

組み立て・メンテナンス作業を支援する 汎用型 AR 作業支援システムのコンテンツ記述フォーマット

上田 俊太郎^{*1} 藤本 雄一郎^{*1} 澤邊 太志^{*1}
神原 誠之^{*1} 加藤 博一^{*1}

Abstract – 組み立て・メンテナンス作業を支援するための AR システムは、従来研究でその有用性が示されているものの、普及しているとは言い難い。本研究では、AR 作業支援システムのコンテンツとプラットフォームを分離することで普及を促すことができるのではないかと考え、汎用型 AR 作業支援システムのコンテンツ記述フォーマットを検討する。実際に複数の AR 作業支援システムを開発・分析することで汎用型 AR 作業支援システムの構成や作業支援情報を体系的に表現することで、そのコンテンツが明確かつ簡便に記述可能となるフォーマットを提案する。

Keywords : 拡張現実感、組み立て作業支援、メンテナンス作業支援、コンテンツ記述フォーマット

1 はじめに

拡張現実感 (AR) を構成する要素技術の研究が進んできた。これにより実用的な AR システムの開発が可能となっている。また、組み立て作業やメンテナンス作業を支援する AR システムの有用性を示す研究も存在し、いくつかの応用事例も報告されている。[1, 2, 3, 4] しかしながら、AR 作業支援システムは普及しているとは言い難い。[5, 6]

AR 作業支援システムの普及を阻んでいる要因を考えるにあたって、我々は web サービスに着目した。web サービスではコンテンツ記述フォーマットを定義・利用する事によって、コンテンツとプラットフォーム (ブラウザ) の分離が可能となっている。これによりユーザは好みに合わせてプラットフォームを選択することが可能となり、同時に、サービス提供者はユーザがどのプラットフォームを使用しているかに依らず、コンテンツを作成することが可能となった。

我々は、AR 作業支援システムにおいても同様のコンテンツとプラットフォームの分離が重要であると考えている。そのために、AR 作業支援システムのコンテンツ記述フォーマットについて検討した。目標とするコンテンツ記述フォーマットの要件として以下の4つを掲げた。

1. 様々な組み立て・メンテナンス作業に対応し得る自由度を持つこと。
2. 記述が可能な限りシンプルなものになっていること。
3. プラットフォームで読み込み AR 作業支援シ

テムとして利用した際に、十分に機能するものであること。

4. 異なるデバイス間で、同一のコンテンツが利用可能となること。

本研究では、これらすべてを満たすコンテンツ記述フォーマットはどのようなものになるか検討した。本稿ではその手順と提案するコンテンツ記述フォーマットについて述べる。

2 関連研究

AR 作業支援システムのコンテンツとプラットフォームが分離している例として、Microsoft 社の Dynamics 365 Guide [7] が挙げられる。これは、HoloLens 用のアプリケーションであり、テキストの入力と 3D オブジェクトの配置のみで簡単に AR 作業支援システムのコンテンツが作成できる。また、作成可能な AR 作業支援システムの構成が決まっていることから、品質が安定しやすい。しかし、本アプリケーションのコンテンツ記述フォーマットは公開されておらず、異なるアプリケーションやデバイスでコンテンツを読み込むことはできない。

既存の AR コンテンツの記述フォーマットに Augmented Reality Markup Language 2.0 (ARML2.0) [8] がある。これはスマートフォン向け都市観光用 AR ブラウザ用のコンテンツ記述フォーマットであり、すでに標準化されている。本フォーマットが提案される前は、Junaio, Layar, Wikitude [9] などのよく似た AR ブラウザがそれぞれ独自のコンテンツ記述フォーマットを用いていた。その為、AR コンテンツ開発者は同じ AR 体験をそれぞれのフォーマットに従って何度も

^{*1}奈良先端科学技術大学院大学

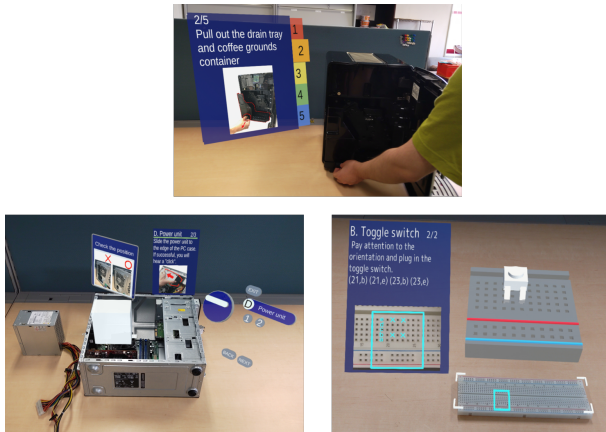


図1 作成した AR 作業支援システム
Fig.1 Developed AR task support systems

開発する必要があった。ARML2.0 が標準化されることにより、開発者の負担が減ったことは明らかである。しかし、ARML2.0 は作業支援システムのコンテンツ記述に用いられることを想定していない。ARML2.0 を用いて AR 作業支援システムのコンテンツ記述を試みた場合、その記述は複雑なものになってしまう。

本研究では、様々な組み立て・メンテナンス作業に対応可能な汎用型 AR 作業支援システムのコンテンツ記述フォーマットについて検討する。

3 汎用型 AR 作業支援システム

コンテンツ記述フォーマットについて検討するためには、まず汎用型 AR 作業支援システムについて検討し、コンテンツの内容を決定する必要がある。そこで汎用型 AR 作業支援システムの構成と要件について検討した。今回は3つの作業に対し AR 作業支援システムを作成し、これらを分析することで汎用型 AR 作業支援システムの構成と要件を決定した。

3.1 選定した作業とそのシステム例

作業を選定する際には、そのバリエーションが多岐に渡ること留意した。今回は3つのタスクを選定した。コーヒーマシン清掃作業、PC 組み立て作業そしてブレッドボード配線作業である。コーヒーマシン清掃作業は工程数が5と少ない。また、工具を必要としない作業である。PC 組み立て作業は工程数が22であり、ドライバーを用いたネジ締めなど工具を必要とする工程が含まれている。ブレッドボード配線作業は細かな位置指定が必要な作業である。また、作業中にブレッドボードが容易に動いてしまうという特徴も持つ。これらの作業について AR 作業支援システムを作成した。作成したシステムを図1に示す。

3.2 分析結果

作成した3種類のシステムそれぞれにつき6～8人の体験者を募り、体験時の様子と体験後のインタビューからシステムの分析を行った。分析の結果を以下にまとめる。

- 利用可能な情報

AR 作業支援システムでは、従来の作業指示書で利用可能なテキストや画像に加え、動画、3D オブジェクト、音声を用いた作業支援が可能となる。これらを作業支援情報と呼ぶことにする。分析の結果、これら全てに有用性があることが確認できた。また、テキスト、画像、動画等の2D 情報を用いる際には、これらを作業空間に直接表示させるのではなく、背景となるパネル上に表示させた方が作業者にとって見やすいものになることがわかった。

- 座標系

2D 情報の背景となるパネルや3D オブジェクトを配置する際には、これらを配置する座標系によってその振る舞いが変わる。今回は作業環境に固定された世界座標系、デバイスに固定されたデバイス座標系、そして特定のオブジェクトに固定されたオブジェクト座標系を用意した。分析の結果、全ての座標系に有用性があることが確認できた。

- 概要記述要素と詳細記述要素

今回の分析を通して、作業を支援する情報は2種類に分類されることが確認できた。作業前にその概要を把握するために参照する情報と、作業を行っている最中に参照する情報である。我々は前者を概要記述要素、後者を詳細記述要素と名付けた。概要記述要素は全ての工程で必要になることが分かった。作業の概要を把握するにはテキスト、画像、動画などの2D 情報をパネル上に配置することが最も効果的であることを確認した。またこのパネルはステップ毎に異なる位置に表示するのではなく、全てのステップ間で同一の位置、大きさで表示するのが好ましいことがわかった。対する詳細記述要素は、作業中に参照する情報であることからなるべく作業対象に近い場所に配置したほうが良いことがわかった。また、コーヒーマシン組み立て作業などの比較的簡単な作業に対しては、必要でないことがわかった。

- 作業者によるコンテンツの調整

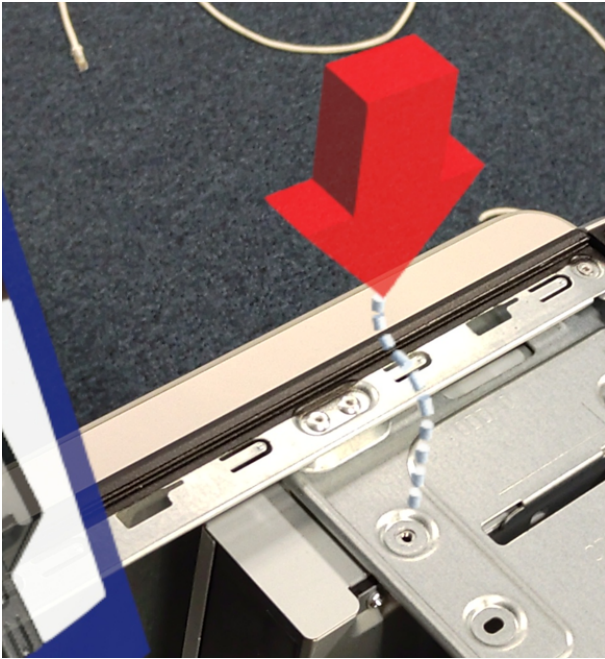


図2 ポインティングロープを用いた場所提示
Fig.2 Place presentation using pointing rope

AR 作業支援システムにおいて、それぞれの情報の最適な配置位置は作業環境や体験者の好みより大きく異なることが分かった。特に概要記述要素を記載するためのパネルの位置や配置する座標系の好みは様々であった。汎用的なシステムを検討する際には、作業中に作業者がパネルの座標系や位置を自由に変更できる機能があれば便利になると考えた。

- 高い精度でのポインティング

ネジ穴やブレッドボードの穴の位置を示す際には、高い精度でのポインティングが必要になる。この時、ネジ穴等の示したい場所とその場所を差す作業支援情報(矢印形の3Dオブジェクト)の先端が離れていると、観察する角度によって指し示す場所が変わって見えてしまい、体験者の誤認識を生む結果となった。その一方でこの距離を0にしてしまうと、作業支援情報が作業箇所を覆ってしまい、作業が行いづらいという意見があった。そこで、図2に示すように、場所を示すのに特化した点線形の3Dオブジェクトであるポインティングロープと、それを発見するための3Dオブジェクトを組み合わせた作業支援情報を作成したところ、作業の邪魔をしない高精度なポインティングが実現した。

3.3 汎用型 AR 作業支援システムの構成と要件

分析結果を元に汎用型 AR 作業支援システムの構成と要件について検討した。本システムにおいて、作業はステップの連続で表現される。ステップが多くなる作業については、ステップの上位階層にセクションを導入することで、2階層の階層構で表現される。

システム内で利用可能な作業支援情報は、テキスト、写真・動画等の2D情報、3Dオブジェクト、音声である。各ステップは、メインパネル上のテキスト及び2D情報から成る概要記述要素と任意個数の詳細記述要素から構成され、メインパネルの位置や配置する座標系は全てのステップを通して共通である。メインパネルの最適な位置、大きさ、固定座標系は作業環境や体験者の好みによって変化するという分析結果を考慮し、作業によるメインパネルの座標系、位置、大きさの変更を可能とした。詳細記述要素では、3Dオブジェクト及びサブパネル上のテキスト・2D情報を用いることができ、その個数に制限はなく詳細記述要素が存在しないステップがあっても良いものとする。詳細記述要素のサブパネルや3Dオブジェクトは位置・大きさの変更が可能なものとそうでないものが混在しているが、固定座標系を変更できるものはない。

すべての作業支援情報は世界座標系、デバイス座標系、オブジェクト座標系のいずれかに則って描画される。オブジェクト座標系を用いる場合には、世界座標系からオブジェクト座標系への変換行列を取得するためのキャリブレーションを行う。キャリブレーションには二次元マーカーを用いたキャリブレーションと3Dオブジェクトを用いたマニュアルキャリブレーションの2種類があり、マニュアルキャリブレーションは作業者が3Dオブジェクトを操作し対象となる実物体と重ね合わせることで行う。このマニュアルキャリブレーションを可能とするために、本システムを利用可能なARデバイスはSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術が利用可能なデバイスに制限する。

4 コンテンツ記述フォーマット

4.1 コンテンツとプラットフォーム

定義した汎用型 AR 作業支援システムをコンテンツとプラットフォームに分離し、コンテンツのみを記述対象とすることで記述内容の削減を試みた。コンテンツは作業固有の要素であり、ステップとセクションの構造や各ステップで用いる作業支援情報のパラメーターがこれに該当する。対するプラットフォームは作業に依らず共通利用可能な機能やUIコンポーネントを提供する。

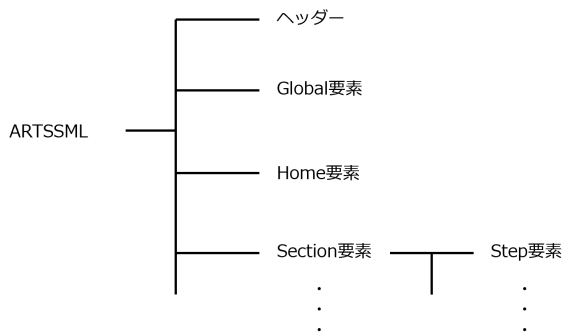


図3 ARTSSMLの構造
Fig.3 Structure of ARTSSML

4.2 フォーマットの構造

汎用型AR作業支援システムの為のコンテンツ記述フォーマットをARTSSML (Augmented Reality Task Support System Markup Language) と呼ぶ。図3にARTSSMLの構造を示す。ARTSSMLはヘッダーとGlobal要素、Home要素、そして複数のSection要素で構成される。Step要素はSection要素内に記述する。Home要素にはシステム起動時に描画される内容を記述する。Home要素の記述は任意であり、記述しない場合は最初のStep要素に記述された内容がシステム起動時に描画される。階層構造を持たないコンテンツを記述する場合、Section要素を設けずにStep要素を記述する。ヘッダーでは本コンテンツがAR作業支援システムのコンテンツを記述していることを明記した後に、フォーマットのバージョンを記述する。

4.3 Global要素

Global要素の中にはメインパネルに関する情報、メインパネルと同様に異なるステップ間で共通利用する作業支援情報、そしてオブジェクト座標を取得するためのキャリブレーションに関する内容を記述する。メインパネルに関する情報を記述した例を以下に示す。

```
<Global>
  <MainPanel>
    <Coordinate>
      <Initial>Object</Initial>
      <Changeable>
        Environment, Head
      </Changeable>
    </Transform>
    <Position>
      <Initial>
        -0.15, 0.20, 0.10
      </Initial>
      <xChange>-10, 10</xChange>
```

```
<yChange>-10, 10</yChange>
<zChange>-0.5, 1</zChange>
</Position>
<Rotation>
  <Initial>10, -90, 0</Initial>
  <yawChange>-180, 180</yawChange>
  <rollChange>-180, 180</rollChange>
  <pitchChange>0, 0</pitchChange>
</Rotation>
<Scale>0.2, 0.5 </Scale>
</Transform>
<Color>####</Color>
</MainPanel>
</Global>
```

メインパネルに関する情報はMain要素に記述する。メインパネルは作業に依らず必ず用いるものであるため、そのオブジェクトデータはプラットフォームで用意される。Coordinate要素ではInitial要素でデフォルトの座標系を指定し、Changeable要素で作業による切り替えが可能となる座標系の候補を記述する。ここでEnvironmentは世界座標系、Deviceはデバイス座標系、Objectはオブジェクト座標系を示している。続くPosition要素内のInitial要素でデフォルトの配置位置を3次元位置座標で指定する。このときの座標系はCoordinate要素内で指定したデフォルトの座標系である。xChange要素、yChange要素、zChange要素は作業によるメインパネルの位置変更について記す。この要素が記述されている場合、作業によるメインパネルの移動が可能となる。各要素内の数字は移動可能域の下限值と上限値を示している。作業によるメインパネルの位置変更が出来ない場合には、この要素を記述しない。Rotation要素もPosition要素と同様に、メインパネルの回転角のデフォルト値を設定し、その後yawChange要素、rollChange要素、pitchChange要素で作業による回転について設定する。Scale要素ではメインパネルの縦方向長さや横方向長さを指定する。Colorタグではメインパネルの色をカラーコードで指定する。この要素を記述しない場合、プラットフォームが提供するデフォルト色が適応される。

4.4 Section要素とStep要素

Section要素ではセクションのタイトルをName要素で記述した後、そのセクションに含まれるステップの内容をStep要素で記述する。Step要素では概要記述要素であるメインパネル上に表示させるテキストや2D情報について記述をし、必要に応じて詳細記述要素を記述する。詳細記述要素である3Dオブジェクトをフォーマットに則って記述した例を以下に示す。

```
<3dObject>
  <Name>Object1</Name>
  <File>"http://www.xxx"</File>
  <Coordinate>Object</Coordinate>
</3dObject>
```

3D オブジェクトのデータファイルは 2D 情報と同様に URL で指定する。また、本フォーマットでは各 3D オブジェクト毎に座標系の指定と作業者に依る編集の有無を設定することができる。座標系の指定については Coordinate 要素内で行う。作業者による編集の有無については前述したメインパネルの記述と同様に Transform 要素内で記述する。

4.5 ポインティングロープ

3.2 節で述べたポインティングロープを記述した例を以下に示す。

```
<PointingRope>
  <Start>
    <Target>Arrow1</Target>
    <Position>0, 0, 0</Position >
  </Start>
  <Goal>
    <Target>Object</Target>
    <Position>0.3, 0.5, 0.2</Position >
  </Goal>
</PointingRope>
```

ポインティングロープは様々な作業に共通利用可能なオブジェクトである為、プラットフォーム側で提供される。よってオブジェクトデータを URL を用いて指定する必要はない。Start 要素と Goal 要素で始点・終点となる端点を指定する。端点に 3D オブジェクトを指定する場合、Target 要素内で 3D オブジェクトの名前を指定した後に、続く Position 要素でその 3D オブジェクトデータがもつ固有の座標系における位置を 3次元座標値で指定する。端点に 3D オブジェクトを用いない場合、Target 要素でその点の座標系を指定し、Position 要素で座標値を指定する。

以上までがコンテンツ記述フォーマットの記述例となる。

5 まとめと今後の予定

本稿では、汎用型 AR 作業支援システムのコンテンツ記述フォーマットを提案した。複数の AR 作業支援システムを開発・分析することで汎用的 AR 作業支援システムの構成及び要件を検討し、そのコンテンツを明確かつ簡便に記述可能なフォーマットを提案した。今後、提案フォーマットの評価を行う予定である。提案フォーマットの評価では、3つの評価項目を定める。フォーマットの汎用性、記述のシンプルさ、そして記述

コンテンツを AR システム化した際のタスクパフォーマンスである。現在、これらの評価について検討中である。フォーマットの汎用性に関する評価は、多種多様な作業を選定しそれぞれの AR 作業支援システムコンテンツを提案フォーマットに則って記述できるかどうか確認を行う。現時点では、提案フォーマットを用いて、汎用型作業支援システムについて検討する際に用いた 3つの作業 (コーヒーマシン清掃作業、PC 組み立て作業、ブレッドボード配線作業) を支援する為の AR コンテンツが記述可能であることを確認した。記述のシンプルさについては、既存フォーマットである ARML2.0 と提案フォーマットで同じコンテンツを記述し、そのデータ量で評価を行う予定である。記述コンテンツを AR システム化した際のタスクパフォーマンスについては、被験者実験を通して評価を行う予定であるが、その詳細については未だ検討中である。

参考文献

- [1] B. Besbes, S. N. Collette, M. Tamaazousti, S. Bourgeois and V. Gay-Bellile, "An interactive Augmented Reality system: A prototype for industrial maintenance training applications," 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2012, pp. 269-270.
- [2] A. Sanna, F. Manuri, F. Lamberti, G. Paravati and P. Pezzolla, "Using handheld devices to support augmented reality-based maintenance and assembly tasks," IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2015, pp. 178-179.
- [3] A. Tang, C. Owen, F. Biocca, and W. Mou, "Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly," Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '03), 2003, pp. 73-80.
- [4] <https://news.microsoft.com/ja-jp/2020/10/06/201006-toyota-motor-started-introducing-holens-2-in-gr-garage-nationwide/,2020>.
- [5] M. Lorenz, S. Knopp and P. Klimant, "Industrial Augmented Reality: Requirements for an Augmented Reality Maintenance Worker Support System," 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), 2018, pp. 151-153.
- [6] E. Bottani, G. Vignali, "Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade," IISE Trans, 2019, vol. 51, No. 3, pp. 284-310.
- [7] <https://dynamics.microsoft.com/ja-jp/mixed-reality/guides/>
- [8] <https://www.ogc.org/standards/arm1>
- [9] J. Grubert, T. Langlotz, and R. Grasset, "Augmented Reality Browser Survey," Technical Report 1101, ICG, University of Technology Graz, Austria, 2011.

©2021 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)