

# Augmented Reality オーサリングのための ARToolKit for GEM

平井重行<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都産業大学 理学部 コンピュータ科学科

Augmented Reality (AR) アプリケーションやシステムの構築には、まだまだ知識や技量を必要としており、インタラクションのデザインやコンテンツ制作のために容易に利用できる制作支援環境はまだ少ない。そこで、ビジュアルプログラミング環境 Max/MSP や PureData 上で動作するビデオ・CG 処理環境 GEM に対し、AR 処理のためのライブラリ ARToolKit を組み込んだエクスターナルオブジェクト (プラグイン) ARToolKit for GEM を実装した。これにより、ARToolKit のビジュアルマーカの認識処理 (三次元位置および方向とマーカの判別) が容易に行え、C 言語や OpenGL を知らずとも、オーサリング感覚で AR コンテンツの制作ができるようになった。その他の利点も含めて、より柔軟に AR の利用環境が実現できる。本稿では、このビジュアルプログラミング環境 Max/MSP, PureData や GEM、ARToolKit の各々の特徴・利点を説明し、実装した ARToolKit for GEM の機能について述べ、簡単な動作例を挙げる。

## ARToolKit for GEM:

## For Authoring Augmented Reality Applications

Shigeyuki Hirai<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science, Faculty of Science, Kyoto Sangyo University

To development or make an Augmented Reality (AR) application, it requires various knowledge of technologies and techniques. There is not so many effective tools or authoring environment for interaction design or content production of AR. In order to provide effective tool for artists and/or designers of media arts, I implemented a GEM external object called ARToolKit for GEM, which is based on Max/MSP and PureData, including the ARToolKit library. Max/MSP and PureData are famous visual programming environments for interactive arts. The ARToolKit is a library to construct AR applications. ARToolKit for GEM gives us an easy way to recognize 3D positions and postures of visual markers, and enables authoring AR contents without C-language and OpenGL. This paper describes implementation, functionalities and sample applications of ARToolKit for GEM with features of Max/MSP, PureData, GEM, ARToolKit.

### 1. はじめに

ビデオ・CG やサウンドを利用したインタラクティブなシステムやコンテンツ、アート作品等の制作には、ソフトウェアやハードウェアの高度な知識と技量が必要とされる。これに対し、インタフェース

的に優れたオーサリング環境やビジュアルプログラミング環境のツールを利用することで、コンテンツ制作者やデザイナーが表現のアイデアを考案したり、コンテンツ制作作業の効率化を計るなど、クリエイティブな作業に集中できるようにするのが一般的である。このような目的で利用されるコンテンツ制作

環境には、Flash や Director、PureData (PD)<sup>[4]</sup>、Max/MSP 等がよく知られている。そして、これらのツールを利用して制作されるコンテンツはアニメーションやムービー、音楽等を中心に、ボタンやセンサを利用してインタラクティブに生成・再生・変化させるものが多かった。

一方で、Augmented Reality や Mixed Reality (以下、AR/MR) のように、コンテンツのユーザ自身がコンピュータ上の情報と同じ画面や同じ空間内でインタラクションできる新たなインタラクション技術やコンテンツが登場してきている。それらのシステムを開発するためのライブラリやツールに関する提案・開発は幾つものなされているものの、それらの技術を利用するための制作支援環境はまだ少ない。それら環境もそれほど利用されているわけではないことから、C/C++等でプログラミングを必要とするなど、まだまだ知識や技量を必要とすることが多い。

筆者はこれまで、PD や Max/MSP 上で動作するビデオ・CG 処理環境 GEM (Graphics Environment for Multimedia)<sup>[5][6]</sup>の開発・提供に関わってきた。このプログラミング環境ではカメラによるビデオ入力が簡単に扱え、様々な画像処理機能やCG 描画機能がインタプリタ的に利用できる。そこで、AR/MR 用ライブラリの機能をこの環境で利用可能にすれば、PD や Max/MSP のサウンド処理や GEM によるビデオ・CG 処理の機能を有効に利用でき、AR/MR システムを容易に構築できるオーサリング環境が実現できると考え、AR/MR 向けビジュアルマーカ認識ライブラリとして有名な ARToolkit<sup>[4][5][6][7]</sup>を GEM の一機能として実装した。

本稿では、GEM や ARToolkit の基本的な機能を紹介し、実装した ARToolkit for GEM の機能について述べて、簡単な利用例を挙げる。

## 2. オーサリング環境として利用するライブラリとベース環境について

### 2.1 ARToolkit

ARToolkit はビデオキャプチャ画像から、平面に印刷された正方形囲いによるマーカ (図 1 左参照) の三次元位置と方向を認識することができる C 言語

のライブラリである。オープンソースソフトウェアとして開発が進められている。図 1 右は、認識されたマーカに立方体を重ね合わせるサンプルアプリケーションの実行例である。このマーカは自由にデザインしたものを利用でき、様々なマーカを同時に認識させることもできる。AR として重ね合わせて描画する物体は OpenGL を用いてプログラミングする必要がある。しかし、容易に三次元位置・方向認識の機能が扱える点は、AR/MR アプリケーションを開発する上で非常に便利であり、既に様々な AR/MR 研究で利用されている。

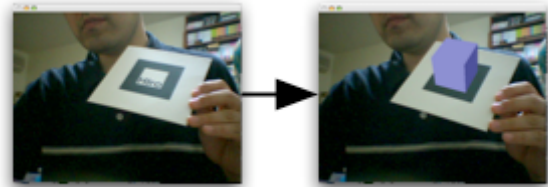


図 1 ARToolkit の動作例

ARToolkit ライブラリが持つ機能と特徴を列挙すると以下の通りとなる。

- ・ビデオキャプチャ機能
- ・カメラパラメータ (キャリブレーションデータファイル) の読み込み
- ・マーカ (パターン) ファイルの読み込み
- ・キャプチャ画像からのマーカ認識  
(三次元位置・方向の認識と、複数マーカ種類の判別を同時に実行)
- ・キャプチャ画像の背景描画
- ・キャプチャ画像 (背景表示) と描画物体の三次元座標自動合わせ
- ・HMD 表示のためのステレオ描画
- ・マーカにオーバーレイ表示する CG 物体は OpenGL を利用して自由に描画

また、ARToolkit の配布パッケージキャリブレーションやマーカデータ作成のためのユーティリティも同梱されている。

本研究では、この ARToolkit のライブラリを後述の GEM から呼び出せるようにし、ビジュアルプログラミング環境で AR/MR オーサリングを実現する。

## 2.2 Max/MSP および Pure Data (PD)

Max は Miller Puckette 氏が開発したライブ音楽向けプログラミング言語であり、当初はスクリプト形式の言語だったが、改良と共に GUI によるビジュアルプログラミング環境へと発展して現在に至っている。プログラミングスタイルは、特定の機能を持つ様々なオブジェクト（箱）をパッチコード（線）でつなぎ合わせることで、データフローを記述する形となっている。現在は、Cycling'74 社の製品であり、Macintosh 版と Windows 版が存在する。エクスターナルオブジェクトと呼ばれるプラグイン（共有ライブラリ）により様々な機能拡張が可能となっている。なお、MSP は、Max 上でリアルタイム音響信号処理を実現する Max オブジェクト群である。

PD は、Miller Puckette 氏が Max/MSP と同等の機能を持つフリーソフトウェアとして一から開発し直したもので、オープンソースの開発スタイルを取っている。内部処理エンジンは C 言語で書かれているが、GUI のインタフェース処理には Tcl/Tk が採用されている。また、Max と同様にエクスターナルオブジェクトにより機能拡張が可能である。Windows, Mac OS X, Linux の各プラットフォームで動作する。画面例を図 2 に示す。

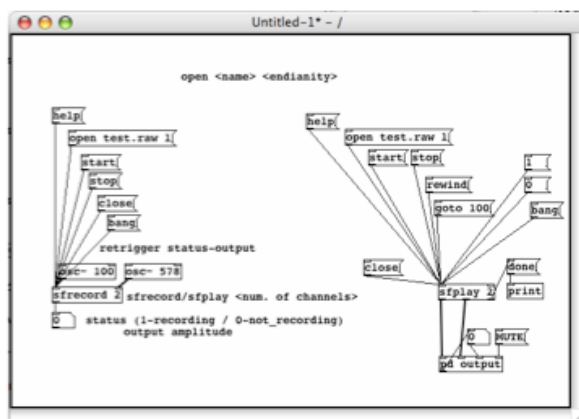


図 2 PureData (PD) の画面例  
(サウンド録音および再生の処理)

Max/MSP および PD は、インタラクティブアートのライブパフォーマンスやインスタレーションなどのコンテンツ制作において利用されることが多い。

これは、プログラミング言語を扱えないアーティストやデザイナーでも容易に扱える環境であり、編集しながら動作させることが可能であるため、「作りながら」「調整しながら」コンテンツ制作できることが、利用される大きな要因となっている。

本研究では、この「作りながら」「調整しながら」利用できる特徴を活かして AR/MR コンテンツ制作の実現を目標とするため、オーサリング環境のベース環境にはこれらのビジュアルプログラミング環境を用いる。

## 2.3 GEM (Graphics Environment for Multimedia)

GEM は PD や Max/MSP 上で動作する OpenGL ベースのビデオ・CG 処理のためのエクスターナルオブジェクト群である。当初は Mark Danks が SGI マシンの Max 向けに開発したものだだったが、PD 上で動作するよう移植され、オープンソースのソフトウェアとして現在はオランダの IEM がソースコードの管理を行っている。Windows, Macintosh, Linux で動作する。その Macintosh 上での実行例を図 3 に示す。図中の左側のウィンドウが描画ウィンドウであり、右半分の後ろのウィンドウが GEM オブジェクトが配置された Max プログラムである。

GEM のビデオ・CG 処理機能を列挙すると次のようになる。

- 基本図形・形状描画  
(ポリゴン、曲線、球、文字等)
- モデリングされた形状の描画
- 照明処理 (光源の種類、色など)
- 図形や形状の操作 (平行移動、回転、変形等)
- 映像や画像データの読み込み
- 画像処理 (フィルタやエフェクタなど)
- テクスチャマッピング
- パーティクル処理
- マウスやキーボードなどの操作入力
- 描画範囲やタイミングの制御

本研究では、GEM のビデオ・CG 処理に関する豊富な機能を利用して、様々な AR/MR コンテンツの制作環境を実現することを目指す。

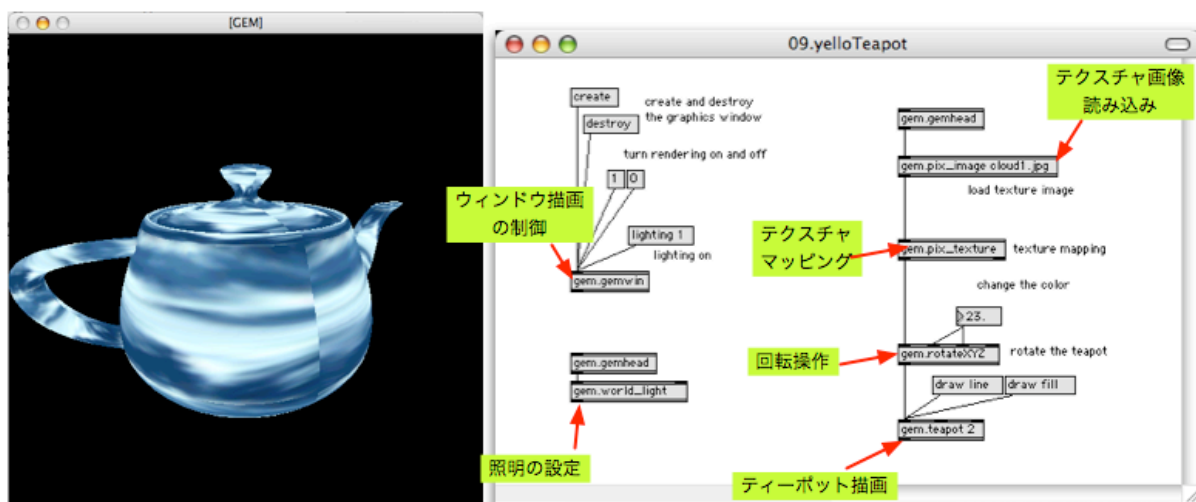


図3 GEMの実用例（ティーポットへのテクスチャマッピング）

### 3. ARToolKit for GEM の実装

#### 3.1. GEM エクスターナルオブジェクト

ARToolKit の機能を GEM で利用するには、GEM エクスターナルオブジェクトとして実装する必要があり、そのベース環境である PD および Max/MSP のエクスターナルオブジェクトとしても実装する必要がある。

PD と Max/MSP は共に C 言語で書かれており、エクスターナルオブジェクトのためのプログラミングインタフェースも C の関数であり、ほぼ同様の関数が用意されている。しかし、両者は兄弟的ソフトウェアであるものの、関数名や個々の処理の呼び出し規約に多少の差異があるため、オブジェクト実装の互換性確保には注意が必要である。

一方、GEM は C++ で記述されており、継承関係も含めたクラスライブラリとしてエクスターナルオブジェクトのプログラミングインタフェースが提供されている。PD, Max/MSP の機能を直接利用する箇所ではそれらの関数をコールする必要があるが、基本的には GEM の基底クラス群で多くの差異は隠蔽されているので、注意点は少ない。

#### 3.2. GEM と ARToolKit の機能の切り分け

ARToolKit を GEM 上で利用するにあたり、ビデオキャプチャ機能などは双方に同じ機能ものが幾つも存在するため、利用する機能の切り分けが必要で

ある。ARToolKit 独自の機能以外は GEM の機能を利用するほうが、柔軟なコンテンツ制作に対応できると言える。そのため、2.1 節で挙げた ARToolKit の主要機能のうち、次の 3 つの機能を ARToolKit for GEM の主な機能として利用することにした。

- ・ 入力画像からのマーカー認識  
(三次元位置・方向認識、マーカー判別)
- ・ マーカー（パターン）ファイルの読み込み
- ・ カメラパラメータ（キャリブレーションデータ）ファイルの読み込みおよび入力画像の補整

これらの機能のみを利用することの利点には、次のものが挙げられる。

1. 入力画像のソースが限定されない
2. 入力画像にあらかじめフィルタをかけるなどの前処理が可能となる
3. 認識されたマーカーの三次元情報のみを利用した様々なアプリケーションに応用可能

1 の入力ソースについては、従来の ARToolKit では必ずビデオカメラからの入力画像を用いなければならないところ、GEM の画像フレームデータを使うことにすれば、元々の画像のソースがカメラ入力かムービーファイルか、等は関係なくなる。

2 の前処理についても、コントラストや色相等のダイナミックな調整を画像処理で行うことが可能である。従来のカメラ接続しての直接入力画像を扱うよりは、様々な AR/MR 利用環境に適応できる可能

性がある。

3 については、AR として入力画像にオーバーレイして表示する必要がないアプリケーションも簡単に作成できることが利点である。マーカークの三次元認識機能のみを用いて三次元入力インタフェースとして応用することなどが考えられる。

### 3.3. 入出力メッセージ

エクスタernalオブジェクトとしての ARToolKit for GEM の入出力の種類と内容を規定する必要がある。前節の通り、ビデオキャプチャ機能や背景画像の描画などは GEM の機能を利用するので、本オブジェクトで処理を行う必要はない。必要な処理を中心に考えれば、主にマーカーク認識処理のための画像を受け付けるほか、マーカークデータやカメラパラメータのファイルを読み込むためのファイル名のメッセージを入力する必要がある。また、マーカーク認識に関する画像処理の閾値や、一度認識したマーカークを積極的に連続して認識しようとするモードのほか、様々な設定をリセットするメッセージも入力に必要と考える。出力に関しては、認識結果のマーカーク種類とその三次元座標・向き情報が挙げられるほか、入力画像の認識処理経過画像やその他画像データを出力することが考えられる。

以上から、入出力メッセージをまとめると次のようになる。

#### 【入力】

- 画像（マーカーク認識のための画像）
- loadcpara（カメラパラメータファイル）
- loadmarker（マーカークのパターンファイル）
- threshold（画像処理の閾値）
- continuous（連続認識モード On/Off）
- reset（設定のリセット）

#### 【出力】

- 画像（マーカーク認識途中の処理画像等）
- 認識マーカーク情報（ID および三次元情報）

入力について、画像データは GEM のメッセージとして扱われるので、GEM の規定上、一番左の移入力（インレット）を利用する必要がある。それ以外は固有メッセージとして区別できるため、特にインレットを割り当てずとも、画像と同じ一番左のイ

ンレットへメッセージ入力する仕様とした。出力については、画像データと認識マーカークの情報とは全く別のメッセージということになるため、オブジェクトの出力（アウトレット）を2つに分け、右側をマーカーク情報、左側を画像データ出力（GEM メッセージ出力）とした。

なお、GEM エクスタernalオブジェクトでは、画像データを入力として受け付けるオブジェクトを Pixes 系のオブジェクトと呼び、オブジェクト名の接頭辞に pix\_ が付くことが慣わしとなっている。このことから、ARToolKit for GEM の GEM 環境におけるオブジェクト名は“pix\_artoolkit”とした。pix\_artoolkit の入出力メッセージを Max/MSP 上で表現した様子を図 4 に示す。

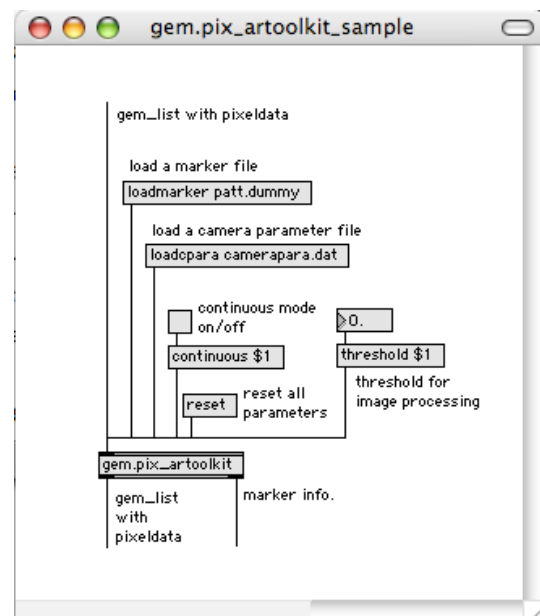


図 4 ARToolKit for GEM (pix\_artoolkit) の入出力メッセージ

## 4. ARToolKit for GEM の実行例

### 4.1. マーカーク上への CG 物体の描画

実装した ARToolKit for GEM による簡単な動作例として、マーカーク上に CG 物体を重ね合わせて表示する例を図 5 に示す。図中右側が Max/MSP のプログラム画面、左側が描画ウィンドウである。複数のマーカークが独立して認識され、各々の座標や方向の情報が得られていることがわかる。

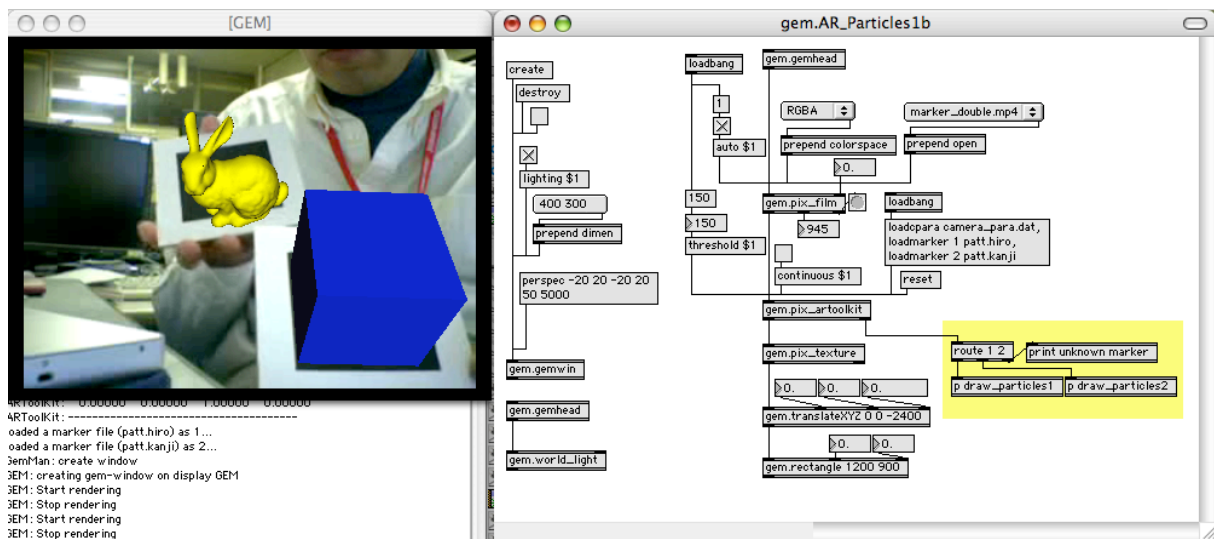


図5 ARToolkit fo GEM の使用例 1 (複数マーカーに対する CG 物体描画)

## 4.2. 複数マーカーを用いたパーティクル制御

2 つのマーカーを用いて、片方をパーティクルの発生源、もう片方をパーティクルの引力場として作用させ、パーティクルの流れをマーカー位置でインタラクティブに変化させるデモを作成した。その実行中の様子を図6に示す。

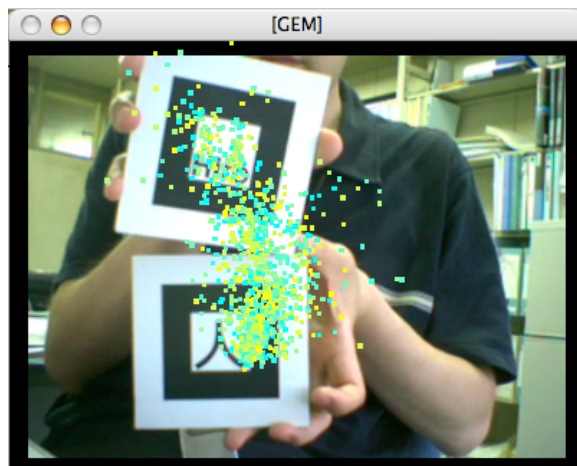


図6 ARToolkit for GEM の使用例 2 (マーカーでパーティクルを制御する様子)

## 5. 関連研究

### 5.1 AR/MR 関連ライブラリ・ツールキット

本研究では、AR/MR 処理のコアに ARToolkit を利用したが、同様のライブラリは幾つもある。

MXRToolkit<sup>[8]</sup> は Mixed Reality 環境構築目的の C 言語ライブラリで、オープンソースプロジェクトとして開発されている。機能的には ARToolkit とほぼ同じであるが、動作プラットフォームは Windows のみとなっている。

MRT (Mixed Reality Toolkit) <sup>[9]</sup> も Mixed Reality 環境構築のためのツールキットである。C++のクラスライブラリとして提供されており、動作プラットフォームは Windows のみである。

OSGAR<sup>[10]</sup>は、ARToolkit と Open Scene Graph を組み合わせることで、シーングラフ機能を持たせた ARToolkit のライブラリである。CG 空間内に多くの描画物体がある場合には、シーングラフで描画物体同士の関係を管理・描画するほうがよく、そのための機能を提供している。

DWARF<sup>[11]</sup>は、ネットワーク上で複数の PDA 等を用いて AR 共有空間とコンテンツを開発することを前提に、CORBA ベースの AR 向けフレームワークを提供する。現在のところ、言語は C++/Java/Python に対応しているが、CORBA 対応している言語であればすぐに対応可能となっている。動作プラットフォームは Linux, Windows, Mac OS X のほか、iPAQ 上の Linux でも動作する。

### 5.2 AR/MR 関連のオーサリング環境

AMIRE (Authoring MIXed REality) <sup>[12]</sup> は、

ARToolkit をコアにモデルやテクスチャ画像の読み込み機能やシーングラフ機能等、高レベル API を提供し、より素早く AR/MR コンテンツのプロトタイプ構築を実現することを目的にしている。但し、オーサリングと名が付いているものの、C++でのプログラミングを前提にしている。シーングラフ機能には、OpenSG や OpenSceneGraph を利用している。

DART (Designer's Augmented Reality Toolkit)<sup>[13]</sup>は、ARToolkit の機能を Macromedia Director の Xtra として実装し、ビヘイビアなどを用意することで Director のオーサリング環境で AR コンテンツを制作できるようにしたものである。Lingo によるプログラミングも可能となっている。

DesignAR<sup>[14]</sup> は、3D デザインの商用ツール Touch Designer のビジュアルプログラミング機能をコアに、MXRToolkit で機能拡張を行い、AR/MR コンテンツをオーサリングとして制作できるようにしたものである。

### 5.3. Max/MSP, PD 上のビデオ・CG 処理環境

本研究では GEM をベースにオーサリング環境を構築しているが、GEM と同様のビデオ・CG 処理環境は多数存在する。

Jitter は、Max/MSP の製品開発元である Cycling'74 が開発したビデオ・CG 処理向けエクスターナルオブジェクト集である。行列演算エンジンをコアに持つことで画像処理等の処理に向くが、OpenGL 等による描画にも対応している。最近の Max/MSP 環境では一番利用されている映像処理環境である。Windows 版と Macintosh 版がある。

DIPS<sup>[15][17]</sup>は松田らが開発するエクスターナルオブジェクト群で、元々は Java 版の Max 環境である jMax 上で動作するエクスターナルオブジェクトであった。Max/MSP が Java でのエクスターナルオブジェクト開発をサポートしたので、Max/MSP 版に移植された。DIPS3 が最新バージョンである。

PDP (Pure Data Packet)<sup>[18]</sup> は PD のエクスターナルオブジェクトであり、行列演算機能をベースにビデオ・画像処理を行う。ソースコードは GPL で公開されている。動作プラットフォームは Linux と Mac OS X である。

PiDiP<sup>[19]</sup> は PDP をベースに画像処理機能やムービーの再生機能などを追加した PD エクスターナルオブジェクト群である。PDP と同様に GPL でソースコードが公開されており、動作プラットフォームも Linux と Mac OS X である。

GridFlow<sup>[20]</sup> は行列演算機能を利用してビデオ・映像処理を行うためのエクスターナルオブジェクト集で、内部的に Ruby を使用している。ソースコードは公開されており、動作プラットフォームは Windows, Mac OS X, Linux 上の PD と jMax である。

その他、Windows の DirectX の機能を利用してビデオ・CG 処理を行う PD のエクスターナルオブジェクト集 Framestein<sup>[21]</sup>や、Mac OS 9 までの Max/MSP で動作するエクスターナルオブジェクト製品の nato 等がある。

## 6. おわりに

インタラクティブな AR/MR コンテンツをオーサリング感覚で柔軟にかつ素早く制作できることを目的に、ARToolkit をビジュアルプログラミング環境上で利用できる ARToolkit for GEM を実装した。ここでは、Max/MSP と PureData 上で動作するビデオ・CG 処理の機能拡張 (エクスターナルオブジェクト集) GEM の一機能として実装している。これにより、従来なら C 言語や OpenGL の知識や技術が必要な AR/MR システム構築に対し、それらがなくとも、Max/MSP や PureData の扱いさえできれば容易に AR アプリケーションが作れることになる。そして、様々なアイデアのプロトタイピングや調整作業など、制作に集中できることが予想される。

しかし、ARToolkit には複数マーカーを一つの物体や面として認識する機能等もあり、現時点の ARToolkit for GEM ではその機能には対応していない。今後は未対応の機能を利用できるようにするほか、Jitter 等の他のビデオ・CG 処理環境でも ARToolkit が利用できるようにする予定である。これにより、AR コンテンツ制作環境の選択肢を増やし、新たな AR 環境の創出へ協力する予定である。

## 謝辞

本ソフトウェア開発には、ARToolKit 作者である大阪大学加藤博一氏からご助言を頂きました。感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] Miller S. Puckette: "Pure Data", Proc. of International Computer Music Conference 1997, pp.224-227 (1997)
- [2] Mark Danks: "The Graphics Environment for Max", Proc. of International Computer Music Conference 1996, pp.67-70 (1996)
- [3] Mark Danks: "Real-time Image and Video Processing in GEM", Proc. of International Computer Music Conference 1997, pp.220-223 (1997)
- [4] Kato, H., Billinghamurst, M. "Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System", In Proc. of the 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99), (1999)
- [5] Kato, H., Billinghamurst, M., Poupyrev, I., Imamoto, K., Tachibana, K., "Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment", In Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR2000), pp.111-119, (2000)
- [6] Kato, H., Billinghamurst, M., Morinaga, K., Tachibana, K., "The Effect of Spatial Cues in Augmented Reality Video Conferencing", In proceedings of the 9th International Conference on Human-Computer Interaction, (2001)
- [7] ARToolKit - <http://artoolkit.sourceforge.net/>
- [8] MXRToolkit - <http://mxrtoolkit.sourceforge.net/>
- [9] R. Freeman, A. Steed, B. Zhou, "Rapid Scene Modelling, Registration and Specification for Mixed Reality Systems", Proceedings of ACM Virtual Reality Software and Technology, pp. 147-150 (2005)
- [10] Enylton Machado Coelho, Blair MacIntyre and Simon J. Julier. "Supporting Interaction in Augmented Reality in the Presence of Uncertain Spatial Knowledge", UIST 2005 (2005)
- [11] DWARF - <http://ar.in.tum.de/Chair/ProjectDwarf>
- [12] Dörner R., Geiger C., Haller M., Paelke V., "Authoring Mixed Reality - A Component and Framework-Based Approach", Proc. of International Workshop on Entertainment Computing, (2002)
- [13] Blair MacIntyre, Maribeth Gandy, Steven Dow, and Jay David Bolter. "DART: A Toolkit for Rapid Design Exploration of Augmented Reality Experiences", UIST'04 (2004)
- [14] DesignAR - <http://www.mis.atr.jp/~rodney/designAR/index.htm>
- [15] 松田周: DIPS:Max のためのリアルタイム映像処理オブジェクト群, 情報処理学会研究報告, 2000-MUS-36, pp.49-54 (2000)
- [16] Matsuda,S, Miyama,C, Ando,D, Rai,T, "DIPS for Linux and Mac OS X", Proc. of the International Computer Music Conference 2002, (2002).
- [17] 松田周, 安藤大地, 美山千香士, 酒井由: マルチメディアプログラミング環境 DIPS2, 情報処理学会研究報告, 2003-MUS-51, pp.1-6 (2003)
- [18] PDP (Pure Data Packet) - <http://zwizwa.fartit.com/pd/pdp/overview.html>
- [19] PiDiP - <http://ydegoyon.free.fr/pidip.html>
- [20] GridFlow - <http://gridflow.ca/>
- [21] framestein- <http://pinktwins.com/disk/framestein/>