

スマートフォン AR 機能を利用したリアルタイム作業状況可視化アプリの試作と保持方法の検討

大澤奈々穂^{*1} 和田佑太^{*1} 田代彩花^{*1} 志村嶺^{*1} 八木澤喬樹^{*2}

概要：本論では近年スマートフォンに標準搭載されているカメラと AR フレームワークを活用し、スマートフォンのみでリアルタイムに作業状況を可視化するアプリを試作した。また、試作したアプリを用いて実際に作業を行う際のスマートフォンの保持方法について、4 種の方法（A：片手で持つ、B：道具に装着する、C：首からかけるスマートフォンホルダを活用する、D：頭に装着する）を検討した。試作したアプリケーションを 4 種の保持方法で利用する実験を被験者 4 人に対して実施したところ、アプリケーションによる支援は有用であるという結果が得られ、保持方法については個人の作業スタイルに合わせた数種類の選択肢が必要だという結果が得られた。

1. はじめに

近年、拡張現実（Augmented Reality ; AR）技術を用いて現実空間の上に情報を重畳表示し、様々な作業を支援するシステムが開発されている[1][2][3]。現実空間の上に情報を重畳表示するためには、表示位置を取得する技術と重畳表示する技術が必要となる。表示位置を取得する技術として、GPS、Wi-Fi 等の無線センサ、慣性センサ、超音波センサ、磁気センサ等を用いる方法が存在するが、より詳細な位置情報を取得するための方法として 2D や 3D のカメラ（ビジョンセンサ）を活用する技術開発が進んでいる。カメラを用いる方法の中にも QR コードや赤外光 LED 等のマーカーを用いるものと、マーカーを用いず画像中のエッジ等の自然特徴量を利用するものが存在する。重畳表示の技術としては、プロジェクタ、スマートフォンやタブレット、AR メガネ、HMD（Head Mounted Display）等様々なデバイスが開発されている。

本論では近年スマートフォンに標準搭載されているカメラと AR フレームワークを活用し、スマートフォンのみでリアルタイムに作業状況を可視化するアプリを試作する。さらに試作したアプリを用いて作業を行う際のスマートフォンの保持方法について、4 種の方法（A：片手で持つ、B：道具に装着する、C：首からかけるスマートフォンホルダを活用する、D：頭に装着する）を検討した。2 章で試作したアプリケーションについて、3 章で保持方法の検討について述べる。4 章では試作したアプリケーションを用いて 4 種の保持方法を比較する実験を実施し、5 章でまとめる。

2. スマートフォン AR 機能を利用したリアルタイム作業状況可視化アプリ

スマートフォンに搭載される OS（Operating System）として iOS と Android が主流となっているが、iOS では

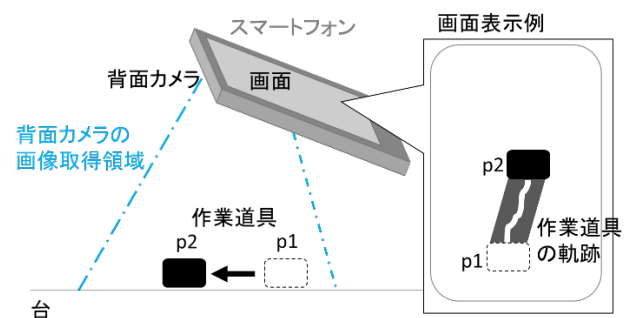


図 1 本アプリケーションでの作業可視化例

ARKit[4]、Android では ARCore[5]と呼ばれる AR フレームワークが開発され、AR 機能を利用したアプリの開発が容易になっている。本論では、iOS の ARKit を用いてリアルタイムに作業状況の可視化を行う。

本アプリケーションで作業状況を可視化する作業とその画面表示例を図 1 に示す。作業は平らな台の上で実施することを想定している。作業道具の位置をスマートフォンの背面カメラで取得し、スマートフォン画面には背面カメラで取得した画像の上に作業道具の位置の軌跡を重畳表示する。図 1 は作業道具が p1 から p2 へ移動した場合の画面表示例を示す。

次に、試作したアプリケーションの動作を説明する。

(1) 平面を認識する

ARKit の平面認識機能を利用し、背面カメラから取得した画像の中から平面を認識する。

(2) 作業道具の位置を取得する

作業道具の位置は背面カメラ画像内の特定の色を識別することで特定する。カメラ画像内からあらかじめ指定しておいた色と同じ色相の画像領域を抽出し、抽出された領域のうち最も面積の大きなものを作業道具の位置とみなす。

^{*1} 三菱電機株式会社

^{*2} 東京大学



図 2 試作したアプリケーション利用例（左）と画面例（右）

(3) 作業道具位置の軌跡の重畳表示

(2) で取得した作道道具の位置を元に (1) で認識した平面上に作業道具の軌跡を架空オブジェクトとして配置する。または (1) で認識した平面上に配置した架空オブジェクトを消していく。(1) で認識した平面と (2) で用いるカメラ画像の三次元的な位置関係の紐付けや架空オブジェクトの配置は ARKit を利用する。

図 2 の例では、作業道具の色（桃色）の位置を認識し、実画像に重畳された半透過の白い未作業領域を消していている。

3. スマートフォン保持方法の検討

本章では、2 章で試作したアプリケーションを利用する際のスマートフォン保持方法について検討する。表 1 に示す通り 4 種（A：片手で持つ、B：道具に装着する、C：首からかけるスマートフォンホルダを活用する、D：頭に装着する）を検討し、それぞれの特徴を表 1 にまとめた。A の片手で持つ方式は画面の位置と向きをユーザが自由に調節可能である（表 1 の 1, 2）が、片手をスマートフォンの保持に利用するため作業に両手が使えないというデメリットがある（表 1 の 3）。一方、B・C・D の方式では作業に両手が使える（表 1 の 3）が、道具や体に固定するためスマートフォン画面の位置や向きを自由に調節できない（表 1 の 1, 2）。

また、A~D の方法は図 3 に示す通りスマートフォン画面の位置と身体との距離が異なっている。身体から遠い順に B, C, D であり、A では画面と身体との距離を調節可能である。画面の位置に伴い画面内の視野の広さも位置に応じて異なる（表 1 の 6）。他にも、道具に設置する場合は作業道具の重さが変化し（表 1 の 4）、身体の装着の有無（表 1 の 5）や画面外の視野範囲が異なるという特徴がある（表 1 の 7）。

表 1 スマートフォン保持方法の種類と特徴

		A	B	C	D
		片手で持つ	道具に装着	首からかけるホルダ	頭に装着
1	スマートフォン画面の位置	調節可能	道具から一定距離	首から一定距離	目から一定距離
2	スマートフォン画面の向き	調節可能	道具の角度に追従	体・首の向きに追従	顔の向きに追従
3	両手が使えるか	×	○	○	○
4	道具が重くなる	○	×	○	○
5	身体への装着	△	○	×	×
6	画面の視野の広さ	画面の位置依存	狭い	中間	広い
7	画面外が見えるか	○	○	○	×

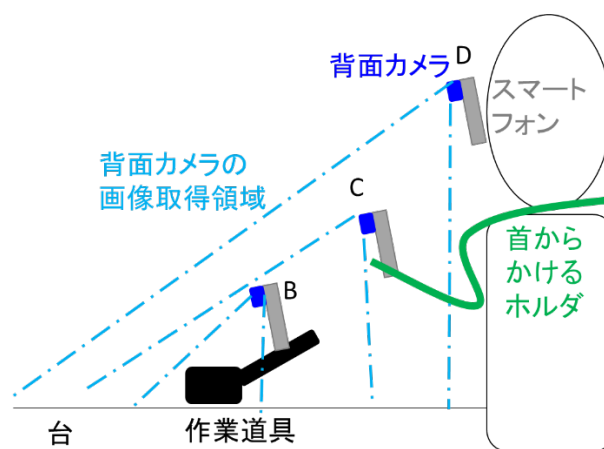


図 3 スマートフォン保持方法の種類と身体からの距離

4. 保持方法の比較実験

4.1 実験方法

2 章で試作したスマートフォンアプリケーションの有用性の確認と、3 章で検討した保持方法の比較を行うため、4 人の被験者に試作したスマートフォンアプリケーションを利用してもらった。被験者は 20~30 代の男性 2 名（被験者 1,2）と女性 2 名（被験者 3,4）の計 4 名で、男性 1 名（被験者 1）と女性 1 名（被験者 4）は VR（Virtual Reality）ゴーグルに非常に慣れている被験者であり、残りの 2 名は VR ゴーグルを数回利用したことがある被験者である。

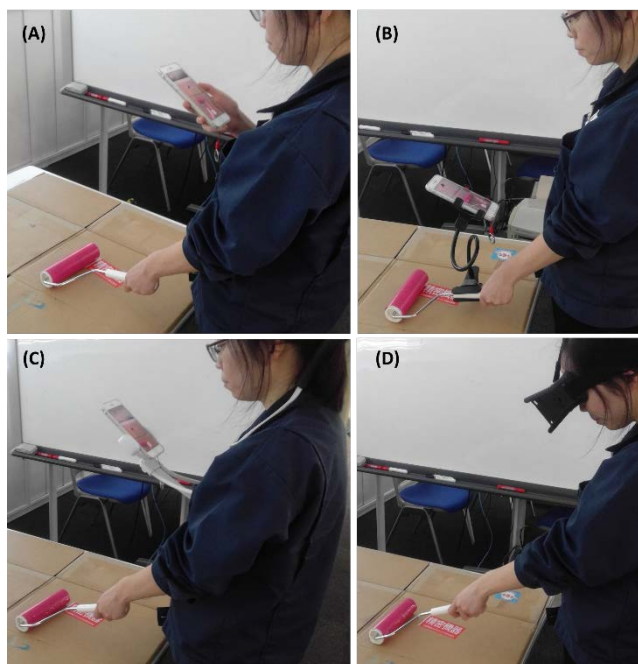


図 4 実験に用いた 4 種の保持方法

実験では塗料の塗布作業や机上の清掃を想定し、幅約 16cm・柄の長さ約 24cm のローラーで、約 64cm×78cm の平面領域全てを転がす作業を実施した。実験手順として、スマートフォンアプリなしの状態でもローラーを転がした後、A～D の保持方法でスマートフォンを保持してアプリを利用しながら作業を実施した。実験に用いた 4 種の保持方法を図 4 に示す。実験で用いたスマートフォンアプリケーションは、作業を実施する平面(作業未実施領域)をあらかじめ半透過白色で表示し、作業済み領域を消していくという内容である(図 2(右))。

被験者には、利用後に 4 種の方法について (1) 利用しやすさの順位をつけてもらい、次の 5 項目について相対的にどの方法が良かったか悪かったかをヒアリングした。ヒアリング内容は次の通りである：(2) アプリケーションによる作業領域のわかりやすさ、(3) スマートフォン保持による作業の阻害状況、(4) スマートフォン画面の見やすさ(表 1 の 1, 2, 6, 7 の差異)、(5) 装着感(表 1 の 3～5 の差異)、(6) 作業時に周囲の目が気になるか否か。

4.2 実験結果

(1) 利用しやすさの順位

図 5 に 4 種の保持方法 A～D と被験者毎の順位を示す。平均的には、A の片手に持つ方法と D の頭に装着する方法の順位が小さく、C の首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法の順位が大きかった。しかし、最も利用しやすい保持方法は被験者毎に異なるという結果となった。特に被験者 3 は他の被験者と異なり、C の首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法を最も利用しやすいとした。詳細にヒアリングした結果、被験者毎に道具の動かし方が異なっているためであることがわかった。被験者 3 は作業

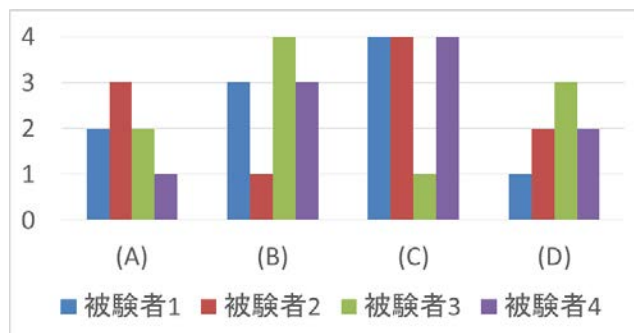


図 5 4 種の保持方法 A～D と被験者毎の順位

時に体ごと動かす傾向が強く、他の被験者は腕のみを動かして作業を実施していた。このため、被験者 3 は画面が体の動きに追従する C の保持方法を好み、画面が道具の動きに追従する B の方法を支持しなかった。なお、被験者 1, 2 の身長は約 175cm、被験者 3, 4 の身長は約 155cm であった。

腕の長さ等の身体的な特徴と作業領域の広さや作業道具の柄の長さ等の作業特徴により、個人毎に作業道具の動かし方が異なるため、個人の道具の動かし方に合わせた数種類の方法から選択できることが望ましいという結果となった。

(2) アプリケーションによる作業領域のわかりやすさ

スマートフォンアプリケーションがない場合と比べて作業領域と作業未実施領域がわかりやすいか否かという設問に対しては、どの保持方法においてもアプリケーションがない場合よりある場合の方がわかりやすいという結果が得られた。これにより本アプリケーションの有用性が確認できた。

(3) スマートフォン保持による作業の阻害状況

スマートフォンがない場合と比較してスマートフォンを保持しながら作業する場合に、作業そのもの(ローラーを動かすこと)が阻害されたか否かや作業に集中できたか否か等をヒアリングしたところ、C の首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法以外は特に問題がないという結果になった。C の首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法では、実験に利用したホルダが被験者の身体に密着せず作業時に揺れてしまうのが気になるとの声を得られた。

(4) スマートフォン画面の見やすさ

スマートフォン画面の見やすさについて、画面の角度・画面内外の視野の広さの観点からヒアリングを実施した。画面の角度については C の首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法以外は特に問題がなく、C の方法では (3) と同じく画面が揺れてしまうこと、身体ごと動かさないと画面の角度が変えられないこと、画面の角度によっては照明が反射して見づらいことが問題点としてあがった。これは、今回の作業では腕のみを動かして作業を実施する被験者が多かったことも影響している。

スマートフォン画面内の視野の広さについては、図3に示した物理的な広さの順と同じ順に被験者も視野範囲を感じているようで、Bの道具に装着する方法では視野が狭いと感じる度合いが他の方法に比べて相対的に強くなる傾向があった。スマートフォンを片手に持つAの方法では、被験者毎にスマートフォンと被験者との距離が異なっていたものの、Bの方法とDの方法の中間程度の結果となった。スマートフォン画面内の視野範囲を広げるよりも、拡大鏡のようにスマートフォン画面内の画像を実際よりも拡大する等の利点があるとよいとの声もあった。

スマートフォン画面外の視野の広さについては、A、Bの方法では画面に集中してしまうためほとんどスマートフォン画面外を見なくなり、何か障害物が存在しても気がつかなくなるという問題点があがった。Cの方法では、スマートフォン画面内だけでなくスマートフォン画面外も視野に入り、A、Bに比べるとスマートフォン画面外の障害物にも気がつきやすいという結果となった。Dはスマートフォン画面外の視野範囲が存在しないが、スマートフォン画面内の視野範囲が広いので問題ないとの意見もあったが、スマートフォン画面外の視野範囲がゼロになってしまうために頭を大きく動かさなくてはならず道具や障害物を発見しづらいという声もあった。

(5) 装着感

装着感については、Aの片手で持つ方法は長時間の作業になると重さが気になる可能性がある・手の大きさの割にスマートフォンが大きく落としそうという問題点があがったが、今回の作業では片手が塞がってしまうデメリットはあまり気にならないとの意見が多かった。Bの道具に装着する方法については、道具が重くなることへの抵抗感は小さかった。Cの首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法については、(3)で述べたのと同じく揺れてしまうという問題点があがったが、揺れ以外の痛さや重さ等は特に問題なかった。このため、より身体に密着するホルダを用いれば、首からかけるスマートフォンホルダの有用性は高まりそうである。Dの頭に装着する方法は、今回の実験に利用したスマートフォンホルダが顔に密着するタイプであるため、顔に当たるのが気になるとの声が大きかった。また、頭の前側だけに重心が偏りバランスが悪いためそのあたりも改善してほしいとの意見があった。頭に装着する場合のホルダ形状の工夫やメガネ型のAR表示装置を用いることにより装着感が改善されることが考えられる。

(6) 作業時に周囲の目が気になるか

作業時に周囲の目が気になるか否かについては、周囲も同様の作業をしている場合はどの方法でもあまり気にならないという結果になった。しかし、周囲が同様の作業をしておらず自分自身のみが実施している場合や、自分は実施していないが周囲に作業をしている人がいる場合に、Cの首からかけるスマートフォンホルダを利用する方法が気に

なるという声があった。これは、Cの首からかけるスマートフォンホルダを利用している人をあまり見かけたことがないためだと想定される。以前に自分が実施したことがあるかどうかという経験や、周囲の人が作業内容やアプリケーションの内容について熟知しているか否かも周囲の目が気になるか否かに影響を与えるという意見が得られた。

Dの頭に装着する方法では、装着してしまえばスマートフォン画面しか見えなくなるため作業に集中できるという意見と、周囲の様子が見えなくなるため周囲の様子が気になってしまい疑心暗鬼になるという真逆の意見が得られた。本実験の被験者は4人ともVRゴーグルの利用経験があるため、Dの方法に対する抵抗感は小さかった。

4.3 考察

実験の結果、(2)アプリケーションによる作業領域のわかりやすさのヒアリング結果より、どの保持方法においてもアプリケーションがない場合よりわかりやすいという結果が得られた。また、(1)利用しやすさの順位より、最も望ましい方式は個人によって異なることがわかった。これは、個人毎に作業時の作業道具の動かし方（腕だけ動かすのか身体ごと動かすのか等）が異なっているためだと考えられる。

今回の実験で行った作業は両手を必要とする作業ではなく道具を持ち上げることもなかったため、(3)スマートフォン保持による作業の阻害状況で片手作業による影響はあまりなかった。両手を必要とする作業の場合には、影響があると考えられる。

(4)スマートフォン画面の見やすさでは、検討時に考慮したスマートフォンの身体からの距離とカメラ画像の視野範囲の影響は存在したが、それ以外にもホルダの固定度による揺れの影響が大きく出た。ホルダの固定方法に改善の余地がある。片手で持つ場合にも手に固定するバンドを利用する等の改良を実施したい。

ホルダの固定方法は(5)装着感にも影響を与えるため、揺れずに不快ではない固定できるよう改良する必要がある。スマートフォンは軽い(5)装着感のヒアリングで重さについての意見はあまり出なかったが、長時間作業となると重さが気になってくる可能性が高い。

(6)作業時に周囲の目が気になるかにおいては、周囲が作業内容を知っているか、周囲が同じ作業をしているかが大きな影響を与えることがわかった。また、見慣れた道具（ホルダ）であるかどうかにも影響を与えるため、VRゴーグルの経験がない被験者にも試してもらう必要がある。スマートフォン画面以外が見えなくなることで集中できる被験者と、見えなくなることで逆に不安になるという被験者が存在したことも興味深い結果である。

5. おわりに

本論では近年スマートフォンに標準搭載されているカメラと AR フレームワークを活用し、スマートフォンのみでリアルタイムに作業状況を可視化するアプリを試作した。さらに試作したアプリを用いて実際に作業を行う際のスマートフォンの保持方法について、4 種の方法（A：片手で持つ、B：道具に装着する、C：首からかけるスマートフォンホルダを活用する、D：頭に装着する）を検討し、試作したアプリを用いて 4 人の被験者に 4 種の保持方法を比較してもらった。

どの保持方法でもアプリケーションによる支援により作業領域と作業未実施領域の区別がつきやすくなり有用であるという結果が得られたが、保持方法については個人毎に意見が分かれた。これは、個人毎に作業時の作業道具の動かし方（腕だけ動かすのか身体ごと動かすのか等）が異なっているためだと考えられる。このため、個人の作業スタイルに合わせて数種類の選択肢が必要だという結果が得られた。また、スマートフォンホルダの改善も必要である。今後、作業時間が長くなった場合の影響、作業範囲や道具の大きさの影響等も調査していく必要がある。

参考文献

- [1] 大澤奈々穂, 和田佑太, 八木澤喬樹. むりつぶし爽事機の試作. インタフェースシンポジウム 2017
- [2] 牧田孝嗣, 張慶椿, 一刈良介, 大隈隆史, 蔵田武志. 拡張現実を用いた道路整備作業支援システムの基礎検討. 信学技報, 2014, vol. 114, no. 239, MVE2014-34, pp. 19-24
- [3] 釣賀亮佑, 大沼信也, 阿部亨, 菅沼拓夫. モバイルプロジェクトとカメラを利用した作業支援のための情報投影手法. 第 78 回全国大会講演論文集. 2016, vol.1, pp.274-276
- [4] “ARKit”.
<https://developer.apple.com/jp/augmented-reality/arkit/>
- [5] “ARCore”.
<https://developers.google.com/ar>