

# 拡張現実技術を用いた教育用ソフトウェアの開発と応用

馬 文鵬\*, 伊藤陽介\*\*

学校教育では様々な実験を通じた学習が行われている。実験の種類によっては物理的な状態を肉眼で捉え、肌で感じるものが難しいものもあり、学習者にとって理解しにくいものであった。指導者にとって、見えない物理現象を説明するために様々な教材や教具を駆使していたが、その効果は限られていた。本研究では、現実空間を示す画像に重畳表示する拡張現実(AR)技術を導入し、現実空間のみで学習することが困難であった知識や概念をより分かりやすく理解できる教育用ソフトウェアの開発を目的とする。本論文では、AR技術を用いた教育用ソフトウェアの概要と具体的な開発方法について述べるとともに、電気回路実験の学習支援への応用例を示す。

[キーワード: 学校教育, 拡張現実技術, 教育用ソフトウェア, 電気回路]

## 1. はじめに

学校教育では様々な実験を通じた学習が行われている。実験の種類によっては物理的な状態を肉眼で捉えることが難しいものもあり、学習者にとって理解しにくいものであった。また、1960年代から研究され、近年医療や教育、産業などの多くの分野に応用されつつあるAR技術は、現実環境に情報を付加、削除、強調、減衰させるなどによって人間から見た現実世界を拡張できる[1]。教育分野では、モバイルデバイスの普及によって、学校でタブレット型PCを用いた学習がますます増えている[2, 3]。

一方、2008年に告示された中学校学習指導要領の理科〔第1分野〕内容(3)では、電流回路についての観察、実験を通して、電流と電圧との関係及び電流の働きについて理解させるとともに、日常生活や社会と関連付けて電流と磁界についての初歩的な見方や考え方を養うと規定されている[4]。また、技術・家庭科(技術分野)(以下、技術科と表記)のエネルギー変換に関する技術では、電気回路の配線・点検ができるように指導することが求められている[5]。

本研究では、現実空間を示す画像に重畳表示するAR技術を導入し、現実空間のみで学習することが困難であった知識や概念をより分かりやすく理解できる教育用ソフトウェアの開発を目的とする。本論文では、AR技術を用いた教育用ソフトウェアの構成とその開発方法について述べ、電気回路実験の学習支援への応用例を示す。

## 2. 教育用ソフトウェアの概要

AR技術の実現方法は、ロケーションベースAR[6]、マーカ型ビジョンベースAR[7]、マーカレス型ビジョンベースAR[8]がある。ソフトウェアの利用場所として学校の教室や実験室を想定し、マーカ型ビジョンベースAR技術を用いて様々な付加情報を表示する。この実現方法は現実世界に配置したマーカと呼ばれる画像を認識することによってマーカとカメラとの相対的な位置関係を推定し、カメラの姿勢を決定する。AR技術によって学習者は、見えない物理現象を視覚的に捉えられるようになる。対象とする学習内容に関する情報を画像パターンとして埋め込むため、マーカにQRコードを含める。

本ソフトウェアの画面内に矩形領域を $n$ 個設定し、その領域をスクリーンボタン(SB)と呼ぶ。各SBの操作に応じてマーカとカメラの相対的な位置関係に基づき、対応する内容の3Dモデルを表示または非表示にする。

## 3. 教育用ソフトウェアの構成

2016年12月時点において、一般的なAR技術のライブラリとして、Vuforia[9]、ARToolkit[10]、EasyAR[11]などが利用されている。マーカの認識精度を考慮し、本ソフトウェアではVuforiaを採用する。また、動作対象とするデバイスは、10インチ程度のディスプレイと背面カメラを備えたタブレット型PCを想定する。

本ソフトウェアは主にC#言語で記述され、そのフローチャートを図1に示す。まず、初期化処理としてタブレット型PCの背面カメラを起動し、マーカの認識用データを読み込む。マーカが認識されてい

\* 兵庫教育大学 連合大学院 (博士課程) 生活・健康系教育 連合講座

\*\* 鳴門教育大学 大学院 自然・生活系教育部

い状態を示す文字列をディスプレイに表示するとともに、全てのSBと3Dモデルを非表示にする。

学習者はタブレット型PCを持ち、その背面カメラを使って実験器具の上に配置したマーカを撮影する。Vuforiaのライブラリを呼び出し、撮影した画像と認識用データを用いてマーカの認識結果を得る。なお、マーカの認識は、カメラの姿勢、カメラとマーカの間隔、マーカを照らす光の状態など様々な状況に影響される。

一方、マーカが認識されるとその状態であることを示す文字列と全てのSBを表示する。マーカとカメラの相対的な位置関係をVuforiaのライブラリを使って推定する。各SBの操作に応じて3Dモデルを表示または非表示にする。この状態においても撮影した画像がマーカとして認識されたかどうかを判定する。認識できないと判定された場合は、未認識の状態に変更する。

#### 4. 教育用ソフトウェアの開発方法

学校教育に用いられるタブレット型PCのOSとしてAndroid, iOS, Windowsなどが利用されているため、マルチプラットフォームに対応したソフトウェアとして開発する。ここでは、各OSに対応したソフトウェアをC#, JavaScript, Boo言語を用いて開発可能なUnity 3D[12]を用いる。米国Unity Technologies社が開発したUnity 3Dは、主にゲームなどの会話的にマルチメディア処理するソフトウェアを作成できる統合開発環境である。機能は限定されているが無償提供版のUnity 3Dで本ソフトウェアを開発できる。

本ソフトウェアでは、AR技術を用いるためUnity 3Dの統合型開発環境にあらかじめVuforia SDKをインストールしておく。Unity 3Dを用いることで、マーカに同期してディスプレイ上に重ね合わせ表示する3Dモデルなどを作成できる。主な開発手順を以下に示す。

##### (1) QRコードの作成

QRコードを示す画像全体の7%が隠れても認識できる規格(レベルL)を採用し、QRコードに埋め込む情報量に基づきそのサイズを決定する。QRコードは、インターネットの「CMAN, QRコード作成サービス」[13]などを利用する。

##### (2) マーカの作成

マーカの認識精度を高めるため、画像のサイズや図形の種類、配色、配置などを考慮し、画像ファイルとして作成する必要がある。なお、VuforiaがWeb

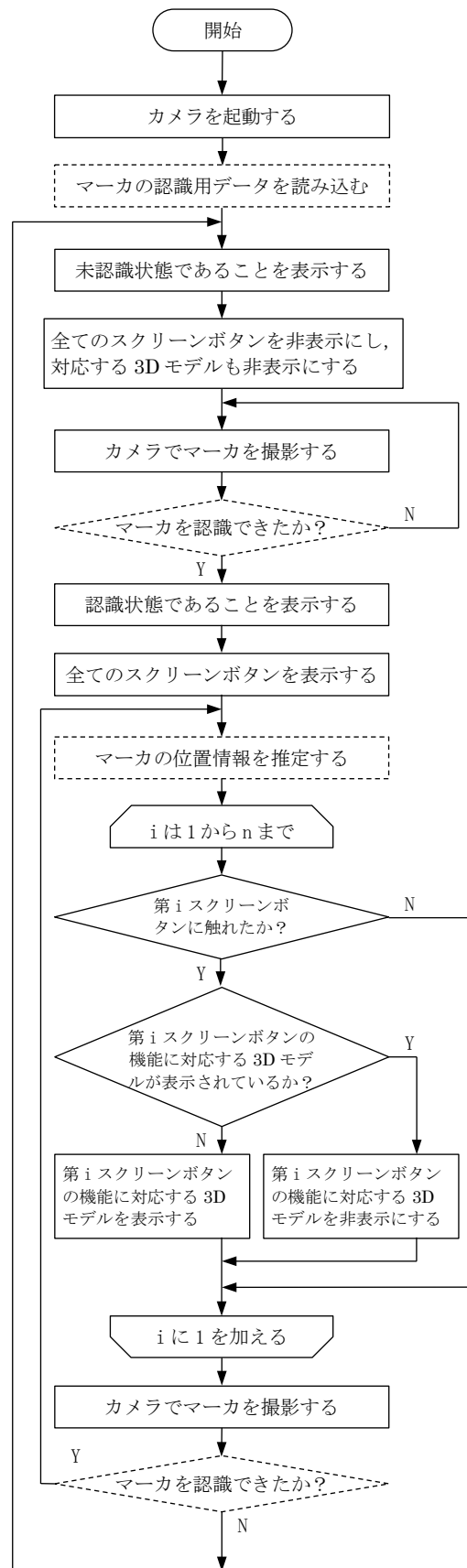


図1 開発した教育用ソフトウェアのフローチャート（点線枠はVuforiaによる処理を示す。）

サービス[9]として提供しているマーカの特徴点の抽出機能を利用するため、画像ファイルは1画素8ビットまたは24ビットであり、JPGまたはPNG形式とする。マーカに含む複数の図形の種類や配色はできるだけ異なるようにするとともに、分散して配置する。

マーカを認識するための特徴点に関するデータは、Unity 3Dで読み込めるpackageファイルと呼ばれる形式として作成される。packageファイルは、図2に示すようにマーカの画像とその特徴点に関する情報を記述するXML形式及びDAT形式のデータから構成される。

図3(a)にマーカとして作成した画像例を示し、検出された特徴点を同図(b)に示す。

### (3) シーンの構築

シーンは、Unity 3Dで用いられる用語であり、packageファイルに含まれるマーカに関する情報と表示する3Dモデルの関係を記述する。図4の示すように、Unity 3Dの主カメラと撮影対象は、それぞれVuforia SDKが提供する「ARCamera」と「ImageTarget」とする。「ImageTarget」にマーカ画像を属性として設定することでシーンが構築される。

### (4) 3Dモデルの作成

学習に必要な内容を3D表示するためのモデルは、文字、画像などの2次元情報と周期的に変化する画像の集合であるアニメーションなどから構成される。2次元情報は、構築したシーンの3次元空間中に表示する位置を指定する。アニメーションはUnity 3Dが備えるパーティクルシステムとメッシュと呼ばれる機能を用いて3Dモデルとして作成できる。図5にシーン内に作成した3Dモデルの配置例を示す。

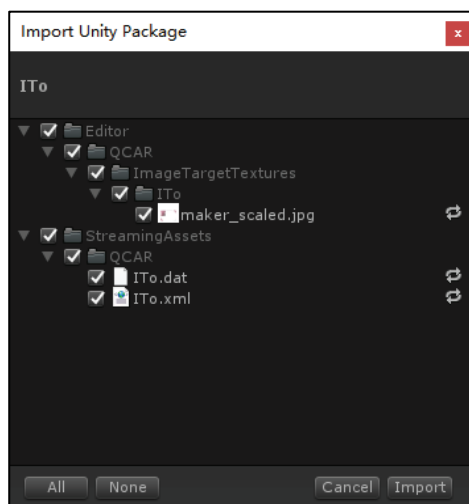


図2 packageファイルの構成例

マーカの認識精度によっては、重畳表示された3Dモデルの位置やサイズが設計通りにならない場合がある。そのため、実際に用いるマーカを認識させる実験結果により、3Dモデルの位置やサイズを繰り返し調整する。

### (5) SBと3Dモデルの関連付け

C#言語で記述されたプログラムによって、画面上にSBを配置し、各SBに触れる操作によって対応する3Dモデルを表示したり非表示にしたりする。

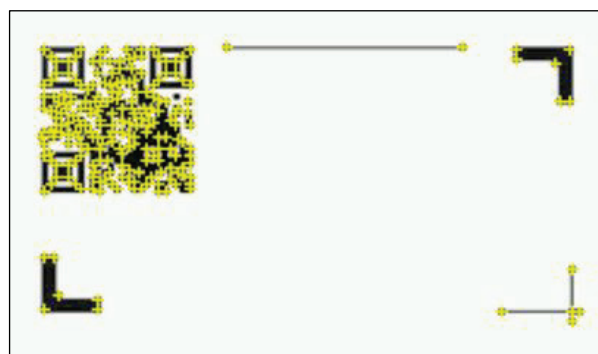
図5はSBに関する処理を記述したC#プログラム例を示す。ここで、`if(cameraStatus==true){・・・}`の部分はカメラがマーカを認識した場合、各SBを指定されたサイズと座標位置に生成する。

### (6) ソフトウェアの実装

(1)から(5)で開発したソフトウェアをタブレット型PCで動作するように実装する。Unity 3Dを用いてターゲットとするOSのプラットフォームを選択し、ビルド機能を実行することによって実装可能な形式のファイルが生成される。開発用パソコンにタブレット型PCをUSB接続することによって開発したソフトウェアがインストールされる。



(a) マーカの画像 (サイズ: 800×600画素)



(b) (a)の画像から検出された特徴点

図3 マーカの作成例

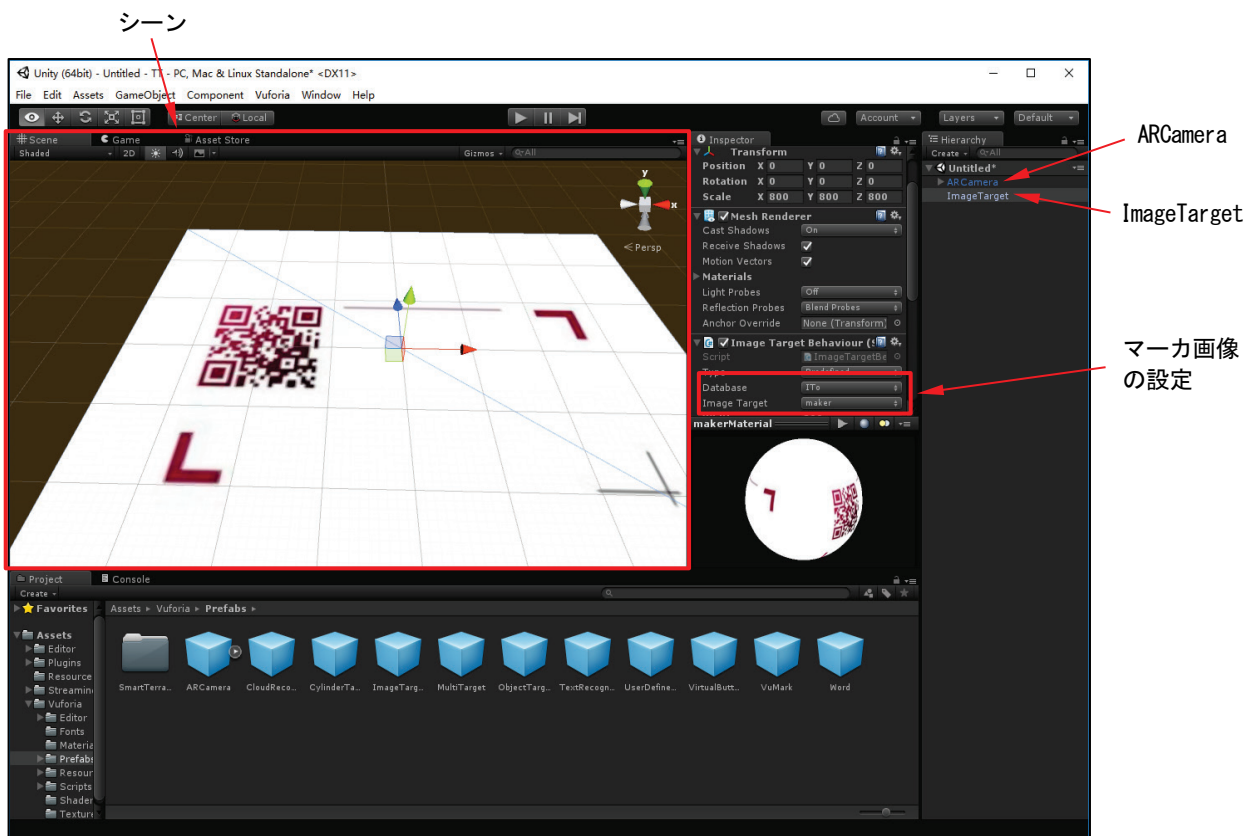


図4 シーンの構築例

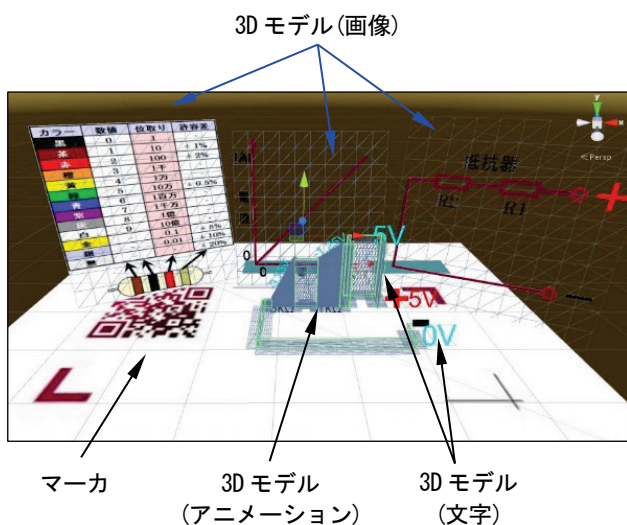


図5 シーン内に作成した 3D モデルの配置例

## 5. 電気回路実験を対象とする教育用ソフトウェアの開発例

中学校理科の学習で行う 2 つの抵抗器を含む電気回路実験を対象とする教育用ソフトウェアの開発例について述べる。本ソフトウェアで用いるマーカ(図 3(a))は、電気回路を学習するための部品が配置されているブレッドボードの上に置く。事前に行った認識実験の結果に基づき、マーカの画像サイズを幅 800 画素、高さ 600 画素とし、A4 版の紙媒体に拡大

して描画したものを用いる。埋め込む QR コードの大きさは 143×143 画素とする。

AR 技術により電圧や電流などの情報を実験器具の位置に同期して画面上に 3D で表示する[11, 12]。画像の 3D モデルとして、電気回路図、電流と電圧の関係図、抵抗値のカラーコードが含まれる。また、文字の 3D モデルとして、極性、電圧と電流の値、抵抗値が配置されている。電流の流れる様子とその方向をイメージできる稲妻を模したアニメーション、及び、電圧の大きさを視覚的に確認できる「壁」のようなアニメーションを生成し、シーン内に配置している。

画面の左上隅に、マーカの認識状態、電気回路の種類、電源電圧、2 つの抵抗値及び合成抵抗値の情報を文字として表示する領域をとる。画面の右側に「電流」、「電圧」、「情報」に加え「表示」または「非表示」を示す内容の文字を提示する SB(n=3)を配置する。

学習者は、本ソフトウェアを起動したタブレット型 PC を持ち上げ、ブレッドボード上の電気回路をカメラで撮影し、マーカを認識させる状態にする。認識状態になると 3 つの SB が表示され、学習者が各 SB を触れることで対応する 3D モデルが重畳表示される。

図 7(a)に示すように実験学習支援システムの「電流表示」を使った学習者が電流の流れる様子とその

| 行   | プログラム  |
|-----|--|
|     | (省略)   |
| 240 | private void touchBtn (bool cameraStatus, GameObject mCurrent, GameObject mVoltage, GameObject mInfo)        |
| 241 | {  |
| 242 | if (cameraStatus == true) {  |
| 243 | //I-show, I-hide   |
| 244 | if (GUI.Button (new Rect (width - btnWidth - btnSpaceX, btnSpaceY, btnWidth, btnHeight),                     |
| 245 | mCurrentMeg [mCurrentStatus ? 0 : 1])) {   |
| 246 | if (mCurrentStatus) {  |
| 247 | mCurrent.SetActive (false);  |
| 248 | mCurrentStatus = false;  |
| 249 | } else {   |
| 250 | mCurrent.SetActive (true);   |
| 251 | mCurrentStatus = true;   |
| 252 | }  |
| 253 | }  |
| 254 |  |
| 255 | //U-show, U-hide   |
| 256 | if (GUI.Button (new Rect (width - btnWidth - btnSpaceX, btnSpaceY * 2 + btnHeight, btnWidth, btnHeight),     |
| 257 | mVoltageMeg [mVoltageStatus ? 0 : 1])) {   |
| 258 | if (mVoltageStatus) {  |
| 259 | mVoltage.SetActive (false);  |
| 260 | mVoltageStatus = false;  |
| 261 | } else {   |
| 262 | mVoltage.SetActive (true);   |
| 263 | mVoltageStatus = true;   |
| 264 | }  |
| 265 | }  |
| 266 |  |
| 267 | //Info-show, Info-hide   |
| 268 | if (GUI.Button (new Rect (width - btnWidth - btnSpaceX, btnSpaceY * 3 + btnHeight * 2, btnWidth, btnHeight), |
| 269 | mInfoMeg [mInfoStatus ? 0 : 1])) {   |
| 270 | if (mInfoStatus) {   |
| 271 | mInfo.SetActive (false);   |
| 272 | mInfoStatus = false;   |
| 273 | } else {   |
| 274 | mInfo.SetActive (true);  |
| 275 | mInfoStatus = true;  |
| 276 | }  |
| 277 | }  |
| 278 | } else {   |
| 279 | mCurrentStatus = false;  |
| 280 | mVoltageStatus = false;  |
| 281 | mInfoStatus = false;   |
| 282 | }  |
| 283 | }  |
|     | (省略)   |

図 6 SB に関する処理を記述した C#プログラム例

方向をイメージできるように稲妻を模したアニメーションを教材器具の画像に重ね合わせて表示できていた。

図 7(b)に示すように電圧の大きさを視覚的に確認する「壁」のようなアニメーションが表示される。このアニメーションによって、2 つの抵抗器を介して、それぞれの抵抗値によって電圧降下する壁の高さが異なり、直列回路の電圧と抵抗値との関係を示すことができている。また、電流の流れる方向が分かるアニメーションも表示できていた。

図 7(c)に示すように実験学習支援システムの「情報表示」を使った学習者は抵抗のカラーコード表、及び回路図を 3D で表示できていた。

学習者がタブレット型 PC の位置や姿勢を変更しても、マーカを識別している状態であれば、ブレッドボード上の電気回路に同期するように回路に流れる電流の大きさと方向がアニメーションとして表示される。

## 6. おわりに

本論文では、見えない物理現象に関する知識や概念をより分かりやすく理解できるようにすることをねらいとし、教育用ソフトウェアに AR 技術を取り入れた。教育用ソフトウェアの概要と具体的な開発方法について述べるとともに、電気回路実験を事例としたソフトウェアを示した。

AR 技術を用いて、他の実験や学習内容などに応用することへの期待も高い。例えば、荷重を考えた材料の使い方や組み合わせ方を技術科で学習する際に、AR 技術を用いて各部材の応力分布を重畳表示するシステムや、電流がつくる磁界や磁界中の電流が受ける力を理科で学習する際に、AR 技術を用いて関連する物理量をアニメーション表示するシステムなどが挙げられ、これらの学習支援システムの開発も行う必要がある。

今後、様々な物理現象のシミュレーションした結

果と関連する学習内容を3Dモデルとして重畳表示する教育用ソフトウェアを開発していく予定である。

## 参考文献

- [1] R. T. Azuma(1997) A survey of augmented reality, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.6, No.4, pp.355-385.
- [2] 小松祐貴・渡邊悠也・桐生徹・中野博幸, 久保田善彦(2012) AR教材活用による「月の見え方」に関する空間認識の変容, 日本科学教育学会科学研究報告, 第27巻, 第6号, pp.1-6.
- [3] 岡本勝, 隅田竜矢, 松原行広(2015) 拡張現実型マーカを用いた無機化学学習支援システム, 電子情報通信学会論文誌 D, 第 J98-D 巻, 第1号, pp.83-93.
- [4] 文部科学省(2008) 中学校学習指導要領, 理科, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/ri.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/ri.htm) (最終アクセス日:2017年2月16日)
- [5] 文部科学省(2008) 中学校学習指導要領, 技術・家庭, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/gika.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/gika.htm) (最終アクセス日:2017年2月16日).
- [6] P. B. Alappanavar, B. Kurvey, M. Karad, S. Bhagwatkar(2013) Location Based Augmented Reality, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 5, pp.566-568.
- [7] H. Kato, M. Billinghurst(1999) Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system, Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp.85-94.
- [8] G. Klein, D. Murray(2007) Parallel tracking and mapping for small AR workspaces, 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.225-234.
- [9] Vuforia, <https://developer.vuforia.com/> (最終アクセス日:2017年2月16日).
- [10] ARToolKit, <https://artoolkit.org/> (最終アクセス日:2017年2月16日).
- [11] EasyAR, <http://www.easyar.com/> (最終アクセス日:2017年2月16日).
- [12] Unity 3D, <http://japan.unity3d.com/> (最終アクセス日:2017年2月16日).
- [13] CMAN, <https://www.cman.jp/QRcode/> (最終アクセス日:2017年2月16日).
- [14] 馬文鵬・伊藤陽介・林秀彦(2016) 拡張現実技術を用いた実験学習支援システムの構築, 日本産業技術教育学会誌, 第58巻, 第2号, pp.109-117.
- [15] 馬文鵬・伊藤陽介(2017) 電気回路を対象とする拡張現実技術を用いた実験学習支援システムの有用性, 日本産業技術教育学会誌, 第59巻, 第1号(印刷中).