

AR 技術を利用した操作支援装置の有用性についての検証 - 実用に即したユースケースを使った実験結果の報告 -

瀧塚令子^{1,a)} 加藤晴久^{1,b)} 柳原広昌^{1,c)} 菅野勝^{1,d)}

概要：組立操作，およびネットワーク運用操作を対象として，従来技術，および今回提案する AR マニュアルを使用して操作支援をした場合の有用性の違いを，10人の被験者による実験結果に基づき検証した．被験者の操作時間と正答率と使いやすさの主観評価値を，紙や電子といった操作支援装置の媒体，および支援内容を表示する AR メッセージの表示についての技術に注目して計測したところ，AR マニュアルの利用時は従来技術を利用した場合と比較して操作時間が5割に短縮し使いやすさの主観評価値が2倍に上昇し正答率も上昇した．

キーワード：拡張現実，画像処理，操作支援装置

1. はじめに

従来，一般的に機器などの操作方法がわからないときや戸惑うときは，従来から使用してきた紙マニュアルを利用したり，操作の効率化を目指して電子マニュアルを利用してきた[1]が，紙マニュアルや電子マニュアルといった従来媒体を利用した操作支援装置には様々な問題点があった．第一に操作者からの要求に応じて該当する情報が提供されるものがほとんどであり，マニュアル内に多数の有用な情報がある場合でも，操作者が気付かなければ十分に活用できなかつた．第二に，マニュアルから取得した操作支援情報を，操作者は現実空間の対象物に直接関連づけられず，頭の中で仮想的に関連付けることしかできなかつた．第三にマニュアルを見ながら逐次操作をするにも拘わらずマニュアルを置くための適当な場所がない場合は，情報を取得する度にマニュアルをどこか別の場所に置くために操作を中断する必要があつた．さらに紙マニュアルを使用する場合は，手に取って頁をめくりながら目的情報を探すために手間がかかつた．

上記のような問題点を解決する技術として，近年，現実空間の操作の光景に計算機内で生成した情報を重畳する拡張現実感(Augmented Reality: AR)技術が注目されており，操作支援技術として利用するための研究および開発事例が報告されている[2]-[12]．AR 技術を利用すれば，カメラによって撮影された周辺の状況を解析し，予め登録した条件や対象物を検出すると該当する操作支援メッセージを直接対象物に重畳して表示するような「操作支援装置」を構築できる．このため，操作者は同一空間に存在する対象物と支援情報を自然に対応付けることが可能となる．その結果，操作知識が乏しい初心者に対してさえも，操作を正確に短時間で終わらせるような支援を提供できる．また HMD(Head Mounted Display)などのウェアラブル製品を使

用すれば，操作者はマニュアルの置き場所を気にすることなく操作を継続して実施できる．しかし，これまでこのような AR マニュアルと紙や電子マニュアルとを実際の操作環境を用いたユースケースを使って統計的に顕著に対比した報告はない．そこで本稿では実際の操作環境に応じたユースケースを提案し，それらの環境における AR マニュアルの有用性を，紙マニュアルや電子マニュアルといった従来技術と比較することにより検証する．

2. 関連研究

既に，GPS(Global position system)などの位置情報[2]，マーカーや撮像画像の特徴点情報など[3]-[12]を利用した AR 操作支援装置およびその実験結果が報告されている．しかし，AR 操作支援装置には，対象物の認識精度が低い，コストが高い，といった既知の問題点があると共に，現実の操作支援環境において提案した操作支援装置の有用性を従来技術と比較して検証した報告例は少ない．実際の操作支援環境として，複数の商品を該当する商品容器に投入する仕分け操作[6][12]，複数の分解されたパーツの組立操作[7]-[9]，複雑な保守や修理操作[10]などを対象とし AR 技術を利用した場合の有用性を主張した文献が存在するが，従来技術と比較をしないで単に対象とする AR マニュアルの実験結果を提示した報告[6][7] や，複数の AR マニュアル間でのみ比較をした報告[9]に留まっている．また，従来技術と比較した場合であっても，主観評価に限定しているもの[8] や，操作時間に関して統計的な差が顕著でないもの[10]が主流である．さらに，従来技術と比較して統計的に顕著な差が出ている場合であっても，対象操作が2次元の数表コンテンツ上の経路探索といった現実の操作支援に対応付けにくいもの[11]や，AR による操作支援メッセージ(以下，AR メッセージ)を表示する対象物を自動認識ではなく操作者の指示によって確定しているもの[12]がある．本稿では，対象物を自動認識する AR 操作支援装置と従来技術を利用した操作支援装置について，それぞれを利用した場合の操作時間や主観評価値を比較することにより，AR 操作支援装置の優位性を統計的に導きだすこと，および優位性

1 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories, Inc.
a) takizuka@kddilabs.jp
b) h-kato@kddilabs.jp
c) yanap@kddilabs.jp
d) sugano@kddilabs.jp

を發揮する条件を検出することを目的とする。

3. パズル組立操作

複数の部品を該当する位置に移動させる操作、および移動後に組立てや設置を行う操作への適用を想定して、4枚の正方形のパズルをマニュアルの指示に従って指定場所に指定の向きで並べる実験を実施した。本課題ではパズルを正確かつ迅速に見分ける認識力が重要と考え、マニュアルの媒体の違いが被験者の認識力に及ぼす影響について評価するため、複数の媒体のマニュアルを用意した。組立や移動対象となる部品が小さかったり、外見が類似していたり、向きの識別が難しかったりする場合は想定して、4枚のパズルを互いに類似した図柄の向きの識別が難しい同一サイズの正方形として、6組分を用意した(図1)。被験者は図2の机の前に座って実験を行った。被験者の前方約20cmの机の上に、ノートPCと、パズルの組立位置に該当する正方形の黒枠を描いた紙と、組立対象の4枚の8.5cm×8.5cmの紙のパズルを置き、組立位置内にパズルが存在する場合、常にパズルにARメッセージが的確に重畳されるようにWEBカメラをスタンドで机に固定した。

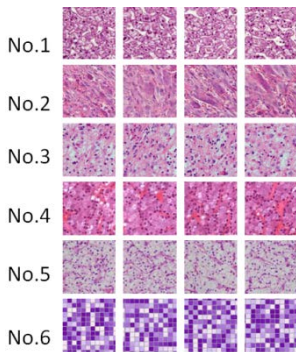


図1. 使用した6組のパズル

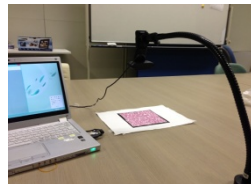


図2 使用機器の配置

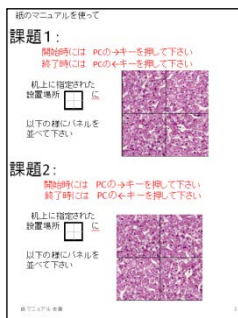


図3 紙マニュアルの一部

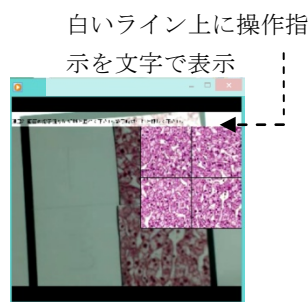
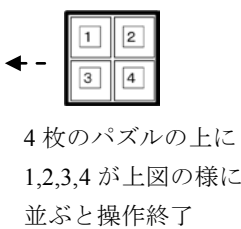


図4 電子マニュアル



図5 AR マニュアル



4枚のパズルの上に
1,2,3,4が上図の様に
並ぶと操作終了

紙マニュアルはA4版の紙の両面に全18題の課題の内容を示す組立終了後のパズルの図を各頁に2題ずつ印刷した薄手の冊子(図3)であり、アプリが紙マニュアルを指示する度に被験者は冊子を手にとって指定された課題の頁を開き該当する説明に従って操作を行った。

電子マニュアルは、アプリの画面の右上部に目的とするパズル映像を重畳したものであり、本実験ではカメラの位置を固定したため、画面上には常にパズルの組立位置を示す黒枠の周辺映像と共に目的のパズル映像が映った(図4)。図4の画面上部の白いラインはアプリ全体に共通の領域であり、文字で操作指示を記した。

AR マニュアルは、予め認識対象のパズルの特徴点データをDBに登録しておき、撮像画像上でパズルを認識すると、認識したパズルの上にその配置位置を示す番号を撮像画像上のパズルの向きにあわせて表示するため(図5)、AR マニュアルを使用した場合、被験者はパズルの図柄を見ずに数字だけを見て操作を行うことができる。

4. ケーブル接続操作

ネットワーク運用保守管理操作への適用を想定して、多数のコネクタの中から指定されたコネクタを選択してLANケーブルを接続する操作を被験者に課した。本課題では、指定されたコネクタを正確に迅速に選択する力が重要であり、それにはマニュアルの媒体だけではなく表現方法の違いも影響すると考えて紙マニュアルと表現方法の異なる複数のARマニュアルを用意した。図6の写真の中央の5段に重ねたコネクタ群をケーブルの接続先として被験者の前方の棚の上に設置した。本実験では、カメラがコネクタ群をより正確に認識できるように、コネクタ群の前面全体に特徴点を検出しやすい青や赤の派手な模様の紙を張り付けた。コネクタ群の右横に実験用アプリを動かすノートPCを置き、被験者は棚の前の、コネクタ群とPCの間に立った。カメラの正面が常にコネクタ群の真正面を向いてコネクタ群全体を認識するようにカメラを固定したため、被験者は常にPC画面にリアルタイムで表示されるコネクタ群の画像や操作指示や操作支援メッセージを見ながら課題を実施した。

紙マニュアルは、A4版の用紙の両面に全20題の課題を各頁に2題ずつ印刷した薄手の冊子であり、各課題は、目的とするコネクタの拡大図と簡単な操作説明から構成される(図7)。アプリが紙マニュアルを指示する度に、被験者は紙マニュアルを手にとって指定された課題の頁を開き該当する説明に従って操作を行った。AR マニュアル1は、撮像画像に目的とするコネクタの位置とコネクタ群の番号体系を重畳したものであり(図8)、図8の画面上部の白いラインはアプリ全体に共通の領域で、文字でコネクタの位置番号と操作指示が表示される。AR マニュアル2は、AR マニュアル1の表現に加えて指定したコネクタ群以外の画面

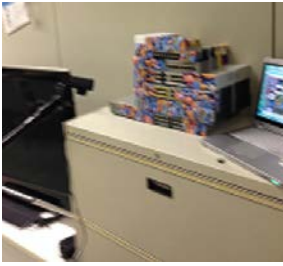


図 6 使用機器の配置



5 段のコネクタ群を正面から見たところ



図 7 紙マニュアルの一例

白いライン上に目的のコネクタ番号と操作指示を文字で表示

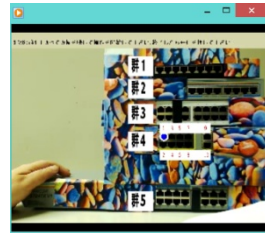


図 8 AR マニュアル 1

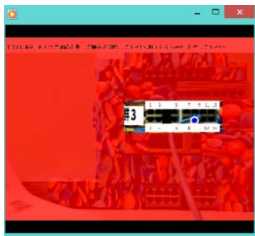


図 9 AR マニュアル 2



図 10 AR マニュアル 3

の全領域を赤い半透明の色で覆うことにより目的のコネクタの位置をより目立たせた(図 9). AR マニュアル 3 は, AR マニュアル 1 の表現に加えて画面の左上部にコネクタ群の全体図を配置して, 被験者が目的のコネクタの位置をより把握しやすくした(図 10).

5. 実験方法

5.1 被験者

本実験の被験者は 20 代から 50 代の 10 名 (男性: 5 名, 女性: 5 名) の健全な会社員であり, AR について専門に研究や開発をする職業に従事しているものを除いた. 被験者には事前にインフォームドコンセントを実施して, 実験方法の確認や予想されるリスクや個人情報の保護について同意を得た. 実験時には裸眼もしくは日常で使用する眼鏡およびコンタクトレンズを用いて測定を行った.

5.2 使用機器

Windows8.1 を実装したノート PC(Panasonic CF-MX4, インテル Core i5-5300U vPro プロセッサ 2.30 GHz, 4GB DDR3L SDRAM)上で VisualStudio 2013 の VisualC++や OpenGL を利用して実験用アプリを開発した. 画像の特徴点情報を利用したマーカレス AR は比較的低いコストで実装ができると共に今後の展開により認識精度および使い勝手の向上が期待できるため, アプリには当社

で開発したマーカレス AR エンジン[13]を採用した. アプリは, 同種の操作に対して媒体や技術の異なるマニュアルを一定の順序に従って使用するよう操作者に指示した. その際, 実験の指示や AR メッセージを, 撮像画像と共に PC に付属の 12.5 型 (16:9) Full HD TFT カラー IPS 液晶モニタに表示した. Logicool 社製の HD ProWEB カメラ c920r を PC に USB 接続して, AR メッセージが常に安定して表示される位置に固定した.

5.3 手順および評価方法

操作者の経験の差が結果に影響するのを防ぐために, パズル組立操作では, 被験者が同一のパズルを使用する回数を①紙マニュアル, ②電子マニュアル, ③AR マニュアルの各マニュアルに対してそれぞれ 1 回ずつとした. 実験では, 「①→②→③」「①→③→②」「②→①→③」「②→③→①」「③→①→②」「③→②→①」の順序でマニュアルを使用することにより個々のマニュアルの使用順序の配分を全マニュアルについて均等にした. 一方, ケーブル接続操作では, 被験者に対して①紙マニュアルと, ②AR マニュアル 1, ③AR マニュアル 2, ④マニュアル 3 の 3 種類の AR マニュアルを①→②→③→④の順序で 5 回ずつ使用して計 20 回の課題を行うように指示を出した. 本番前には本番と同一方法および順序で, パズル組立操作の場合は本番と異なる 4 枚のパズルを用いて 9 回, ケーブル接続操作の場合は本番と異なる 2 段のコネクタ群を使って 20 回練習を課すことにより, 被験者に操作に充分慣れてもらった. 実験時には, 各課題において, 被験者は準備ができると PC の開始ボタンを押し, アプリの指定したマニュアルに従って操作を行い, 操作を終了すると PC の終了ボタンを押す, という一連の操作を繰り返した. 全操作の終了後に個々のマニュアルを使用した場合の操作時間, 正答率, 使いやすさの主観評価値についての平均値を算出した. 正答率については被験者の回答の正誤の判定を行い媒体および技術別に「全被験者が正答を回答した課題数」の「全被験者が実施した課題数」に対する割合を算出した. 使いやすさの主観評価値については, 実験終了後に, 全操作者に Visual Analog Scale(VAS) [14]を用いたアンケートを実施して, 結果を「非常に使い難い」から「非常に使い易い」までの間を 0 から 10 点に換算して計算した. さらに操作時間および使いやすさについては, 個々のマニュアル単位に全被験者の平均値を算出し, マニュアル間で母平均に差がないことを帰無仮説として検定を実施した.

6. 結果

6.1 パズル組立操作

操作時間, 正答率, 操作のしやすさについての結果を図 11, 12, 13 に示す. 図 11 に示す通り, 操作時間は紙マニュアル, 電子マニュアル, AR マニュアルの順序で減少した. 「マニュアルの違いにより操作時間の平均値間に差が

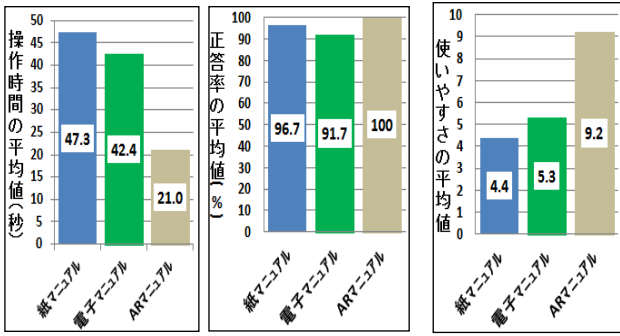


図 11 操作時間の平均値の比較 図 12 正答率の平均値の比較 図 13 使いやすさの平均値の比較

生じない」という帰無仮説をたてて分散分析を実施したところ、 $F(2, 177)=4.727093$, $p<.001$ という結果が出て有意水準 1% で帰無仮説が棄却された。次に t 検定を使って Bonferroni による多重比較[15]を行ったところ、有意水準 1% で「紙マニュアルと AR マニュアル」および「電子マニュアルと AR マニュアル」間で帰無仮説が棄却された。紙マニュアルと電子マニュアルの間では帰無仮説は棄却されなかった。

次に正答率については、図 12 に示す通り AR マニュアル、紙マニュアル、電子マニュアルの順序で減少し、被験者が正確に操作することを重視したため、各マニュアル間の差は微小であった。

最後に使いやすさについては、図 13 に示す通り AR マニュアル、電子マニュアル、紙マニュアルの順序で減少した。「マニュアルの違いにより使いやすさの平均値間に差が生じない」という帰無仮説をたてて分散分析で検定したところ、 $F(2, 27)=5.488117$, $p<.001$ という結果が出て有意水準 1% で帰無仮説が棄却されたため、t 検定を使って Bonferroni による多重比較を実施すると 1% の有意水準で紙マニュアルと AR マニュアル、および電子マニュアルと AR マニュアル間で帰無仮説が棄却された。一方、紙マニュアルと電子マニュアルの平均値間では帰無仮説が棄却されなかった。

上記の結果より、パズル組立操作では操作時間、正答率、使いやすさの全般について AR マニュアルが紙マニュアルや電子マニュアルと比較して統計的に有用性が高いと判断できる。表 1 はアンケートの自由記述欄の回答に基づき各々のマニュアルの長短所を整理したものであり、最も使いやすいと感じた人数は VAS の結果から集計した。

表 1 パズル組立操作におけるマニュアルの長短所

	長短所	最も使いやすいと感じた人数
紙マニュアル	長所 ・使い慣れている。 ・手元で図柄を確認しやすい	0
	短所 ・一々紙をめくるのが面倒 ・誤った記載場所から情報収集をする恐れがある	
電子マニュアル	長所 ・画面が明るいため紙より見やすい	0
AR マニュアル	長所 ・重畳された数字だけを見ればよいので識別しやすい。	10

6.2 ケーブル接続操作

操作時間、正答率、操作のしやすさについての結果を図 14, 15, 16 に示す。図 14 に示す通り、操作時間の平均値

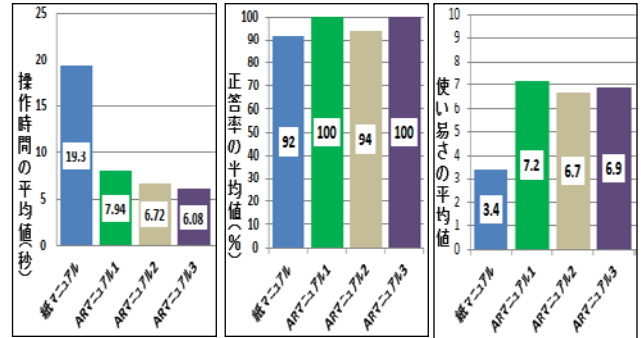


図 14 操作時間の平均値の比較 図 15 正答率の平均値の比較 図 16 使いやすさの平均値の比較

は、紙マニュアル、AR マニュアル 1, 2, 3 の順序で減少した。「マニュアルの違いによって操作時間の平均値に差が生じない」という帰無仮説をたてて独立サンプルによる Kruskal-Wallis の検定によるノンパラメトリック検定[15]を実施したところ帰無仮説が棄却された。次に 1% の有意水準でマニュアルのペアごとの比較を実施して Bonferroni の訂正を実施したところ、紙マニュアルと AR マニュアル 1, 2, 3 の 3 件の組合せにおいてそれぞれ帰無仮説が棄却されたが、3 種類のマニュアル間ではそれぞれ帰無仮説は棄却されなかった。

正答率は AR マニュアル 1, AR マニュアル 3, AR マニュアル 2, 紙マニュアルの順序で減少し、被験者が正確に操作することを重視したため、各マニュアル間の差は微小であった。

使いやすさについての主観評価値の平均値は AR マニュアル 1, AR マニュアル 3, AR マニュアル 2, 紙マニュアルの順序で減少した。「マニュアルの違いによって使いやすさの平均値に差がない」という帰無仮説をたてて「独立サンプルによる Kruskal-Wallis の検定によるノンパラメトリック検定」を実施したところ帰無仮説が棄却された。そこで 1% の有意水準で技術のペアごとの比較を実施して Bonferroni の訂正を実施したところ、紙マニュアルと AR マニュアル 1, 2, 3 の 3 件の組合せにおいて帰無仮説が棄却されたが、3 種の AR マニュアル間ではそれぞれ帰無仮

表 2. ケーブル接続操作におけるマニュアルの長短所

	長短所	最も使いやすいと感じた人数
紙マニュアル	短所 ・頁をめくるのが面倒。 ・頁と画面の対応がとりにくい	0
AR マニュアル1	長所 ・画面がシンプルで見やすい。 …操作に夢中であったため AR マニュアル 2, 3 の使用時も AR マニュアル 1 の技術によるメッセージ	3
AR マニュアル2	長所 ・目的のコネクタの周辺だけが明るいため目的位置を把握しやすい	4
	短所 ・実物と画面との対応がとりにくい	
AR マニュアル3	長所 ・画面と実物との対応が非常に取り易い。	3

説は棄却されなかった。

上記の結果より、操作時間、正答率、使いやすさの全般について、ケーブル接続操作では、AR マニュアルが紙マニュアルと比較して統計的に有用性が高いといえるが、3種類のAR マニュアル間では差がない。表2はアンケートの自由記述欄の回答に基づき各々のマニュアルの長短所を整理したものである。最も使いやすいと感じた人数はVASの結果から集計した。表2よりAR マニュアルの使いやすさ、特に現実空間における対象物やAR メッセージの位置の把握については個々の被験者の資質や個性によって異なると推測する。

7. 考察

7.1 AR は紙や電子よりも支援効果が高い

本実験ではAR マニュアルを利用したときは、紙マニュアルや電子マニュアルを利用したときよりも、操作時間が減り、正答率および使いやすさの主観評価値が上昇した。特に操作時間は5割以下に減少し使いやすさは2倍近くに向上した。本実験の工程は非常に簡潔であったため、実際の複雑な操作工程では違いがさらに拡大しAR マニュアルの優位性が増大すると推測する。

7.2. 同一内容ならば紙も電子も支援効果は同じ

パズル組立操作実験の結果より、操作時間と使いやすさの双方において紙マニュアルと電子マニュアルの平均値間に明らかな差がなかった。被験者への観察から、紙マニュアルや電子マニュアルの使用時には、10人中9人の被験者が、課題の開始と共に対象のパズルを手元に集めて違いを確認しており、同一パズルを使用した場合は操作時間が操作の順番に依存すると推測された。そこで、「同一パズルを使用した場合は1回目と2回目の操作時間の平均値に差がない」という帰無仮説をたてて1%の有意度でt検定を実施したところ、帰無仮説が棄却されて平均値に差が認められた。従って、本実験から操作時間はマニュアルの媒体の違いよりも被験者の熟練度の差に強く影響すると考えられる。

7.3. AR マニュアルの強み

実験中の被験者の様子を観察することにより、パズルの組立操作を表3の①から④に細分化した。図11および表3より、本実験では、①が5秒弱、②が約21秒と算出される、

表3. パズル組立操作の細分化

	操作内容	紙マニュアル	電子マニュアル	ARマニュアル
①	課題の把握	有	なし	なし
②	パズルの位置や姿勢の検出	有	有	なし
③	パズルの設置	有	有	有
④	検証	有	有	有

有： 対応時間が存在する場合

なし： 対応時間が存在しないか0に近い場合

AR マニュアルの長所は紙マニュアルや電子マニュアルの利用時と比較して大幅にパズルの位置や姿勢の検出時間を短縮できる点であり、人間の視力では判別が困難な類いの図柄の識別処理についても強みを発揮した。

次にケーブル接続操作を表4の①から④に細分化した。

表4. ケーブル接続操作の細分化

	操作内容	紙マニュアル	ARマニュアル 1,2,3
①	課題内容の把握	有	なし
②	設備実体における操作対象箇所の検出	紙上の支援情報から	なし
		実体の撮像画像上に重畳された支援情報から	有
③	ケーブルの指しこみ	有	有
④	検証	有	有

有： 対応時間が存在する場合

なし： 対応時間が存在しないか0に近い場合

表3より、紙マニュアルの操作時間はAR マニュアルよりも「①+②-1-②-2」だけ長く、図14よりその値は約11~13秒である。さらに表3において①の値が5秒弱であるため、「②-1 - ②-2」の値は6~8秒である。これは①より長く、紙マニュアルの操作時間全体の約5割でありAR マニュアルの操作時間全体とほぼ等しい。従って、実空間上で対象物に直接AR メッセージを重畳できる効果は操作者が実際の対象物を把握するのを助け操作時間全体の短縮化に大きく寄与する。

7.4. AR マニュアルは検証操作もサポート

パズル組立操作では、全被験者が、AR マニュアルの使用時に、設置終了後に4枚のパズルの上に再度AR メッセージを重畳して検証操作をしていた。一方、紙マニュアルや電子マニュアルの使用時には、操作中にパズルの画像を見つめる時間が長かったため設置終了後に再度検証操作をする被験者がほとんどいなかった。ケーブル接続実験でも一部の被験者は、AR マニュアルの使用時に、ケーブルを指し終わった直後に画面で指し位置を確認していた。これらはAR 技術を利用した検証操作が簡単でかつ素早く実施できることに由来する。

7.5. 操作者は付加的な説明を無視しやすい

ケーブル接続操作実験では、AR マニュアルの画面の上部に文字でゴールのコネクタ位置を提示したが、実験後に被験者に尋ねたところ、誰一人文字のAR メッセージを見ていなかった。また、表2に記載した通り、AR マニュアル1が最も使いやすかったと答えた被験者は、余裕がないためにAR マニュアル2,3の付加的な説明を見ることができず、むしろ画面に余計な情報が氾濫するため不要であると述べていた。従って同一画面に複数のAR メッセージを表示した場合、よりインパクトの強いAR メッセージにし

かユーザは注目せず、付加的な AR メッセージを無視する可能性がある」と推測する。

8. まとめ

本稿では、AR 技術を利用した操作支援装置と紙マニュアルや電子マニュアルといった従来媒体を利用した操作支援装置の有用性の違いを、実際の操作環境に応じたユースケースの実験結果を用いて比較することにより、人間の視力では識別が困難な対象物を識別する場合および AR メッセージを空間上で実際の対象物に適応させる場合に、AR 技術を利用した操作支援装置が特に有用性を発揮することを検証した。今後は使用装置を光学透過型の HMD などのウェアラブル装置に移し、引き続き AR 技術を利用した操作支援装置の研究を続ける予定である。今回検証した AR 技術の有用性に関する結果に基づき、AR 技術の特徴を生かした新たな解決策の確立を目指す。

参考文献

- [1] 中西美和, 安間裕紀, 中村洋平, 勝木辰明, 「マニュアルのメディア形態が作業手順の学習に及ぼす影響: 媒体の違い及びコンテンツの違いに焦点を当てて」. 人間工学, vol. 49, no. 3(2013), p. 132-143.
- [2] 原秀樹, 桑原博, 「AR 技術で実現するスマートデバイスを活用した現場業務革新」, FUJITSU. 66,1, p.11-17, Jan. 2015.
- [3] 今井博, 「AR 技術を用いた現場支援システムの研究」, 大成建設技術センター報 第41号(2008), Vol. 41, p.56-1-56-4, 2008
- [4] "カメラ付きヘッドマウントディスプレイと AR(拡張現実)技術を用いたクラウド型機器保守・設備管理サービス「Doctor Cloud/巡回・点検支援システム」を販売開始”
”<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2015/09/0902b.html>, (参照 2016/5)
- [5] "世界初, AR 画像を視線の先にぴったり表示する透過型スマートグラス用ソフトウェアを開発”
<http://www.kddilabs.jp/newsrelease/2016/032901.html>, (参照 2016/5)
- [6] 山崎賢人, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行, 「商品物流における仕分け作業支援への複合現実感技術の応用(3)」, 2015 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-CVIM-195 No.34,p.1-6
- [7] Anderson Nishihara, Jun Okamoto Jr., "Object Recognition in Assembly Assisted by Augmented Reality System," SAI Intelligent Systems Conference 2015, 2015/11,p.400-407.
- [8] Li-Chen Wu, I-Chen Lin, Ming-Han Tsai, "Augmented Reality Instruction for Object Assembly based on Markerless Tracking," I3D '16 Proceedings of the 20th ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games,2016/2,p.95-102,
- [9] Steven Henderson and Steven Feiner, "Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret," Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09), October 2009, p. 135-144,
- [10] Arthur tang, Charles Owen, Frank Biocca, Weimin Mou,

- "Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly," CHI'03, 2003,p.73-80,
- [11] 遠山貴大, 戸谷貴洋, 宮尾敏明, 小寫健仁, 木下文也, 「シースルー型ウェアラブルメガネを用いた AR による作業効率向上への効果」.IPJS SIG Technical Report, 2016/01, Vol.2016-CVIM-200 No.46, p.1-4
- [12] Hendrik Iben, Carmen Ruthenbeck, Tobias Klug, "Visual Based Picking Supported by Context Awareness," ICMI-MLMI '09 Proceedings of the 2009 international conference on Multimodal interfaces, 2009/1, p.281-288,
- [13] Tatsuya Kobayashi, Haruhisa Kato, Akio Yoneyama, "Robust 2D-3D Matching for 3D Object Pose Detection," in Proc. of SIGGRAPH Asia 2012.
- [14] 「痛みの評価法評価法」, 日本ペインクリニック学会, http://www.jspc.gr.jp/gakusei/gakusei_rank.html, (参照 2016/5)
- [15] 「統計学セミナー第3回資料 第3回 3群以上の平均値の比較(一元配置分散分析)」
<http://www.saturingi.gr.jp/seminar/statistical/vol3.pdf>, (参照 2016/5)