

ウェアラブル AR によるクリーンセンター設備学習教材の開発 Development of Wearable AR Learning Materials for Clean Center Equipment

○野田 一斗^{*1}, 下川 雄一^{*2}
Kazuto Noda^{*1}, and Yuichi Shimokawa^{*2}

^{*1} 金沢工業大学大学院工学研究科建築学専攻

Graduate Student, Kanazawa Institute of Technology

^{*2} 金沢工業大学建築学部建築学科 教授 博士(工学)

Professor, Kanazawa Institute of Technology, Dr.Eng

キーワード：設備；環境学習；教材；ゲームエンジン；AR；BIM

Keywords: Equipment; environmental education; learning materials; game engine; AR; BIM.

1. 研究の背景と目的

建設業界において BIM の普及が見られるが、その多くは設計・施工であり竣工後の BIM データ活用にも期待が寄せられている¹⁾。その1つとして、見学価値が高い施設については教材利用の形が考えられる。とりわけ、専門性が高い設備を持つ施設においては BIM データを活用することでその仕組み等を3次元で分かり易く伝えることも可能であり、あらゆる世代にとって学びやすい環境の創出につながる可能性がある²⁾。その一例として各種の資源循環や処理を担う施設は環境学習の場に相応しく、同施設の BIM データは教材として再利用しやすいと考えられる。また、VR を用いたインタラクティブな 3D コンテンツへの展開や AR デバイスを用いた実空間との重畳表示による説明情報コンテンツの制作など目的に応じた柔軟な活用が期待される。本研究で対象とした石川県小松市のクリーンセンター（以下、CC と呼ぶ）では、BIM ソフトによる建物・設備データが納品されていた。そこで小松市技術監理センターや CC の設計・施工を行った川崎重工業株式会社の協力を得て、CC の主要設備を対象としたウェアラブル AR による学習教材の開発とその評価を行った。

2. 研究の方法

2.1. 対象施設の概要

CC は廃棄物の焼却処理とその熱エネルギーを利用して発電を行う施設である。焼却の形式にはストーカ式焼却炉を採用し、余熱利用には蒸気タービンを用いた発電が行われている。設計・施工は川崎重工業株式会社、建物は鉄筋コンクリート造と一部鉄骨造の地上5階建となっている。施設内には一般市民を対象とした見学スペースがあり、CC の設備を図と動画で説明するためのパネルおよび設備を見学するためのガラス窓が設置されてい

る(Figure 1)。



Figure 1. Installation of the tour space

2.2. 研究の流れ

CC の施設見学等を踏まえ、自治体から提供して頂いた 3D モデルを基に HoloLens 用 AR 教材の開発を行った。その後、CC 見学スペースでの閲覧実験とアンケート調査を実施し、教材の評価を行った。

3. AR 教材開発の概要

3.1. 使用デバイス

使用デバイスとして Microsoft 社の HoloLens(以下 AR デバイスと呼ぶ)を用いた。本機はヘッドマウント型のコンピュータであり、その眼鏡部に透過型ホログラムディスプレイを用いることで、実空間と重畳させて各種データを表示させることが可能である。内蔵カメラとセンサーにより外界の把握や位置合わせも可能となっている。

3.2. 開発環境

本研究では HoloLens のアプリ開発環境として推奨されている Unity を使用した。Unity は 3D ゲーム開発等が行えるソフトで各種 3D モデリングソフトとの互換性も高い。Unity で開発したデータはアプリ形式に変換し、AR デバイス内に転送して利用できる。

3.3. クリーンセンター設備の 3D モデル作成

CC 設備の 3D モデルは小松市で保管されていた

Navisworks のデータを 3dsmax 経由で SketchUp ファイルに変換を行った。SketchUp では、CC の処理内容を紹介したパンフレットや説明動画および現地での専門技術者へのヒアリング内容等を参考に修正や設備内部の 3D モデルの追加を行い、その後 Unity ヘデータを移行した。作成した 3D モデルを(Figure 2.)に示す。

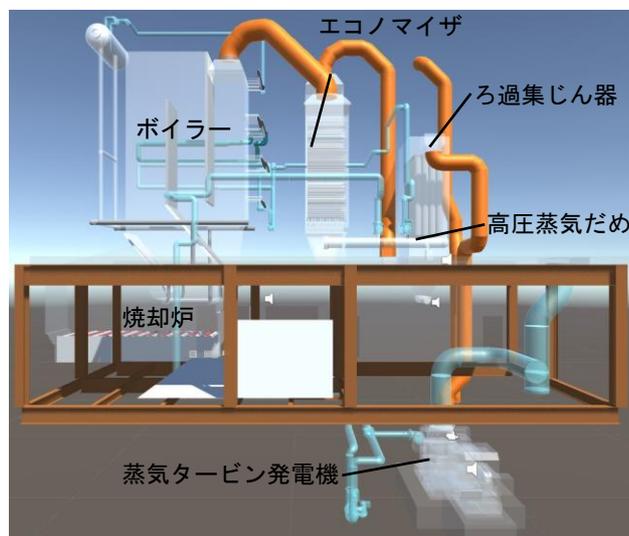


Figure 2. 3D model of CC equipment

3.4. マーカーによる 3D モデルの位置固定

AR 教材を開発するにあたり、設備の 3D モデルを実空間と位置が合うように配置する必要がある。モデルの位置固定にはマーカー方式を利用した。マーカー方式の利点として表示させたいデータの位置制御の容易さが挙げられる。本研究では自作のマーカーと Unity 内の AR 作成用パッケージである Vuforia を用いて設備モデルの位置合わせを行った。

3.5. AR モデルとしての処理現象の可視化

CC ではごみの焼却の際に発生する排ガスや蒸気を利用した発電が行われている。本研究では設備内部の処理や現象のイメージを 3D アニメーションで表現することを試みた。主な表現要素として、処理フローで発生する排ガス・蒸気をパーティクル (Figure 3.)で表し、蒸気や水の移動および発電機内部のタービンの回転などをアニメーション(Figure 4.)(Figure 5.)で表現した。

3.6. 音声説明機能

今回利用した AR デバイスは主に顔の向き・指のジェスチャーを使い操作をする。具体的には、表示された CC 設備の 3D モデルに顔の向きを合わせ、且つ指のエアタップを行うことでその設備の音声説明が流れる機能を設けた。また、音声説明を聞き終わったら当該設備名称が白から赤に変わるような処理フローパネルが常に右下に表示される仕様とした(Figure 6.)。

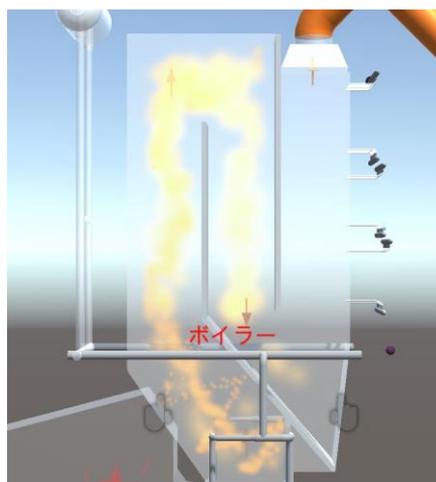


Figure 3. Image of exhaust gas by particle system

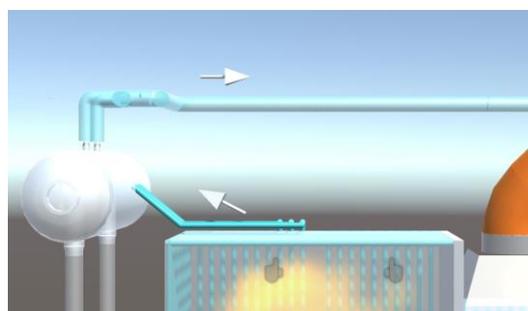


Figure 4. Flow direction of steam by arrow animation



Figure 5. Image of power generation by motor animation

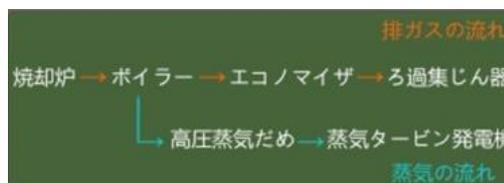


Figure 6. Panel about equipments and their flow

4. クリーンセンター設備教材の閲覧実験

開発した AR 教材を評価するため、市役所職員や設計・施工会社の技術者等 31 名を対象とした閲覧実験を実施した。CC 現地にて 1 名あたり約 5 分で実際の設備と重畳した AR モデルを閲覧してもらい、教材として分かり易さの印象や操作性をアンケートで評価してもらった。日時、場所、参加者等は以下の通りである。

日時：令和2年1月17日13時30分～16時30分
 場所：小松市クリーンセンター2階見学スペース

(Figure 7) (Figure 8.)

被験者：市役所職員13名 CC職員1名
 設計・施工会社6名 コンサル会社社員等6名
 その他5名(計31名)



Figure 7. Browsing experiment

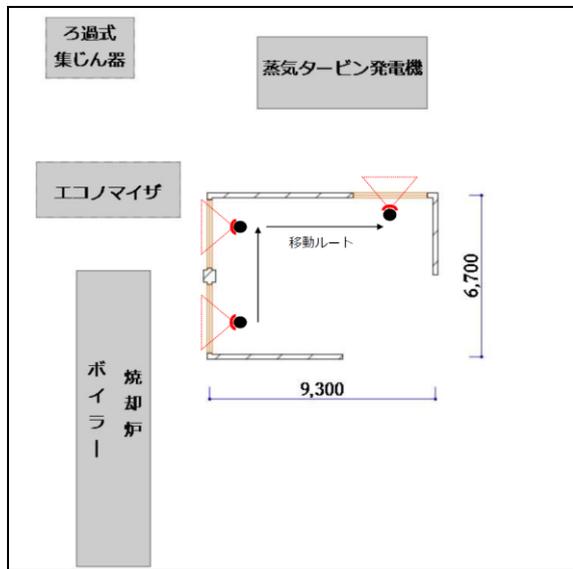


Figure 8. Top view of the tour space

5. アンケート結果

内容の分かり易さに関するアンケートの設問およびその回答集計結果を(Table 1.)、操作性に関するアンケートの設問およびその回答集計結果を(Table 2.)に示す。

5.1. 教材閲覧前の予備知識に関する設問と結果

【問 1、2】教材閲覧前の処理フローに関する前知識の有無と処理フローを示したパンフレットの効果を確認した。事前知識を”あまり持っていなかった”以下の回答者が、パンフレットでもイメージが”それなりにできた”以上の回答に推移していることから、パンフレットだけでもある程度処理の流れをイメージできていることが分かる。

5.2. 学習効果に関する設問と結果

【問 3】紙の資料や実物見学以上の学習効果については“良い”の回答数が25票で全体の9割を占め、被験者の大半が学習効果はあるという印象を持ったことが分かる。

自由記述では「ガス・蒸気の流れが分かりやすい」「立体的になり平面で見えない所がよくわかった」という好評価の一方で、設備が前後に重なっていることによって「流れを示す矢印のアニメーションを見失う」といったマイナス評価も見られた。

【問 4～8】各設備の位置・仕組み・大きさの理解のしやすさについては“良い”の回答数がそれぞれ過半数を超え、概ね良好な評価が得られた。

【問 9】設備相互の位置関係の理解のしやすさは“やや良い”以上の回答数が全体の9割弱を占め、この点についても概ね良好な評価が得られた。ARモデルは実物に位置合わせしており、且つ天井・床・壁などに隠れて見えない設備もARモデルとして見ることができた点もこの結果に影響していると考えられる。

【問 10】排ガス・蒸気の流れの理解のしやすさは“やや良い”以上の回答数が25票と全体の8割を占める。パーティクルシステムやアニメーションシステムを用いて排ガスや蒸気の動的な流れを表現したことが理解のしやすさにつながったと考える。

Table 1 Questions and answer total results

設問	選択肢と回答者数				
	かなり持っていた(人)	それなりに持っていた(人)	人並に持っていた(人)	あまり持っていなかった(人)	全く持っていなかった(人)
【問1】処理フローに関する知識を元々持っていましたか？	7	8	7	6	3
【問2】配布した処理フロー資料の閲覧後に実物を見た際、各設備の位置や処理の内容・流れをイメージできましたか？	16	12	2	0	1
	良い(人)	やや良い(人)	普通(人)	やや悪い(人)	悪い(人)
【問3】このARに紙の資料や実物を見学する以上の学習効果があると思いますか？	25	3	3	0	0
(やや良い以上の回答者へ)どのような点に学習効果があると思いますか【自由記述】	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス・蒸気の流れが分かりやすい ・立体的になり平面で見えないところがよく分かった ・外観だけでなく内部構造も理解できる点 				
【問4】焼却炉の位置・仕組みについて理解し易かったですか？	19	10	2	0	0
【問5】ボイラーの位置・大きさ・仕組みについて理解し易かったですか？	19	9	3	0	0
【問6】エコマイザの位置・大きさ・仕組みについて理解し易かったですか？	16	12	3	0	0
【問7】ろ過集じん器の位置・大きさ・仕組みについて理解し易かったですか？	17	11	3	0	0
【問8】蒸気タービン発電機の位置・仕組みについて理解し易かったですか？	16	10	5	0	0
【問9】設備相互の位置関係を理解し易かったですか？	15	12	3	1	0
【問10】排ガス・蒸気の流れは理解し易かったですか？	20	5	5	1	0

5.3. AR教材の操作性に関するアンケート回答結果

ここからはTable 2に基づいてAR教材の操作性の評価結果について紹介する。

【問 1】実物が見えている設備への重畳表示の有無は“どちらかといえば必要”以上の回答が9割以上を占めた。実物が見えている設備の3Dモデルは半透明で表示されており(Figure 9.)(Figure 10.)、実物の視認性を損ねる恐れがあったが、大きな問題はなかったと考える。



Figure 9. Superimposed display of incinerator

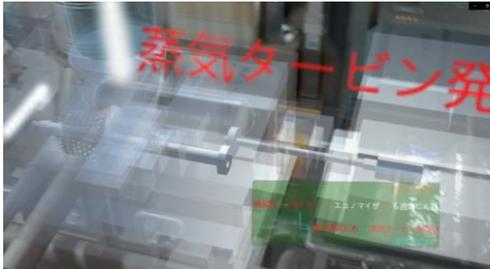


Figure 10. Superimposed display of steam turbine generator

【問2】 モデルのぐらつきは“あまり問題ない”以上の回答数が 27 票で全体の 9 割弱を占める。見学スペースは約 9.3m×6.7m エリアであり、そのエリア内で AR デバイスを装着したまま移動してもモデルのぐらつきはあまり感じないという結果になった。

【問3】 実物と 3D モデルのズレは“やや良い”以上の回答数が 25 票で全体の割合の 8 割を占める。教材閲覧中には(Figure 11.)のような配管のズレ等も確認されたが AR モデルの閲覧や音声説明に意識が向いているため、実物とのズレはあまり意識されなかったと考えられる。

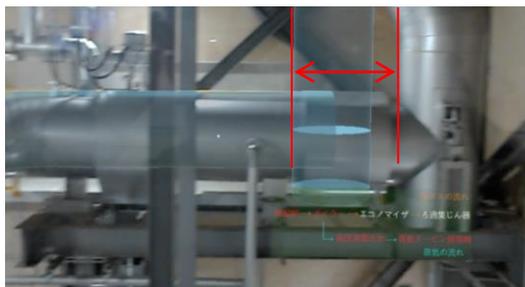


Figure 11. Equipment 3D model with displacement

【問4】 AR デバイスの操作の容易さは“あまり問題ない”以上の回答数は 21 票で、全体割合の 7 割弱であった。自由記述では「実物の設備位置と処理の流れを確認しながら学習できるのが良い」等の好評価が複数得られた反面、「機材が落ちそうだった」、「どこにポインタを合わせてタップすればいいのかわかりにくい」という意見等も見られた。視線カーソルの視認性の低さや AR デバイスの視野角に対し 3D モデルのスケールが大きかったことが

操作を妨げたと考える。

Table 2. Usability questions and aggregated results

設問	選択肢と回答者数				
	必要(人)	どちらかといえば必要(人)	どちらでもない(人)	どちらかといえば必要ない(人)	必要ない(人)
【問1】 焼却炉・発電機のような実物が視認可能な設備への重量表示は必要だったと思いますか？	17	12	2	0	0
	問題なし(人)	あまり問題ない(人)	どちらでもない(人)	やや問題あり(人)	問題あり(人)
【問2】 モデルの不自然なぐらつきを感じましたか？	10	17	3	1	0
【問3】 実物と3Dモデルのズレを感じましたか？	6	19	4	2	0
【問4】 ARデバイスの操作はやりやすかったですか？	7	14	6	4	0
(やや問題あり以下の回答者へ) どこに使いにくさを感じましたか？【自由記述】	<ul style="list-style-type: none"> どこにポインタを合わせてタップすればいいのかわかりにくい 高い位置のモデルもあったのでギアが落ちそう 操作が少し難しかった 				
他にどのような機能があると便利だと思いますか？【自由記述】	<ul style="list-style-type: none"> 運転管理用としてメンテナンス履歴の表示 社員研修などで複数のメンバーでの閲覧ができれば教育にしようできると思う 				
その他(自由記述)	<ul style="list-style-type: none"> 手前と奥に設備があるなど重なる部分で流れを示す矢印を見失った 視認できる範囲が狭い タブレットなどでも利用できるという 設備位置を確認しながら学習できるのがよい 				

5. 結論

開発した AR 教材では BIM ソフトで作成された 3D データを基に設備内部処理の表現と音声説明情報を組み込み環境学習のための教材化を試みた。BIM データは実際の設備の位置とのズレが多少確認されたものの、あまり問題視されないことが確認できた。提供された BIM データのズレは工事途中の設計変更により生じたものと考えられるが形状・位置関係の再現度は比較的高く、AR での説明情報の重畳表示において概ね有効活用できた。開発した AR 教材は短時間での直感的な情報伝達が実現でき、学習補助における一定の有効性が明らかとなった。しかし、設備内部の処理イメージを表現する上では BIM データの詳細度が不足していた。設計・施工の BIM データを教材データとして再利用する際には、モデルの追加表現が必要になる場合もあると考えられる。

謝辞

本研究は金沢工業大学空間情報プロジェクト BIM/CIM-WG の活動の一環として実施されました。関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 鴻池組技術研究報告 「BIM モデルの表現手段としての先端 ICT ツールの活用」 2018
http://www.konoike.co.jp/solution/theses/pdf/2018_architect_04.pdf (参照日：2019年12月1日)
- 2) 文部科学省「文部科学省におけるキャリア教育・職業教育の取り組みについて」
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/wg/koyou/dai1/siryou3.pdf> (参照日：2020年3月29日)