

特集 ■ ユビキタスと VR

ユビキタス VR 学習システムおよびコンテンツの開発



中澤篤志 大阪大学
NAKAZAWA ATSUSHI



梶田将司 名古屋大学
KAJITA SHOJI



角所 考 京都大学
KAKUSHO KOH

1. はじめに

平成 16 年より文部科学省によって開始された研究プロジェクト『知的資産の電子的な保存・活用を支援するソフトウェア技術基盤の構築』の一つとして、名古屋大学情報連携基盤センター(間瀬研究室)、京都大学学術情報メディアセンター(美濃研究室、壇辻研究室、中村研究室)、大阪大学サイバーメディアセンター(竹村研究室)、株式会社 CSK のグループでは、大学等の高等教育機関で使用するためのコースマネジメントシステム(CMS)を開発するプロジェクト(Ubiquitos Learning Project for Next Generation: ULAN, 代表 間瀬健二)を推進している。CMS とは、近年米国、カナダ、オーストラリア等の高等教育機関で盛んに導入が進んでいる教育支援システムであり、学習コースの教材提示や出欠管理、進捗状況や成績管理を統合的に把握することができる。学生はインターネット等を通じ、サーバに準備された学習コンテンツにアクセス・閲覧することができ、講師は本システムを通じて出欠確認、学習の進捗状況の確認、レポートやテスト、成績管理などを効率的に行うことができる。一方で、従来の CMS は、教育管理システムとしての基本的な機能をサポートすることを中心としていたため、以下のような制約があることが指摘されている。

1. 基本的にテキストと画像のみで成り立つコンテンツを想定しており、マルチメディア等を利用した高度な学習コンテンツを効果的に取り入れることができない。
2. インタフェースとして一般的な Web ブラウザが用いられているため、ユーザビリティの点から見て非現実的な操作性を強いることがある。
3. 同様の理由で、ユーザの状況や行動に対して限定的な

情報しか把握できない。

4. 様々な閲覧環境および通信環境に対応できなかったり、その能力を使いきれないことがある。

1 の問題として、アニメーションや講義映像、3 次元オブジェクトなどの先進的な教育教材を、統一的に扱うことができないという問題がある。現状でも部分的にはプラグイン等で対応可能ではあるが、それぞれの情報をリンクやアノテーション等で有機的に結合できなければ、効果的な教育教材とすることは難しい。2, 3, 4 の問題は、現状の Web ベースの CMS では不可避な問題であり、よりよい操作性の提供、携帯電話やモバイル端末、モバイル通信環境への対応などが考慮されていない。我々は、次世代の CMS としてこれらの問題を解決したシステムを開発することで、よりよい学習環境をユーザに提供できると考え、「CMS のユビキタス化」をテーマに各種問題解決を図る技術開発を開始している。

研究プロジェクト全体の中で本グループは、デジタル化された各種コンテンツを教育用途に利活用するための技術開発を担っている。ここでは以下に挙げるような、従来にはない特徴を備えた CMS および学習コンテンツを開発しようとしている。

- デジタル化された文化財コンテンツの利活用
- 教材および学習環境のユビキタス化
- 教材および学習環境の VR 対応化

文化財コンテンツのデジタル化は、既存のいくつかの研究 [1-3] や本プロジェクトの他グループの研究によって多くなされており、日本の大仏や海外の世界遺産を代表とする多くの遺跡の 3 次元形状ライブラリが収集されようとしている。これらを学習コンテンツとして利活用す

ることは高等教育の新しい展開として重要であり、デジタル文化財データを通じて文化や歴史、語学や建築等における深い理解が可能になるものと考えられる。

以降では、まず2章に我々が考えるCMSのコビキタス化の開発要素を述べ、それをを用いた利用シーンを示す。その後、京都大学サブグループで行われているVR対応学習コンテンツの開発、大阪大学サブグループで行われているセンシング技術や提示技術の開発、最後に名古屋大学および株式会社CSKで行われているCMS基盤ソフトウェアの開発について述べる。

2. CMSのコビキタス化の要素

学習システムにおけるコビキタス化とは、「ユーザがいつでもどこでも学べるようにする」ことであるが、我々が目指すCMSのコビキタス化では、具体的に以下の要素をコビキタス化することが必要であると考えている。

●提示手法のコビキタス化

コビキタス化を実現するためには、教室のみでなく、モバイル環境での様々な端末でコンテンツを提示することが必要である。また教室では、通常のPCディスプレイに加え、HMDや立体ディスプレイ等の発展的な素材が提示できるディスプレイも想定している。開発するCMSでは、ユーザが用いているディスプレイ能力を検知して適切なコンテンツ提示方法をシームレスに切り替える機能を持たせる。このために、ユーザのディスプレイ検知手法、ディスプレイの能力に応じたコンテンツの切り替え・変換手法などを持たせる。

●インターフェースのコビキタス化

提示手法のコビキタス化と同様に、ユーザが用いる端末によって操作インターフェースは異なる。例えば、PCなどの場合のキーボード・マウスインターフェースや、携帯電話でのボタンインターフェース、PDA等でのペン入力デバイスや、VR環境での接触型・非接触ジェスチャデバイスなどが挙げられる。

●教材のコビキタス化

提示手法やインターフェースに応じて、教材自体も様々な環境に対応できるようにならなければならない。モバイル端末とPC端末では、提示装置のサイズが異なるため、教材コンテンツもそれにおいて調整されるべきであり、HMDや立体ディスプレイを使用する場合には、3次元化されたデータに基づく学習コンテンツが準備されなければならない。しかし、これら全ての状況に応じた教材コンテンツを準備するのは不可能であるし無駄も多いため、基本的なコンテンツのメタ情報から、提示手法

に応じて様々な形に変換できる仕組みが必要である。

●通信のコビキタス化

コビキタス環境での様々な通信環境に対応することも重要である。PHS等のナローバンドからブロードバンド環境まで、様々な通信環境が想定されるため、ユーザの通信環境に応じたコンテンツの選択、変換、配信手法を導入することが必要である。

●学習のコビキタス化

学習のコビキタス化とは、学習が「いつでもどこでも」行える機能に加え、学習の連続性を可能にすることが重要である。特にモバイル環境では、人の移動に応じていくつもの環境に移行することが想定されるが、その間で連続して学習が続けられるように、人の移動や提示手法、インターフェースの変化などを検知して、教材をシームレスに提示する必要がある。

3. VR学習環境における利用シーン

開発するCMSを用いた学習の想定シーンの一つを図1に示す。

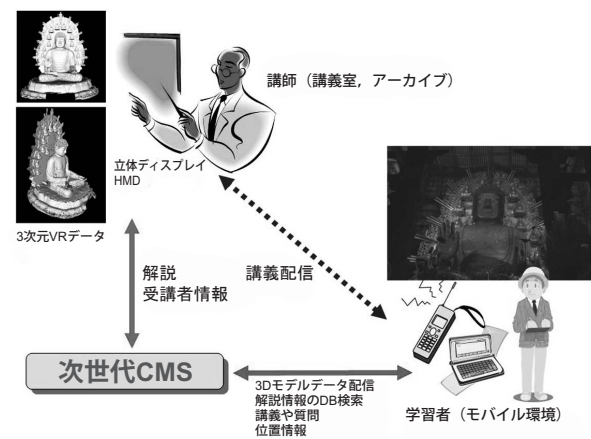


図1 想定される利用環境（無形文化財の場合）

上は、建築物や仏像等、有形文化財コンテンツの利用を想定した学習シーンである。有形文化財データのコビキタス環境下での利用を考えた場合、ユーザが実際にその場所に赴き、実物を目にしながら学習を行うことが考えられる。このとき想定される学習環境としては、PDAや携帯電話等の小型スクリーン・低描画能力の端末であり、通信環境はPHS等のナローバンド環境が想定される。ユーザは様々な場所へ移動し、様々な方向に向けて周りを観察するため、その変化に応じた学習教材の提示が必要である。

4. VR 対応学習コンテンツ

本章では、京都大学サブグループによって行われている、文化財デジタルデータを利用した学習コンテンツ作成、および講義のコンテンツ化技術について紹介する。

4.1 文化財デジタルデータを利用した学習コンテンツ

京都大学サブグループでは、東京大学池内研究室提供の東大寺大仏殿・廬舎那大仏の 3 次元 CG を利用した英語教材を作成している。本教材では、英語コミュニケーションの場面設定 (状況設定) として、日本人女子学生の恵美が、アメリカ人留学生 (研究生) John を東大寺を舞台にしたツアーで案内するというスタンスで会話が進行する (図 2)。ここでは、東大寺近辺の地図が提示され、この地図中の大仏殿 (金堂) をクリックすることにより、東大寺を舞台にしたバーチャル・ツアーが始まる。ツアーでは東大寺の大仏殿の CG が提示されるなかで、恵美が John に英語で東大寺の説明を行うという内容になっている。

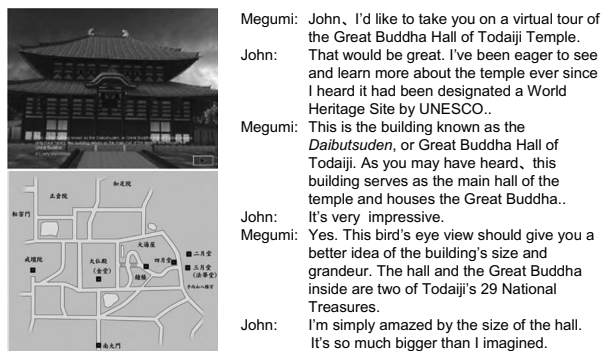


図 2 文化財デジタルデータを利用した学習コンテンツ

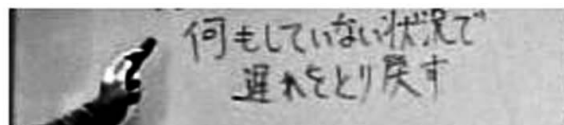
これらの学習コンテンツは、可能な学習端末においては、ビデオではなく 3 次元 CG としてレンダリングできるため、学習者は任意の視点を取りながら対象に触れることができ、その視点等に応じた学習をインタラクティブに展開することも可能である。このように 3 次元 VR モデルを用いることで、学習対象および内容に対する理解が、より深まるものと期待できる。

4.2 講義の自動デジタルアーカイブ化技術

一般的な e-learning においては、視覚的な訴求力の高さから、講義アーカイブや解説映像等、様々な映像コンテンツが利用されることが多い。例えば、大学における一斉講義型の対面授業を電子化して蓄積 (アーカイブ化)



(a) 従来手法に基づく圧縮結果



(b) 提案手法に基づく圧縮結果

図 3 画像の対象領域の重要度に応じた動的画像圧縮の例

する試みが国内外の大学で行われている。アーカイブ化された映像やスライド等のメディアを視聴することで、講義室に来ることができない学習者が、異なる場所で異なる時間に擬似的に講義を受講することが可能となる。

このような講義のアーカイブ化に関して、従来のシステムは、講義中の講師の映像を手動で撮影し、講義中に提示されたスライドを保存して、時間同期した画面を学習者に視聴させるものであった。しかし、講義の様子を手動で記録する作業は人的な負担が大きく、また講義室では、講師だけではなく受講者もその表情や仕草由来する情報を発信していることから、受講者の映像を記録することで、授業改善などに役立つことが期待される。

京都大学サブグループでは、本研究業務に先立って、従来からこのような講義のアーカイブ化のためのシステム開発ならびにその運用を行っており、コンピュータビジョンや音声情報を用いて、講師及び受講者を複数台の撮影カメラで自動撮影するシステムをすでに開発している。今後は、獲得された映像をコビキタス環境に適応させるため、映像信号を様々な通信環境下に配信する技術や、映像の内容に応じた QoS 制御技術、画像の対象領域の重要度に応じた動的画像圧縮の適用などが開発項目である (図 3)。

5. VR 学習を支援するための提示・インタフェース技術

上記のような VR 学習コンテンツを提示するためのプラグインとして、大阪大学サブグループでは以下のような技術を開発している。

- ウェアラブルコンピューティング技術を利用した人の状態推定
- 3 次元ボリュームデータの効率的圧縮、配信、レンダリング技術

・それらを同時に使用したビューの一致技術

文化財の3次元データは圧縮された形で次世代CMSの中に蓄積されている。端末の描画能力や帯域幅、ユーザの位置や視線は端末から適宜CMSに送られ、CMSはその情報に応じた適切なボリュームデータを配信する。ユーザは持ち合わせの携帯端末を使って、目の前にある文化財に関するより詳しい情報を学び取ることが可能になる。また、ユーザの情報をCMSを通じて公開する設定にすることで、移動場所に応じた講師からの解説や質問を受け取ることも可能となる。

一方、無形文化財コンテンツの利用方法としては、他の研究グループ等でも取得された「3次元ビデオ」[4][5]を学習コンテンツとして利活用することを考えている。3次元ビデオで得られるデータは物体の時系列ボリュームデータであり、人体を対象とした場合、舞踊等の無形文化財の動きデータを意味している。我々の開発テーマは、こうして取得されたデータをいかにして学習者に送信・提示するかであるが、現在以下の2種類を想定している。

- ・人の動きボリュームデータを様々な視点から3次的に閲覧する技術
- ・ボリュームデータから人体姿勢を復元し、CGとして提示する技術

前者の技術は主に、獲得されたデータを広帯域のネットワークを利用して遠隔地に送信し閲覧する状況を想定している。広帯域なのでデータ量はそれほど問題とならないが、ユーザーは視点位置を自由に移動でき、人の動きを詳細に観察できるといった自由度が求められる。ここでは、ユーザにHMD(Head Mounted Display)を装着し、その視点位置や視線を正確に把握することで、あたかも目の前に対象が存在するような提示技術を開発することを目指している(図4)。このため、HMDとHiBallシステムを組み合わせた提示システムを開発する予定である。HiBallとは、LEDアレイとパッシブセンサを用いることで、対象の6自由度の姿勢を得るシステムである。これにより、広帯域環境ではボリュームデータを直接送信しこの提示環境で表示させることで、任意視点からの動き情報の観察が可能となる。しかし、モバイル環境を想定すると、時系列のボリュームデータは情報量として膨大であり、無形文化財と同様の圧縮・伝送方式を使用したとしても受信・閲覧することは不可能である。これに対し、対象が人物としてわかっている場合、その関節角度レベルまで情報を圧縮し、提示手法としてアバターなどの表現手法を用いることにより情報を提示する技術が



図4 HMDとHiBallによるVR学習コンテンツ提示システム

求められる。我々は、復元されたボリュームデータや、濃淡画像のみから人の関節角度を復元する手法の開発に取り組んでおり、これが実現されれば人の動きに関する大幅な情報圧縮が可能になる。

6. CMS本体のVR対応技術

これらのコンテンツを蓄積し、プラグインに対してユビキタス機能を提供するCMSサーバおよびクライアントにおけるサーバアクセスモジュールは、名古屋大学およびCSKサブグループで開発している。本CMSプラットフォームは、(1)クライアント層、(2)ポータル層、(3)アプリケーション層、(4)データ層、の4層アーキテクチャにより構成される(図5)。実装段階において効率よく開発するため、オープンソースシステムを活用している。さらに、既存ベンダー製CMSとも連携可能とすることで、様々な高等教育機関において利用できるようにすることを目指している。ここでは、本開発CMSのユビキタス化に向けたサービス部分について述べる。

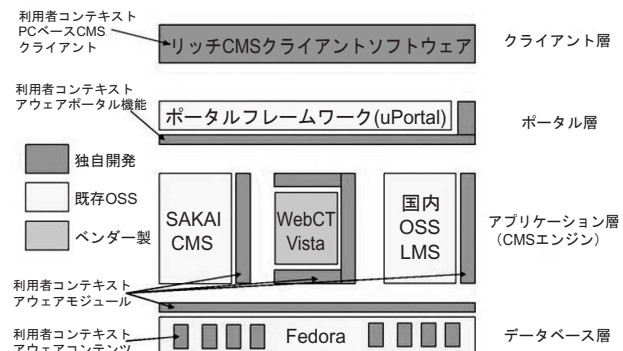


図5 本CMSプラットフォームの4層アーキテクチャ

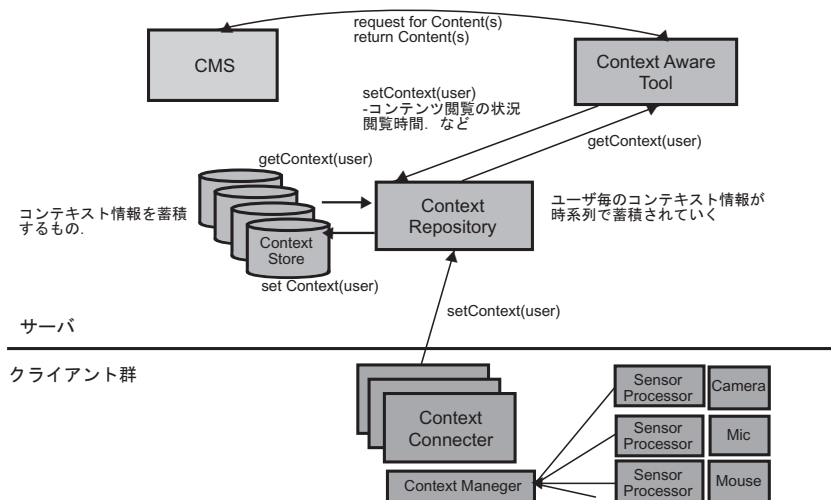


図 6 CMS サーバとクライアントモジュールの関係

6.1 利用者コンテキストウェアな CMS のためのアーキテクチャ設計

CMS クライアントとサーバの間で授受される利用者コンテキスト形式と、サーバ側でのコンテキスト情報の保持および利用のアーキテクチャの概要を図 6 に示す。

●利用者コンテキストの定義

利用者コンテキストはクライアント側での利用者情報を定義するものであり、以下の情報を想定している。

- 画面サイズ
- クライアント機種
- 接続中の回線速度 (実測値)
- カメラ情報 (映像データ)
- マイク情報 (音声データ)
- ノイズレベル
- 明るさ

利用者の利用状況を表す利用者コンテキスト空間は、上記の利用者コンテキスト情報からユーザごとに形成、保持される。利用者コンテキストの表現は、属性値を持つ連想配列として定義される。コンテキストの持つべき属性値は以下である。

- タイムスタンプ
- サンプリングレート
- コンテキスト値

コンテキスト値の内容はコンテキストごとに任意に定義が可能である。タイムスタンプ、サンプリングレートはすべてのコンテキストが持つべき共通情報とする。コンテキストはシステムで定義済みのものだけでなく拡張可能であり、このコンテキストを利用するサービス独自の定義が可能である。

クライアント側で収集されたコンテキストはサー

バ側の Context Repository に送信される (図 6)。Context Repository は複数の Context Store と接続し、コンテキストの種類に応じて適切な Context Store にコンテキストを転送する。Context Store はコンテキストを保存・蓄積するデータベースや、学務システム等のアプリケーションなどが考えられる。システムはユーザごとのコンテキストを一定間隔ごとにコンテンツレポジトリから取得し、ユーザ環境に最も適したコンテンツやその提供方法などを決定しユーザに提示する。

●利用者コンテキストの獲得

利用者コンテキストは、クライアント側のモジュールにて獲得される (図 6 参照)。本モジュールは以下の要素から構成される。

● Sensor Processor

カメラ・マイク・計測機器などのサンプリングデータを元にコンテキストを算出し、Context Manager へ登録する。

● Context Manager

接続された Sensor Processor より提出されたコンテキストを管理し、Context Connector へ提供する。

● Context Connector

コンテキストウェア環境を利用するユーザごとに生成され、指定した Context Manager からコンテキストを取得する。また、Context Repository へのユーザ認証サービスも提供する。

Sensor Processor がコンテキストを生成し、Context Manager が集約することでユーザ環境を定義、Context Manager が Context Connector へコンテキストを提供することで各ユーザが自分の状況 (=コンテキスト) をサーバ側へ登録可能となる。Context Manager は各ユーザごとに設置できる。例えば、教室環境などを収集する

Context Manager を設置して、各ユーザで共有することも可能である。

●利用者コンテキストの管理

利用者コンテキストは Context Connector から Context Repository に登録される。登録されたコンテキストは Context Store に収録され、Context Aware Tool から利用できる。

● Context Repository

コンテキスト管理を担うモジュール。ユーザ認証、コンテキスト登録・参照、Context Store 管理を行う。

● Context Store

コンテキストを保管するモジュール。各種データベースと連携し、コンテキストの永続的な記録サービスを提供する。

● Context Aware Tool

Context Repository を利用するためのインタフェースを提供する。ユーザ認証、コンテキスト参照などの機能を有する。

Context Aware Tool を外部システムが利用することで、コンテキストウェア環境を利用することが容易に実現できる。

●コンテキストウェア環境への対応

現在のところ、本グループでは利用者のコンテキスト管理を中心に開発を行ってきたが、今後は以下のような、より教材コンテキストに注力した開発を行おうとしている。

- Context Aware Tool の実装
- Context Repository への利用ユーザの登録
- 拡張コンテキストの定義 (オプション)
- Sensor Processor の実装 (オプション)
- コンテキストごとのコンテンツ対応

7. まとめ

本稿では、我々が取り組んでいる次世代コビキタス化 CMS 構想について述べ、CMS におけるコビキタス化の要素や、VR を用いた学習システムなどを紹介し、その利用シーンや具体的開発項目について述べた。本テーマは大きく三つのサブグループに分かれ、CMS のコア部分を担当する名大、CSK グループと、VR 化の部分を担当する大阪大学、コンテンツの作成を担当する京大から構成されている。これらの開発に必要な基礎技術は多岐にわたっており、ソフトウェア工学、VR 技術、ネットワーク技術、コンピュータビジョン、コンピュータグラフィックスなどの技術を援用しながら、新たな分野を切り開かなければならないと考えている。ここで開発さ

れたシステムは実際の応用を通じてユーザ評価を行い、それをフィードバックすることでより高いレベルに達することが一貫した研究開発方針である。

参考文献

- [1]K. Ikeuchi and Y. Sato, Modeling from Reality, Kluwer Academic Press 2001.
- [2]M. Levoy et. al., "The digital Michelangelo project," SIGGRAPH 2000, New Orleans.
- [3]J. Wasserman, Michelangelo's Florence Pieta, Princeton University Press 2003.
- [4] 北原格, 大田友一, 斎藤英雄, 秋道慎志, 尾野徹, 金出武雄: 大規模空間における多視点映像の撮影と自由視点映像生成, 映像メディア学会誌, Vol.56, No.8, pp.120-125 (2002)
- [5]T. Matsuyama: Exploitation of 3D Video Technologies, Proc. of International Conference on Informatics Research for Development of Knowledge Society Infrastructure, pp.7-14 (2004)

【略歴】

中澤篤志 (NAKAZAWA Atsushi)

大阪大学 サイバーメディアセンター 講師

1997 年大阪大学基礎工学部システム工学科卒業, 2001 年同大学院基礎工学研究科博士課程修了, 博士(工学), 同年科学技術振興事業団研究員(東京大学生産技術研究所), 2003 年より現職。画像計測, 3次元デジタルアーカイブ, 分散視覚システム, 動作解析の研究に従事。

梶田将司 (KAJITA Shoji)

名古屋大学 情報連携基盤センター 助教授

1990 年名古屋大学情報工学科卒業, 1995 年同大学院工学研究科情報工学専攻満了。博士(工学)。同年名古屋大学工学部助手, 1998 年名古屋大学情報メディア教育センター助手, 2002 年より現職。メディア処理, 大学情報基盤デザインの研究・実践に従事。

角所 考 (KAKUSHO Koh)

京都大学 学術情報メディアセンター 助教授

1988 年名古屋大学工学部電気学科卒業。1993 年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻博士課程修了。博士(工学)。1992～94 年日本学術振興会特別研究員, 1994 年大阪大学産業科学研究所助手, 1997 年より京都大学助教授。視覚メディア処理, コミュニケーション, インタ