

考古学プロジェクトにおけるデジタルアーカイブのための 3D Web ポータル

松下 亮介
関西大学大学院 理工学研究科

安室 喜弘
関西大学 環境都市工学部

吹田 浩
関西大学 文学部

肥後 時尚
関西大学大学院 文学研究科

古代文化財の保存や修復、活用方法について学術研究を推進する上では、考古学や文化財保存科学を含め、多分野の専門家による共同活動が必要となる。本稿では、その活動における情報共有の枠組みとして、現地環境を3次元モデル化して積極的に利用したデジタルアーカイブを提案する。計測に基づいた形状表現と、ウェブアプリケーションによるシステム化によって、仮想的に再現された現地空間において、即物的にアクセス可能なデータベースを実現する。これにより、情報の閲覧だけでなく逐次更新する仕組みを両立し、さらには、同一のシステムでありながら、一般公開用の仮想ツアーや、学識者向けの情報ポータル、あるいは研究メンバの議論を促進する機能を実現した。

3D Web Portal for digital archive in archeology project

Ryosuke Matsushita
Graduate School of
Science and Engineering
Kansai University

Yoshihiro Yasumuro
Faculty of Environmental
and Urban Engineering
Kansai University

Hiroshi Suita
Faculty of Letters
Kansai University

Tokihisa Higo
Graduate School of Letters
Kansai University

This paper addresses management issues in a multifaceted archaeological project, using a web-based archive system. The diverse specialties are needed for driving the surveys and restoration work at the archaeological project. Since such project members are from different nations and may progress asynchronously, and thus have difficulty to maintain the communications needed to ensure that everyone and everything is kept up to date. The proposed system generates a 3D virtual copy of the field site that a user can visit, explore, and embed information by making an association with a physical object over the Internet. Here we present the implementation scheme of the proposed system based on an on-going project developed at Mastaba Idout in Saqqara, Egypt.

1. まえがき

考古学分野の研究プロジェクトでは現場での調査や修復作業を行うにあたって、多様な分野との連携が不可欠である。関西大学のCHC(Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture: 国際文化財・文化研究センター)では古代エジプト時代の文化財を主な対象として、保存や修復、活用の方法についての研究を行っている。このプロジェクトの主要な活動の一つに日本・エジプト合同マスタバ・イドゥート調査ミッションがある。このミッションではエジプトのサッカラにあるイドゥートのマスタバを対象とした研究

が行われている。イドゥートのマスタバは、歴史的遺産として著名であるだけでなく、地下の埋葬室で発見された壁画(紀元前2360年頃)は、芸術的価値においても注目を集めている。このミッションにおいてもエジプト学者や現代エジプト社会の他、文化財修復、人文学、地盤・建築工学、分析化学、微生物学、高分子化学、マルチメディア工学などの研究者が、日本、エジプト、ポーランドから参加し進められている[1]。CHCは、専門分野や国籍を跨いだ横断的な連携を目的として組織されているものの、現状では、連携による自由な議論の場や調査・研究情報の共有の持続的な仕組みは十分に整備されていない。

そこで本研究ではインターネットを介してアクセスできるイドゥートのマスタバの仮想的な3次元の現場空間を構築し、仮想空間内の場所に関連付けた情報の共有と、持続的かつ非同期な情報更新を可能にする。これにより研究者間での議論や横断的な知見の融合による新たな発見が期待できる。また現場の仮想空間の公開によって遺構の紹介やプロジェクトの活動報告といった一般への情報発信にも利用できるシステムを提案する。

2. 関連研究

近年では文化財の保護、復元、記録、研究助成といった学術的な分野での3次元計測やモデリング技術の活用が活発になっている。[2]

Neto らによる Monserrate Palace in Sintra の没入型文化体験アプリケーション[3]や Ruggiero らによる SANTA MARIA PATIRION'S CHURCH のプロジェクト[4]では、文化財への理解を助けるための仕組みとして、ガイダンスを受けながら文化財の3次元モデル内を探索するインタラクティブなアプリケーションの開発が行われている。

一方で遺構の3次元モデルを活用した情報管理の側面では、バイヨン寺院のデジタルアーカイブプロジェクトにおいて岡本により、遺跡の劣化状況や修復状況を管理するために、3次元モデルの特徴的な形状部分に情報を関連付けて蓄積するシステムが提案されている[5]。このシステムは情報を関連付ける領域を指定する際に、形状の特徴から半自動的に関心領域の選択を行うことができる機能を備えている。

また BIM(Building Information Modeling)や CIM(Construction Information Modeling)では3次元モデルをデータベースへのポータルとして利用している。BIM は仮想の3次元建物データを生成し、設計・確認・施工までこれを参照する。3次元のモデルデータは可視化に優れ、施主から設計関係者、意匠関係者まで内容をスムーズに共有できることが最大のメリットとなっており、生産性の向上につながっている。従前の3次元CAD などに対して BIM は、3次元情報に加え建物を構成する部材それぞれに属性情報を付与したデータベースとなっていることが優れた点である。これにより材質やメーカー情報、床面積といった情報の閲覧性が向上し、解析ソフトの入力データとなって、構造解析やウォークスルーによる閲覧、風の流体シミュレーションなどが行えるようになった。このようにモデルデータと対象物の情報を可視化することにより、壁面や土台の材料を扱う建築の素人から設計を担当する専門家にいたるまで様々な業者が繋がり、それぞれに応じて BIM を通じて必要な情報が提供されることで、建築業における判断基準、品質、コスト、

工期、安全、環境を大きく改善することが可能となった[6]。

3. 提案手法

本研究では、調査・研究情報の共有・更新を可能にし、調査現場の公開を行うために、3次元の仮想空間を用いた調査現場の再現、空間内の任意領域への情報の関連付け、利用者に合わせて情報・機能を提供するシステムを提案する。考古学研究用の information modeling としてソフトウェアシステムの開発と言える。図1に示すように、3次元空間に視覚的に再現された対象物を介して情報を管理することで、付随する情報の直感的な検索を可能にする。また、ユーザに合わせて、閲覧できる情報、利用できる機能を切り替えることで、プロジェクトでの利用にとどまらず、遺構の紹介やプロジェクトの活動報告といった一般向けの情報公開にも利用することが可能である。

提案システムは、3次元モデル、データベース、ウェブアプリケーションという3つの要素を組み合わせることで実現する。具体的には、図2に示すように、HTML5の規格に基づき、クライアントサイドで WebGL[7]を用いて、3次元空間の描画を行い、この3次元仮想空間においてユーザの操作を受け付ける。ユーザによって情報の関連付けられた領域が指定されると、クライアントからサーバーへ情報の検索・更新といった要求を送信する。サーバー側では、受け取った要求の内容をもとに SQL 文を生成し、データベースの検索・



図1 領域に関連付けた情報管理のイメージ
Figure 1 Concept of information management by data association with 3D objects.

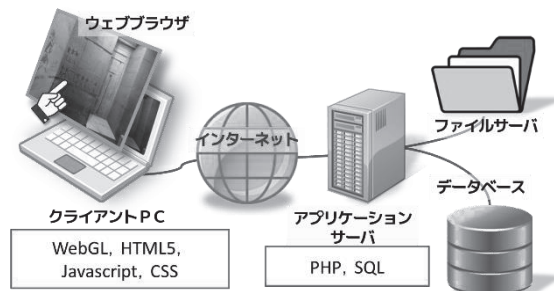


図2 システム構成
Figure 2 System configuration.

更新を行い、結果を再度クライアントへ返し、ブラウザに表示させるという仕組みである。先行研究の多くは、スタンドアロンアプリケーションとして同様の機能を実装しているが、本システムでのクライアントとしては、Webブラウザさえあれば多機能かつ対話的なアクションが可能である。さらに、ユーザに合わせた機能・情報の切り替えを実装することにより、一般向けの情報公開から、専門家の情報閲覧、さらに当該研究プロジェクトメンバによる情報の更新・管理を単体のシステムによって実現できる。

4. 実装

4. 1. 3次元モデル

3次元モデルの作成には、3次元CG作成用のモデリングおよびレンダリングが可能なオープンソースのフリーウェア **Blender** を用いた。**Blender** はアニメーション、コンポジット機能など、商用ソフトに匹敵する機能をもつ。点群データを用いた一般的な3次元形状モデリングの手法には、ドロネー三角網などを用いた自動メッシュ化の方法が種々あるが、高密度の点群データからは膨大なメッシュ数のモデルが生成されてしまうこともあり、後述するように、ネットワークを介して軽快に表示させる用途には不向きと判断し、最初から少ない個数のポリゴンで対象物を再現するモデルを作成することとした。本研究では、図3に示すように **Blender** にインポートして表示させた点群データに合わせて手動でポリゴンを配置してモデリングを行った。この方法により、マスタバの外壁および内壁の正確なスケールの形状を、限られたポリゴン数で再現することが出来た。

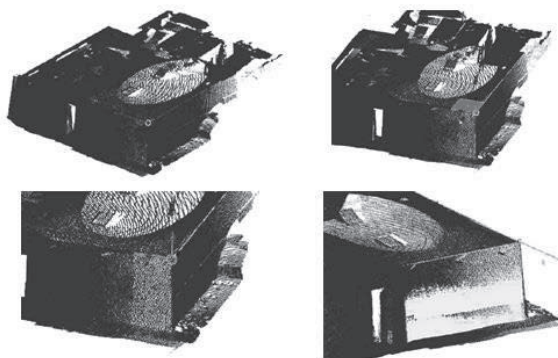


図3 3次元点群に対して、ポリゴンを配置する様子
Figure 3 Polygon arrangement by tracing the point cloud.

点群データには2010年度に長距離の計測が可能な屋外用レーザスキャナを用いてマスタバの外周、地上部分の内部壁面を計測したものをを用い

た[8]。屋外用構造物や地形の3次元計測に用いられるレーザスキャナは、パルスレーザによる飛行時間 (TOF; time-of-flight) 方式を用いたものが多く、本プロジェクトにおいても同方式のスキャナ **LMS Z420i** (リーグル社製) を用いて計測を行った。本機は、クラス1の近赤外レーザパルス (波長 $0.9\mu\text{m}$) を用い、最長約 $1,000\text{m}$ (反射率 80% の対象) までの計測対象までの距離に対し、測定分解能 4mm 、角度ステップ幅 0.008° で水平 360° 、垂直 80° のスキャニング性能をもつ。ホストコンピュータからスキャナ本体を制御し、リアルタイムにスキャンデータをコンピュータの外部記憶に格納する (図4参照)。スキャナの位置決めと設置、マーカ設置、マーカのスキャンと水平分解能 0.1° の詳細なスキャン、およびデジタルカメラによるパノラマ撮影を1セットの計測とした。約5~6時間の調査において、約8回までのスキャンが可能であった。



図4 (左)計測の様子 (右)計測結果の点群と計測点
Figure 4 Scanning of the site (left) and acquired 3D point cloud (right).

作成したモデルに対する色情報の付与には、UVマップによるテクスチャマッピングの方法を利用する。精細なデジタル写真による画像を正規化された2次元U-V座標に変換し、一方、被写体の3次元モデルを同じ2次元座標平面に展開することで3次元の各頂点と画像の色情報 (テクスチャ) とを対応付けする。2次元座標上に対応付

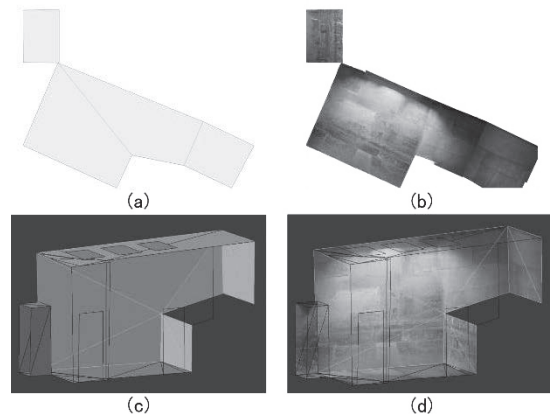


図5 UVマッピングの例
Figure 5 UV-map for texture mapping.

けられたモデルの頂点と辺を描画した図を UV マップという。図 5(a) のように展開されるマスタバの1室の内壁形状(図 5(c))に対して、図 5(b) の画像を対応付けすることで、図 5(d) のようにテクスチャマッピングを行うことが出来る。展開図に対応した画像を用意するためには、対象とする壁面の連続的な画像が必要になる。しかし、建造物の限られた内部空間では、デジタルカメラで壁面を一度に撮影することが難しいため、複数の写真を繋ぎ合わせるという作業が必要である。この時、画像間の明るさ・色合い・彩度の違いを整合させながら繋ぎ合わせる作業を手動で行った。図 6 に UV マップを適用したモデルを示す。

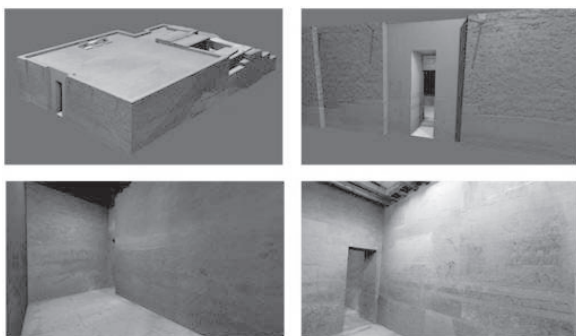


図 6 作成した 3 次元モデル
Figure 6 Texture-mapped 3D model.

4. 2. データベース

データベースには、ユーザによってアップロードされたデータファイルに関するメタ情報(投稿者氏名、投稿日時、閲覧対象とするユーザ等)を管理するテーブルと、ユーザが閲覧する 3 次元空間内に設けられた特定の領域情報を管理するテーブルを用意する(図 7)。この 2 つのテーブル間で識別番号を共有することで、3 次元空間内の特定の場所やオブジェクトをポータルとして、関連する研究情報の検索やポップアップ表示を可能にする。

また、アップロードされたデータファイル自体の保存方法としては、OS のファイルシステムへ格納する他、バイナリデータに変換して、データベースに直接格納するという選択肢がある。ファイルシステムへ格納する方法では、データベース自体の容量を抑えることが出来るため、格納するデータファイルの容量によらず、比較的高速なデータベースの検索が可能である。一方、バイナリデータ化してデータベースへ格納する方法には、データファイルをメタ情報と同様に管理できるため環境の移行やバックアップを楽に行えるという長所がある。本研究においては、現場での調査情報あるいは研究情報として、テキストファイルの他に画像、動画、音声といったメディアフ

ァイルを扱うことを考慮する必要がある、特に動画ファイルに関しては 1MB を超えるものが多い。このような大容量のデータを扱う場合にはファイルシステムへの格納が推奨されているため[9]、本研究でもこれに従い、データファイルは OS のファイルシステムへ格納し、データベースのメタ情報管理テーブルでファイルの格納場所を示すパスを管理する。

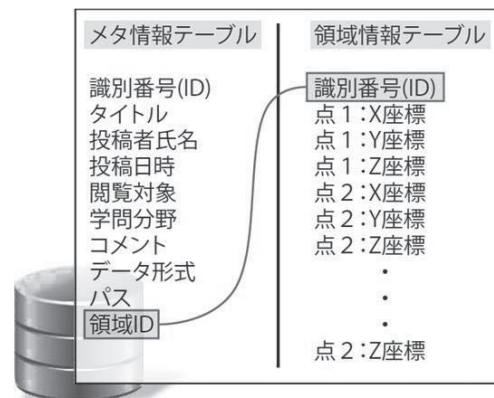


図 7 データベースのリレーション構成
Figure 7 Relational configuration for the database.

4. 3. アーカイブシステム

システムのユーザとして「プロジェクトメンバ」「一般利用者」「プロジェクト外の専門家」という 3 タイプを定義し、システム起動時にユーザに選択させるものとした。クライアントのブラウザにおいて、HTML ファイルに記述された DOM(Document Object Model) 要素が全て読み込まれた時に呼び出される Javascript の ready() メソッドを用いて、システム起動時にユーザタイプを指定するためのダイアログをポップアップさせた。

情報の閲覧に関しては、ユーザタイプによって優先順位を設け、情報の閲覧性を制御する。これはデータベースの検索に利用者情報の属性を加える事で実現できる。また、機能の切り替えに関しては各機能を利用するためのボタン (HTML の DOM 要素) の表示・非表示を利用者タイプに合わせて切り替えることで実現する。一例として、プロジェクトメンバに対しては新しい任意領域の追加機能や情報の投稿機能、一般利用者に対してはツアーガイド機能の提供などが考えられる(図 8)。これにより、本システム単体で、観光用の仮想ツアーガイドシステムや研究公開用ポータル、プロジェクトメンバ間のコミュニケーションツールといった役割を併せもつことができる。

図 9 に示すようにモデル上の領域の選択によ

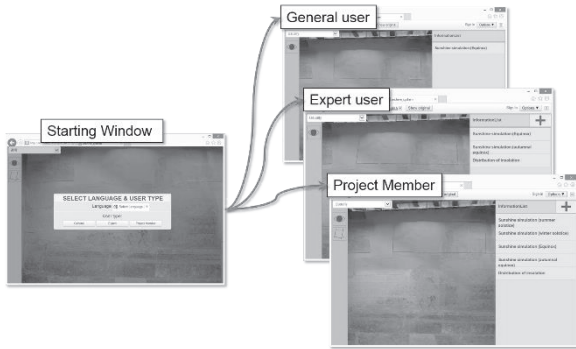


図 8 ユーザタイプによる切替え
Figure 8 Log-in switching by user-types.

り、関連付けられた情報のポップアップを表示させる。この機能を実現するために、システム開始時に、データベースの領域情報テーブルから、利用者タイプ別に対応した情報を持つ領域を検索し、仮想空間上で 3 次元モデルに重ねて描画する。この領域が選択された時に、クライアント側で領域の持つ識別番号を取り出し、サーバーへ送信する。これを受けて、アプリケーションサーバでは、受け取った識別番号とユーザタイプを用いて動的に生成した SQL 文による、メタ情報テーブルの検索を行う。検索の結果をクライアントへ返すことで、利用者に合った情報のポップアップを表示することが出来る。新たに情報を追加する場合にも、領域の選択をトリガーとして、情報の入力フォームをポップアップさせる。このフォームでデータファイルのアップロード、メタ情報の入力を受け付け、選択された領域の識別番号を加えて、サーバーへ送信する。この場合でも、アプリケーションサーバで受け取った情報を用いて動的に SQL 文を生成することで、データファイル、メタ情報をそれぞれファイルシステム、データベースに格納する。これにより、領域に関連付けて情報を保存することが出来る。



図 9 情報の閲覧画面
Figure 9 Screen shot of browsing mode.

領域の選択によって表示される情報リストの右上に情報追加ボタンを作成した。このボタンをクリックすると、図 10 に示すように情報の入力フォームがスライドインする。全ての項目を入力し、投稿したいデータファイルを選択することで、

領域に関連付けた情報の追加を行える。新規領域の作成は画面左に設置した新規領域作成ボタンから行う。このボタンをクリックしてから、3次元モデル上で指定したい場所を囲むように、頂点を任意に 4 か所指定することで新しい領域を作成することが出来る。領域の作成後には、自動で情報追加機能が呼び出される。この機能はマウスピッキングの対象をモデル上の領域から構造物の 3 次元モデルに切り替えることで実現している。指定された 4 点の座標情報に識別場号を付与してデータベースの頂点情報テーブルに格納する。



図 10 新規情報の追加
Figure 10 Screen shot of adding information mode.

5. 考察

考古学分野のプロジェクトでは多様な分野の連携により成立している。CHC においても、文化財の保存や修復の方法、活用の方法について、エジプト学者や現代エジプト社会の研究者、文化財修復の研究者、異文化の研究を行う人文学研究者、地盤・建築工学、分析化学、微生物学、高分子化学、情報工学などの理工系研究者といった各分野の専門家が各国から参加しており、文理融合型で国際的な活動を推進している。一方で、トップダウン的な組織運営になりやすいことによる影響や、調査・研究情報がそれぞれの研究者の元に分散管理されていることなどから、研究者間や分野間の横断的な連携が生まれ難いといった問題がある。

ここでは、本システムの専門分野での横断的な利用方法について述べる。近年のように、現地の政情不安などにより調査の自由度が制限された状況においても、過去の調査によって蓄積されたデータや知見によって現場の状況が再現され、学術的な検討や研究活動が可能になる場合が考えられる。例えば、マスタバの地上構造は一般に公開されており、現場の保全という観点では、遺物そのものには厳しい環境となっている可能性がある。本稿でのシステムにおいては、写真とレー

ザ測量による情報から、図 11 に示すような、現在のマスタバ上部の構造が内外から参照できるようになっている。一方、レリーフ表面性状を調べるための 3 次元計測 (図 12(a)) や、過去長期間にわたる気温と湿度のデータ (図 12(b)) も保存されている。さらに、この地点の高度、緯度および軽度から、太陽の軌道と明り取りの窓の幾何関係を再現することができ、レリーフが存在する壁面に対する日照状況を計算することもできる (図 12(c))。このように、レリーフの現状の調査と解析において、得られたデータ間の直接の相関を調べるだけでなく、3 次元モデルと立地条件から演繹的に得られるシミュレーション結果を併せて、レリーフの損傷の因果関係を整理することができる。本システムを通して横断的に情報を参照することで、レリーフ保全の観点から明り取りの窓の設置場所や構造についての改善策を提案することが初めて可能になると言える。

同じプロジェクト内でも、調査チームの人員や調査時期が異なっていることにより、狭義の目的と調査結果データとが 1 対 1 にしか結びつかず、かつ各々の専門分担者に分散管理されていたものが、当該システムの仕組みが媒体となり、しかも、実地調査から導かれ新たに生成される情報も含めて、調査対象の実体を様々な側面から再現して見せる可能性を示唆している。このような利便性は調査データの記録方式や蓄積媒体としてのデジタル化のみならず、知的作業における「気づき」や知識の融合を誘発する媒体としての機能を潜在的にもっていると考えられる。

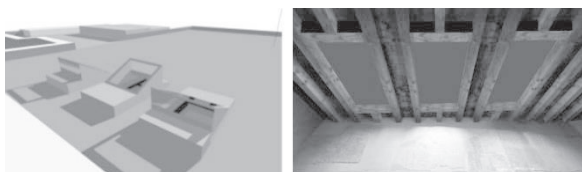


図 11 上部構造の明り取り窓
Figure 11 Skylight structure of outer (left) and inner (right) view.

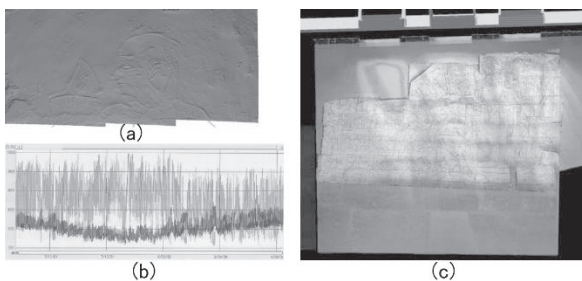


図 12 レリーフの保全に関連するデータ
Figure 12 Data related to relief conservation.

6. あとがき

本稿では、3次元計測に基づいたモデルにより、ネットワーク越しに現地環境を仮想的に再現し、現地のモノにタグ付けされた情報の共有と、意見交換の新たな仕組みとしてのデジタルアーカイブを構築した。今後は、プロジェクト内での活用を推進して、より実践的な機能の実装とニーズとのマッチングについての評価を行予定である。特に、現場のマスタバでは、地下の埋葬室において、壁画の断片ごとに剥ぎ取り修復が行われているだけでなく、岩盤表面の補強施工が予定されており、より緊密な関連技術者間の情報共有と意見交換が必要とされている。その施工計画におけるアイデアの可視化から、施工、そして修復された壁画の設置作業においては、本稿で提供している、一貫した 3 次元座標空間での情報マッピングと参照機能が有効であると考えられる。データベースとしての実装の他、現地作業における柔軟な情報参照方法についても検討する予定である。

謝辞

本研究は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「国際的な文化財活用方法の総合的研究」の助成を得た。

参考文献

- 1) 吹田浩, エジプト国イドゥートの地下埋葬室の修復 2005 年~2009 年, 住友財団報告書, 2010.
- 2) Brutto, M. L.: Computer Vision Tools for 3D Modeling in Archaeology. International Journal of Heritage in the Digital Era, Volume 1, Supplement 1, pp. 1-6, 2012.
- 3) J. N. Neto, et al., Immersive cultural experience through innovative multimedia applications, Int'l J. of Heritage in the Digital Era, Vol.1,1,pp.101-106,2012.
- 4) C.Ruggiero, et al., An Integrated Methodology for Digitization, Survey and Visualization of Santa Maria Patirion's Church, Int'l J. of Heritage in the Digital Era, Vol.1,1,pp.21-26,2012.
- 5) Y. Okamoto, Interacitve Information Sharing System using Large 3D Geometric Modeles, Ph.D. Thesis, the University of Tokyo, 2010.
- 6) 家入龍太, 図解入門よくわかる最新 BIM の基本と仕組み, 秀和システム, 2012.
- 7) WebGL : <http://www.khronos.org/webgl/> (2014.11.6. アクセス)
- 8) 安室喜弘 伊藤大地, 西形達明, 吹田浩, 「異種計測技術の統合によるイドゥートのマスタバの 3 次元形状計測」, Semawy Menu, Volume 4, pp. 235-244. 2013.
- 9) Russell Sears, Catharine van Ingen, Jim Gray : To BLOB or Not To BLOB: