

デジタルツインを活用した 装置診断技術

Digital Twin Approach to Diagnostics in Equipment Maintenance

金木佑介*
Yusuke Kaneki
菊澤隆司*
Takashi Kikuzawa
吉村仁美*
Hitomi Yoshimura

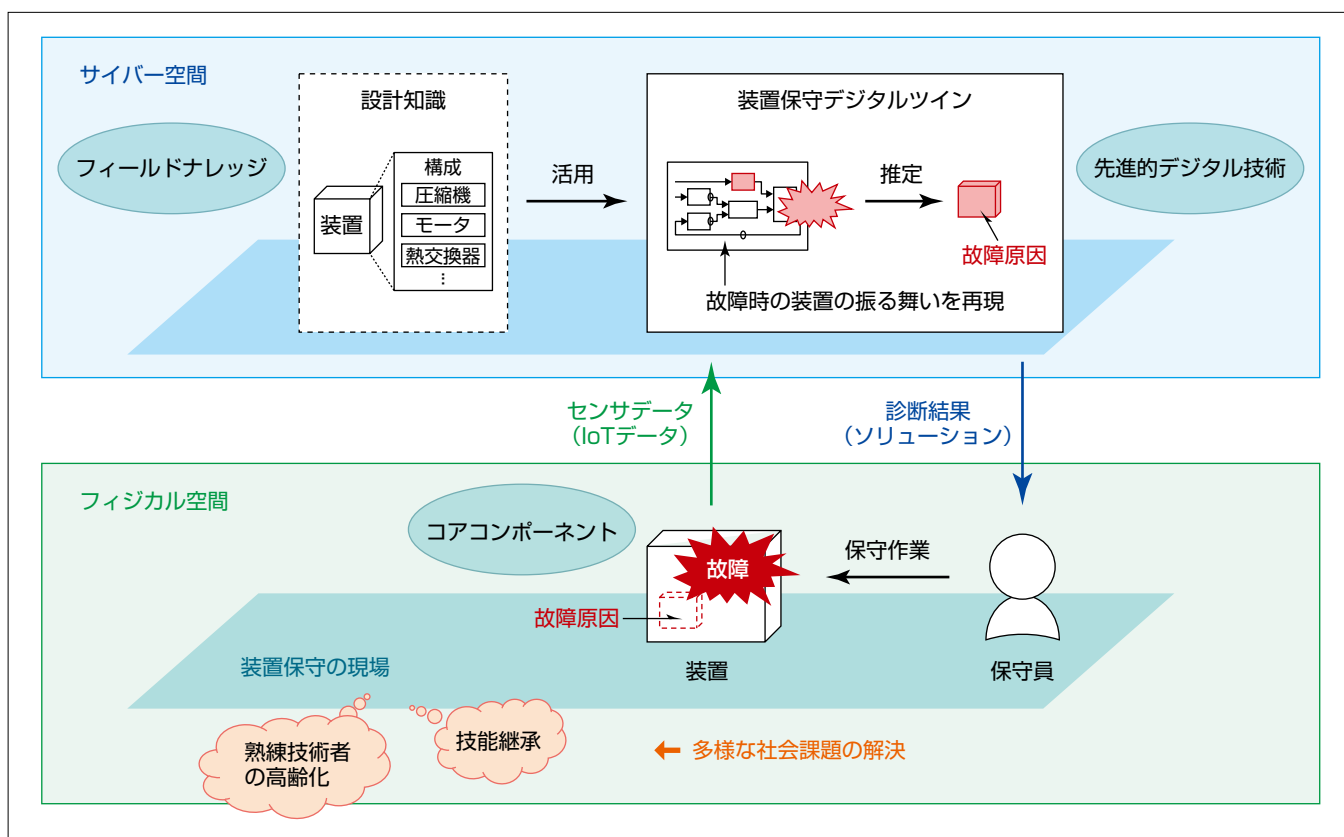
三宅信之*
Nobuyuki Miyake
大谷順司*
Junji Otani

要 旨

多様化する社会課題の解決を目指して、三菱電機の強いコアコンポーネントに、設計知識や運用ノウハウなどの豊富なフィールドナレッジと、IoT(Internet of Things)やAI、デジタルツインなどの先進的デジタル技術を掛け合わせた、統合ソリューションの提供を進めている。

近年、少子高齢化や生産年齢人口の減少といった社会課題が製造業界へ大きな影響を与えている。特に、装置の故障原因を調査するような保守業務では、高度な技術と経験やノウハウが要求される一方で、熟練技術者の勘や経験といった暗黙知に大きく依存しており、熟練者の高齢化とそれに伴う若手への技能継承が大きな課題になっている。

そこで、デジタルツインを活用した装置診断技術を開発した。この技術は、当社が持つ装置の設計知識を活用して故障時の装置の振る舞いをデジタルツインで再現し、故障原因と振る舞いとの関係をモデル化する。そして、実際に故障した装置の振る舞いをセンサデータとして取得し、モデルと比較することで故障原因を推定する。また、この技術を適用し、装置から故障時のセンサデータをクラウドへ収集し、保守員へ故障原因と対処法を提示するプロトタイプシステムを構築した。この技術によって、熟練者のノウハウを形式知化し、診断業務の均質化と効率化を実現するとともに、技能継承といった社会課題の解決に貢献する。



デジタルツインを活用した装置診断技術

当社が持つフィールドナレッジ(装置の設計知識)を活用して、故障時の装置の振る舞いをデジタルツインで再現し、故障原因と振る舞いとの関係をモデル化する。故障時の装置のセンサデータとモデルから故障原因を推定し、保守員へ診断結果として提供する。保守員が診断結果を見ながら保守作業を行うことで、作業の均質化と効率化を実現する。それによって、熟練技術者の高齢化やそれに伴う技能継承といった社会課題解決に貢献する。

1. ま え が き

当社は、多様化する社会課題の解決に向けて、100年培ってきた経営基盤の強化と事業モデルの変革によって、グループ内外の力を結集した統合ソリューションの提供を進めている。当社の強いコンポーネントに、豊富なフィールドナレッジと先進的デジタル技術を掛け合わせることで価値を創出し、活力とゆとりのある社会の実現を目指す。

本稿では、統合ソリューションを支える技術開発の事例として、デジタルツインを活用した装置診断技術について述べる。この技術は、当社が持つ装置の設計知識や運用ノウハウなどのフィールドナレッジをIoTとデジタルツインで形式知化し、装置保守業務での故障原因の診断作業の均質化と効率化を実現する。それによって、顧客のダウンタイムを削減し、そして、少子高齢化や生産年齢人口の減少といった社会課題の解決に貢献する。

2. 製造業を取り巻く社会課題

総務省の情報通信白書⁽¹⁾によれば、日本は、少子高齢化によって生産年齢人口が減少することが推計されている。総人口に対する生産年齢人口の割合は、2020年の59.1%から2040年には53.9%に減少すると言われており、日本の経済や社会に大きな影響を与える社会課題になっている。また、国際連合経済社会局の世界人口推計を見ると、世界的にも生産年齢人口は減少傾向にあり、欧州や北米、東・東南アジア地域で日本と同様の課題を抱えることになる。

このような中、製造業界でも人材不足と高齢化が大きな影響を与えている。特に、装置の点検や故障した装置の診断、修理を行う保守業務では、高度な技術と知識が必要とされる一方、熟練技術者の暗黙的な勘や経験に大きく依存しており、熟練技術者の高齢化に伴う若手技術者への技能継承が深刻な問題になっている。

3. 装置保守現場の課題

装置保守の現場では、装置の故障が発生した後に保守員が現場へ向かって、装置で発生している外部や内部の現象をセンサデータなどを見ながら診断し、故障原因を特定する。診断作業は、サービスマニュアルなどを用いて行うが、顧客ごとの設置環境や装置の状態なども考慮して行われることから、保守員の設計知識や経験、勘が作業品質に大きく影響する。そのため、保守員の教育や技術伝承を強化しているものの、グローバルでのサービス展開を考えると、距離や言葉、慣習などの違いも含めて様々な課題があ

る。今後、製造業の人材確保が難しくなってくる中で、さらにグローバル市場でも、均質な作業品質を保っていくためには、AIやIoT、デジタルツインなどの先進的デジタル技術を活用した新たな取組みが必要である。

4. 装置保守現場に対するデジタルツイン活用

デジタルツインは、文字どおり現実世界の双子をデジタル空間上に作る概念である。デジタルツインは、あらゆる業界で注目を集めているが、特にその効果を期待されている業界の一つが製造業である。昨今、IoT化が進んで、装置や製造ラインから収集したデータをクラウド上で分析し活用する取組みが発展してきた。このように装置からリアルタイムに収集した装置の状態を、装置の振る舞いを再現するモデルへ入力することで、デジタル空間上に現実世界とほぼ同様の装置とその状態を再現する。それを用いて装置保守業務の品質向上や作業効率改善、試作費用削減、アフターサービス向上などを図ることができる。例えば、装置保守業務では、装置や製造ラインに何らかの異常が発生した場合に、デジタル空間上にある装置や製造ラインの状態を分析して、リアルタイムに異常の原因を特定する。ここで、従来のデータ分析と異なるのは、装置の内部状態が再現されている点である。装置のデジタルツインでは、設計知識を用いて装置のモデルを作って、そこに現実世界の状態を反映している。そのため、異常がなぜ起きたのかを設計知識を用いて詳細に分析し説明できる。このように、装置のデジタルツインでは、装置の設計知識を用いてモデルを構築することが重要であり、モノづくり企業の強みを生かしたソリューションを構築できる。そこで、デジタルツインを装置保守現場へ適用する技術開発に取り組んでいる。

5. デジタルツインを活用した装置診断技術

5.1 装置診断技術の概要

装置保守現場の課題を解決するため、デジタルツインを活用した装置診断技術を開発した。装置診断技術は、故障時の装置から装置の状態を表すセンサデータを収集し、そのセンサデータから故障原因を推定する技術である。それによって、保守作業の品質を均質化するとともに作業自体の効率化を図る。センサデータとは、装置の内外に取り付けられたセンサが取得する値であり、装置の制御や保守などのために利用される。例えば、センサデータには、温度や電流値、振動、圧力など、装置によって様々なものがある。この技術では、特に装置の外から取得できるセンサデータを用いて故障原因を推定する。

この技術は、装置状態モデルと装置診断機能で構成する(図1)。装置の故障状態をデジタルツインで再現した装置状態モデルと実際のセンサデータを用いて、装置診断機能が故障の原因候補とその可能性を算出する。保守員は、装置診断機能が算出した原因候補を受け取って、可能性の高い原因から装置の保守サービスを開始する。これによって、装置診断機能が設計知識に基づいて診断を補助し、保守員の作業品質を均質化する。さらに、実環境にある装置のセンサデータをクラウドで常に収集し蓄積することで、故障発生時にクラウド上のデータを用いて瞬時に診断を行うことができる。保守員が現場に駆け付けたときには、既に診断結果が出ており、それを手元のパソコンやタブレットで参照しながら、速やかに診断作業を行うことができる。

5.2 装置状態モデル

装置状態モデルは、故障原因とその故障が発生しているときの装置の振る舞いを表すセンサデータとの関係を保持したモデルである(図2)。物理量伝搬モデル、センサ値相関モデル、状態分析モデルの三つのモデルから構成される。

物理量伝搬モデルは、装置を動かすエネルギーなどの物理量が機器の構成要素間を伝搬する様子を計算式で表すものである。このモデルを使って、装置の正常時と故障発生時の装置の振る舞いをシミュレーションし、その際に装置

のセンサデータがどのように振る舞うのかを取得する。

センサ値相関モデルは、物理量伝搬モデルによるシミュレーションから得られたセンサデータの振る舞い、つまり値が変化するパターンと故障との関係を保持したものである。ある故障が発生したときに、その故障を特徴付けるセンサデータの値がどのようなパターンを見せるのか、そういった知識を形式知化するモデルである。

状態分析モデルは、装置に故障が生じた際に現れる症状やエラーコードと故障の関係を表すものである。あるエラーコードが発生した場合に、どのような故障原因が考えられるか、その知識を形式知化するモデルである。

5.3 装置診断機能

装置診断機能は、装置状態モデルと装置のセンサデータから故障原因を推定する仕組みである(図3)。この機能は、故障した装置から取得したエラーコードと故障前後のセンサデータを入力して、誤診断抑制機能とセンサ値パターン判定機能によって故障原因を推定する。

誤診断抑制機能は、故障時のエラーコードと装置状態モデルに含まれる状態分析モデルを用いて、エラーコードの発生原因になり得る故障原因を幾つか特定する。例えば、エラーコードがE001の場合、故障A、故障Cを故障原因の候補として抽出し、センサ値パターン判定機能に渡す。このように、誤診断抑制機能は、状態分析モデルを用いて、エラーコードから故障原因を絞り込むことで、センサ値パターン判定機能の精度を向上させる。一方で、故障の状況によっては、エラーコードが発生しない場合も存在する。その場合は、誤診断抑制機能は動作せず、センサ値パターン判定機能だけで推定する。

センサ値パターン判定機能は、誤診断抑制機能から渡された故障原因候補とセンサデータを入力してセンサ値相関

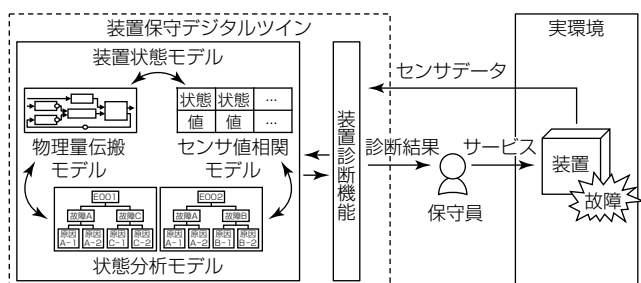


図1. 装置診断技術の概要

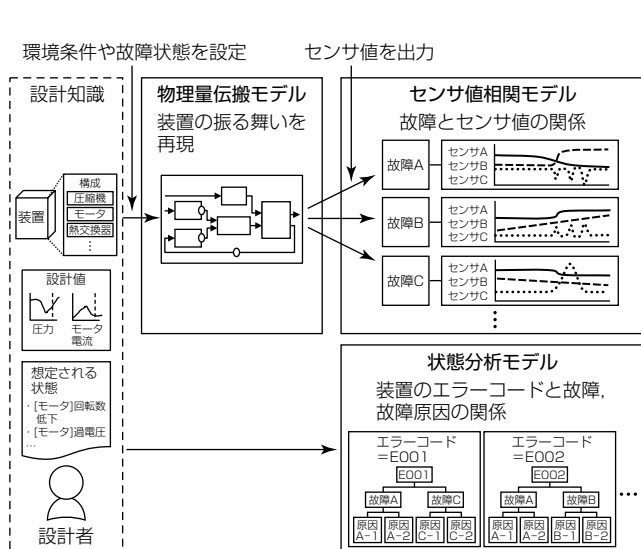


図2. 装置状態モデルの仕組み

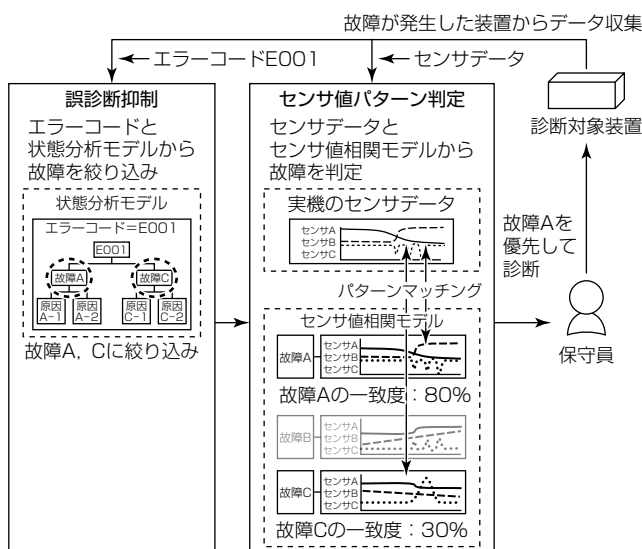


図3. 装置診断機能の仕組み

モデルから故障原因を推定する。故障原因候補に基づいてセンサ値相関モデルから故障原因候補ごとに故障時のセンサデータのパターンを取得する。センサ値相関モデルから得たパターンと故障した装置のセンサデータのパターンを比較し類似度を算出する。類似度の高い故障原因から調査することで、診断作業を効率化する。

6. 装置診断プロトタイプシステム

6.1 装置診断プロトタイプシステムの概要

このシステムは、装置からセンサデータをクラウドへ収集し、保守員へ故障原因と対処法を提示するクラウドベースのプロトタイプシステムである。

6.2 クラウドの構成

このシステムは、モデル管理基盤、サービス提供基盤、データ収集基盤で構成する(図4)。それぞれの基盤は別のクラウドシステムとして構築し、グローバル展開を意識して国をまたいで配置されることを前提に設計している。モデル管理基盤は、装置状態モデルを管理するクラウドシステムである。サービス提供基盤は、保守員へ装置診断機能を提供するクラウドシステムである。データ収集基盤は、実際に稼働する装置からセンサデータを常時収集し蓄積するクラウドシステムである。データ収集基盤とサービス提供基盤を分離することで、サービス提供基盤が既存のデータレイクや新規のデータ収集基盤と容易に接続できるようにしている。モデル管理基盤はモデルを作成する日本に配置し、モデルへのアクセス制限や各国への輸出管理などの制御を可能にする。サービス提供基盤とデータ収集基盤は、GDPR(General Data Protection Regulation)など各国のデータ保護法の中で整備されつつあるデータの越境規制を考慮し、サービス提供国に配置する。

6.3 クラウドサービスの構成

このシステムは、AWS^(注1)上のクラウドサービスとして構築した(図5)。モデル管理基盤、サービス提供基盤、データ収集基盤をそれぞれVPC(Virtual Private Cloud)で構成し、各基盤の間はAPI(Application Programming Interface) Gatewayを置き分離した。装置診断機能や診

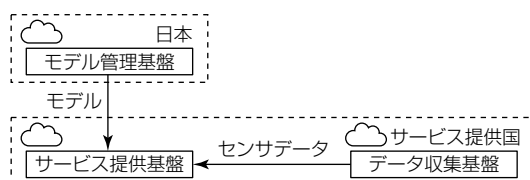


図4. クラウドの構成

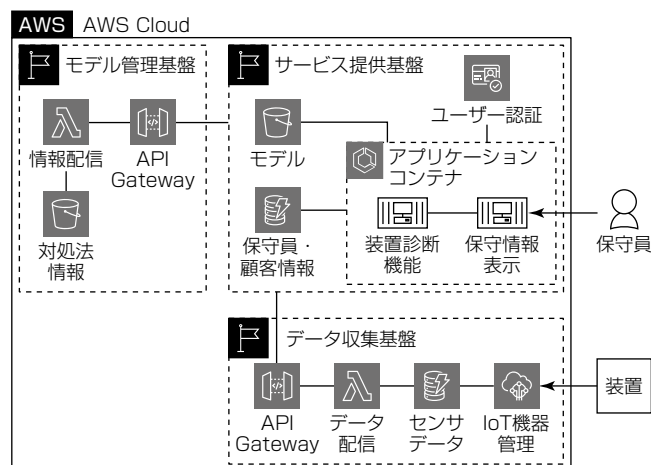


図5. クラウドサービスの構成

断結果を保守員に表示する保守情報表示機能は、アプリケーションコンテナとして構成し、サービス提供国に応じて容易に移行できる構成にした。保守情報表示機能は、保守員手元のパソコンやタブレットなど様々な端末からアクセスできるようブラウザベースのアプリケーションにした。

(注1) AWSは、Amazon Technologies, Inc.の登録商標である。

6.4 プロトタイプシステムの構築

情報技術総合研究所内の当社製装置を対象にプロトタイプシステムを構築した。対象装置からセンサデータを取得し、AWSへ定期的にデータを蓄積した。装置に故障を発生させる仕組みを取り付けて、特定の故障を発生させて装置診断を行ったところ、実際のセンサデータとセンサ値相関モデルのパターンから故障原因を推定できることを確認した。

7. む す び

統合ソリューションを支える技術開発の事例として、デジタルツインを活用した装置診断技術について述べた。この技術は、装置の設計知識や故障診断のノウハウといったフィールドナレッジを装置状態モデルとして形式知化し、故障時の装置の振る舞いをデジタルツインで再現する。そして、IoTで装置から故障時のセンサデータを収集し、装置状態モデルとセンサデータから故障原因を推定する。フィールドナレッジを形式知化する取組みであり、熟練者の高齢化に伴う技能継承といった業界や社会の課題解決にも貢献できると考えている。

今後も、当社の強みを生かした統合ソリューションを実現するための技術開発を進めて、活力とゆとりのある社会の実現を目指す。

参 考 文 献

- (1) 総務省：情報通信白書令和3年版(2021)
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/index.html>