

モバイルARを用いた屋外通信設備の 巡視点検教育支援システムの検討

弓部良樹^{†1} 瀬川修^{†2} 山北誠^{†2}

概要: 近年、スマートフォンなどの携帯端末の普及に伴い、産業界ではスマートデバイス活用による業務効率化やノウハウ・技能継承のニーズが拡大している。また、高度なセンサ類を搭載したスマートデバイスの出現により、業務の実フィールドにおける拡張現実(AR)の適用が現実的なものとなってきた。これによって、インフラ設備の保守業務や教育研修の支援技術としてARの活用が期待されている。本研究では、電柱に装架された電力保安用通信設備の巡視点検教育を対象として、モバイルAR技術による学習支援機能を検討した。教育研修を効率化するARのメリットを活かした情報提示方法や、受講者の自律学習を支援する各種機能を提案し、プロトタイプによる評価結果を報告する。

キーワード: 拡張現実, AR, 巡視点検, 教育支援

A Study on A Training-assistance System using Mobile Augmented Reality for Outdoor-facility Inspection

YOSHIKI YUMBE^{†1} OSAMU SEGAWA^{†2}
MAKOTO YAMAKITA^{†2}

Abstract: Recently, demand has been growing for using smart devices, such as smartphones and tablets, to access various types of information during field work. Furthermore, with improving performance of such smart devices, “augmented reality” (AR) has been increasingly becoming a strong tool for supporting field work in various industrial segments. As for the inspection training, it is necessary to achieve efficient, effective, and autonomous learning by introducing a support system. To meet that need, AR is considered to be a useful tool for inspection training. In inspection training for pole-mounted communication facilities for electric-power supply operation, the realization of efficient, effective, and autonomous learning are desired. In consideration of these issues, AR technology was applied to the inspection training with the aim of realizing efficient, effective, and autonomous learning. A prototype training-assistance system using mobile AR technology was designed and developed, and its availability and practicability were evaluated at a real training site.

Keywords: Augmented reality, facility inspection, training assistance

1. はじめに

近年、スマートフォンなどの携帯端末の普及に伴い、産業界ではスマートデバイス活用による業務効率化やノウハウ・技能継承のニーズが拡大している。また、高度なセンサ類を搭載したスマートデバイスの出現により、業務の実フィールドにおいて拡張現実(Augmented Reality :AR)の適用が現実的なものとなってきた[5-10]。このような背景の下、インフラ設備の保守業務や教育研修の支援技術としてARの活用が期待されている。

電力分野においては、供給信頼度の確保と併せ、設備の維持管理の効率化が求められている。電力設備の保守業務では、定期的な巡視点検が行われているが、作業員の技能

継承と、保守作業の品質維持が重要な課題となっている。このため、電力会社では、保守作業員の育成を目的として若年層を対象とした教育研修を実施している。そのカリキュラムにおいては、教育研修の効率化と受講者の理解度向上を促進する自律学習の仕組みが求められている。

そこで本研究では、電柱に装架された電力保安用通信設備の巡視点検教育を対象として、モバイル端末で動作するAR技術を用いた学習支援機能を検討する。以下、本稿では教育研修を効率化するARのメリットを活かした情報提示方法や、受講者の自律学習を支援する各種機能を提案し、プロトタイプによる評価結果を報告する。

2. 研究の目的

本章では、屋外通信設備の巡視点検教育の概要と従来の教育現場における課題について述べる。そして、本研究の目的を明確化する。

^{†1} 株式会社日立製作所 研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センター

Global Center for Social Innovation – Tokyo, Research & Development Group, Hitachi, Ltd.

^{†2} 中部電力株式会社 エネルギー応用研究所
Chubu Electric Power, Co., Inc.

2.1 設備巡視点検教育における課題

電力会社では、電力保安用途の通信設備を保有している。管理対象設備は、電柱に装荷された通信線路や、クロージャ等の付属機器であり、当該設備の保守作業として、定期的な巡視点検が行われている。巡視点検では、設備の劣化や異常の有無、離隔距離が基準範囲内にあるかなどを目視によってチェックしている。設備状態を的確にチェックするためには、通信設備の種類、構成、構造、および正しい設備状態を正確に理解した上で、柱上に装架されている設備を見分け、正常な設備状態との比較から異常箇所を発見できるスキルを習得する必要がある。このように、設備の巡視点検には様々な知識や経験が必要であり、技能継承や保守作業品質を維持するための教育研修の重要性が高まっている。以下に巡視点検教育の目的を示す。

- (1) 対象設備に関する基礎知識（機器の種類、構成、構造等）を習得させる。
- (2) 通信設備の巡視点検方法を習得させる。具体的には各設備の正常/異常状態を理解させ、設備異常箇所を的確に発見できるようにする。

上記目的に沿って、教育現場では、少数の講師が巡視点検のノウハウを教示しているが常時マンツーマンの指導は困難な状況である。このため、教育研修の効率化と受講者の理解度向上が重要課題となっている。

2.2 本研究の目的

前述した課題の解決に向けては、受講者がある程度自律的に学習できる仕組みが必要であり、理解度を深めるための効果的な教育コンテンツが求められる。拡張現実(AR)は、スマートフォンなどのカメラで撮影中の画面に、現実には映っていないものを、あたかもそこにあるかのように位置合わせをしながらCGでリアルタイムに表示する技術であり、近年のスマートデバイスの性能向上に伴い、フィールド業務支援に関して、強力なツールになりつつある。このAR技術は、実業務だけでなく、教育研修に対しても効果的だと考えられる。そこで、本研究では、電柱に装架された電力保安用通信設備の巡視点検教育を対象として、モバイルAR技術による学習支援機能を検討する。そして、教育研修の効率化、受講者の理解度の向上、および自律学習の実現を目的として、ARのメリットを活かした情報提示方法や、受講者の自律学習を支援する各種機能を提案する。さらに、提案手法を実装したプロトタイプを用い、実際の研修施設で試行することで、開発システムの教育支援に対する有効性を評価する。

3. 機能要件の検討

本章では、まず従来の教育研修フローを定義し、そのフ

ローを支援するための機能要件を検討する。そして、モバイルARによる教育支援システムのコンセプトを提案する。

3.1 設備巡視点検の教育フロー

巡視点検の教育研修は、研修施設の模擬的な電柱および通信設備を用いて実施される。さらに、研修用にいくつかの異常箇所(樹木接触、離隔不足等)が予め設定されている。従来の教育研修のフローを図1に示す。受講者は、設備マップをもとに、対象の設備まで移動し、対象設備を確認する。そして、実際の設備とその関連情報(概要、種類、構成、構造等)を対応付けながら、設備についての理解を深める。さらに、受講者は、巡視点検のチェックリストや教育用マニュアルをもとに、予め設定してある異常箇所を探索する。異常箇所を発見した場合には、その異常に関する報告書を作成する。これらの手順を全ての対象について行い、最終的に講師によるフィードバックを受ける。以上により、巡視点検の基礎を学ぶカリキュラムとなっている。

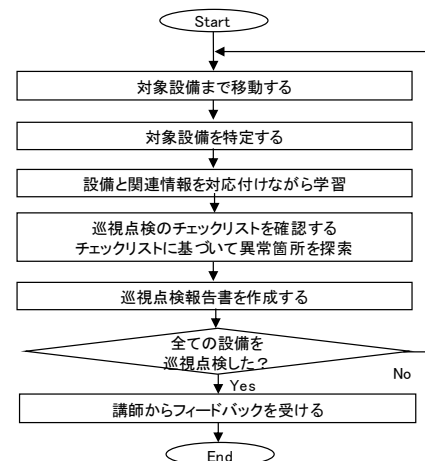


図1 巡視点検教育のフロー

Figure 1 Workflow of inspection training.

3.2 機能要件とシステムコンセプト

ここでは、図1に示した教育フローに対して、本研究で検討するモバイルARを用いた教育支援システムの機能要件を検討する。そして、前記機能要件に基づく、教育研修の効率化や受講者の自律学習を実現する3つの学習支援機能を提案する。

(1) 電柱ナビゲーション

受講者が自身の位置や周辺の設備を地図やARを用いて確認できる機能である。本機能は、受講者の対象設備の同定を支援する。

(2) ARによる設備情報の可視化

受講者がARによって、設備情報(概要、種類、構成、構造等)を参照できる機能である。本機能により、受講者は実際の設備とその関連情報を対応付けながら設備についての理解を深めることができる。

(3) 異常箇所探索

異常箇所の探索を AR によって支援する機能である。本機能では、単純に異常箇所の情報を受講者に提示するだけでなく、AR を活用することで、受講者の自律的な探索型学習を支援する。

4. モバイル AR による教育支援システム

本章では、モバイル AR による教育支援システムの概要を説明する。さらに、前述した AR による教育支援機能を実現するための、具体的な方法と効果的なユーザインタフェースを提案する。

4.1 電柱ナビゲーション

従来の研修では、受講者は対象設備を地図上で確認しながら、対象設備付近まで移動していた。そこで、受講者の対象設備の同定を支援する機能として、電柱ナビゲーションを検討する。本機能は受講者に、自身と周辺設備との相対的な距離、方角を提示する。電柱ナビゲーションの方式とユーザインタフェースを図 2 に示す。それぞれの電柱の設置位置(緯度、経度)はデータベースに管理されている。ユーザの位置は GPS から、ユーザの方角は加速度・地磁気センサから得られる。まず始めに、GPS 位置に基づいて、その周辺の設備データをデータベースから検索する。そして、GPS 位置と各設備との相対的な距離と方角を算出し、その結果に基づいて、図 2 に示すように、設備を表す AR タグがタブレットのスクリーン上にマッピングされる。スクリーンの中心がユーザの位置を表し、それぞれの AR タグが、ユーザの周辺設備との相対的な距離、方角を表している。相対距離は、それぞれの AR タグのサイズと色で表現される。これらの AR タグは、GPS 位置、ユーザの向く方角が変わるたびに再描画される。本機能によって、ユーザは自分の周辺にどのような設備があるのかを直感的に把握でき、対象設備の同定が容易になる。

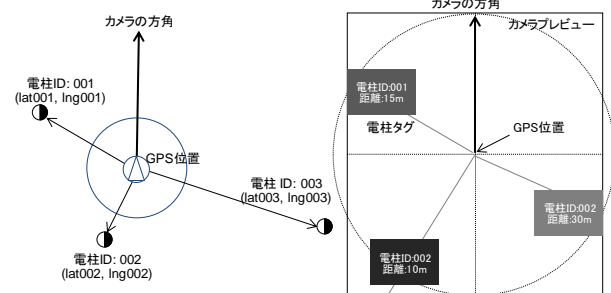


図 2 電柱ナビゲーション機能とユーザインタフェース
 Figure 2 Summary of pole navigation.

4.2 AR による設備情報の可視化

本機能では、受講者が AR によって、設備情報(概要、種類、構成、構造等)を参照できる。設備情報の可視化機能の概要とユーザインタフェースデザインを図 3 に示す。また設備の種類に応じた AR コンテンツの検討結果を表 1 に示

す。AR による表示位置は、タブレットのカメラの動きに応じて常に変化するため、AR は詳細な情報の提示には向かない。そこで、図 3 に示すように、AR で表示するのは、各機器の ID や名称のみとし、AR は対象機器の設置位置を指し示すために用いることとする。ユーザが AR の吹き出しをタップすると、表 1 に示す機器の詳細情報がスクリーンの右側に表示される。本機能によって、受講者は実際の設備とその関連情報を対応付けながら設備についての理解を深めることができる。

表 1 設備の種類に応じた AR コンテンツの検討
 Table 1 AR contents for each facility type.

No.	種類	ARコンテンツ	詳細情報
1	電柱	・電柱ID	・設置年月日 ・製造メーカー ・保守履歴 等
2	装柱	・装柱ボタン名	・装柱ボタンの説明図
3	クロージャ	・クロージャID	・仕様、種類 ・保守履歴 等
4	吊線	・通信線路名	・仕様 ・ハンガー工法の説明図 ・保守履歴等
5	通信線路		

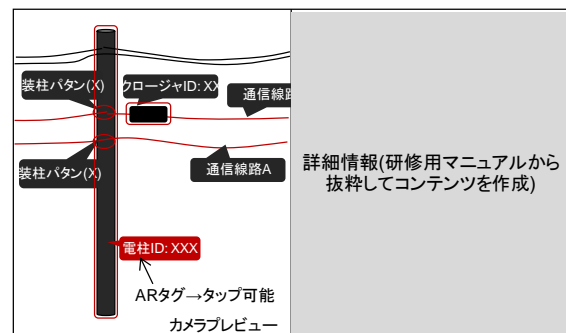


図 3 設備情報の可視化機能とユーザインタフェース
 Figure 3 Visualization of facility attributes and user interface.

上述した AR による設備情報の可視化を実現するためには、正確な AR 表示とトラッキングの技術が必要となる。一般に、AR 技術はビジョンベース方式とロケーションベース方式に分類される。前者の方式は画像認識によって撮影対象物が何であるかを判断し、それに応じた情報を表示する方式である。ビジョンベース方式にも、マーカ型とマーカレス型があり、マーカ型は例えば 2 次元バーコードのようなマーカを対象物に貼付し、それを認識することで対象物を判断し、表示の位置合わせを行う。この方式は、マーカを予めセットしておく必要があるため、電柱に架設されている電力保安用通信設備のように、対象数が膨大である場合には現実的ではない。一方マーカレス型は、撮影画像から対象物を直接認識する方式である。これに対し、ロケーションベース方式は、端末に搭載されている GPS から取得できる位置と、地磁気センサと加速度センサから算出できる方角、端末の傾きに基づいて、オブジェクトをスクリーンに描画する。この方法は演算量が少ないが、実際に

は GPS やセンサから得られる値は誤差を含んでおり、正確な重畳表示ができない。特に本研究の対象設備である柱上通信機器に適用する場合、数多くの設備が密集して設置されているため、正確な情報を提示することが困難である。

以上の課題に対して、弓部らは、位置情報誤差にロバストな対象設備特定方法を提案している[1]。本手法は、ロケーションベース方式を高精度化したものであり、具体的には、タブレット端末に搭載されているカメラで対象設備を撮影すると、そのときの GPS から取得した位置情報、加速度センサ値や地磁気センサ値から算出した撮影方角と撮影距離を組合せて用いることで、それらが含む誤差に影響されずに対象物を特定することができる。

上記で説明したロバスト対象物特定方法によって、対象設備は特定され、AR オブジェクトの初期位置合わせが行われる。そして、AR オブジェクトは正確に対象設備に重畳表示される。初期位置合わせ後は、AR オブジェクトはカメラの動きに合わせて対象設備をトラッキングし続ける必要がある。この課題に対し、本研究では「ハイブリッドトラッキング」を提案する。本手法では、タブレット端末の姿勢角とカメラ画像からのライン認識結果を組合せることで、正確なトラッキングを実現する(図 4)。まず始めに、図 3(a)に示すように、初期位置合わせ後は、AR オブジェクトは端末の姿勢角(yaw, pitch, roll)のみを用いて対象設備をトラッキングする(センサベーストラッキング)。それと並行して、カメラから取得した画像に対してライン認識を行う。ライン認識は、確率的ハフ変換で検出した線分に対して、線分クラスタリングを行うことで、ある程度まとまった線分を出力する(図 4(b))。このライン認識の目的は、通信線路に対応する水平線オブジェクトと、電柱に対応する垂直線オブジェクトを検出することである。しかし、屋外での使用を想定すると、照明条件や背景物体などの要因により、常に正確なラインオブジェクトを認識できるとは限らない。従って、図 4(c)に示すように、数多く検出されるラインオブジェクトの絞込みを行う。具体的には、センサベーストラッキングで表示されている電柱、通信線路に対応する AR オブジェクト(図 4(a))の描画位置付近に存在し、同様な位置関係にあるライン認識オブジェクトを抽出する。センサベーストラッキングで表示されている AR オブジェクトと、抽出されたライン認識オブジェクトを用いて、センサベーストラッキング補正量を算出する。水平方向のトラッキング補正量は、電柱に対応する AR オブジェクトと、2本の垂直方向ラインオブジェクトを用いて計算される(図 4(d))。そして、垂直方向のトラッキング補正量は、通信線路に対応する AR オブジェクトと、それと同数の水平方向ライン認識オブジェクトを用いて計算される(図 4(e))。これら補正量の算出は、図 4(c)に示すライン認識結果の絞込みによって、条件に該当するライン認識オブジェクトが抽出された場合のみ実行される。このように算出された垂直

方向、水平方向のトラッキング補正量を用いて、センサベーストラッキングの AR オブジェクトの描画位置を平行移動させる。これらの処理は、ロバスト対象物特定による初期位置合わせが終わった後に開始され、トラッキングの間、繰り返される。実際にシステムを使用する際には、電柱や通信線路を表す矩形・ラインオブジェクトは表示されず、これらの全ての処理はバックグラウンドで実施される。

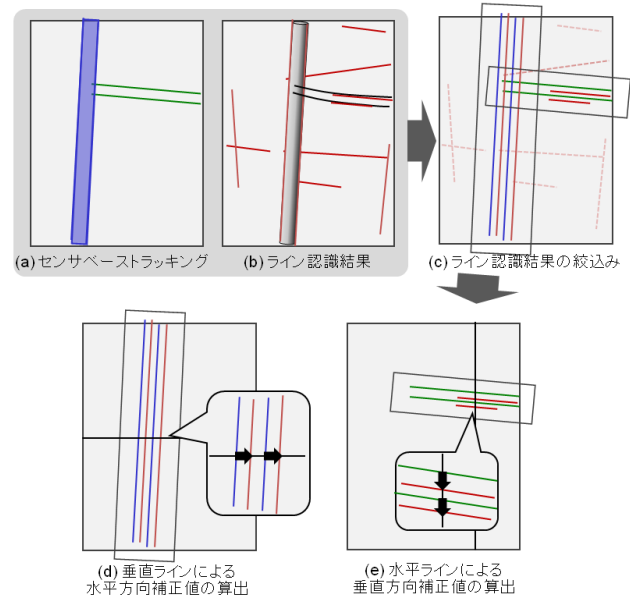


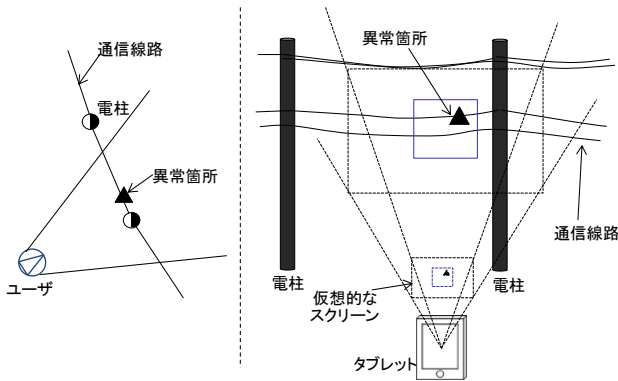
図 4 ハイブリッドトラッキング方式の概要
 Figure 4 Summary of hybrid tracking method.

4.3 異常箇所探索

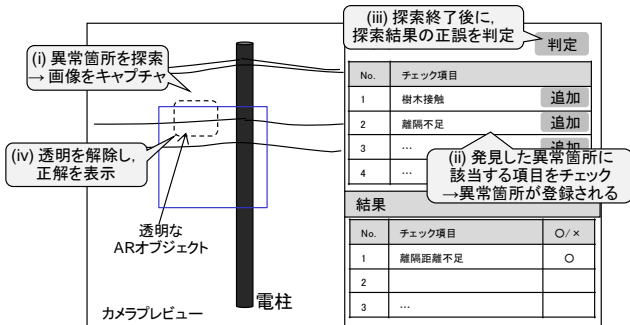
前述のとおり、教育研修では、巡視点検の基本スキルを習得するために「異常箇所探索」のカリキュラムが用意されている。この課程においては、研修用の模擬電柱と通信設備にいくつかの異常箇所(樹木接触、離隔不足等)が予め設定されている。受講者は、これらの異常箇所を探索することで、巡視点検の基礎知識を学ぶ。本研究で開発する教育支援システムは、単に異常箇所の情報を受講者に提示するだけでなく、AR を活用することで、受講者の自律的な探索型学習のサポートを目指す。そこで、図 5 に示す自律的な学習を支援する異常箇所探索機能を提案する。以下、提案方式の詳細について述べる。

まず、予め設置されている異常箇所に関して、それぞれの設置位置(緯度、経度、地上高)が既にデータベースに管理されている。図 5 では、この設置位置情報をもとに、異常箇所を表す透明な AR オブジェクトが空間に配置されている。前述したハイブリッドトラッキングで得られたトラッキング補正量は、異常箇所の AR オブジェクトの補正にも用いられる。ユーザは、設備に異常箇所が無いかを探索し、異常箇所を発見した場合には、図 5(b)に示すように、異常箇所部分を青い枠の内側に含むように撮影画面をキャプチャする。画面をキャプチャした後、右画面のチェック

項目の中から発見した異常箇所該当する項目を選択する。そして、追加ボタンを押下することで、キャプチャ画面とチェック項目が関連付けられ、探索結果が登録される。異常箇所の探索が終わったら、判定ボタンを押下すると、事前に登録されている異常箇所データとユーザによる登録結果(異常箇所の位置と種類)を比較することで、登録結果の正誤を判定する。判定結果は、ユーザに画面を通じて通知され、最終的には、透明で表示されていた異常箇所 AR オブジェクトの不可視状態を解除し、ユーザに正解情報を提示する。以上のように、本機能はただ異常箇所の情報を提示するだけでなく、ユーザは本機能を用いることで、自分自身で考えながら、自立的に異常箇所の探索方法を学ぶことができる。



(a) 異常箇所探索の概要



(b) ユーザインタフェースデザイン。

図 5 異常箇所探索機能の概要

Figure 5 Summary of facility defect search.

5. システム実装

提案した教育支援の各方式に基づいて、モバイル AR による教育支援システムのプロトタイプを実装した。プロトタイプシステムは汎用的な Android4.4 の 7inch タブレット上に実装した。本システムの動作例を図 6~図 9 に示す。図 6 は、電柱ナビゲーション機能の動作例であり、スクリーンの中心がユーザの位置を表し、それぞれの AR タグが、ユーザの周辺設備との相対的な距離、方角を表している。タグが大きく赤色に近いほど設備との距離が近い。スクリーン右側には地図上に設備位置が表示されている。



図 6 電柱ナビゲーション機能の動作例

Figure 6 Example of pole navigation.

AR による設備情報の可視化機能の動作例を図 7 に示す。AR は設備位置を指し示すために用い、設備 ID や名称が AR の吹出しによって重量表示されている。図 7(a)には電柱 ID が AR によって表示されており、ユーザが AR の吹出しをタップすると、この電柱の詳細情報がスクリーン右側に表示される。図 7(b)には装柱パタン、クロージャ、そして通信線路の設備位置を AR の吹出しによって指し示している。AR オブジェクトは前述したロボスト対象物特定方法とハイブリッドトラッキングによって、正確に表示されている。



(a) 電柱の AR 表示



(b) 装柱パタン、クロージャ、通信線路の AR 表示

図 7 設備情報の可視化機能の動作例

Figure 7 Example of facility attribute visualization.

ハイブリッドトラッキングの動作例を図 8 に示す。システム動作中は、ハイブリッドトラッキングはバックグラウンドで実行され AR 表示を補正するため、図 8 に示すような

AR の矩形やラインは表示されない。図 8 に示す青色の矩形と緑色のラインはセンサベーストラッキングによる AR 表示であり、赤色のラインはライン認識によって検出されたものである。ハイブリッドトラッキングによって算出された水平・垂直方向のトラッキング補正量は、スクリーン上部に表示されている。

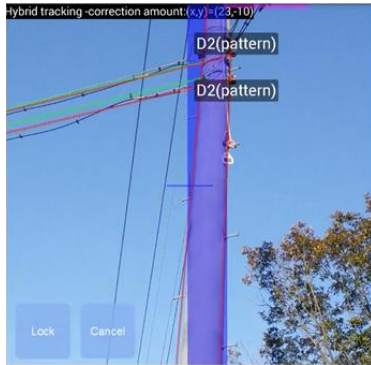


図 8 ハイブリッドトラッキングの動作例
 Figure 8 Example of hybrid tracking.

れる(図 9(b)参照)。異常箇所の探索が終了、ユーザが「完了・判定ボタン」を押下すると、システムは探索結果の正誤を判定し、ユーザに提示する。その後、異常箇所を示す AR オブジェクトの不可視状態を解除することで、ユーザに正解を教える。

6. 評価・考察

ここでは、プロトタイプシステムを用いた提案方式の有効性評価を行い、モバイル AR システムの巡視点検教育への適用可能性を考察する。

6.1 評価方法

実際の教育が行われている施設に設置された研修用の模擬電柱および通信設備を用いて、被験者による試行による有効性評価を行った。前述のとおり、本研究の目的は、モバイル AR による教育研修の効率化、受講者の理解度の向上、および自律学習の実現であり、従来の研修における課題の解決という観点で評価を行う必要がある。そのため、今回の評価の被験者は、検討対象である巡視点検業務に関する前提知識を有しており、従来の研修との比較評価ができる必要がある。そこで被験者として、中部電力の研修所スタッフ、配電部門、および通信部門から計 7 名の協力を得た。評価では、プロトタイプを用いて、被験者に電柱ナビゲーションから異常箇所探索までの一連の教育フローを実施させ、アンケートによるシステム評価を行う。アンケート評価では、上記の研究の目的に沿って、効率性、自律性、理解度、および適用性の 4 つの観点を評価する必要がある。また、システムの操作性、操作方法の分かりやすさ等、基本的なユーザビリティが良くないと、提案した AR 機能を正確に評価できない。そこで、ユーザビリティの観点も考慮する必要がある。アンケート項目は、WUS (web usability scale) [2], TAM (technology acceptance model) [3], そして AR 技術の受容性モデル[4]を参考に作成した。作成したアンケートは 20 項目と自由記述欄から成り、それぞれの項目を 5 段階で評価する(5: そう思う~1: そう思わない)。これら 20 項目を、次に示すように 5 つのカテゴリ(ユーザビリティ、自律性、効率性、理解度、適用性)に分類し、それぞれのカテゴリごとに、アンケートスコアの平均値を算出する。



(a) 異常箇所の探索



(b) 正誤判定、正解の表示

図 9 異常箇所探索機能の動作例

Figure 9 Example of facility defect search.

異常箇所探索機能の動作例を図 9 に示す。この例では、通信線路間の離隔不足という異常箇所が予め設置されている。図 9(a)のように、ユーザは異常箇所を探索し、発見した異常箇所を青色の枠の内側に入れるように画像をキャプチャする。画像をキャプチャした後は、発見した異常に該当する項目をチェックリストから選択すると結果が登録さ

ユーザビリティ

- AR システムの操作方法は分かりやすい
- AR システムの操作や動きはスムーズだ
- AR システムの表示や構成は分かりやすい
- AR システムは簡単に使いこなすことができる

自律性

- AR システムを使うと指導を受けなくても学習できる

- AR システムを使うと安心して学習を進められる
- AR システムを使うことで楽しんで学習できる

効率性

- AR システムを使うと必要なときに情報を取得できる
- AR システムを使うと必要な情報が取得できる
- AR システムを使うことで学習を速く進めることができる
- AR システムは紙のマニュアルより便利だと思う

理解度

- AR システムを使うとどこに設備があるのか分かりやすい
- AR システムを使うと設備のことがよくわかる
- AR システムを使うことで巡視点検のことがよく分かる
- 画面左側の AR 表示は役に立つ
- 画面右側に表示される詳細な情報は役に立つ

適用性

- AR システムは実務に適用できる見込みがありそうだ
- AR システムは教育の目的・フローに合っていると思う
- AR システムは研修ツールとして魅力的だ
- AR システムを同僚や新入社員に勧めたいと思う

6.2 評価結果・考察

被験者 7 名のアンケート結果をもとに、各質問項目と、カテゴリ(ユーザビリティ、自律性、効率性、理解度、適用性)ごとに、スコアの平均値を算出した。図 10 は、その結果をレーダーチャートで表現したものであり、表 2 は項目ごとの平均スコアを示したものである。5 段階評価の平均値は 5 つのカテゴリ全て 3 以上の肯定的な評価であった。システムの操作性、操作方法の分かりやすさ等、基本的なユーザビリティに関しても平均 3.7 と比較的良好な評価であり、操作性の悪さが AR 機能の評価を阻害していないと考えられる。5 つのカテゴリの中でも、効率性に関するスコアの平均値が最も高く、「AR システムを使うと必要なときに情報を取得できる」、「AR システムを使うと必要な情報が取得できる」は平均 4 を超える高評価であった。また、自律性に関する「AR システムを使うと楽しんで学習できる」という項目に対しても平均 4 を超える評価であった。楽しみながら学習できるというのは、教育にとって重要であるため、提案した AR 機能は教育現場に有効な機能であると考えられる。以上のように AR システムに関しては肯定的である一方、「適用性」カテゴリのスコアが若干低くなった。「適用性」カテゴリの中には、研修に適用できそうか、他の人にシステムを勧めたいか、教育だけでなく実務への

発展性があるかといった実現場への適用という観点の項目で構成されている。これより、他カテゴリのスコアが高く肯定的であるのに対し、実際の教育現場への適用にはまだ障壁があると考えられる。この原因を考察するために、自由記述を見てみると、例えば、「受講者が間違った方向に行ってしまったときに方向修正してくれる機能があればよい」、「現状のシステムでは見落としが発生する可能性がある」という意見があった。これは、受講者が間違った行動をしたときの対処機能が必要ということであり、このような課題が、「AR システムを使うと安心して学習を進められる」という項目のスコアにも影響していると考えられる。また、「異常箇所に関して、その異常箇所がなぜ異常なのか、その異常を放置しておくとなんりリスクがあるのか分からない」という意見もあった。これに対しては、異常箇所の詳細情報などの教育コンテンツを拡充し、例えば、異常箇所を探索した後に、AR 表示を活用しながら効果的に詳細情報を教示するなどの工夫が必要と考えられる。

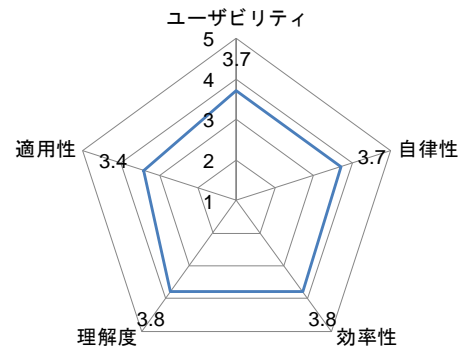


図 10 評価結果

Figure 10 Evaluation result.

表 2 アンケート項目ごとの平均スコア

Table 2 Average score for each statement.

カテゴリ	項目	平均スコア
ユーザビリティ	ARシステムの操作方法は分かりやすい	3.571
	ARシステムの操作や動きはスムーズだ	3.143
	ARシステムの表示や構成は分かりやすい	3.857
	ARシステムは簡単に使いこなすことができる	4.143
自律性	ARシステムを使うと指導を受けなくても学習できる	3.571
	ARシステムを使うと安心して学習を進められる	3.0
	ARシステムを使うことで楽しんで学習できる	4.429
効率性	ARシステムを使うと必要なときに情報を取得できる	4.286
	ARシステムを使うと必要な情報が取得できる	4.143
	ARシステムを使うことで学習を速く進めることができる	2.857
	ARシステムは紙のマニュアルより便利だと思う	4.0
理解度	ARシステムを使うとどこに設備があるのか分かりやすい	3.571
	ARシステムを使うと設備のことがよくわかる	3.714
	ARシステムを使うことで巡視点検のことがよく分かる	3.286
	画面左側のAR表示は役に立つ	3.857
全体	画面右側に表示される詳細な情報は役に立つ	4.429
	ARシステムは、実務に適用できる見込みがありそうだ	3.143
	ARシステムは、教育の目的・フローに合っていると思う	3.714
	ARシステムは研修ツールとして魅力的だ	4.429
	ARシステムを同僚や新入社員に勧めたいと思う	3.143

以上の評価結果から、提案したモバイル AR システムによって巡視点検教育の効率化、受講者の理解度向上、および自律学習が実現できる見込みが得られた。評価で得られた 2 つの課題を解決していくことで、より実教育現場への

適用性が大きくなると考えられる。

7. 関連研究

これまでに、産業分野において AR 技術の教育研修への適用例がいくつか報告されている。例えば[5][6]では、自動車業界向けの AR による教育システムが提案されている。また、航空機の保守支援に関して、マーカベースの位置合せ手法とマーカレス姿勢推定手法がそれぞれ[7][8]で提案されている。また[9]では、産業分野向けのインタラクティブな教育研修用アプリケーションのプロトタイプが提案されている。このプロトタイプでは、部品の組み立て手順のデモンストレーションに AR 技術が適用されている。これらの研究[5-9]では、屋内、もしくは局所的に設置されている機器や設備を対象として、AR 情報を重量表示する方式を用いている。また、これらの研究では、AR による情報提示に従い、作業手順の教育を行う方式である。しかし、教育支援という意味では、単純に作業手順を提示するだけでは、受講者が自分自身で考えなくなる恐れがある。本研究で提案した異常箇所探索機能のように、自ら考えることで自律的に学習を進める AR システムに関しては、先行研究において十分な検討がなされていない。

一方、屋外設備を対象とした研究としては、配電設備を対象とした保全データの AR による可視化アプリケーションが報告されている[10]。これは、教育支援ではなく、設備の巡視点検向けに開発されたものである。また、[10]では従来のロケーションベース AR が適用されているが、GPS 等の測位誤差については考慮されていない。このように、産業向け教育研修の分野については、屋外の広域かつ膨大な設備への AR 技術適用について十分な検討がなされていない。

8. おわりに

本研究では、電柱に装架された電力保安用通信設備の巡視点検教育を対象として、モバイル AR 技術による学習支援機能を検討した。さらに、教育研修の効率化、受講者の理解度の向上、および自律学習の実現を目的として、AR のメリットを活かした情報提示方法や、受講者の自律学習を支援する各種機能を提案した。具体的には、電柱ナビゲーション機能、AR による設備情報の可視化機能、異常箇所探索機能を提案し、これらの機能を実現するために、高精度な AR 表示方法として、ハイブリッドトラッキング手法を提案した。そしてモバイル AR による教育支援システムのプロトタイプを開発し、実際の研修施設で業務知識のある被験者による有効性評価を行った。その結果、提案したモバイル AR システムによって巡視点検教育の効率化、受講者の理解度向上、および自律学習が実現できる見込みが得られた。

今後は評価で得られた、1) ユーザの誤りへの対処機能、2) 教育コンテンツの拡充と効果的な AR 情報提示、などの課題を解決し、継続的な評価とシステムへのフィードバックを繰り返すことで、実教育現場への適用を目指していきたい。

謝辞 本研究において、プロトタイプの評価にご協力頂いた中部電力株式会社の皆様に、謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 弓部良樹, 古川直広: 位置情報誤差にロバストなロケーションベース拡張現実による配電設備の巡視作業支援システム; 第76回情報処理学会全国大会講演論文集 (2014).
- 2) K. Nakagawa, T. Suda, H. Zempo and K. Matsumoto: The Development of Questionnaire for Evaluating Web Usability; Human Interface Society 10th (2001).
- 3) Davis, F. D., Bagozzi, R. P., Warshaw, P. R: User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models; Management Science 35: 982-1003 (1989).
- 4) Leue, M., tom-Dieck, D. and Jung, T: A Theoretical Model of Augmented Reality Acceptance; e-Review of Tourism Research (2014).
- 5) I. Farkhatdinov and J.-H. Ryu: Development of Educational System for Automotive Engineering Based on Augmented Reality; In International Conference on Engineering Education and Research (2009).
- 6) H. Regenbrecht, G. Baratoff, and W. Wilke: Augmented Reality Project in Automotive and Aerospace Industry; IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25, 6, pp. 48-56 (2005).
- 7) T. Haritos and N.D. Macchiarella: A Mobile Application of Augmented Reality for Aerospace Maintenance Training; In Proc. DASC 2005, Vol. 1 (2005).
- 8) F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L. Di Stefano, P. Azzari, and S. Salti: Augmented Reality for Aircraft Maintenance Training and Operations Support; IEEE Computer Graphics and Applications, volume 31, pages 96-101 (2011).
- 9) B. Besbes, S.N. Collette, M. Tamaazousti, S. Bourgeois, and V. Gay-Bellile: An Interactive Augmented Reality System a Prototype for Industrial Maintenance Training Applications; In Proc. IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pages 269-270 (2012).
- 10) A. W. McMoran, S. E. Rudd, John J. Simmins, N. McCollough, and C. M. Shand: Field Force Data Visualization: Developing an Open Mobile Platform for Integrated Data Access; In Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting, pages 1-5 (2012).