

(68) 画像特徴点を利用した拡張現実感技術の プラント運転作業支援への応用

羽鳥 文雄¹・矢吹 信喜²・浦野 雄大³・瀧 隼人⁴

¹正会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士後期課程
(〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:fumio.hatori.zq@hitachi.com

²フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
(〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

³非会員 (株)日立製作所インフラシステム社 松戸開発センタ (〒271-0064 千葉県松戸市上本郷537)
E-mail:takehiro.urano.pf@hitachi.com

⁴非会員 (株)日立製作所インフラシステム社 松戸開発センタ (〒271-0064 千葉県松戸市上本郷537)
E-mail:hayato.taki.zd@hitachi.com

プラント施工時やオペレーション時のヒューマンエラーの防止策として拡張現実感の活用を検討している。本研究ではプラントオペレーション時の運転支援を目的として、画像特徴点を使用したマーカレスによる位置合わせ手法を用いたシステムの開発、及び実用化を目指したシステムの改良を行った。操作対象となる場所をテンプレート画像から切り出してトラッキングする事でカメラで捕らえた映像の中からプラント操作位置を追跡し、作業手順や作業時の注意事項をビジュアルに表示できる機能を作成した。実務者による実証とシステム改善により実業務運用可能なシステムを構築でき、本手法の有効性を確認できた。

Key Words :Augmented Reality(AR), tracking method, work support system, plant operation, inspection work

1. はじめに

プラント施工時やオペレーション時の事故防止やヒューマンエラーの防止は、近年の熟練者の減少とともに重要な問題として認識されている。これらの課題に対し、拡張現実感 (Augmented Reality : AR) の活用を試みている。具体的にはプラントの施工時や運転時に作業者を支援する手段として、現実空間内の適切な場所に適切なタイミングで作業指示や作業手順等のデジタル情報を重畳させる。ヒューマンエラーの要素には取り違いや思い違いなどの判断の錯誤や記憶の失念、知識不足、手抜きなどが挙げられている¹⁾。これらは作業実施の前や後、もしくはその瞬間に必要な情報が不足する事に起因する部分が多いと考える。AR技術によりこれらの情報を補足する事は、人間の思考に働きかける事であり、適切な場所と適切なタイミングで情報提供する事で様々な気づきを与える事が可能と考える。人間が自分の意思でマニュアルを参照する以上の効果が得られ、ヒューマンエラーの発生要素の一部を排除できる可能性があると考えられる。これまでARにおける現実空間と仮想空間の位置合

せ手法として、低コストで実現性の高いカメラからの画像情報に基づく手法を検討し、特に、施工現場等の大規模空間における複数マーカを利用した位置合わせ手法を開発してきた²⁾。施工時のように周辺の状況が頻繁に変化し、人の往来も多い空間では画像特徴点を利用する方法は困難である。また施工時であれば、マーカを仮設物として扱えることからマーカ利用の方法が有効と考えるが、プラント竣工後のオペレーション段階では、多くのマーカを設置するのは美観的にも好ましくなく、マーカレスでの位置合わせ手法が望まれていた。

オペレーション段階では、周辺環境の変化は施工時に比べて少なく、また、人の往来も少ない事から、画像特徴点を用いる手法の適用性は高いと考える。今回、プラント運転作業を対象に、画像特徴点を利用したAR手法を開発し、その実用化を目指した。

2. プラント運転作業支援への応用

まずは、プラント運転作業について、その特性を整理

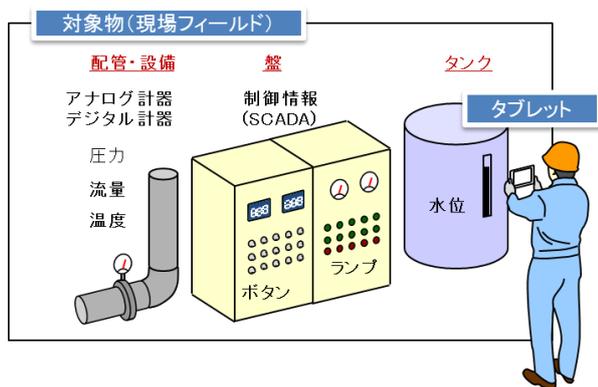


図-1 プラント運転作業支援概要

し、ARを応用したシステムに具備すべき条件を検討した。図-1にプラント運転作業支援にARを応用した状況を模式的に示す。プラント運転作業の中でもAR技術を応用する場所は中央制御室での運転ではなく、実際の機械を前にした運転や点検業務とした。具体的な操作や点検の内容は指定のメータを読み取ったり、バルブを開閉したり、スイッチを入れたり、レバーを操作したりという作業である。ARで指示する対象は、このようなメータ、バルブ、レバーやスイッチ等の位置を認識し、適正な順番や指示を出す事が求められる。現場での作業を想定した場合、両手が自由になるHMD (Head Mounted Display) の使用も考えられるが、現時点でのシステムの普及レベルや点検業務には点検結果の入力手段も兼ねることから、今回はタブレット端末を採用する事とした。

3. 画像特徴点を利用した位置合わせ手法

AR技術では、カメラによって現実世界を撮影した画像上の適切な位置にデジタル情報を付加するため、カメラの位置と姿勢を推定する技術（トラッキング技術）が必要となる。プラント運転作業を対象に、マーカレス位置合わせ手法の一つである画像特徴点を利用した位置合わせ手法を検討した。

多くのARシステムは3次元空間を対象としている。これは、カメラの位置が様々な視点に移動するためである。しかし、設備の点検や運転作業の位置は操作性やメータの視認性等から操作位置は毎回同じような場所で行われる。複数の操作は様々な位置を変えて実施されるが、ある作業単位で考えるとバルブを開ける、メータを読む等の一連の操作を固定の位置から操作する事が多い。このようにはじめに操作位置を固定した場合、作業領域として画像で捉える範囲は比較的固定され、近似的に平面とみなして処理が出来ると考えた。そこで、今回はARを実現するためのトラッキング手法として、2次元の平面

画像を利用した手法を用いることとした。

本研究で使用するトラッキング技術は、佐川³⁾らと協力し、比較的高速処理が可能なLucas-Kanade(LK)法⁴⁾を採用した。LK法はトラッキング対象となるテンプレート画像を用いて、その特徴点を抽出して画像の移動を追跡する技術である。トラッキング対象のテンプレート画像上の位置 $p=(x,y)^t$ における画素値を $T(p)$ 、カメラから入力された画像上の座標 P における画素値を $I(p)$ とした場合、式(1)に示す評価関数 J を最小化する最適化問題を解くことにより、テンプレート画像とカメラ画像の対応関係を表す変換関数(ワーブ関数) $W(p;H)$ を求める手法である。

$$J = \min_H \sum_p |I(W(p;H)) - T(p)|^2 \quad (1)$$

式(1)におけるワーブ関数 $W(p;H)$ は、座標 p とベクトル H をパラメータとする関数であり、テンプレート画像上の任意の位置 p をカメラ画像上の対応する位置 $W(p;H)$ に変換する関数となる。本関数を利用する事でテンプレート画像上の物体を追跡する事が可能となる。

まず、設備の運転や点検を行う際の作業位置から撮影した作業領域の画像をテンプレート画像として用意する。複数個所に移動して作業を行う場合には、複数のテンプレート画像を準備する。次に、各テンプレート画像上に写っているバルブやメータ等の操作対象の位置と大きさを登録する。テンプレート画像及び操作対象として登録したものを明示した例を図-2に示す。本図に示すように、操作の対象物（図中丸印で示した範囲）がテンプレート画像上の特定の領域として認識される。カメラの付いたタブレット端末で作業対象物をテンプレート画像を取得した位置に近いところでかざす事で、上記トラッキング技術によってカメラ画像上に撮影された画像上から操作位置を追跡する事ができる。但し、現実には図-2に示し



図-2 テンプレート画像と画像上に登録された操作対象

た設備で作業する場合、作業領域全体を平面としてトラッキングを行うと追跡精度が落ちる事が確認できた。幾つかの操作対象は3次元的な奥行きを持っているため、ある角度から見ると2つの操作対象が接してしまう事もあり、比較的小さい移動でもカメラのずれに対する影響が出てしまう事がわかった。

この問題に対応するために、テンプレート画像上に設定した操作対象の位置に基づいて、その周辺の画像のみを切り出し、切り出した画像をトラッキング用のテンプレート画像とした。これにより、多少の3次元的な奥行きのある対象物に対しても操作位置をトラッキングできることが可能となった。

4. AR応用設備運転支援システム

前述したトラッキング手法を用い設備の操作・点検を支援する方法を検討した。対象作業はプラント操業時の重要な設備ラインの切り替え業務である。重要機器類は複数台設置されている事が多く、これを定期的に切り替えて利用する。このような設備は多くのプラントに存在している。また、切り替え作業は週単位や月単位、または緊急時に実施される作業であり、重要な作業でありながら、毎日のルーチンワークでは無いため、その実施間隔が広いほど、作業手順の忘れや操作ミス等を発生しやすいと考える。本研究では、このような作業を支援するAR応用プラント運転作業支援システムを開発した。

まずは、作業実施位置を指定し、それぞれの場所でのテンプレート画像を取得する。この画像上に操作対象となる対象物を図-2のように登録する事で本操作対象位置周辺の画像がトラッキング対象となる。次に、指定した操作対象の中からどの順番に操作を行うかを定義する。操作を行う際に作業場所が変われば、作業場所毎に別のテンプレート画像を用意し、その上の操作対象を定義する。システムはタブレット端末の背面にあるカメラが作業対象物を捕らえると、前述したトラッキング技術にて最初



図-3 設備運転支援システムの利用状況

の操作位置を認識し、関連情報を重畳表示させる。図-3にシステムを利用している状況を示す。あらかじめ指定した作業順序に従い、操作対象物が明確化され、画面左上には操作内容や操作時の注意事項等、任意のテキスト文を登録できるので、作業の意味や振動や音を確認する等の指示を出す事ができる。作業実施後にはOKボタンを押す事で次の操作対象に指示が変化する。これらを一連の作業手順で指示を出す事で、操作ミスを起こさないように支援する。

また、本システムは一連の作業を実施する際に、操作対象の画像が確認時に保存されるようにし、保存した画像は図-4に示すような一覧表示及びテキストデータとして出力する事を可能とした。本一覧から操作の順番に誤りが無いか、入力誤りが無いか等の確認ができる。

作業手順	確認対象	確認結果	確認時刻	写真
バルブ切替操作1	注意事項			
	コメント1_1	OK	20140107 133710	
メータ確認手順1	メータ1_1	0.23	20140107 133728	
メータ確認手順2	メータ2_1	0	20140107 133737	
バルブ切替手順1	mV4/バルブ(開)1	OK	20140107 133756	
バルブ切替手順2	mV3/バルブ1	OK	20140107 133819	
冷却水確認手順2	冷却水バルブ2(開)1	OK	20140107 133830	

図-4 作業結果の表示例

5. 実務適用によるアプリケーションの改良

本システムを実現場にて実務者に操作してもらいながら問題点を洗い出し、改良を加える事で実務で活用できるシステムを目指した。最も問題となったのがトラッキングに掛かる時間であった。そこで、トラッキング時間を短縮するための改良を行った。まず、作業場所毎に異なるテンプレート画像の呼び出しにはARマーカを採用する事とした。必要最小限のARマーカを用いる事でARマーカをIDとしてテンプレート画像の呼び出しとARマーカを基準としてテンプレート画像の位置合わせを行う事で画像の初期位置を高速で与えられるようにした。しかし、一度位置合わせをしても、バルブ操作等の実操作を行う際には、タブレットを離して操作を行う為、次の

作業を確認する為に、その都度タブレットカメラでARマーカを捕らえて再認識するという行為が必要になってしまう。また、カメラ画像が手振れによってぶれてしまい、一度認識しても再認識が必要になる事も発生し、実務で利用するには画像認識の時間が掛かりすぎるといった問題が発生した。

これに対応するため、今回はテンプレート画像を認識し、操作位置のトラッキングが出来た時点でカメラ画像を静止画としてキャプチャし、その画像上に操作手順に関連する各ステップ毎の作業情報を順番に重畳表示する事とした。元々、あるひとまとまりの作業毎にテンプレート画像を設定しているので、各ステップの中でバルブやメータ等の個々の作業でのトラッキングは不要となり大幅な時間短縮が図れた。

次に、操作手順のビジュアル化要求があり、作業手順や注意事項を単なるテキスト表示だけでなく、バルブの開閉方向や注意事項を写真や動画にて表示できるようにした。図-5にはバルブ操作方法をビジュアル化して重畳表示させた例を示す。図-5の例では作業者が指示された操作対象(バルブ)を選択すると、バルブの画像を拡大表示すると共に、バルブの操作方向(矢印)をビジュアルに提示できるようにした。作業の中にはバルブを回して一定時間放水する等の手順もあったが、これには指定された時間をカウントするタイマーの動画を表示し、動画が終わるまで放水するような指示が出来るようにした。更に図-4に示した作業結果は作業が完了した場所までデータが入るようにしており、この画面を都度確認する事で作業がどこまで進んだかを認識できるようにした。また、一連の操作を行った時刻が都度記録されているため、どの作業で手間が掛かっているか、どのような作業で熟練者との操作時間に差が生じるか等の比較も可能になり、ヒューマンエラーの削減と共に作業分析への応用も可能にした。

以上の改良を加えた事で、実務利用者からは実運用でも活用できるとの評価を得られると共に、作業指示の工夫等により、操作の意味の提示や技能継承等にも活用できる可能性があるとの評価を得られた。今後は現場での実運用を重ねた上での問題解決や改良を進めていく。

6. おわりに

本報告では、プラントのオペレーション支援としてARを応用した作業支援システムの開発とその実用化に向けたシステム改良について述べた。開発したシステムは実運用を想定し、マーカレスのトラッキング手法を利



図-5 作業手順をビジュアルに表示した例

用したAR技術と、それを現時点で実運用可能なタブレット端末にて実現した。トラッキング時間を短縮するために、必要最低限のARマーカを併用し、また、あえてリアルタイムにトラッキングする方法をやめ、キャプチャ画像を利用して作業手順を提示する等の改良をする事で、実運用可能なARシステムを提供できた。実運用する事で技術伝承への活用や熟練者との作業時間の比較等への応用を含め、ARの新たな価値や課題が出てくると考える。

社会インフラの重要な設備となる各種プラントの運転業務はミスが許されない作業も多く、熟練者が減少する将来に向け、今回検討したようなヒューマンエラーの削減や技術伝承に寄与するシステムの要求は高まると考える。ARは画像処理技術等、コンピュータの自動化処理を行うための技術を応用し、処理した結果を基にコンピュータが自動判断するのではなく、あえて情報を人間に与える事で人間の思考を拡張する技術と言える。人間の持つ能力に時と場所に応じた適切な情報を付与する事でヒューマンエラーを低減したり、新たな気付きを与えるものと考えられる。

参考文献

- 1) 小松原明哲:ヒューマンエラー,丸善株式会社,2003.
- 2) 羽鳥文雄,矢吹信喜,小森絵未,福田知弘:複数マーカを用いた拡張現実感技術の施工現場への応用,土木学会論文集 F3 (土木情報学),Vol.69,No.2, pp.24-33, 2013.
- 3) 佐川浩彦,浦野雄大,栗原恒弥:2次元トラッキングに基づく簡易ARによる作業支援システムの開発,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013 論文集, pp.843-848, 2013.
- 4) S.Baker and I.Matthews:Lucas-Kanade 20 years on, A unifying framework, International Journal of Computer Vision, Vol.56, No3, pp.221-255, 2004.