



組み立て作業支援のための AR システム設計補助ツール

Support Tool for Design of an Assembly Task Support System Using Augmented Reality

田井中溪志¹⁾, 藤本雄一郎¹⁾, 神原誠之¹⁾, 加藤博一¹⁾,

茂木厚憲²⁾, 倉木健介²⁾, 長村 一樹²⁾, 吉武敏幸²⁾, 福岡俊之²⁾

Keishi Tainaka, Yuichiro Fujimoto, Masayuki Kanbara, Hirokazu Kato,

Atsunori Moteki, Kensuke Kuraki, Kazuki Osamura, Toshiyuki Yoshitake and Toshiyuki Fukuoka

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, yfujimoto, kanbara, kato@is.naist.jp)

2) 株式会社富士通研究所 (〒 211-8588 川崎市中原区小上小田中 4-1-1, moteki.atsumori, kuraki.kensuke, osamura.kazuki, yoshitake.toshi, t.f@fujitsu.com)

概要: AR 技術はような組み立て作業の支援に有効であることが知られている一方で, 高品質な AR システムの設計には, 情報デザインに関する知識や経験が必要となる. 本研究では, AR に不慣れな人でも効果の高い作業支援 AR システムを設計できるように補助するためのガイドラインを作成するとともに, そのアイデアをウェブツールとして公開している. 多くの人々に利用してもらうことで, 本ガイドラインの効果検証と改善を行う.

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し, 作業負荷が軽減することが知られている [1]. さらに近年, HoloLens 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ュオントラッキングライブラリ, 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, 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いないことであると考えている. そこで, 効率的な AR システムを作成するためには, AR 技術を用いてディスプレイ上に表示する情報をどのように工夫するのかといった情報デザインが重要となることに注目した. 例えば, 3D アニメーションを実物体上に重畳表示する方法や, 視野内に画像や動画を表示する方法などがある. そして, これらの情報提示方法が得意とする作業はそれぞれ異なる. 例えば, HMD の視野内に収まりきらない 3D アニメーションを使用する場合には, 視野内に画像や動画を表示する方法よりも, 作業効率が下がるといった事例がある. こういった情報提示方法の違いを把握し使用するためには知識と経験が必要となる. また, 使用できる位置姿勢推定 (トラッキング) 技術に限られる場合, 高度な情報提示方法は利用できず, 他の利用可能な情報提示方法から選定する必要があるが, これにも

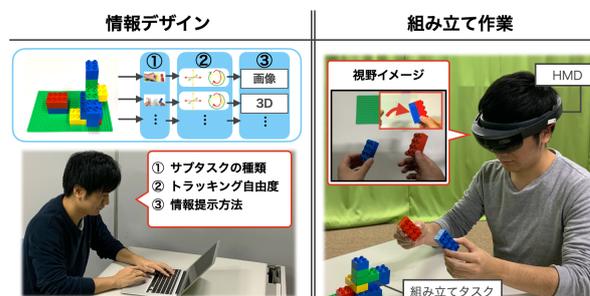


図 1: 提案ガイドラインの概要

知識と経験が必要となる.

そこで, 本稿では, 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とし, AR に不慣れであろう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する. 図 1 に示すように, これまでに発表された AR を用いた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, 利用者の目的に適切した情報デザインを実現する. 本稿で扱う情報デザインとは, 作業者に対して作業支援情報をどのように表示するのかをサブタスクごとに決定することを指す.

本提案ガイドラインの仕組みはウェブツールとして公開中である (<https://ar-guideline.naist.jp/>). そこから, 多

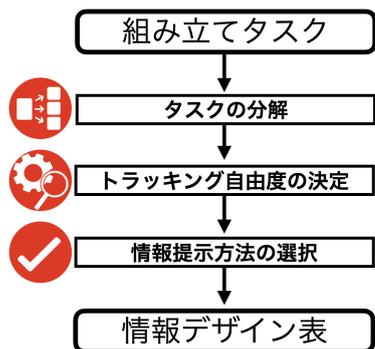


図 2: 提案ガイドラインを使用した情報デザインの流れ

くの人に使用してもらい、その実データを収集することでガイドラインの評価を行う予定である。

2. 関連研究

様々な作業に対して適切な AR システムを作成するために、いくつかのガイドラインの提案がなされてきた。

Mohr ら [2] は、印刷されたマニュアルから、最小限のユーザ入力で、部品・テキスト・目標を示すための矢印を半自動的に抽出する。その後、マニュアルから抽出した画像と投影された 3 次元 CAD モデルを照合し、パーツの 3 次元位置と 3 次元姿勢を計算して、情報を作業者に提示する AR システムを構築した。このような AR システム作成の自動化手法は、将来的には有望である可能性があるものの、様々なタスクの種類、使用する技術やデバイス、開発コストなどの要件が考慮されておらず、現状では、十分な柔軟性を得ることが困難である。これは、AR 作業支援システム作成における、作業支援情報をどのように作業者に提示するかを設計することを支援する本研究の目的とも異なる。

Palmarini ら [3] はメンテナンスタスクの作業支援に置いて、複数のアンケートに回答することで、使用すべきハードウェアやソフトウェア、支援方法を定めることができるデザインスペースを提案した。この方法は、広範な対象に適用可能であるものの、情報提示方法をタスクに対して一つに決めてしまうため、様々な工程が混在する作業支援には適さない。

また、Radkowski ら [4] は、組み立て作業の情報提示方法を扱う際には、一つのタスクには、様々な特性や難易度の工程が含まれており、そのそれぞれにおいて、最適な提示方法は異なると考えている。ただし、このサブタスクの特性や難易度は定型化されておらず、本研究が対象とする利用者にとって使用は難しい。

そこで、我々は、一つのタスクを、既定の種類の子タスクに分割し、そのそれぞれに対し、使用する技術やデバイス、開発コストを考慮し、情報提示方法を検討するアプローチをとることとした。

3. 提案ガイドライン

我々は、「組み立て作業は、小単位の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

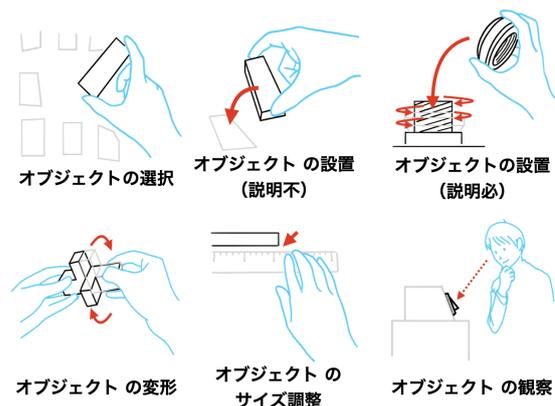


図 3: サブタスクの種類

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仮定した。このアイデアを基に、図 2 のような 3 段階で AR システムの情報デザインを行うことを提案する。

3.1 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 3 に示すような、目的別に分けた 6 つの種類を予め定めた。利用者は、支援したい作業をそのなかのいずれかに分類する形で、分解する。これは、各サブタスクによる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作業 (2 種)・ロープワーク (4 種)・折り紙 (2 種)・PC の組み立て作業 (2 種) の作業を通して、経験的に、最低限作業に足りるものとして定義したものである。ただし、この定義や粒度は確定したものではなく、今後便利な形に改良していく予定である。

3.2 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 実現のために使用する、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。特に、使用する HMD のトラッキング自由度をユーザトラッキング、サブタスクごとに登場する対象物のトラッキング自由度をオブジェクトトラッキングとする。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、おおまかな場所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。

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 4: 提案ガイドラインが出力する情報デザイン表

3.3 情報提示方法の決定

情報提示方法には様々なものが存在する。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、利用可能な情報提示方法を絞り込む。そして、補足的に、残った複数の情報提示方法群に対し、そのなかから適切な方法が選択できるように補助する仕組みを提供する。この仕組みについては、4.2, 4.3 章で説明する。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 4 を情報デザイン表として出力する。

3.4 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、作業内容や、ビデオ・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。さらに簡単化のため、遠隔作業ではない、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。

4. AR 作業支援システム設計ウェブツール

我々は、本ガイドラインをより多くの人々に使用・評価してもらうことで、本ガイドラインの効果検証を考えている。そのために、上記の仕組みをまとめ、ウェブツール「Dr. AR」(URL: <https://ar-guideline.naist.jp>) として公開している。図 5 に示すように、作業手順書から、情報デザイン表を作成するまでの 3 段階のステップ(3. 章より)を、簡単な入力と選択のみで実現した。

4.1 利用の流れ

まずはじめに、図 5 に示す通り、作業を通して終始使用し続けると想定されるディスプレイデバイスのトラッキング自由度を入力する。その後、作業手順書の内容から、分解したサブタスクそれぞれにおいて、サブタスクの種類、サブタスクの内容、対象物や指定箇所のトラッキング自由度とその名前を入力する。次に、利用可能な情報提示方法が提示され、利用者はそこから自身に適したものを選択することが可能となる。そして、これを図 6 に示す情報デザイ

ン表に追加していく。上記を繰り返し、最終的に、情報デザイン表を csv ファイルとして出力する。

4.2 情報提示方法の提示順

提示された情報提示方法において、我々は、作業者の理解のための補助の度合い(以降、補助レベル)が大きいと、実装コストも大きくなると考えている。具体的に、実装が容易で作業者の理解のための補助レベルが小さい情報提示方法には、視野内に支援情報を含む画像や動画を表示させる方法があり、反対に、実装が難しく補助レベルが大きい提示方法には、対象物に 3D モデルや 3DCG アニメーションなどを重畳表示する方法がある。一方、実装が容易で補助レベルが小さい支援方法であっても、作業者にとって理解しやすいこと、また、タスクのなかには、基本的に作業者にとって難しく支援が必要となるサブタスクは少ないということが、本ガイドラインを作成するにあたり経験的に判明した。

以上より、実装の負担と理解の補助レベルを考慮し、本ガイドラインでは、図 5 に示す通り、入力後の利用可能な情報提示方法の候補を提示する場合には、実装が容易で補助レベルが小さい提示方法から順に上から並び替え、表示することとした。

4.3 情報提示方法の絞り込みツール

上記の情報提示方法候補の表示順序を基に、利用者は、使用する方法を選択する必要があるが、依然、選択における専門的な知識や経験が必要となる。そこで、我々は、情報提示方法に関する先行研究の知見を基に、収録している情報提示方法が効果的に作業効率向上に直結する場面を定めた。これらを、図 5 で示すような、サブタスクの内容や作業者の周辺環境、システム開発者の能力に関する簡単なチェックボックスとして用意した。利用者が自身のサブタスクに該当するチェックボックスを選択することで、その状況に適した情報提示方法の候補におすすめマークが付与される。そして、利用者はそのおすすめ表示を基に、利用可能かつその状況に適切な情報提示方法を選択することが可能となる。

4.4 その他の工夫

その他にも、本ガイドラインを作成するにあたり、我々が獲得した AR システム作成のノウハウ・情報提示方法一覧をまとめてウェブツール上で公開している。さらに、利用者がわからない用語や説明に対して理解を助ける機能として、以下の機能を用意した。

本サイト中の用語は、専門用語が多く、その内容を確認するためには、その説明ページまで移動する必要がある。そこで、我々は、図 5 のように、マウスのカーソルを 1 秒間合わせることで、その用語説明をポップアップ表示される機能を付与した。また、提示された利用可能な情報提示方法一覧から適切なものを選択する際に、実際の適用を想像しやすくするために、それぞれの情報提示方法の具体例を示す動画を提示する機能を付与した。さらに、これらの動画は、各説明文横の数字にマウスを 1 秒間合わせることで、ポップアップ表示され、自動再生される。

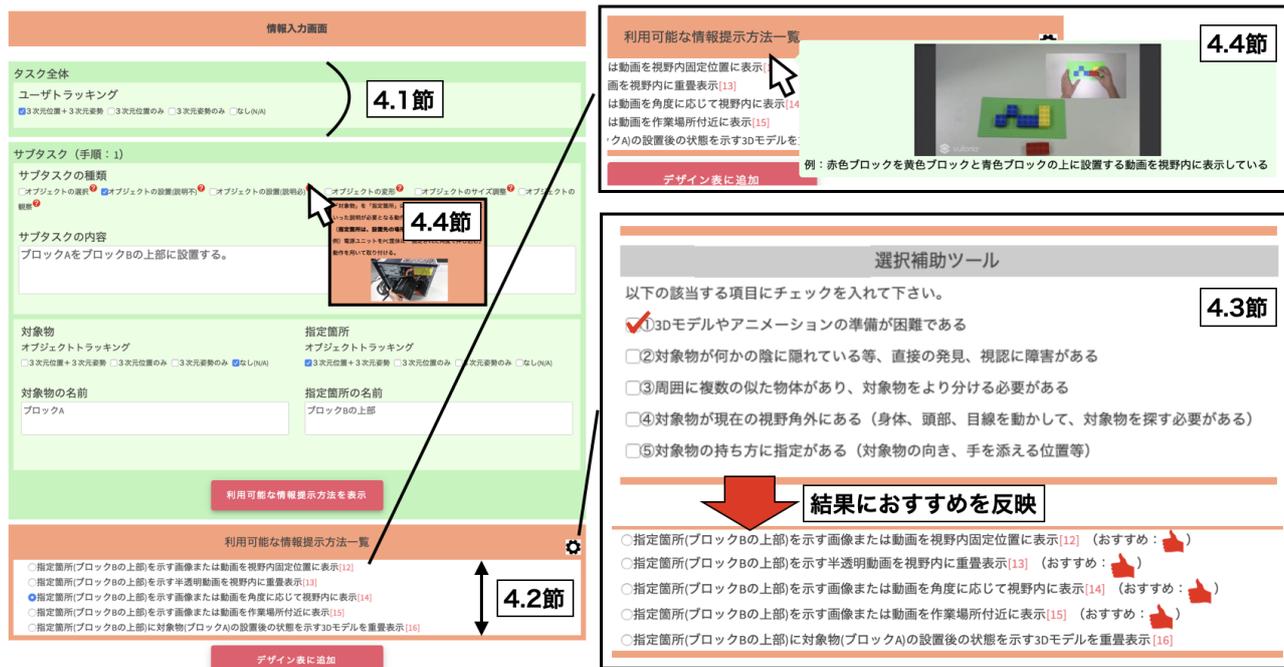


図 5: ウェブツール上の情報提示方法選択画面

情報デザイン表				ファイル選択	ファイル未選択
ユーザートラッキングの自由度: 3次元位置 + 3次元姿勢				ファイル選択	ファイル未選択
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	情報提示方法	操作
1	ブロックAの手を捉える	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(ブロックA)の見た目を半透明で表示し、指定箇所(ブロックB)の上部を示す画像または動画を視野内に表示[12]	⊕ ⊖ ↓
2	ブロックA(ブロックB)の上部に設置する	オブジェクトの設置場所	対象物: なし(N/A) / 指定箇所: 3次元位置 + 3次元姿勢	指定箇所(ブロックB)の上部を示す半透明動画を視野内に重畳表示[13] / 指定箇所(ブロックB)の上部を示す画像または動画を作業場所付近に表示[15] / 指定箇所(ブロックB)の上部に対象物(ブロックA)の設置後の状態を示す3Dモデルを重畳表示[16]	⊕ ⊖ ↓

図 6: ウェブツール上の情報デザイン表

また、情報デザイン表についても、編集を可能にするために、1行削除・1つ下に1行追加・1つ下に1行移動する機能や、情報デザインの途中作成や、以前作成したものを再編集する際に、csv ファイルをアップロードし、編集を再開できる機能も付与した。

5. 今後

本ツールには、依然、サブタスクの種類の再定義の必要性やトラッキング自由度選択の簡易化、情報提示方法選択補助ツールの拡充などの課題が残っている。これに対して、利用者のアンケートによるフィードバックなどから随時改良する予定である。さらに、本ツールを実際に想定ユーザに使用してもらい、そこから得られるフィードバックにより、本ガイドラインの作業支援への効果検証を考えている。そのためにも、我々は、本ツール「Dr. AR」を英語化し、世界中の組み立て作業で AR 支援を検討している人々に使用してもらう予定である。将来的には、本ウェブツールで作成された csv ファイルを入力として、半自動的に AR システムの作成を可能にする、Unity などの開発プラットフォーム上で使用可能なツールの実現を目指す。

6. まとめ

本研究では、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、このウェブツールの利便性を向上させ、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。

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] Mohr, Peter., Kalkofen, Denis., Kerbl, Bernhard., Donoser, Michael. and Schmalstieg, Dieter., “Retargeting technical documentation to augmented reality.” In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, 2015, 3337-3346.
- [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] Radkowski, Rafael., Herrema, Jordan. and Oliver, James., “Augmented reality-based manual assembly support with visual features for different degrees of difficulty,” International Journal of Human-Computer Interaction, 2015, 337-349.