

拡張現実を用いた保守支援技術

Maintenance Support Utilizing Augmented Reality

城戸 武志 KIDO, Takeshi

大秋 大輔 OAKI, Daisuke

近年、アフターサービスの分野では、保守・メンテナンス業務の効率化と技能伝承が重要課題となっている。富士電機では、この課題を解決するために、拡張現実（AR）を用いた保守支援技術を開発した。本技術は、作業内容を簡潔明瞭にするために、現場で蓄積したノウハウを形式知化し、作業内容を表す CG を設備に重ねて表示する重畳伝達機能を持つ。また、複数の人が作業状態を共有する空間共有機能、遠隔地から現場に対してリモートで作業を支援する機能などを持つ。保守支援技術を適用することで、顧客の業務を効率化し、製品を安心して使用できるサービスを提供する。

Today's after-sales service field has been faced with the challenge of improving the efficiency and transferring the skills for maintenance operations. To address this challenge, Fuji Electric has developed a maintenance support technology that utilizes augmented reality (AR). This technology includes a superimposed communication function that displays the computer graphics for work instructions onto the target equipment by converting accumulated expertise in the field to explicit form to present work instructions concisely and clearly. It also has a spatial sharing function that allows multiple people to share work statuses and a remote support function for on-site workers. We will provide maintenance support services that allow customers to streamline their operations and reliably use our products.

1 まえがき

日本の産業界、特に製造業では設備投資の抑制傾向が続き、工場設備の老朽化が進んでいる。そのため設備の保守・メンテナンス業務の重要性が増している。保守・メンテナンスの現場では生産年齢人口の減少による働き手不足や、熟練作業者の高齢化と退職に伴う技術力低下が進んでおり、作業負荷が高まり続けている。

このような中、工場の安定操業や製品の品質維持を実現するためには、次に示すことが大きなポイントであり、保守・メンテナンス業務の効率化と現場作業者の技能伝承が重要課題となっている。

- 既存設備を可能な限り長期間使用する。
- 既存設備の保守・メンテナンス業務を、可能な限り人手をかけずにを行う。

富士電機では、これらの課題を解決するために、保守・メンテナンス業務の DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）、すなわちデジタル技術の適用による業務革新を狙い、現場作業を効率化するための保守支援技術を開発した。特に、現場作業者に対し、作業に必要なノウハウあるいは作業手順といった情報をリアルタイムで通知するための実現手段として、拡張現実（AR：Augmented Reality）を適用した。

本稿では、拡張現実の概要に加え、富士電機の保守支援技術の特徴と適用例について述べる。

2 拡張現実の概要と産業利用

拡張現実とは、人が知覚する現実世界をコンピュータにより拡張する技術と定義される。2016 年に登場し大ヒットしたモバイルゲーム“Pokémon GO”^(注) に用いられたこ

とで、拡張現実は広く知られるようになった。スマートフォンやタブレットの画面上に、そのカメラで撮影した現実の風景と、CG（Computer Graphics）の物体を合成して表示することで、その物体があたかもその場に存在するかのように見えるものである（図1）。

近年は、HMD（Head Mounted Display）、つまり頭に装着するゴーグルタイプの端末を活用した技術が向上している。特に、ホログラフィなどの映像技術を用いることで、CG を立体的に表示することが可能となった。この進歩により、エンターテインメント業界に加え、医療や建設業、製造業などの産業で利用が加速している。

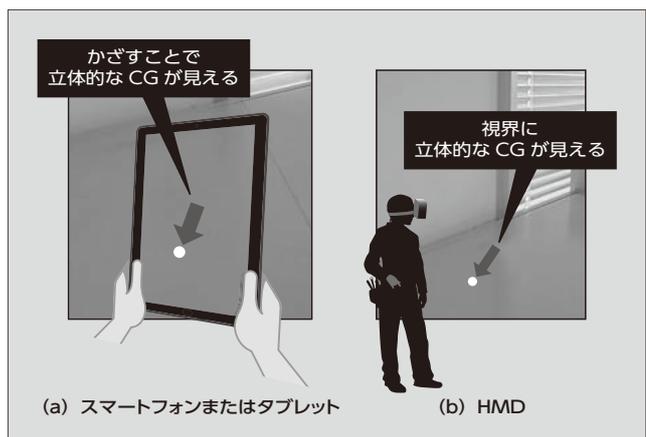


図1 拡張現実の見える方

〈注〉 Pokémon：任天堂株式会社・株式会社クリーチャーズ・株式会社ゲームフリークの商標または登録商標

3 富士電機の保守支援技術の特徴

保守・メンテナンス業務は、日常的な設備点検や消耗部品交換などの定期点検、故障・トラブル対応など、作業内容により実施頻度と難易度が大きく異なる。特に、定期点検や故障・トラブル対応は専門知識を要することが多いため、熟練作業者に作業負荷が集中しやすい。

そこで本技術では、非熟練作業者であってもさまざまな保守・メンテナンス業務を行うことができるようにするため、作業現場や作業内容に合わせて、適切なコンテンツ（作業手順、ノウハウなど）を現場で使用する端末に表示できるようにした（図2）。この端末には、作業者が作業中に両手を自由に使えるようにするために、HMDを採用している。

本技術の特徴は、保守・メンテナンス業務の対象機器や設置環境、作業プロセスを考慮したことであり、これにより、非熟練作業者でも効率的に作業できるようにしている。例えば、作業内容を分かりやすく作業者に伝えることで、短時間で正確に作業を進めることができるようにする。富士電機では、本技術への要求を整理し、拡張現実およびHMDの基本機能の活用や、付加機能の開発によってシステムを実現した。本技術への要求とそれに対応して開発し

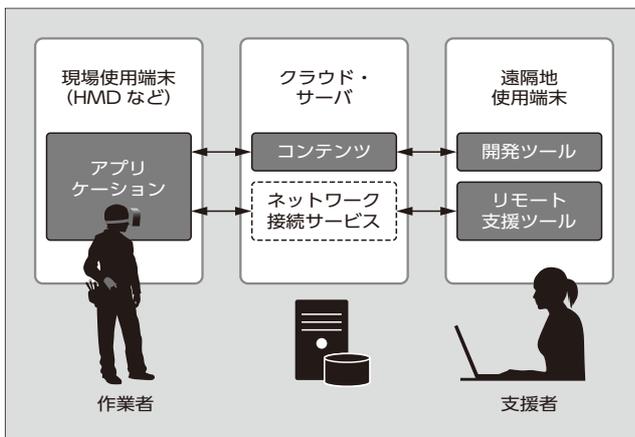


図2 システム構成

た機能を表1に示す。また、各機能の内容を次に述べる。

3.1 重畳伝達機能（基本機能）

作業者が円滑に作業を進められるように、対象設備の該当箇所に作業箇所および作業手順を図式化したCGを、正確に重畳（重ねて表示）する重畳伝達機能を開発した。このCGはHMDの向きが変わっても、設備の該当箇所に重畳し続けることができ、作業者が行うべき“押す、引く、回す”などの身体動作をアニメーション（動画）で表示することもできる（図3）。

表示するコンテンツを適切かつ正確に重畳するためには、対象となる設備を特定して表示内容を決定し、さらに設備の形状を把握して重畳する位置を調整しなければならない。特に現場では、制御盤のように似た外観の設備が並ぶことが多く、外観だけでは特定がしにくい。そこで設備ごとに異なる形状・模様が印刷されたマーカシールを貼り付け、それを認識することで対象設備を特定し、HMDの汎用フレームワークが持つ三次元空間認識機能を組み合わせることで、重畳する位置を調整できるようにした。

3.2 非接触操作機能（基本機能）

表示するコンテンツは、HMDの物理的なスイッチ操作で、容易に切り替えることができる。しかし、HMDは水や油などの汚れに弱く、作業によって汚れた手で操作する



図3 身体動作の重畳イメージ

表1 開発した機能

要求内容	要求に対応した機能		
	種類	名称	概要
作業内容を簡潔明瞭・直感的に表示できること	基本機能	重畳伝達機能	作業内容を表すCGを、正確に設備に重畳（重ねて表示）する
HMDは装着時を除き手で触らず、操作できること		非接触操作機能	作業者のジェスチャーを検知し、HMDを非接触で操作する
作業状態を可視化し、複数の人と共有できること	付加機能	空間共有機能	作業状態を仮想空間上の作業現場に保存・復元し、複数の人が情報を共有する
設備の稼働データを活用できること		IoTモニタリング機能	設備の稼働状態を、ネットワークを介して取得し、拡張現実で表示する
遠隔地からリモートで作業を支援できること		リモート接続機能	現場と遠隔地をネットワークで接続し、遠隔地からリモートで作業を支援する
ネットワークに接続できなくても、作業を現場で完結できること		スタンドアロン実行機能	HMDの外部にあるサーバに常時接続することなく、HMD単体でアプリケーションを実行する

と故障する恐れがある。また、HMD の操作のために手を洗ったり、グローブを外したりすることは、作業効率の低下に繋がる。そこで、HMD に直接触れずに操作する非接触操作機能を開発した。

非接触での操作には、音声認識技術が広く用いられている。しかし、保守・メンテナンス業務の現場では機械音などの大きな騒音がある場合が多く、十分な音声認識精度が得られない可能性がある。そこで HMD の汎用フレームワークが持つ三次元空間認識機能、特に手指状態を取得するセンシング機能を活用し、作業者の指先の動き、すなわちジェスチャーを検知することで HMD の物理的なスイッチ操作を代替するようにした。具体的にはスイッチなどを表す CG を重畳し、作業者がその CG を操作するジェスチャーを検知する。重畳する CG を増やすことで、さまざまな操作バリエーションを作ることができる。

3.3 空間共有機能 (付加機能)

点検時に発見した不具合を後で復旧する場合や、長時間に及ぶ作業において複数の作業者が交代しながら作業を進める場合、作業員間で現場の状況や作業の状況などの情報を引継ぐ必要がある。そこで、このような引継ぎに必要な情報を作業者が新たなコンテンツとしてその場で作成・重畳し、別の作業者が作成したコンテンツを確認する空間共有機能を開発した。

図 4 に示すように、ある作業者が作業の気付きや進捗などを本システムのコンテンツとして作成し、重畳する位置を定めて、クラウド・サーバ上に情報を蓄積する。次に別の作業者が本システムを通じて対象設備を確認する際、このコンテンツを合わせて確認することで、引継ぎ業務の効率化や、引継ぎに伴う作業の誤認と手戻りを防止することができる。

3.4 IoT モニタリング機能 (付加機能)

設備の稼働情報、例えば電圧・電流値、温度、異常ステータスなどは、設備に備わるメータや表示器などを目視で確認できる場合もあるが、さまざまな場所にあるため確認に手間がかかる。そこで、確認の手間を軽減するため、

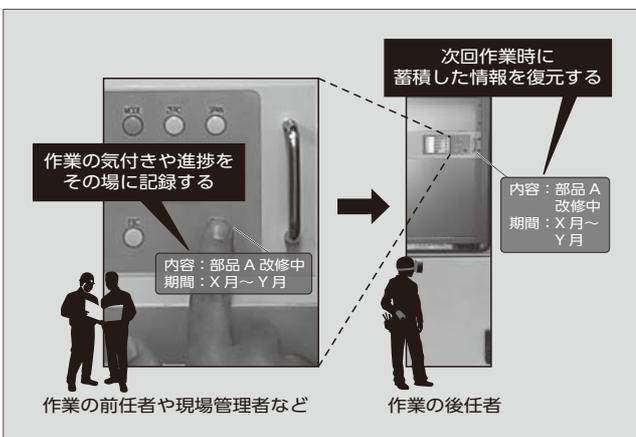


図 4 空間共有のイメージ

富士電機のエッジデバイスや IoT (Internet of Things) プラットフォームと組み合わせて、これらの情報を設備の該当箇所に一括してリアルタイムに表示する IoT モニタリング機能を開発した。

作業手順などの静的コンテンツは、あらかじめ作成し、用意することができる。一方、リアルタイムに変化する稼働情報などの動的コンテンツは、対象設備にエッジデバイスを接続してデータを適宜受信しながら表示する必要がある。そこで、エッジデバイスから直接データを受信するか、あるいは IoT プラットフォームを介してクラウド・サーバからデータを受信して表示するようにした。IoT プラットフォームを介する場合は、収集した稼働情報を、AI (Artificial Intelligence) などを用いて分析することができる。例えば、ある収集データが通常と異なる傾向を示した場合に、注意喚起を促すような CG を重畳することができる。

3.5 リモート接続機能 (付加機能)

保守・メンテナンス業務の中には、熟練作業員による作業や直接の支援・指導を必要とするものが少なくない。従来は熟練作業員が都度現場に出向いて作業していたが、最近ではビデオ通話機能や Web 会議システムを利用し、リモートで現場作業員に対して支援・指導を行うケースが増えている。リモートでの作業支援を効率化するために、拡張現実を活用したリモート接続機能を開発した。

リモートの作業支援では、支援者 (熟練作業員、オペレーターなど) が、現場で撮影した動画を確認しながら、現場作業員に対して口頭で指示を与える場合、“ここ” “そこ” “あれ” などのいわゆる “こそあど (指示語)” が伝わりにくい。特に、複雑な作業や不慣れた作業、または母国語が異なる作業員に対して指示する場合などはその傾向が顕著である。

そこで、図 2 に示すリモート支援ツールを用い、作業員が装着する HMD に、支援者が “こそあど” を表す矢印などの CG を重畳することで、熟練作業員が現場作業員に対して、作業箇所を直接指示できるようにした。

3.6 スタンドアロン実行機能 (付加機能)

作業現場のネットワークは不安定なことが多い。そのため図 2 に示すシステム構成において、現場の HMD がクラウド・サーバに接続できず、作業に必要な情報をリアルタイムに取得できない場合がある。

そこで、ネットワークに常時接続することなく、HMD 単体でアプリケーションを実行する機能を開発した。

クラウド・サーバにある現場作業に必要なコンテンツを、あらかじめ HMD にダウンロードできるようにするとともに、現場でコンテンツを作成した際は、作業終了後オンラインとなった際に、HMD とクラウド・サーバとでデータを同期するようにした。

4 拡張現実を用いた保守支援技術の適用例

(1) 現地試験における適用例

製品を現地に設置した際、そこで正しく動作することを確認する現地試験が必要となる。従来は熟練作業者が現場に出向いて現地試験を行っていた。しかし、新型コロナウイルス感染症の影響で、国内外の移動が制限されたため、富士電機では Web 会議システムを利用し、リモートで現場作業者に指示を出し現地試験を実施するようにしたが、次に示す問題があった。

- (a) 現場作業者は両手を使って作業するため、作業の様子を撮影し、映像を支援元へ送信するスタッフ（撮影者）が必要である。
- (b) 作業には作業者と熟練作業、撮影者の 3 名の連携が必要であり、十分な意思疎通に時間を要す。

これらに対し、保守支援技術を適用することで、現場作業員に対して、作業内容を直接かつ分かりやすく指示できるようにした。

図 5 に示すように、矢印などの付加情報を用いて、言語化しにくい作業指示を現場の空間や設備にリアルタイムに重畳し、可視化することで、熟練作業員と作業員との意思疎通を円滑に行うことができる。同時に、現場作業員は、HMD を装着すると作業指示を受けながら両手を使って作業ができるため、効率的に現場作業を行うことができる。

また、熟練作業員は支援者として現場に出向く必要がなくなり、熟練作業員の移動時間を別の現場の指導に割り当てることで、非熟練作業員の技能向上機会が拡大するので、現場の技能伝承を促進できる。

(2) 定期保守と突発業務における適用例

保守・メンテナンス業務の対象となる設備は、さまざまな条件の場所や環境に設置され、その運用もさまざまであるため、次に示すような問題があった。

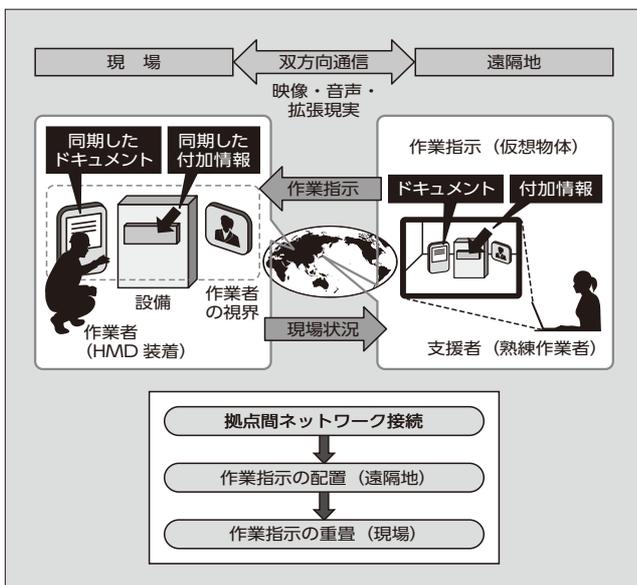


図 5 現地試験への適用例



図 6 定期保守と突発業務への適用例

- (a) 作業員が所定の期間で入れ替わる場合、作業の習熟と引継ぎが難しい。
- (b) へき地や国外の設備では、熟練作業員が容易に現場に出向くことができない、または移動に時間がかかり処置が遅れる。
- (c) 密閉空間や、遮蔽（しゃへい）物がある環境に設備が設置される場合には、ネットワークに安定して接続できない。

これらに対し、保守支援技術を適用することで、現場作業員が、外部の支援を受けることなく作業を完結できるようにした。

現場で蓄積された暗黙知である熟練作業員のノウハウを形式知化し、図 6 に示すように、作業内容を表す CG を設備に重畳することで、遠隔地に熟練作業員がいなくても現場作業を支援できる。定期保守の際は、マニュアルが電子化済みであるため、マニュアルを探す時間や理解する時間が削減でき、効率的に現場作業を行うことができる。さらに、作業員の習熟度が低くても、事前にマニュアルを用いたトレーニングが必要でないため、現場作業員の交代や引継ぎを容易に行うことができる。

また、突発業務の際は、現場の作業員が初期対応を行うことで、熟練作業員を現地に派遣する場合に比べ、設備の復旧時間を大幅に短縮できる。

5 あとがき

拡張現実を用いた保守支援技術について述べた。拡張現実を用いて、さまざまな現場の実空間と仮想空間を融合することで、富士電機の DX に貢献するとともに、お客さまの業務効率化と技能伝承の促進に資するサービスを提供することができる。

拡張現実技術の進歩が早く、民生分野だけでなく産業分野においても、応用範囲が広がっていくと考えられる。

富士電機は、今後とも、技術の進歩にいち早く対応し、お客さまに安心して製品を使用していただけよう、保守支援技術の拡充に取り組んでいく所存である。



城戸 武志

組込システムの研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部主査。



大秋 大輔

組込システムの研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部主任。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。