

(46) 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

羽鳥 文雄¹・矢吹 信喜²・小森 絵未³・福田 知弘⁴

¹正会員 (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: fumio.hatori.zq@hitachi.com

²正会員 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 元・大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程

⁴正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

近年、拡張現実感が注目されている。現実世界の映像にコンピュータグラフィックス (CG) などのデジタル情報を重畳させ、現実を拡張・強化する技術である。本研究では大規模構造物を対象とした位置合わせへの適用を目的として、複数の人工マーカを使用し位置合わせ手法の開発及び施工現場への適用を行った。ARToolKitの4個以上の複数の正方形マーカを用い、基準となるマーカの中心点を原点として、各々のマーカ中心点の相対的な3次元座標値からカメラの位置・姿勢を推定した。開発した位置合わせ手法を応用させ、プラントの安全対策と施工時の建設プロセスを可視化するシステムを作成した。実務者立会いのもと実験を行い、本手法の有効性を確認できた。

Key Words : *Augmented Reality(AR), positioning method, construction safety, safety planning*

1. はじめに

近年、拡張現実感 (Augmented Reality : AR) が注目されている。現実世界の映像にコンピュータグラフィックス (CG) などのデジタル情報を重畳させ、現実を拡張・強化する技術である。AR を実現するためには、現実空間と仮想空間を一致させるための位置合わせ手法が重要であり、センサベースの手法とカメラからの画像情報に基づく手法の二つの手法がある。センサベースの手法に対して、カメラからの画像情報に基づく手法は、カメラ以外に特殊なセンサは必要とせず低コストであるため AR の研究において主流になりつつある。画像情報に基づく手法には、人工マーカを用いる手法と自然特徴点を用いる手法の二つがある。中でも、ARToolKit¹⁾に代表される人工マーカを用いる手法はコストパフォーマンスが高いため AR では広く研究が為されてきたが、位置合わせの精度が画面上に占めるマーカの大きさに依存するため、大規模構造物を対象とすると、非常に大きなマーカを設置する必要がある。そこで Ota ら²⁾は屋外大規模構造物への適用を目的として、4 個のマーカを正方形頂点位置に設置し仮想的に巨大なマーカと見立てて位置合わせを行う 4 点マーカ法を開発した。しかし、4 点マーカ法は高精度ではあるもののマーカ設置位置に自由度がなく、また 4 個のマーカを常に認識する必要がある。また、

自然特徴点を用いる手法は、環境中に自然に存在する物体の特徴点を抽出し、その三次元位置を推定するため人工マーカを用意する必要がないが、複数画像間の特徴点を対応付けることが困難であり、大きな視点移動や通行者の往来によりトラッキングが外れると位置合わせに大きな乱れが生じるという問題がある。そこで本研究では、大規模構造物を対象とした位置合わせへの適用を目的として、複数の人工マーカを使用して、マーカ配置の自由度、カメラの視点自由度、通行者の往来等障害物への対応性を高めた実用性の高い位置合わせ手法の開発及び施工現場への適用を行った。

2. 複数マーカを用いた位置合わせ手法

本研究では、大規模空間での使用を目的として ARToolKitの4個以上の複数の正方形マーカを用いた位置合わせ手法を開発した。マーカの中心点が同一平面上となるようにマーカを設置し、設置したマーカの内いづれか一つのマーカを基準として扱う。基準となるマーカの中心点を原点として、各々のマーカ中心点の相対的な3次元座標値を計測し、これらの座標値からカメラの位置・姿勢を推定する。従来のARToolKitの位置・姿勢計

算のアルゴリズムを用いないため、4 個以上ならばいくつでもマーカを任意の場所に配置できる。また、画面上で認識したマーカのみを用いて位置・姿勢の計算を行うため、仮に通行者等がマーカを一時的に隠しても画面に4個以上のマーカがあれば位置合わせを行うことが可能である。また、位置合わせの精度は個々のマーカの大きさに依存しないため、それぞれのマーカが個別に検出できる大きさであれば屋外であっても巨大なマーカを必要としない。

3. 位置合わせ手法の印象評価

本研究では、プラント関係の実務者を被験者として、複数マーカを用いる手法及び4点マーカ法によりプラント模擬装置の周囲に仮想的に建設する構造物の3Dオブジェクトを表示させ、「仮想オブジェクトの表示位置」、「仮想オブジェクトの振動」、「通行者によりマーカが隠れた時の仮想オブジェクトの振動や消失」の3項目から表示した仮想オブジェクトの現実感を5段階で評価してもらった。最低点が1で、最高点が5であり、評価点が5に近づくほど、被験者が「良い」あるいは「適切である」と判断したことになる。マーカ・カメラ間距離は6mと9mの2段階で行い、各距離における印象の違いを検証した。検証実験は工場内に設置されたプラント模擬装置に250×250mmの正方形マーカ8個を図-1のようにプラントの柱に直接貼り付け、最下部左に位置する「J」マーカを基準としてマーカ中心点の3次元座標をトータルステーションにて計測した。表示させた仮想オブジェクトを図-2に示す。



図-1 マーカ設置場所

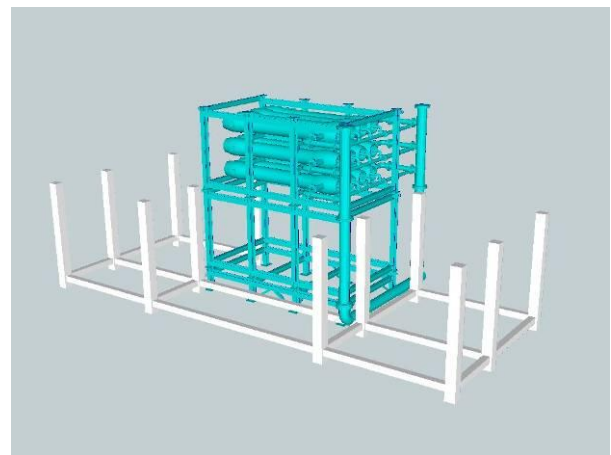


図-2 プラント周囲に表示させる仮想オブジェクト
(白色：仮想オブジェクト、水色：既設のプラント)

3名の被験者の各位置合わせ手法における評価項目ごとの評価点平均値を表-1に示す。仮想オブジェクトの表示画面を、各手法毎に表-2、表-3に示す。通行者により4点マーカ法の場合は仮想オブジェクトが消失、複数マーカを用いる手法では仮想オブジェクトの描画を安定して行えた。

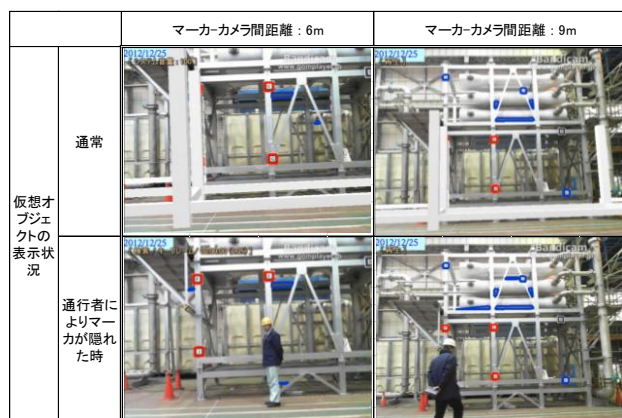
表-1 各位置合わせ手法の評価項目ごとの評価点の平均値

位置合わせ手法	評価項目	評価得点の平均値	
		マーカ・カメラ間距離6m	マーカ・カメラ間距離9m
4点マーカ法	仮想オブジェクトの表示位置	4	3.67
	仮想オブジェクトの振動	3.67	3.67
	通行者によりマーカが隠れた時の仮想オブジェクトの振動や消失	2.33	1.67
複数マーカを用いる手法	仮想オブジェクトの表示位置	4.67	4.33
	仮想オブジェクトの振動	4.67	4.33
	通行者によりマーカが隠れた時の仮想オブジェクトの振動や消失	4.33	4.33

表-2 複数マーカを用いる手法の場合の仮想オブジェクトの表示状況

		マーカ・カメラ間距離：6m	マーカ・カメラ間距離：9m
仮想オブジェクトの表示状況	通常		
	通行者によりマーカが隠れた時		

表-3 4点マーカ法の場合の仮想オブジェクトの表示状況



本検証の結果では、複数マーカを用いる手法は全ての評価項目において4点以上の高い評価を得ることができ、既存の4点マーカ法よりも高い。

「仮想オブジェクトの表示位置のずれ」と「仮想オブジェクトの振動」の2項目について考察を述べる。複数マーカを用いる手法と4点マーカ法においては、マーカ-カメラ間距離が6mの時と比較すると9mの時、若干の仮想オブジェクトの位置ずれと振動が生じるものの概ね安定した描画を行えることが視認され評価が高かった。特に、複数マーカを用いる手法では、8個のマーカが作るスクリーン上の凸多角形の面積が、4点マーカ法の4個のマーカが作るスクリーン上の四角形の面積よりも大きいので、本検証での二値化の際のピクセル取捨による誤差の影響は複数マーカを用いる手法の方が小さい。そのため、複数マーカを用いる手法の方が4点マーカ法よりも安定した仮想オブジェクトの描画を行えたと考えられる。次に「通行者によりマーカが隠れた際の仮想オブジェクトの振動や消失」について考察する。複数マーカを用いる手法では、スクリーンに4個以上のマーカが検出されていれば位置・姿勢計算を行える。本検証において、通行者がスクリーンに映るマーカを隠した場合でも位置合わせを続行し仮想オブジェクトが描画できることを被験者と共に確認している。そのため複数マーカを用いる手法ではマーカ-仮想オブジェクト間距離が6m, 9mのどちらの場合でも高い評価を得ることができた。一方、4点マーカ法では、カメラの位置・姿勢推定にARToolKitのアルゴリズムを利用しているため、通行者が登録したマーカを一つでも隠してしまうと位置合わせを行うことは不可能であり仮想オブジェクトが消失してしまっている。

4. 施工現場への試験的応用

(1) 施工時の安全対策向けARシステム

建設業において安全管理は最重要項目である。安全専任者は新規構造物の施工作業計画に付随した適切な安全指示書を作成し、漏れなく実行する必要があるが、作業環境が目まぐるしく変化する現場では、安全指示書と現場を見比べながら滞りなく安全対策が施されているかを確認する作業は時間的なコストが大きく、見落としによるヒューマンエラーを招きやすい。そこで、本研究で開発した複数マーカを用いた位置合わせ手法のARを応用させ、施工時の建設プロセスおよび適切な安全対策をカメラを通してユーザの視界に重畳表示することにより、作業空間の安全対策および施工プロセスを確認できるシステムを作成した。

本システムでは、プラント模擬装置の周囲に作業用ステージを建設するという仮の計画を設定しており、作業用ステージの完成までの施工に伴い、必要な仮設足場と安全対策を表示する。仮設足場と作業用ステージの安全対策を表-4、表-5に示す。ユーザがプログラムを起動したタブレットPCの内蔵カメラ等で設置したマーカと対象構造物を画面に映すと、AR画面に工期毎の施工に伴う仮設足場や安全対策が重畳される(図-3)。図-4のシステム画面において①の領域がAR画面、②の領域が工期情報、③の領域が現在の施工状況を把握するための平面図・立面図の切り替え画面、④の領域が安全対策の詳細画面、⑤の領域がAR画面に表示される仮想オブジェクトの色分けの凡例を表している。画面に表示される仮想オブジェクトは色分けされており、白が建設するプラントの作業用ステージ、青が仮設足場、赤が安全対策を表す。

表-4 仮設足場の安全対策

適用箇所	安全対策	詳細	対象災害
作業床の周囲	手摺	高さ90～110cm	人の墜落
作業床の周囲	幅木	高さ15cm以上	物の落下
支保工箇所	支保工布板	支保工箇所全面敷き詰める	仮設足場の倒壊

表-5 建設する作業用ステージの安全対策

適用箇所	安全対策	詳細	対象災害
開口部	直径or一辺1m未満の開口部	養生用ふた	下面には滑動防止のストッパーを設置。ふたには養生用ふたである事を明記。
	直径or一辺1m以上の開口部	手摺	高さ90～110cm
ステージの周囲	幅木	高さ15cm以上	物の落下
	手摺	高さ90～110cm	人の墜落
	幅木	高さ15cm以上	物の落下

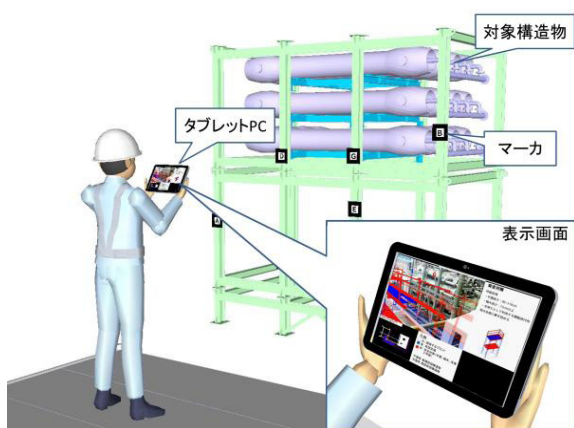


図-3 建設プロセスおよび安全対策のARシミュレーション

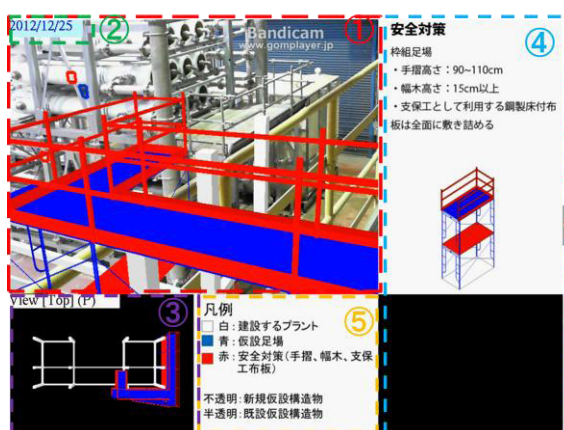


図-4 作成したARシステムの画面

(2) システムの稼働実験と評価

本システムをプラント実務者3名に確認してもらい評価を得た。表-6に被験者から得た主なコメントを記す。被験者からは、施工における建設プロセスと安全対策の可視化について概ね有用であるとの評価を得た。

被験者 1, 被験者 3 からのコメントにあるように、データやシステムを作りこめばより実用的なシステムとなると考えられる。また、被験者 2 からは、建設作業現場に本研究で開発した位置合わせ手法を導入する上での課題についてのコメントを得た。本研究で開発した位置合わせ手法は、同一平面上であれば任意の位置にマーカを設置することが可能であり、既存の 4 点マーカ法等と比較するとマーカ設置場所の制約が低減されている。

表-6 主なコメント

被験者1	実際の工程情報(計画と実績)とリンクさせて、任意のパーツや進捗情報等がAR表示されるとより実用的である。
被験者2	建設時には、マーカ設置が段取り作業として必要になるため、これらの作業を如何に効率化するか実用化には重要である。
被験者3	基本コンセプトは良い。今後の細やかなデータの作り込みに期待する。

しかし、任意位置であっても、同一平面上の広い範囲にマーカを設置することはやはり時間と労力のかかる作業であった。複数のマーカが同一平面上になくとも位置合わせを行うことを可能にすることが、本研究の今後の課題である。

5. おわりに

本報告では、土木・建設分野への AR の適用を目的に、複数の人工マーカを利用した位置合わせ手法を開発し、応用事例としてプラント建設時の安全対策を可視化するシステムを作成した。建設作業現場は作業員や資材の往来が非常に多く、また施工中は周辺環境が目まぐるしく変化する。4 点マーカ法では、4 個のマーカを全て検出する必要があるため、人や物の往来の激しい場所では安定した仮想オブジェクトの描画が行えない。特徴点と既知の構造物の点を一致させる手法では、複数画像間の特徴点を対応付けることが困難であり、人や物の往来によりトラッキングに大きな乱れが生じる可能性が高い。また、点群データ等、位置合わせを行う上で周辺環境の空間情報を得るために高価な機材が必要な手法は、周辺環境が頻繁に変わる環境下ではコストが大きく不向きである。本手法は、4 点以上のマーカがスクリーン上で認識されていれば、作業員や資材の往来によりマーカの幾つかが隠れても安定して位置合わせを続行することができる。以上の理由から、本研究で開発した手法は、マーカ設置において課題が残るものの建設作業現場等の土木・建設分野での利用に適していると考えられる。

参考文献

- 1) 加藤博一, Mark Billingham, 浅野浩一, 橋啓八郎: マーカ追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, pp607-616, Vol.4, No.4, 1999
- 2) Naoki Ota, Nobuyoshi Yabuki, Tomohiro Fukuda: Development of an accurate positioning method for augmented reality using multiple markers, Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, pp4-7, 2010