



拡張現実感技術を用いた作業支援に関する課題

田井中溪志¹⁾

1) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, tainaka.keishi.ta1@is.naist.jp)

概要: 拡張現実感 (AR) 技術はさまざまな作業支援に対して有効であることが知られているが、実際、企業や工場ではあまり普及していない。その原因として AR のハードウェア性能やシステム設計の問題など様々ある。私はこれまで、設計時における情報デザインの難しさに注目し、この部分を補助する研究してきた。そこで得られたいくつかの作業支援普及への課題について説明し、今後の作業支援研究について紹介する。

キーワード: 拡張・複合現実、作業支援・評価、HMD

1. はじめに

企業や工場などにおける製品の組み立て作業に対して、ヘッドマウントディスプレイ (以降、HMD) を利用し、現実空間にデジタル情報を重畳表示する AR 技術を適用することで、早さ・正確性・理解のしやすさが向上、作業負荷が軽減することが知られている [1]。

更に近年、HoloLens2[2] のような完成度の高い光学透過型デバイスや様々なビジョントラッキングライブラリや Unity などの統合開発環境の普及により、AR システム開発の敷居自体が大幅に下がっている。それにもかかわらず、未だ、企業などで、組み立て作業に使用される例は少ない。我々は、この一因が、拡張現実感 (AR) 技術の適切な利用方法を体系化した情報が一般公開されておらず、作業支援システムの作成が難しいことにあると考えている。

なかでも、我々は、利用者が効率的な AR 作業支援システムを作成するにあたって、作業支援情報をどのように作業者に提示 (情報提示) するのかを設計すること (情報デザイン) に対する支援が重要であることに着目した。しかし、これまで多くの情報提示方法が発表されてきたが、これらを用途に応じて使い分け、効率的な AR システムを作成するためには、知識と経験が必要となる。

そこで、我々は、まず、AR を用いた組み立て作業支援を検討している工場のシステム設計者を想定ユーザの一例とし、彼らが適切なシステムの設計を可能にするガイドラインを提案した。これは、様々な情報提示方法の中から、3つのステップ (1: 対象となる作業 (以降、タスク) を一定の粒度の小さな工程 (以降、サブタスク) に分解、2: それぞれのサブタスクごとに利用可能なトラッキング技術を考慮、3: 適切な情報提示方法の選択) を通して、利用者に適した情報デザインを実現する。

そして、我々は、想定ユーザを含む多くの人々に本ガイドラインを利用してもらうために、上記の仕組みをウェブツール「Dr.AR」(URL: <https://ar-guideline.naist.jp>) にまとめ、公開した。そして、本ツールを使用して、PC の組

み立て作業やロープワークにおける AR 作業支援システムを作成し、システム評価を行う実験を通して、ガイドラインの効果を検証した。しかし、被験者は、我々が想定するユーザではなく、本学の学生であった。さらに被験者数も少なかったために、実環境でのガイドラインの評価を行うことができなかった。

今後は、実験で得られたフィードバックをもとにウェブツールを修正し、英語化することで、世界中のより多くの人々に使用してもらうことを考えている。さらに、そこからフィードバックを得ることで、さらなるウェブツールの改良、そして、多くの想定ユーザからの実データもとにした本ガイドラインの評価を予定している。

また、本ガイドラインを作成するにあたり、効率的な AR システムを作成するための様々な課題が見えてきた。そのうちのいくつかを例として取りあげ、議論していきたい。

2. これまでの研究

我々は、HMD を用いて AR 作業支援システムを作成するにあたり、「組み立て作業は、より小単位の作業工程 (サブタスク) の組み合わせにより構成されていること」と、「粒度をそろえて分解することで、それらのサブタスクは、ある統一されたサブタスクセットで表現できるであろうこと」に着目した。さらに、それらのサブタスク個々に対しては、適切な情報提示手法に関して必要となる位置姿勢推定 (トラッキング) 技術を考慮することで、詳細な議論が格段に行いやすくなるであろうと予想した。このアイデアを背景に、図 1 のような 3 段階で、一般的に使用されている作業手順書内容を基に、AR 作業システムの情報デザインを行うことを提案した。本稿で扱う情報デザインとは、作業員に対して作業支援情報を提示する方法をサブタスクごとに決定する行為を指す。

2.1 タスクの分解

第一段階として、タスクをサブタスクへ分解する。このとき、本ガイドラインでは、図 2 に示すような、目的別に

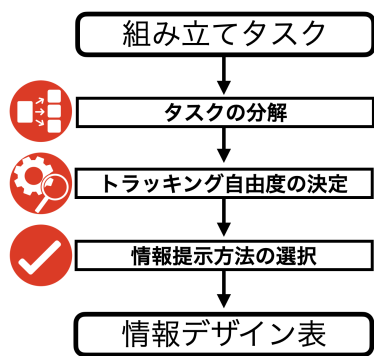


図 1: 提案ガイドラインを使用した情報デザインの流れ

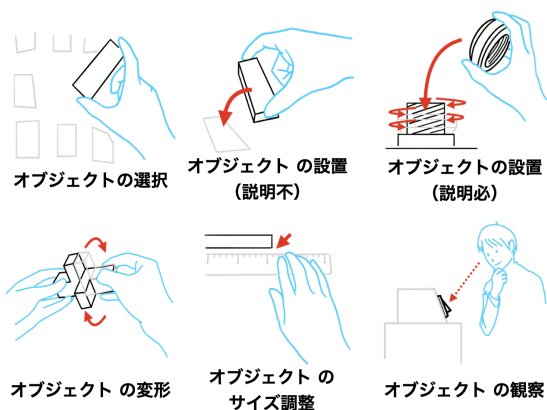


図 2: サブタスクの種類

分けた 6 つの種類をあらかじめ定めた。分解のために、利用者は、手順書内の作業をその 6 種類のいずれかに分類する。これは、各サブタスクによって利用者に伝えるべき情報の性質が異なり、それによる使用すべき情報提示方法も異なるためである。このサブタスクは、我々が、ブロックの組み立て・ロープワーク・折り紙・PC の組み立て作業を通して、経験的に、作業に必要な最小要素として定義したものである。

2.2 トラッキング自由度の決定

第二段階として、各サブタスクに対し、AR 表示のために使用する、ディスプレイデバイスやトラッキング技術を基に、トラッキング自由度を決定する。この自由度は、利用可能な情報提示方法をもとに考えた。対象物の 3 次元位置と 3 次元姿勢が取得できる場合には、その対象物上に 3D モデルを重畳表示が可能となる。しかし、3 次元位置のみの場合には、対象物近くのおおよその位置でのアノテーションにとどまる。そして、何も取得できない場合には、画像や動画を単に表示する情報提示方法へと変化する。こういった観点から、トラッキング自由度を 3 次元位置 + 3 次元姿勢、3 次元位置のみ、3 次元姿勢のみ、N/A(なし) の 4 種類に設定した。

2.3 情報提示方法の決定

そこで、第三段階として、各サブタスクに対して、サブタスクの種類と使用するトラッキング自由度から、利用可

ユーザトラッキング：3 次元位置 + 3 次元姿勢

手順	サブタスクの内容	サブタスクの種類	オブジェクトトラッキングの自由度	情報提示方法
1	パネルを手にする	オブジェクトの選択	対象物：3 次元位置 + 3 次元姿勢	対象物を示す画像を視野内固定表示
2	筐体の右側面が確認できる位置に立つ	オブジェクトの観察	対象物：3 次元位置	作業者の位置・方向を示す俯瞰画像を視野内固定位置に表示
3	筐体の上下の穴にパネルの爪を合わせる形で設置する	オブジェクトの設置 (説明不)	対象：なし 指定箇所：3 次元位置 + 3 次元姿勢	設置場所や手順を示す 3DCG アニメーションを指定箇所に重畳表示
4				

図 3: 提案ガイドラインが出力する情報デザイン表

能な情報提示方法を絞り込む。最終的に、サブタスクごとに、順番・内容・種類・トラッキング自由度・情報提示方法の内容をまとめた図 3 を情報デザイン表 (csv ファイル) として出力する。これには、利用者が AR システム作成における参考資料として、容易に内容を確認でき、編集することができるという利便性がある。

2.4 利用対象

本ガイドラインの対象とする利用者は、企業や工場で、従来作業手順書を作成する人々である。(例えば、工場の製造ラインを監督するラインリーダー) このような人々は、作業内容、ビデオや紙ベースの作業支援には、十分知識を有するが、AR 作業支援の知識やシステム開発の経験が少ない場合が多い。また、想定作業として、工業作業支援において、最も重要な工程の一つである組み立て作業に着目した。さらに簡単のため、遠隔ではない、作業者は一人 (共同作業でない) であり、作業空間は机の上で行える程度の大きさ、さらに作業者が HMD を使用した作業を想定した。

2.5 AR システム作成支援ウェブツール

我々は、本ガイドラインの仕組みと、利用者が簡単なテキスト入力と選択入力によって情報デザインが行える機能を加えたウェブツールを公開している (URL: <https://ar-guideline.naist.jp>)。

3. 研究課題

図 4 に研究課題の概要を示す。

3.1 情報デザインに関する支援

3.1.1 提案ガイドラインの効果検証と評価

PC の組み立て作業とロープワークを通して、AR 作業支援システム作成におけるガイドラインの効果を検証するために実験を行なった。その結果、我々のガイドラインでは、システム製作コストを抑えつつ、作業効率の向上が確認できた。しかし、被験者数が少なかったために有意な結果を得ることができなかった。さらに、被験者が本学の学生であり、我々が想定するユーザとは異なる特性を有していたこともあり、実環境での本ガイドラインの評価ができていないという問題がある。これに対して、実際の工場などの作業手順書作成者を集めて評価することは難しいと考える。そこで、我々は、ウェブツールの利便性向上と英語化を行い、

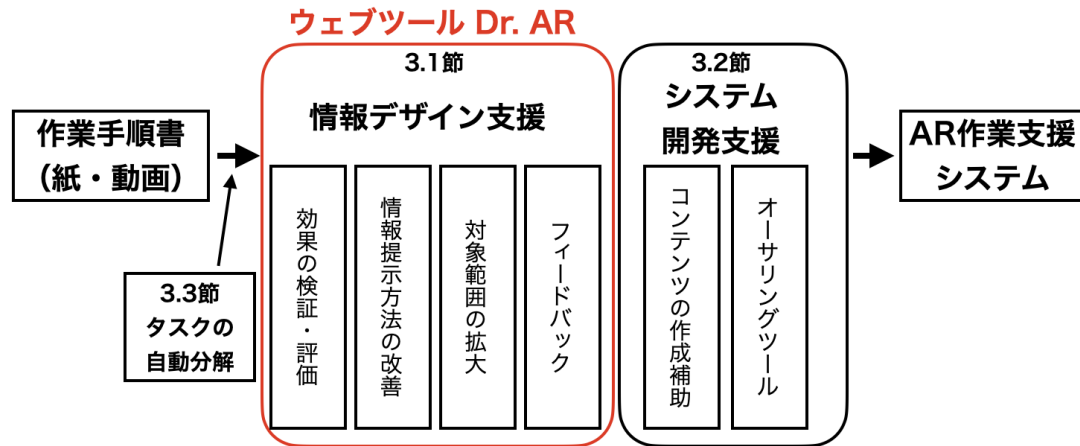


図 4: 研究課題の概要

世界中の、想定ユーザも含めた多くの人々に気軽に利用してもらうことで、作成ログやアンケートなどのフィードバックを基にガイドラインの評価とすることを予定している。

3.1.2 ガイドライン内の情報提示方法の提示方法改善

また、本提案ガイドライン内に収録されている情報提示方法自体が詳細に分類されているわけではなく、使用には依然、知識や経験が必要となる。そこで、利用者の特性に適した情報提示方法の絞り込みの精度向上が望まれる。

具体的に、公開したウェブツールにおいて、情報提示方法のさらに詳細な分類を行い、サブタスクごとの情報提示方法選択ログを記録する。その記録データから、情報提示方法の内容と、利用者がこれまでに扱ったサブタスクの内容や種類、前後のサブタスクの関係に応じて、最適な情報提示方法の絞り込みを行うことを考える。

3.1.3 利用対象の拡大

また、本提案ガイドラインでは、簡単化のために、利用可能なディスプレイデバイスを HMD に限定している。しかし、実際の作業では、ハンドヘルド型のディスプレイ（例：タブレット）やプロジェクターなどが考えられる。さらに、作業環境においても、2.4 節で制限を設けている。

実際に、こういった環境に応じたデバイス選定は難しく、課題となっている [3]。

3.1.4 利用者からのフィードバックについて

最後に、上記の課題は、ウェブツールから得られる利用者に実データを基に検討している。しかし、この実データは何をどのように取得するのかはまだ検討中である。

方法としては、各利用者にアカウントを提供し、そこで、作業規模や作業で使用する物体・デバイスについてのアンケートへの回答や、情報デザイン表を作成する過程のログデータを用いることが考えられる。どのサブタスクに対して、どんな情報提示方法が使用されたかが取得可能であると考えられる。

3.2 システム開発支援

3.2.1 コンテンツの作成補助

我々は、前述したガイドラインの効果検証実験の中で、「3D モデルとして、CAD データのような詳細なものと同程度に、立方体や球体といった単純な立体を組み合わせたものでも十分作業支援としての効果がある」ということを経験的に確認した。これらの経験から、CAD モデルなどが準備できない場合であっても、デフォルトで入っているような単純な形の立体を組み合わせ、最低限モデルの向きがわかる形で、利用者が容易に作成できるシステム、もしくは、RGB カメラを使用して 3D 形状を取得することによる自動生成を考えている。これにより、開発コストを抑えつつ効果の高い AR システムが作成可能になると考えている。

3.2.2 情報デザイン表を基にしたオーサリングツール

本提案ガイドラインの最終出力はサブタスクごとに情報提示方法がまとめられた情報デザイン表である。利用者がこれを基に、AR システムを作成するには、Unity などを使用した開発能力が必要となる。

同じく前述した実験において、「多くの組み立て作業の工程において、3D モデルやアニメーションを使用した高度な情報提示方法の使用は局所的に用い、ほとんどの工程においては、画像や動画などを用いた提示方法を使用することで作業支援として十分効果がある」ということを経験的に確認した。

そこで、ウェブツールによって最終的に出力されたデザイン表内のサブタスクごとの情報提示方法の内容と作業手順を示す画像や動画を入力とし、画像・動画ベースの AR 作業支援システムを自動生成する。その上で、利用者がデザイン表上で高度な支援が必要であると感じた要所では、3D モデルを追加していくことで、容易に効率的な AR システム開発が可能になると考える。さらに、この利用者による開発作業は、Unity 上ではなく、HMD を使用したアプリケーション上で、ビジュアル的にコンテンツ等の配置操作が可能となれば、さらに直感的でシステム開発が容易になると考える。

3.3 膨大な工程を持つタスクの自動分解

他にも、ウェブツール上の簡単な選択やテキスト入力を用いてタスクをサブタスクに分解しやすくなったとはいえ、100 個の工程あるタスクを全て手動で分解することは難しい。この問題に対して、Goto ら [4] は、作業手順を示す一人称動画を、動作ごとに自動でサブタスクごとに切り出しを行なったが、さらに、HoloLens 2 [2] に搭載されているハンドトラッキング技術や視線計測技術と組み合わせて利用することで、作業動画による情報に加え、作業者視線情報と作業者の手と操作物体との距離情報を取得することができる。これらの情報を基に、我々が定めたサブタスクの種類による分類を組み合わせることで、作業動画から容易にサブタスクへ分解することが可能になると考える。

4. まとめ

本稿では、これまでの研究として、組み立て作業支援のためのARシステム作成における情報デザインを補助するガイドラインを提案した。本ガイドラインは、サブタスクへの分解と使用トラッキング方法による利用可能な提示方法の絞り込みに基づくものである。この仕組みをまとめたウェブツール「Dr. AR」について紹介した。今後は、このウェブツールを使いやすいものへ修正し、利用者を増やし、実データを集めることで、このガイドラインの評価とする。そして、そこで得られるフィードバックを基に他の明らかになった課題を解決する予定である。

参考文献

- [1] Bottani, Eleonora. and Vignali, Giuseppe., “Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade.” IISE Transactions, 2019, 284–310.
- [2] Microsoft, “HoloLens2 コンピューティングの新しいビジョン,” <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware>, 2020.
- [3] Palmarini, Riccardo., Erkoyuncu, John. and Roy, Rajkumar., “An innovative process to select Augmented Reality (AR) technology for maintenance.” Procedia Cirp, 2017, 23–28.
- [4] Goto, Michihiko., Uematsu, Yuko., Saito, Hideo., Senda, Shuji. and Iketani, Akihiko., “Task support system by displaying instructional video onto ar workspace,” In 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2010, 83–90.