

# スマートフォンを通して スクリーンに絵を描くシステムの提案

中田 豊久<sup>1,a)</sup>

**概要:** 各ユーザーがスマートフォンでスクリーン上のマーカーを読み取り、スマートフォンの画面をなぞることでスクリーンに絵を描くシステムを開発した。従来の AR アプリとの違いは、描かれた絵がデバイスを通さずに直接見ることができる点である。これにより、傍観している第3者がシステムに途中で参加しやすくなり、また日常ではできない落書き体験といった背徳感を AR アプリよりも演出することができる。

## 1. はじめに

教室におけるスクリーンや、商業施設などでの巨大ディスプレイを用いたデジタルサイネージなどは、情報を提供者から受け取り者に一方通行で提示するものが多い。この既存の仕組みに、聴衆からスクリーンや巨大ディスプレイに書き込みを行うことを可能としたインタラクティブなシステムについて提案する。本システムを用いたアプリケーション例としては、次の2つが挙げられる。

**アドホック・ゲーム** 公共の場に設置された大型ディスプレイを使って、その場で誰でもが参加できる多人数同時プレイゲームを実現する。

**教育利用** リアルタイムにアンケートに回答するクリッカーのような機械に比べて、講師が説明に使用しているスクリーンに直接的に介入できることにより、学習者の講義への積極的参加を促す。

このようなアプリケーションを実現するために、システムは次の要件を充たすこととする。

**システム要件** ユーザは、スクリーンに書き込みを行うために特別なデバイスや準備を必要としない。

このために、スマートフォンを利用した Web アプリケーションとしてシステムを実装する。スクリーンに書き込みを行いたいユーザは、まず (1) 自分のスマートフォンを取り出し、(2) スクリーンの横などに設置された QR コードを読み込む、(3) スマホをスクリーンにかざして絵を描く、と利用されるとする。

本提案システムの特徴は、次の2点である。

**AR 効果** 参加者に対して、教室のスクリーンなど普段は

スマートフォンをスクリーンにかざして、スクリーンに絵を描くことができる

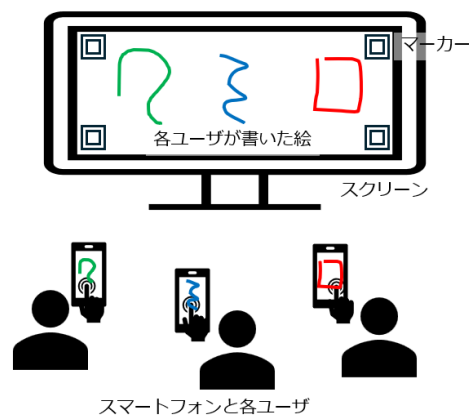


図 1 スマートフォンを通してスクリーンに絵を描くシステムの概要

関与できないものに絵を描くという体験を提供する。

**参加喚起** 非参加者に対して、スクリーンに描かれた絵や参加者の振る舞いから、システムへの参加意欲を喚起する。

本論文では、2章で関連研究について言及し、まず本論文の時点では実現できなかったマーカレスによりスクリーンの位置をスマートフォンで認識する技術について検討したことを3章で報告する。そして実際に完成したマーカーを使用した提案システムについて4章で紹介する。大学の講義で実際にシステムを運用した評価実験について5章で述べ、最後に6章でまとめる。

<sup>1</sup> 新潟国際情報大学

<sup>a)</sup> nakada@nuis.ac.jp

## 2. 関連研究

空間や実物のオブジェクトに AR 技術を用いて絵を描くというシステムは、古くは空気ペンがある [16]. これらの技術は、現実世界に付加情報を重畳させるという AR 技術に端を発する [8]. これらの研究以降、数多くの現実世界と仮想世界との融合技術が開発されている. 例えば Ryokai らは [9], IO/Brush という現実世界のオブジェクトから色を取得し、その色でディスプレイに絵を描くことが出来るシステムを提案している. また、HMD によって現実のオブジェクト上に書いた絵を見るもの [17], [20], [21], 描画結果をプロジェクションマッピングで実空間に照射するもの [10], [15] などがある. 近年では Google 社から提供されているスマートフォンの AR 技術を支えるライブラリである ARCore [1] を用いた空間に線を描画することが出来るアプリケーション [5], 現実世界に書いた絵がスマートフォンの画面を通して動き出すというアプリケーション [13] などがあり、AR 技術は誰でもが広く利用できるようになってきている.

一方、本研究で対象とする聴衆がスクリーンに対して関与することが出来るものとして、ニコ動の流れるコメントのように、授業中使用するプレゼン資料に受講者のコメントが流れるものを用いて実際に授業を行っている例 [19] などがある. これらのインタラクティブなプレゼンテーションは、古くは Wiss で実施されたチャットシステム [18] があり、また、プレゼン中に聴衆がインタラクティブに発表に介入するのを支援するシステム [14] などがある.

## 3. マーカなしによるスクリーン描画の検討

提案するシステムは、スマートフォンのカメラでスクリーンの位置を特定することが必要になる. カメラで映した画像の中のどの部分がスクリーンに相当するかを同定するということである. そのために、まず明示的なマーカーを用いない以下の 3 つの技術を検討した. ただ結果的には、本論文の時点では、次章で述べるマーカーを認識する方法によってシステムを実現している. ここでは、実現には至らなかったが検討した手法についてその内容と結果を報告する.

### 3.1 離散フーリエ変換

画像の離散フーリエ変換は、画像のピクセル配置に基づいて計算され、その結果から画像の周波数成分を抽出する方法である. 例えば、人間の目では気づきにくい画像の微細な変化も離散フーリエ変換を利用して検知することができる. そして、このシステムではスクリーンに表示する画像を操作することができ、あらかじめ特定の周波数成分を埋め込んでおき、それをユーザのスマートフォンで捉えることで、スマートフォンでスクリーンの位置を特定できる

と考えた.

しかし実際に実装した結果は、図 2 のように、人の目にも分かるような縞模様になる周波数成分をスクリーン画像として用いても、その検出をスマートフォンのカメラで行うことは困難であった. そこでこの離散フーリエ変換を用いることによってスクリーンの位置を特定する方法は採用しないこととした.

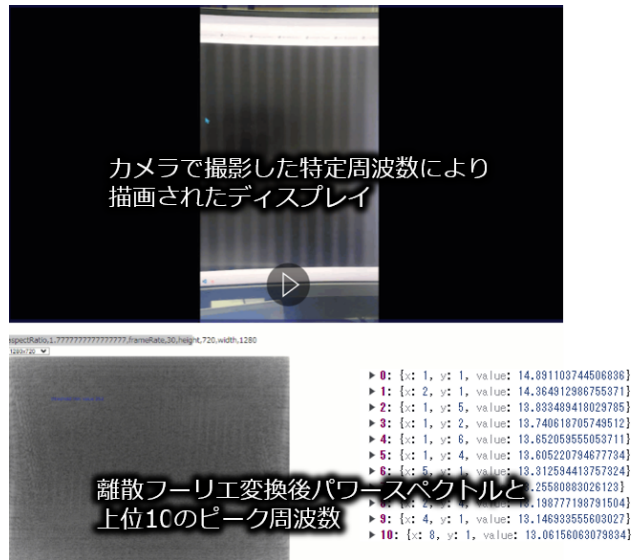


図 2 スクリーンに特定周波数を描画して、離散フーリエ変換によってその周波数を取得しようと試みる.

### 3.2 オブジェクト認識

近年のディープラーニングの発達により、画像認識の精度は格段に向上してきている. また処理時間についても進歩が見られることからスマートフォンのカメラを用いたリアルタイムのオブジェクト認識についても実運用可能なレベルになってきた. そこで画像に映る物体が何であるか、そしてどこに映っているのかを特定するオブジェクト認識で広く知られる技術の 1 つである yolox [4] を用いてスクリーンに映るオブジェクトを認識することにした. スクリーンにあるオブジェクトの位置関係をスマートフォンで取得することが出来れば、そのオブジェクトがスクリーンのどの位置に描画しているのかについては予め情報としてスマートフォンに与えることが出来るため、オブジェクトからスクリーンの全体位置を特定できると考えた.

実際に yolox の最小サイズである nano モデルを onnx(open neural network exchange) の形式に変換してスマートフォンのブラウザで実行した. Android の Chrome

で実験したところ、約 6fps でリアルタイムでオブジェクト認識をすることが出来る。その検出した例を図 3 に示す。

教室のスクリーンなどで実験したところ、認識するオブジェクトがスマートフォンのカメラの中で小さく映されるときに認識しなかったり、また 6fps での動作は、絵を描くというユーザインターフェースの時にもっさりとして動いてストレスを感じるが多かった。そのためにこのオブジェクト認識についても採用をしないこととした。



図 3 yolox によるオブジェクト認識

### 3.3 特徴マッピング

画像処理における特徴点抽出手法とは、画像内の局所的なユニークなパターンを検出する手法である。そして 2 つの画像の特徴点をマッピングして、図 4 のように左の画像の特徴点とそれと同じと思われる特徴点をそれぞれマッピングするものを特徴マッピングと呼ぶ。本システムとしては opencv.js に実装されている akaze [3] という手法によって特徴マッピングについて検証した。

スクリーンに予め描画される絵の特徴を予め取得しておき、スマートフォンのカメラで映した絵との特徴マッピングを行うことにより、スクリーンの位置を特定するというものである。

実際に実装して検証したところ、正しくマッピングが行われずにスクリーンの位置が特定できない、処理の時間がかかるため絵を描くというインターフェースを実装するときに問題となる、といった点からこの技術についても採用をしないこととした。

## 4. マーカありの提案システムの概要

前章でマーカレスについて検討をしてきたが現時点で実運用に耐えうる技術を選定することが出来ず、マーカをスクリーン上に配置する方法を本システムでは採用した。

スマートフォンのカメラで取得する各フレームからスクリーンの位置を認識するアルゴリズムの概要を 5 に示す。まず 1 つ 1 つのフレームからマーカの候補を抽出する。

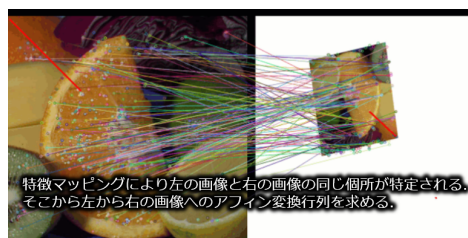


図 4 akaze による特徴マッピング

そしてある一定の時間の範囲内で得られる複数のフレームから類似する位置にあるマーカ候補を 1 つにまとめていく。今回の実験ではこの時間は 500ms とした。そして、抽出されたマーカ候補が 4 つ以上になったときに、4 つで構成される四角形が最も長方形に近くなる 4 つのマーカをスクリーンに表示されているマーカと認識する。長方形に近い／遠いは、独自に開発した長方形逆スコアによって計算する。長方形逆スコアとは、図 6 に示す 5 つの指標で計算された値を合計したものであり、長方形に近いほど 0 に近い値になるように設計されている。

#### ①各フレームからマーカ候補を抽出する

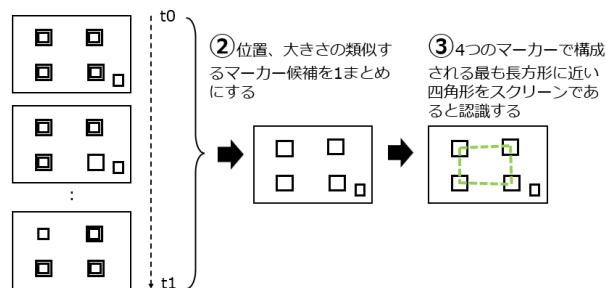


図 5 画像からマーカを検出してスクリーンを認識するアルゴリズム

図 7 には図 5 の (1) で示したマーカ候補を検出する独自に開発されたアルゴリズムの詳細を示す。実装には opencv.js [6] を用いる。まず canny [2] によってエッジを検出し、findContours [12] を用いて輪郭を抽出する。そして approxPolyDP による多角形近似 [7] によって 4 角形のみを抽出する。ただこの抽出された四角形は、180 度を超える内角を持つ中に入り込んだ四角形も検出されるため convexhull [11] によって外側のみを抽出して 4 点で構成されない四角形は除外する。そして最後に、1 辺の長さ、アスペクト比が指定された範囲内にあり、かつ、2 つの縦辺と横辺がそれぞれ同じような辺の長さである場合にマーカ候補として残すことになる。

**長方形逆スコア: 以下の5つの値を合計し、0に近いほど長方形に近いと判定する**

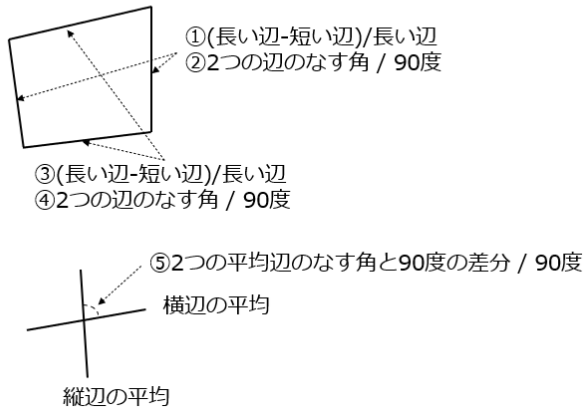


図 6 長方形逆スコア: このスコアが 0 に近い四角形ほど長方形であると判定される。

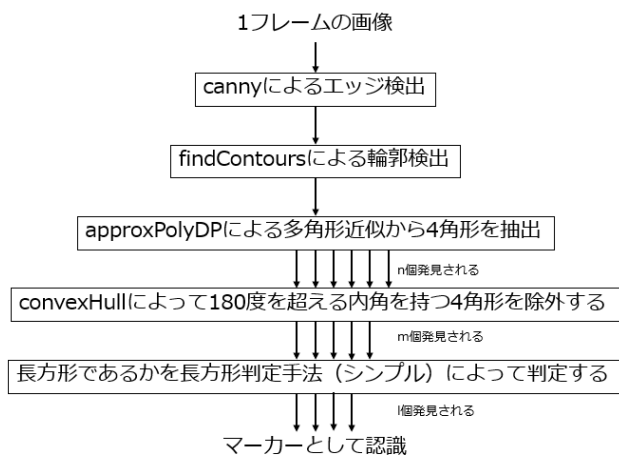


図 7 画像からマーカーの検出アルゴリズム

スクリーンの位置が特定されると、スマートフォンの画面からスクリーン位置へのアフィン変換行列が求められ、その変換行列によってスマートフォンの画面でタップした位置がスクリーン上の位置に変換される。変換されたタップの位置情報は WebSocket 経由でスクリーンに画像を表示している計算機に送られ、スクリーン上で描画処理が行われる。

## 5. 評価実験

2024年6月7日に新潟国際情報大学の授業の中で、本提案システムの評価実験を行った。教室は図8に示す320人を収容する教室で実施した。

### 5.1 実験の設計

被験者である授業を履修している学生がスクリーンに絵を描く理由を定めるために、以下の設定として実験を行った。

**実験の想定** スクリーンに表示された教育コンテンツを用いて授業を行っているとする。

**被験者の目的** スクリーンに絵を描いて (1) 授業の邪魔をする、または他の被験者が書いた絵を消しゴム機能で消して (2) 授業を邪魔する人を邪魔する、のどちらかを行ってもらう。

**実験の時間** 約10分間の授業とし、終了後に被験者にアンケートを取る。

### 5.2 実験結果



図 8 評価実験を実施した教室

図9には、実験開始時にまだ被験者が何も絵を描いていないスクリーンの状態と、約10分の実験後に実際に絵が描かれた状態のスクリーンを示す。

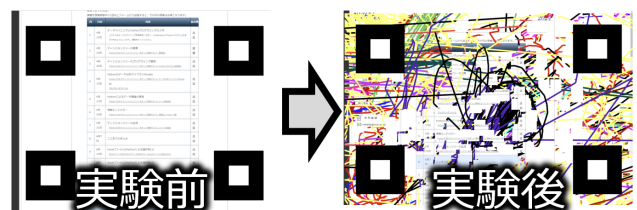


図 9 実験開始前のスクリーンと、実験終了時の同スクリーン

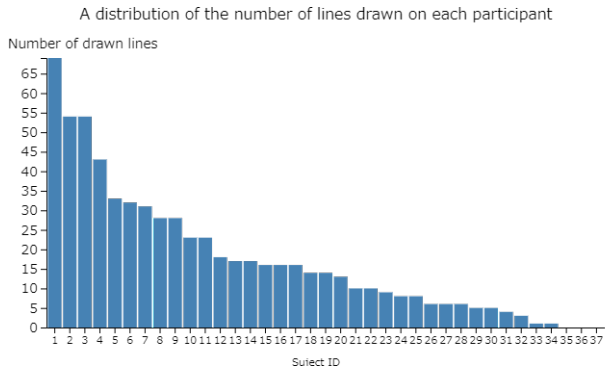


図 10 線を描いた数の分布: x 軸は被験者の通し番号, y 軸はその被験者が書いた線の数

図 11 から図 16 に実験後に行ったアンケート結果を示す。教室には約 40 名の履修者がいて、そのうち 37 名が実験に参加した。そしてその 37 名のうち 5 名は、図 12 より他の人がスクリーンに絵を描いているのを見てから参加している。また感想を形容詞の選択肢の中から選ぶ図 16 の結果では、面白い、楽しいだけでなく、3 名の被験者が罪悪感を感じると回答している。これらの結果は、本システムの 1 つの特徴である、非参加者に対して参加を喚起することと、楽しさだけでなく本来は汚してはいけないと思われるスクリーンに落書きをするという背徳感の演出の可能性を否定できないものとして考える。

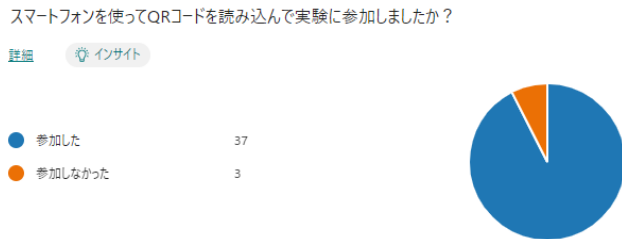


図 11 実験の参加率

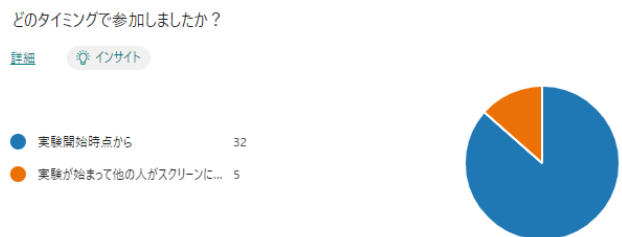


図 12 参加のタイミング

スクリーンに線を描くことが出来ましたか？



図 13 スクリーンに絵を描くことが出来たか

実際の授業では、このようなシステムがあった方が良いですか？



図 14 実際の授業で本システムは使えるかどうか

(授業とは関係なく)面白かったですか？



図 15 授業とは関係なく、楽しかったかどうか: 1: 面白くない 2: あまり面白くない 3: どちらともいえない 4: 少し面白い 5: 面白い

## 6. おわりに

各ユーザが自分のスマートフォンで公共の場のスクリーンや巨大ディスプレイのような画面に絵を描けるシステムを提案した。技術的にはマーカーなしの実装が困難であったことから、スクリーンの四隅に専用のマーカーを配置するシステム構成とした。320 名を収容する大教室で行われる大学の講義において、本システムを試験運用してみた結果、楽しさを提供できる可能性があることが示唆された。しかし一方、学生が能動的に授業に参加するというインタラクティブな講義を支える技術としては、学生がシステムを過剰利用してしまうことから、その可能性は確認できな

感想として当てはまるものがあつたらすべて選択してください。

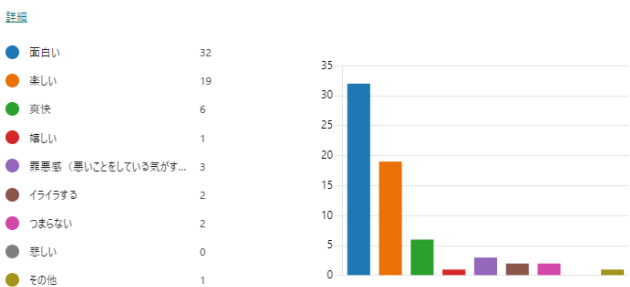


図 16 複数選択可とした感想

かった。

今後は、公共の場にある巨大ディスプレイなどで、その場でディスプレイの前にたまたま居合わせた人が一緒にゲームをするといったアドホックゲームとしての利用を検討していきたい。

## 参考文献

[1] ARCore: デジタル世界と現実世界をシームレスに融合する新しい拡張現実エクスペリエンスを構築, Available online: <https://developers.google.com/ar?hl=ja> (2024). アクセス日: 2024年7月25日.

[2] Canny, J.: A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-8, No. 6, pp. 679–698 (online), DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851 (1986).

[3] Fernández Alcantarilla, P.: Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces, *Conference: British Machine Vision Conference (BMVC)*, (online), DOI: 10.5244/C.27.13 (2013).

[4] Ge, Z., Liu, S., Wang, F., Li, Z. and Sun, J.: YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021, *arXiv preprint arXiv:2107.08430* (2021).

[5] Google: Just a Line (スマートフォンアプリ) <https://experiments.withgoogle.com/justaline> (2018).

[6] OpenCV: OpenCV.js Tutorials, Available online: [https://docs.opencv.org/4.x/d5/d10/tutorial\\_js\\_root.html](https://docs.opencv.org/4.x/d5/d10/tutorial_js_root.html). アクセス日: 2024年7月22日.

[7] Ramer, U.: An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 1, No. 3, pp. 244–256 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-664X\(72\)80017-0](https://doi.org/10.1016/S0146-664X(72)80017-0) (1972).

[8] Rekimoto, J. and Nagao, K.: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, *User Interface Software and Technology (UIST '95)*, pp. 29–36 (1995).

[9] Ryokai, K., Marti, S. and Ishii, H.: I/O brush: drawing with everyday objects as ink, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '04, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 303–310 (online), DOI: 10.1145/985692.985731 (2004).

[10] Schöning, J., Rohs, M., Kratz, S., Löchtfeld, M. and Krüger, A.: Map torchlight: a mobile augmented reality camera projector unit, *CHI'09 Extended Abstracts*

*on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3841–3846 (2009).

[11] Sklansky, J.: Finding the convex hull of a simple polygon, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 1, No. 2, pp. 79–83 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8655\(82\)90016-2](https://doi.org/10.1016/0167-8655(82)90016-2) (1982).

[12] Suzuki, S. and Abe, K.: Topological structural analysis of digitized binary images by border following, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 30, No. 1, pp. 32–46 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90016-7) (1985).

[13] ワットエバー株式会社: らくがき AR (スマートフォンアプリ) <https://whatever.co/ja/work/rakugakiar/> (2020).

[14] 良太井上, 俊 白松, 忠親大園, 虎松新谷: 発表中の資料へのフィードバックに基づくインタラクティブプレゼンテーションシステムの実現, *情報処理学会論文誌*, Vol. 56, No. 10, pp. 2011–2021 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1050845762836039168>) (2015).

[15] 熊谷賢二, 向田 茂, 隼田尚彦, 齋藤 一, 安田光孝: 参加型プロジェクションマッピングによる塗り絵コンテンツの提案, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集*, Vol. 2013, pp. 249–250 (2013).

[16] 山本吉伸, 椎尾一郎: 空気ペン—空間への描画による情報共有—, 第 59 回情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 4, pp. 39–40 (1999).

[17] 安東俊之介, 藤井叙人, 片寄晴弘: UPP (Unreal Prank Painter): 悪戯の楽しみに着目した落書きコンテンツ, *情報処理学会論文誌*, Vol. 60, No. 11, pp. 1983–1991 (2019).

[18] 暦本純一: 学会でのチャット!?—WISS' 97での実験, *Bit: コンピュータサイエンス誌*, Vol. 30, No. 6, pp. 8–17 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1524232504789808896>) (1998).

[19] 水原啓暁: 「ニコ動的講義」が生み出す、教員と学生のシンクロ, Available online: <https://www.highedu.kyoto-u.ac.jp/connect/topics/mizuhara01.html> (2016). アクセス日: 2024年7月21日.

[20] 長江淳実, 小島健三, 柴田龍輝, 大島登志一: 投影型 AR を用いた実物体へのバーチャル・ペインティング (第 1 報), *情報処理学会 インタラクシオン 2016* (2016).

[21] 箭野裕己, 河野恭之: PTAM を用いた AR 落書きシステム, *情報処理学会 インタラクシオン 2018* (2018).