発生までの時間を予測できます。

- 残存耐用時間 (RUL) の推定または故障モードの分類に最も重要と考えられる変数を対話的に探索して選択
- 組み込み関数を使用して、複数の予測モデルを学習、比較、および検証
- 信頼区間の計算と可視化による予測の不確実性の定量化



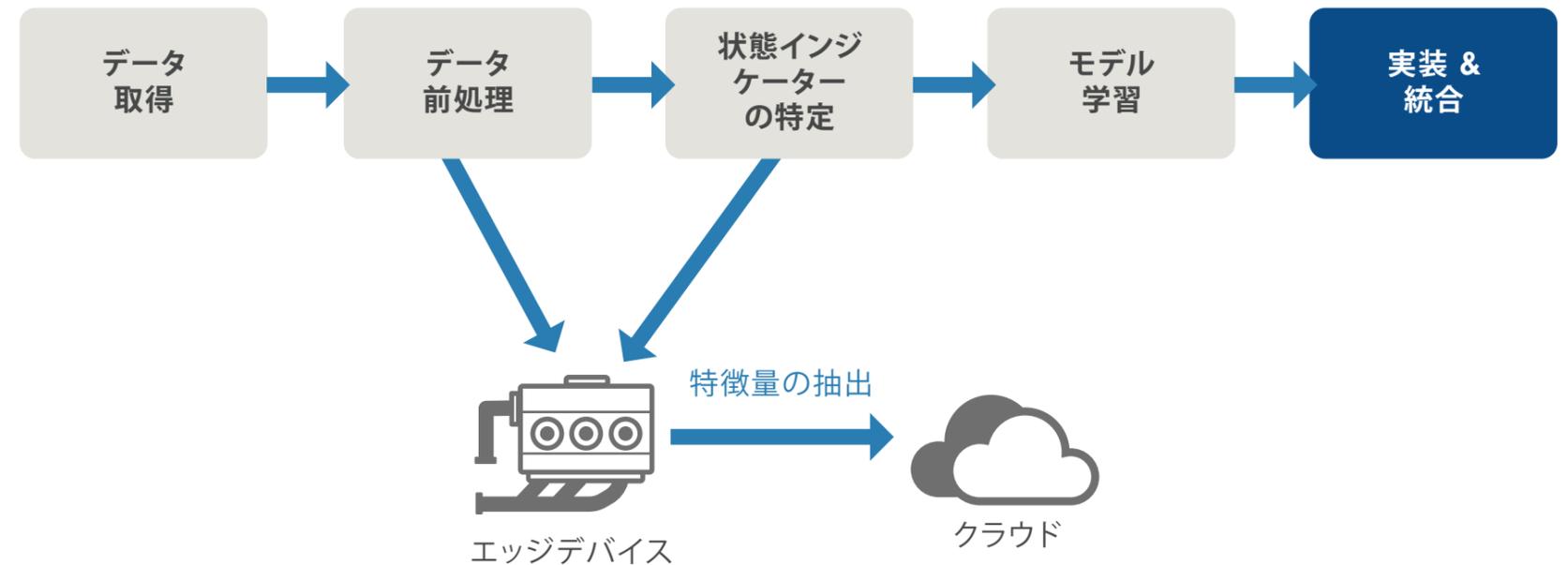
分類学習器アプリを使ってさまざまな分類器を評価し、決定木やサポートベクターマシンなどの一般的なモデルから最適なものを見つけることが可能

実装と統合

アルゴリズムを開発した後は、**クラウド**または**エッジデバイス**に**展開**することが可能です。クラウドへの実装は、クラウド上で大量のデータを収集および格納する場合に有効です。

その他の方法として、アルゴリズムを組み込みデバイスなど実際の機器に近い場所で実行することもできます。インターネット接続が利用できない場合なども対象になります。

3番目のオプションは、上記2つを組み合わせることで、データが大規模で送信できるデータ量が制限される場合は、エッジデバイス側で前処理と特徴量抽出の手順を実行し、抽出された特徴量のみをクラウド上の予測モデルに送ることができます。



MATLAB による運用システムへのアルゴリズム展開

データサイエンティストは、結果を共有し説明する能力のことをモデルの解釈可能性と呼ぶことがあります。解釈が容易なモデルには以下のような特徴があります。

- システムの物理的な理解から作られる少数の特徴
- 透明性の高い意思決定プロセス

解釈可能性は以下の必要を満たすことが期待されるアプリケーションにおいて重要です。

- モデルが政府の規格や業界標準に準拠していることを証明する必要
- 診断に寄与した要因を説明する必要
- 意思決定にバイアスがないことを示す必要

「我々はクリスマスの期間でさえも休むことなく機械を動かしていますが、MATLAB ベースの監視/予知保全ソフトウェアのおかげで、中断のない安定した運用が可能になっています。」

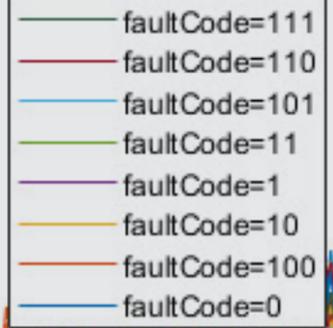
— Mondy, Michael Kohlert 博士

» [ユーザー事例を読む](#)



スタンドアロンの **MATLAB** アプリケーションを共有するか、**Web**、データベース、デスクトップおよびエンタープライズ アプリケーションの一部として **MATLAB** の解析を実行。カスタムのインフラストラクチャーを構築する必要はありません。

さらに詳しく



見る

[MATLAB/Simulink による予知保全 \(ビデオシリーズ\)](#)

読む

[実例に学ぶ予知保全向けデータ活用 \(ホワイトペーパー\)](#)

[予知保全で直面しやすい 4 つの課題とその対処法 \(ホワイトペーパー\)](#)

[予知保全・異常検知を可能にする特徴量 \(ホワイトペーパー\)](#)

その他

[MATLAB による予知保全 \(コード例\)](#)

[Predictive Maintenance Toolbox \(製品ページ\)](#)

[予知保全向け MATLAB 無料評価版のダウンロード](#)