

Wedge: AR空間におけるWebアプリケーション 実行環境の開発とその応用

伊藤 栄俊^{†1,a)} 岩田 知^{†1,b)} 高田 智紀^{†1,c)} 大冨 忠親^{†1,d)} 新谷 虎松^{†1,e)}

概要: 現実空間の状況に応じて情報を付加し、対応した情報を提示する AR (Augmented Reality) が注目されている。AR アプリケーション開発における課題として、AR 空間内で利用するオブジェクトの作成と配置の困難さが挙げられる。本研究では、AR アプリケーション開発を支援するためのシステムである Wedge システムを開発した。Wedge システムは、(1) AR 空間内で Web アプリケーションを実行可能、(2) 現実空間に対応した簡便なオブジェクトの配置が可能、(3) AR 空間内における多人数でのオブジェクトの共有が可能な 3 つの特長を持つ。本システムにより、Web アプリケーション開発者が AR オブジェクトを開発可能になる。さらに特筆すべき点として、画像マーカーを用いることでオブジェクトの配置を容易にし、かつ閲覧時は画像マーカーを用いずに多人数とのオブジェクトの共有が可能な点である。本稿では、Wedge システムの実装および応用例を示す。

1. はじめに

現実空間の状況に応じて情報を付加し、対応した情報を提示する AR 体験が注目されている。こうした AR 体験を与えるアプリケーションの開発における課題として、AR 空間上で利用するオブジェクトの作成と管理の困難さがある。オブジェクトを作成する際には、オブジェクトのデザインやアニメーションを考えなければならない。AR 空間で利用するオブジェクトは、形状の他に表層を覆うテクスチャ画像が必要である。また、動きのあるオブジェクトを作成しようとした場合、形状の変化や使用するテクスチャ画像の変更を行わなければならない。また、作成されたオブジェクトを AR 空間内のどこに配置するのか、AR 空間内に取り込む際に指定しなければならない。座標を数値で指定して配置することはできるが、直感的でなく、どのあたりに配置されるのか自明でない。そこで本研究では、AR 体験を与えるアプリケーション開発を支援するために Wedge システムを開発した。Wedge システムには、3 つの機能がある。1 つ目は、AR 空間内における Web アプリケーション実行環境の提供である。AR 空間内に Web ページの表示を実現することで、AR 空間内における Web アプ

リケーションプログラムの実行を可能にする。2 つ目は、現実空間に対応した簡便なオブジェクトの配置である。現実空間に置かれた画像マーカーを用いることで、AR 空間内のオブジェクトを制御し、移動や回転などの再配置を容易にする。3 つ目は、AR 空間内における多人数でのオブジェクトの共有である。多人数で AR 空間を共有し、同じ位置に同じオブジェクトが置かれているような共有環境を提供する。本研究に特筆すべき点は、登録時に画像マーカーを用いて簡便にオブジェクトを配置することで、閲覧時は画像マーカーがなくとも多人数で共有することが可能であることである。

本論文の構成について述べる。2 章で関連研究について述べ、本研究の位置付けを示す。3 章にて、開発した Wedge システムの詳細を述べる。3 章では特に、AR 空間における簡便なオブジェクトの配置方法の紹介と、AR 空間内で Web アプリケーションを実行するため必要な AR Web オブジェクトの提案を行なう。4 章で開発した Wedge システムの考察を行なう。考察では、Wedge システムを実装している過程で得られた知見や、応用システムの開発で浮かびあがったこれからの課題について述べる。5 章で、本研究をまとめ本稿を締める。

2. 関連研究

拡張現実技術に関するライブラリとして ARKit^{*1}がある。ARKit は Apple 社から提供されている iOS 開発向け

^{†1} 現在、名古屋工業大学

Presently with Nagoya Institute of Technology

a) ashun@toralabj.org

b) iwasato@toralabj.org

c) takatomo@toralabj.org

d) ozono@toralabj.org

e) tora@toralabj.org

^{*1} <https://developer.apple.com/jp/arkit/>

のフレームワークである。ARKit の特徴として 3 つある。1 つ目は現実空間の平面認識である。カメラで撮影された映像から特徴点を見つけ、現実空間の平面を特定する機能である。ARKit の平面認識では、特徴点の算出は自動で行われる。検出された平面は大きさと座標をもつ三次元物体として ARKit 内で扱うことができる。ARKit には現実空間に対応した三次元空間を扱う座標系をもつ。

2 つ目は自己位置推定である。平面認識で検出された平面をもとに、現実空間におけるユーザの位置（カメラの位置）を取得することができる。この機能を用いることで、撮影した領域が三次元空間のどこに相当するのかを求めることができる。3 つ目は、画像認識である。ARKit1.5 から利用できる機能である。ARKit 自体はマーカーレス型の AR 技術を提供するフレームワークであるが、マーカー型と同様に特定の画像をマーカーとした AR 体験を提供することも可能である。マーカーとなる画像をマーカー画像とする。マーカー画像は条件を満たすヒストグラムをもつカラー画像で、特徴が少なく、ヒストグラムが条件を満たさない画像はマーカー画像として利用することができない。つまり、ある程度色合いに幅があり、特徴点となりそうな濃淡をもつ画像であれば好きな画像をマーカー画像として登録することができる。カラー画像をマーカー画像として登録するには、事前にアプリ中に組み込むか、プログラム起動後に登録処理を行えば可能である。マーカー画像として登録するために必要な情報は、対象のカラー画像とカラー画像に映されている領域の現実世界での大きさである。

3 つ目は、空間共有である。ARKit2.0 から利用できる機能である。ARKit で提供される AR 空間は *ARWorldMap* というクラスで定義される。この *ARWorldMap* をユーザ間で共有することで同じ AR 空間を得ることができる。*getCurrentWorldMap* で現在の *ARWorldMap* を取得することができる。そのままの形では Swift 以外で扱うことができないため、*NSKeyedArchiver* でバイナリデータに変換しサーバに送信する。

AR 空間におけるオブジェクトの作成の困難性に関する研究として、ProtoAR[1] がある。ProtoAR では、現実空間の物体を用いて、AR 空間内にモックのようなオブジェクトとシーンの作成を支援している。この研究でも課題とされているのが、AR オブジェクトの作成が容易ではなく、特別な技術や作成のための時間が必要である点が指摘されている。

人間が使うインタフェースとして、デスクトップ上におけるウィンドウのような二次元平面に情報が記述される形式は馴染み深い。そのため、現実空間の情報を AR 空間などに表示させる際は、ウィンドウのような二次元平面を生成し、利用するための研究がされてきた。こうした研究における課題として、三次元空間におけるウィンドウの配置

問題があげられる。三次元空間におけるウィンドウの配置問題とは、三次元モデルを空間上に投影する際は、空間上におけるオブジェクトの位置や向き、オブジェクトの大きさなど、定義しなければならない情報が多くある。Ethereal Planes[2] では、三次元空間におけるウィンドウなどの配置の目安となるデザインモデルとして提案されている。例えば、ユーザが操作するボタンや確認画面などはユーザを中心とした球面上に配置し、検索結果などの情報は、ウィンドウを配置するための二次元の壁面などを定義し、壁面上に配置するといった方法が考えられる。ウィンドウを配置するための仮想的な壁面を定義することで多数のオブジェクトを管理する場合でも、位置情報の取得および変更が容易になる。

Projective Windows[3] ではコントローラーなどの機器を用いずに、指の動きだけでウィンドウの形をしたオブジェクトの位置や向きを変更することができる。本研究においては、オブジェクトの位置を現実空間の物体に紐づけることで、現実の情報と結びついたインタラクションの実現を図っている。

本研究の位置付けについて述べる。本研究では、これまで AR アプリケーション開発において課題とされてきた AR オブジェクトの作成と配置の困難性を解決する手段として、本研究では、Web アプリケーション開発の技術と現実空間の情報の利用を考えた。まず、AR オブジェクトの作成では、Web ページを AR オブジェクトの作成に利用することを考えた。Web ページであれば、HTML や CSS でデザイン可能で編集が容易である。また、CSS のアニメーションでエフェクトを加えることが可能になる。また、オブジェクトの配置に関しては、現実空間の物体の利用を行なう。現実空間に画像マーカーとなる画像を配置し、画像マーカーの画像とオブジェクトを紐づけることで、現実空間の画像マーカーの位置に応じたオブジェクトの配置が可能になる。

3. Wedge システム

3.1 AR オブジェクトの配置と管理

Wedge システムについて説明していく。Wedge システムでは、現実空間の画像マーカーと AR オブジェクトを紐づけ、現実空間の画像マーカーの位置に応じてオブジェクトの配置を実現することで、AR 空間におけるオブジェクトの配置の困難性を解決する。画像マーカーはオブジェクトの配置に利用し、AR 空間の定義は、ARKit の平面認識に基づくマーカーレスな AR 空間を利用する。これにより、オブジェクトの配置には画像マーカーを使用するが、配置後は画像マーカーがなくとも、ARKit の空間共有を用いることで多人数でのオブジェクトの共有を可能にする。

Wedge システムでは 3 つのクラスを導入する。図 1 に、Wedge システムのイメージ図を示す。現実空間における

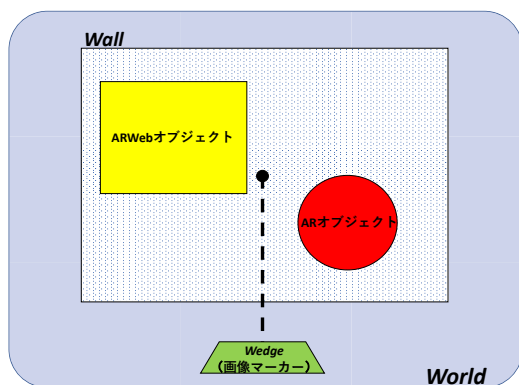


図 1 Wedge システムのイメージ図

特徴点を持ち、空間毎に識別可能なものの空間をもつものを *World* と定義する。 *World* には、様々な AR オブジェクトが表示される。 *World* 自体は AR オブジェクトを保持しない。 *World* に応じて AR オブジェクトが割り当てられ、 *World* が読み込まれる毎に AR オブジェクトを呼び出すことで過去の AR 空間の様子を再現することができる。

画像マーカーを持ち、AR オブジェクトの位置を指定することが可能なものを *Wedge* と定義する。 *Wedge* とは、現実空間の位置と AR 空間の位置を対応づけるためのものである。現実空間の位置情報を取得するために、画像マーカーを与える。画像マーカーとは、条件を満たす任意の画像を用いた AR マーカーを意味する。一般的な AR マーカーとの違いは、QR コードなどのような人間にとって無意味な標識ではなく、日常的に用いられる物体を撮影したものやメタファーを表す画像をマーカーとして使用することができる。画像マーカーを用いることで QR コードなどのような特別なマーカーを用意することなく、現実空間の対象の位置に応じた AR オブジェクトの表示が可能になる。 *Wedge* は画像マーカーをトラッキングしており、画像マーカーの位置が更新されれば、更新された位置に応じて対応した AR オブジェクトの位置情報が変更される。これにより、現実空間の物体の移動により、AR オブジェクトの再配置が可能になる。位置情報の変更だけでなく、向きの変更も可能である。

AR オブジェクトの更新の際に、複数の AR オブジェクトをまとめて更新したい状況が考えられる。そこで、複数の AR オブジェクトをグループ化することでまとめて位置情報を更新することを可能にする。複数の AR オブジェクトグループ化し表示するための表示領域を *Wall* と定義する。 *Wall* は AR 空間内での AR オブジェクトの配置を管理するためのオブジェクトで、AR 空間でインスタンスが生成され、座標変換行列をもつ。透明なテキストチャをもつ三次元モデルとして表現され、ユーザに対して不可視なオブジェクトである。 *Wall* を用いることで、利用者には *Wall* を意識させずにオブジェクトを配置することができる。

図 2 に *Wedge* の登録画面を示す。 *Wedge* には、画像マ-



図 2 画像マーカーの登録画面

カーとして利用する画像、ラベルとして用いる文字列、現実空間における画像マーカーの大きさ、保存先のサーバの URL、識別用の *Token* を指定する。加えて、AR Web オブジェクトをマーカーに対して水平に表示するのか、垂直に表示するのかを指定する。入力された情報はサーバに送られ保存される。登録画面は Web ページとなっており、iOS 側からだけでなく、誰でも登録可能である。

3.2 AR Web オブジェクト

AR Web オブジェクトの実現方法について述べる。AR Web オブジェクトには大きく分けると 2 つの構成要素からなる。 *WebView* オブジェクト管理モジュールと AR オブジェクト生成モジュールである。 *WebView* オブジェクト管理モジュールはリクエストに応じて Web ページをレンダリングするためのモジュールである。iOS アプリケーションとして実装する場合は、 *UKWebView* を利用する。リクエストに応じて Web ページをレンダリングし、レンダリング結果を画像に変換する。変換されたレンダリング結果の画像を AR オブジェクト生成モジュールに渡す。AR オブジェクト生成モジュールでは、与えられた画像をもとに、テキストチャを作成する。作成されたテキストチャをもとに AR オブジェクトのためのマテリアルを生成する。ここでいうマテリアルとは、AR オブジェクトの表面情報を決定する情報である。生成されるオブジェクトは薄いカード型の形状でジオメトリ表現される。ここでいうジオメトリとは、AR オブジェクトの形状を表す情報を指す。生成されたマテリアルとジオメトリの情報をもとに三次元モデルとして AR オブジェクトを生成する。生成された AR オブジェクトは AR 空間上に投影され、その結果がユーザに表示される。AR オブジェクトとして表示される Web ページは画像であるため、ページ情報を更新するために、AR オブジェクト生成モジュールから *WebView* オブジェクト管理モジュールに対してページ更新のためのリクエストを送信する。AR Web オブジェクトが表示される位置は *Wedge* システムによって決定する。 *Wedge* システムは、AR Web オブジェクトを表示するための画像マーカーを検出すると、その位置に対応した AR Web オブジェクトなどの AR オ

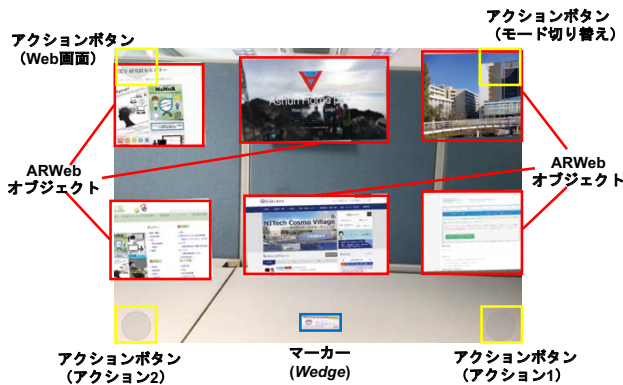


図 3 AR Web オブジェクトの実行例

ブジェクトを表示することができる。また、ユーザは AR 空間を通してのみ Web ページを見ることができるのではなく、選択した AR Web オブジェクトに対応した Web ページを別で表示することも可能である。

図 3 に AR Web オブジェクトの実行例を示す。図 3 は 6 つの Web ページを開いている様子である。AR Web オブジェクトはそれぞれ独立した AR オブジェクトであるため、AR 空間上で複数の AR Web オブジェクトを展開することができる。図 4 に AR Web オブジェクトを登録する際の登録画面を示す。AR Web オブジェクトを登録するには、ブラウザが表示する URL、AR 空間上における大きさを入力する。

3.3 システム構成

Wedge システムの情報管理には Pub/Sub モデルを採用している。Pub/Sub モデルとは、非同期でメッセージの送受信を行なう方式である。Publisher と呼ばれるメッセージの送信側が、受信側を意識せずデータを送信することができ、Subscriber と呼ばれる受信側が任意のタイミングでデータを受け取ることができる。そのため、多人数で非同期にデータを共有する際に用いられることがある。Wedge システムでは、多人数での AR オブジェクトの共有を実現するために、この Pub/Sub モデルをデータ共有を行なうためのアーキテクチャとして採用した。

図 5 に Wedge システムのシステム構成図を示す。Wedge システムは大きく分けて 3 つに別れる。Wedge Server, Wedge Publisher および Wedge Subscriber である。ユーザが Wedge Publisher は AR 空間の特徴点などの空間情報 (World) と画像マーカー (Wedge) を登録するための機構である。ユーザは Wedge Publisher に対して、ログイン画面を通じてログインを行なう。ログイン時に Site と Token というものを登録する。これは、Publisher と Subscriber 間でやり取りを行なう情報を識別するための識別子としての役割を果たす。ログイン処理時に、Wedge Publisher は Wedge Server に対して Site と Token を含むリクエストを送信し、サーバから Site と Token に対応した World を受



図 4 AR Web オブジェクトの登録画面

け取る。もし、Site と Token に対応した World が存在しない場合は、新たに World を Wedge Publisher 内で生成する。生成された World は随時 Wedge Server に送信され情報は更新される。また、Wedge Publisher は Wedge を登録することができる。Wedge にはマーカーとする画像と、実際の大きさの情報が必要である。Wedge として登録するための画像データを Wedge Server に送ることで、ユーザ間で Wedge を共有することができる。また、Publisher 側のユーザは Wedge に対応した位置に Wall を表示することができる。Wall は AR オブジェクトの位置を決定するためのもので、現実空間に存在する Wedge に対応した物体を移動させることで、Wall の位置を移動させることができる。それに応じて、Wall に対応した AR オブジェクトの位置も変更される。Wedge の位置はユーザが撮影した画像および映像から画像マーカー検出器によって検出される。検出された Wedge の情報が Wedge Publisher に送られ、Wall の生成および更新される。また、Wall に対応した AR オブジェクトを Wedge Server から取得する。取得する AR オブジェクトには Wall や AR Web オブジェクトも含まれており、Wall や AR Web オブジェクトは ARKit 内の AR 空間上に AR オブジェクトとして投影され、ユーザに表示される。Publisher 側のユーザは、AR 空間の様子から Wedge の位置を調節し、AR オブジェクトを表示する位置を決定する。

Wedge Subscriber は Publisher が登録した Wedge や AR オブジェクトの配置情報から、AR 空間上に投影するオブジェクトの情報を決定する。ログイン時に Publisher と同様に Wedge Server に対して Site と Token を含むリクエストを送信し、Site と Token に対応した World を受け取る。World の初期化が完了次第、World に対応した位置に AR オブジェクトを投影していく。また、AR オブジェクトだけでなく、Wedge も送られ、Wedge を検出器で検出した時に改めて AR オブジェクトを表示する。検出や表示の流れは Publisher と同様である。ただし、Subscriber は登録された情報を呼び出すのみで、新たに登録することはない。

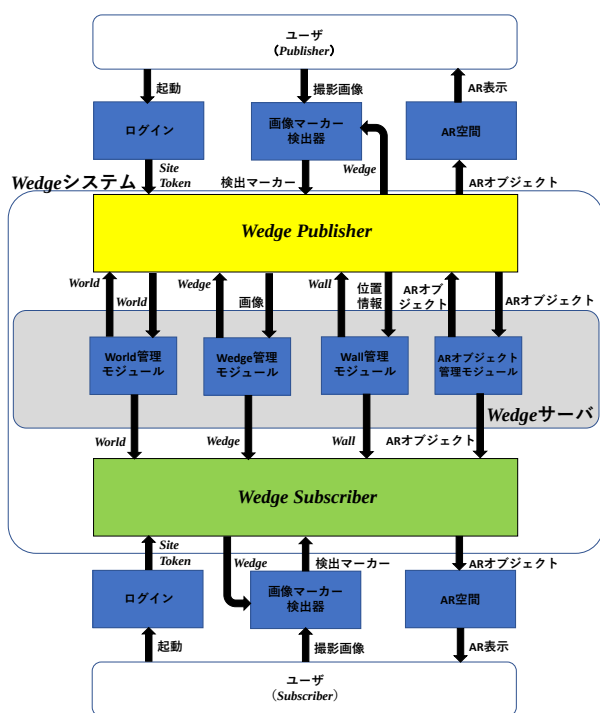


図 5 Wedge システムの構成図 (Pub/Sub)

4. 応用システム

4.1 AR Poster

Wedge システムの応用として AR Poster を開発した。AR Poster は Wedge システムを用いて AR 空間上に様々なポスターを貼ることを支援するシステムである。現実世界におけるポスターは壁や掲示版に画鋲等で貼り付けて掲示する。そのため、画鋲やテープなど接着物が必要で、張り替えや再配置が容易ではない。AR Poster は、AR 空間上にポスターを表示させることで、現実空間の至るところにポスターを貼り付けることを可能にするシステムである。AR で作成するポスターを AR ポスターと定義する。AR ポスターはポスター画像をテクスチャとしてもつ三次元モデルである。図 6 に AR Poster の実行例を示す。Wedge システムを用いることで、ポスターを表示させる位置を好きに変化させることが可能で、床、壁面および天井にポスターを配置することができる。AR Web オブジェクトを用いて AR Poster を実現する利点として、デジタルサイネージで用いられるようなアニメーションを含む動きのあるポスターを掲示することが可能である。AR Web オブジェクトでは Web ページをテクスチャとして表示しているため、CSS アニメーションなどを用いることで、ポスター中のオブジェクトにアニメーションやエフェクトを加えることができる。デジタルサイネージでも同様のことが可能であるが、デジタルサイネージでは、表示するサイズを大きくするほどコストが大きくなる。AR Poster では巨大な AR Poster を表示するだけで、安価に動きのある巨大なポスターを掲示することが可能である。



図 6 AR Poster の実行例

4.2 AR Scrap

Wedge システムを用いて、Web と AR とをコラボレーションするアプリケーションとして、AR Scrap を開発した。図 7 に AR Scrap の実行例を示す。AR Scrap は AR と Web を用いたスクラップブックシステムである。スクラップブックとは、新聞や雑誌、写真などを切り取り編集した本のことである。AR Scrap では、現実空間の物体やイラストなどを抽出し、電子化することで、多人数で共有可能なスクラップブックを作成することが可能なアプリケーションである。現実空間のオブジェクトの抽出には、以前開発した Pieppple[4] を使用した。Pieppple とは、現実の空間の物体を画像から切り取り、AR 空間上で再利用できる実世界描画オブジェクトを生成する機構である。Pieppple を用いることで、現実空間の様々な物体やイラストを切り出すことが可能になる。AR Scrap では、Pieppple を用いて切り出したオブジェクトを AR 空間上に投影するだけではなく、Web ページでも再利用可能とする。

AR 空間と Web 空間のインタラクションを実現している。AR Web オブジェクトは、Web ページを描画するために、内部に WebView オブジェクトをもつ。WebView オブジェクトは Web ブラウザとして機能しているため、JavaScript などの Web ブラウザ上で動作する命令を実行することができる。また、Web ページ上のコンテンツを取り出し、AR 空間上に投影することも可能である。AR 空間と Web 空間の双方向でコンテンツのやりとりを可能にすることで、画面上で表示しきれない数のコンテンツでも、現実空間に拡張して表示させることができる。多人数で共有する際には、Web ページにアクセスするだけで情報を共有することができる。双方のコンテンツはリアルタイムに同期される。

5. 考察

AR Web オブジェクトと Wedge システムに関する考察を述べる。AR Web オブジェクトにより Web アプリケーション開発の技術が AR 空間上で容易に表現できる。AR

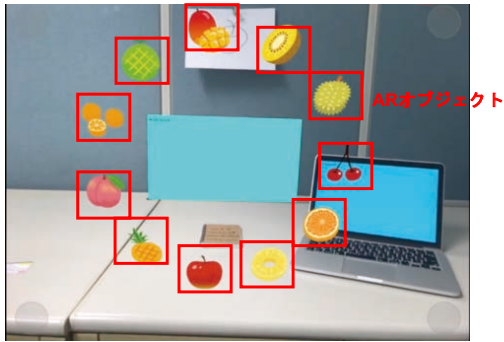


図 7 AR Scrap の実行画面

アプリケーションの開発では、ジオメトリの作成はデザインにおける課題の1つだった。AR Web オブジェクトでは、テキストチャとして Web ページを用いているため、Web ページをデザインする技術がそのまま適用することができる。また、デザインが動的に変化するアニメーションをもつテキストチャの作成ができる。例えば、AR ポスターのようなシステムが例としてあげられる。AR ポスター自体は画像で表現できるため、AR Web オブジェクトで表現する必要はない。しかし、AR Web オブジェクトで表現した場合、ポスターが変更された場合でも URL で指定したページを表示するため、AR オブジェクトを新たに生成する必要はない。また、状況に応じて URL を変更するだけで、同じ位置でも違うポスターを表示することができる。こうした点から、AR Web オブジェクトは関連情報の提示だけでなく、様々なアプリケーションに応用可能であるといえる。

Wedge システムは AR Web オブジェクトだけでなく、様々な AR オブジェクトの配置に利用できる。Wedge システムは、撮影可能なものであればマーカーとして利用することができ、平らな物体だけでなく厚みのある物体でも問題なくマーカーとして利用することができる。また、Wedge として登録するためには、現実空間における大きさを求める必要がある。情報抽出における任意の物体の切り取り手法を用いて、対象の領域を求め、対象を含む最小矩形に沿って画像を作成することで、利用者が実際の大きさなどを意識せずに Wedge として登録することができる。

AR Web オブジェクトの今後の課題について述べる。AR Web オブジェクトでは、Web ページを別の機構で描画し、描画結果を画像として利用することで AR 空間上に表示可能な Web ブラウザを実現した。WebView オブジェクトから定期的にページ情報を取得することで、アニメーションのある動きのあるページでも、再現することが可能である。表示するページは一度画像化されるため、表示する Web ページの表示範囲を大きくすると、画像化に時間がかかるためパフォーマンスが低下する。また、画像化する際の解像度が大きすぎる場合も同様に低下する。加えて、更新頻度が高いほど負荷が大きくなるため、大量の AR Web オブジェクトが同時に更新処理を行なってしまうとパ

フォーマンスが低下する。AR Web オブジェクトの更新問題が残されている。スケジューリングを考え、更新時のスループットを最大化するための手法が求められる。現状では、優先度順に処理を行っている。表示される Web ページが静的である場合、更新する必要がないため、優先度が最も低くなる。今後、動きのある Web ページを大量に描画する必要がある時は、より適したスケジューリングを採用すべきである。

6. おわりに

本研究では、AR 空間内で利用するオブジェクトの作成と配置の困難さを解決するために、Wedge システムを開発した。Wedge システムは、(1) AR 空間内で Web アプリケーションを実行可能、(2) 現実空間に対応した簡便なオブジェクトの配置が可能、(3) AR 空間内における多人数でのオブジェクトの共有が可能な3つの特長を持つ。本システムにより、Web アプリケーション開発者が AR オブジェクトを開発可能になる。さらに特筆すべき点として、画像マーカーを用いることでオブジェクトの配置を容易にし、かつ閲覧時は画像マーカーを用いずに多人数とのオブジェクトの共有が可能な点である。Wedge システムを利用した応用例として、AR Poster と AR Scrap を開発した。AR Poster は、AR を用いることで好きな位置にポスターを配置することができるシステムで、Wedge システムを利用することで実現できた。AR Scrap は AR を利用したスクラップブックシステムで、現実空間の物体を切り取り、AR 空間で再利用することができる。また、Wedge システムを用いることで、Web と連携して AR オブジェクトの Web ページへのアップロードや、逆に Web ページ上のコンテンツを AR 空間に呼び出すことが可能である。こうした応用例から、本システムの有効性が示された。

参考文献

- [1] Michael Nebeling, Janet Nebeling, Ao Yu, and Rob Rumble.: *ProtoAR: Rapid Physical-Digital Prototyping of Mobile Augmented Reality Applications*. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18), 12 pages(2018).
- [2] Barrett Ens, Juan David Hincapié-Ramos, and Pourang Irani.: *Ethereal planes: a design framework for 2D information space in 3D mixed reality environments*. In Proceedings of the 2nd ACM symposium on Spatial user interaction, pp.2-12(2014).
- [3] Joon Hyub Lee, Sang-Gyun An, Yongkwan Kim, and Seok-Hyung Bae.: *Projective Windows: Bringing Windows in Space to the Fingertip*. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 8 pages(2018).
- [4] 伊藤栄俊, 大岡忠親, 新谷虎松.: *Piepple: 拡張現実技術に基づく実世界描画オブジェクトの切り抜き機構とその応用*, 第 17 回情報科学技術フォーラム, no.2, pp.31-34(2018).