

伝統的木造建築デジタルアーカイブの Web アプリケーションへの展開

○加戸 啓太*¹ 田中 智己*²
平沢 岳人*³

キーワード：伝統木造建築 デジタルアーカイブ Web アプリケーション

1. 研究背景

筆者らは伝統木造建築を対象とした精緻な三次元モデル化によるデジタルアーカイブ作成に取り組んできた。伝統木造建築に特徴的な鉛直・水平でない部品や曲面からなる屋根部の部品、あるいは納まり部のような複雑な形状をもつ部品、それぞれの形状を正確に表現するために、それらの規矩術・木割に準じた設計手法のモデル化を行い、プログラミングにより部品雛形（クラス）を定義する手法をとった。資料の不足から詳細が不明な箇所については、同年代の建築物の常識的な設計を参考としたが、そういった箇所についても、作成した三次元モデルを入力とした数値制御加工機あるいは三次元プリンタによる模型検証を行い、スケール模型の作成が可能である水準の整合性が実現されていることを確かめた¹⁾。

さて、伝統木造建築、特に本研究でアーカイブ対象とした五重塔では、膨大な数の部品が複雑に組み上がり建築を構成している様に魅力の一つがあると考えているが、自由に視点を動かしながら精緻に作成された三次元モデルを眺めることができれば、二次元の図面等ではわかりにくい三次元的な部品配置が明快に把握できるだろう。また、写真と三次元モデルを見比べながら、写真に含まれるある部品を三次元モデル上で取り出し、その形状や他部品との納まり部に着目するといった見せ方ができれば、その建築の構成や伝統木造構法の理解の助けとなるであろう。現在までに作成した法華経寺五重塔（千葉県市川市）のデジタルアーカイブを、Web ブラウザ上で三次元モデルを操作しながら閲覧できる Web アプリケーションとして展開する試みについて報告する。

2. 資料としてのデジタルアーカイブ

建築を対象としたデジタルアーカイブといえ、写真や図面等をデジタルデータとし保存する行為を指すことが多い。長年にわたって維持管理を施されてきた建築物では、各種資料がデジタルデータとして潤沢に蓄積されているものもある。

近年では建築の三次元モデルを作成しデジタルアーカイブとするものも増えた。こういった三次元モデルベースのデジタルアーカイブの精緻さは様々であり、なかには極めて写実的でリアリティの高いモデル化がなされ、没入感の高いウォークスルー体験を特徴とするものもある^{注1}。一

方、本研究いうところのデジタルアーカイブは、三次元 CAD^{注2}をフロントエンドとしたデータベースシステム^{注3}であり、三次元モデルを構築する部品各々が、どの部品雛形に属し、どういった属性値によって実体化され、どういった形状を示しているかといった情報を全て関係データベースに記録する方針をとっている点に特徴がある。これは、デジタルアーカイブの超長期保存を想定すれば、ブラックボックス化された商用システムにのみデータを残すことは避けるべきという考えによるものであるが、それに加え、デジタルアーカイブの活用の際に、関係データベースに用意された様々なインターフェイスや高い拡張性、柔軟な問い合わせ機能が利用でき、様々な発展性があると踏まえてのものである。図1にデータベースを中心としたデジタルアーカイブの構成を示す。

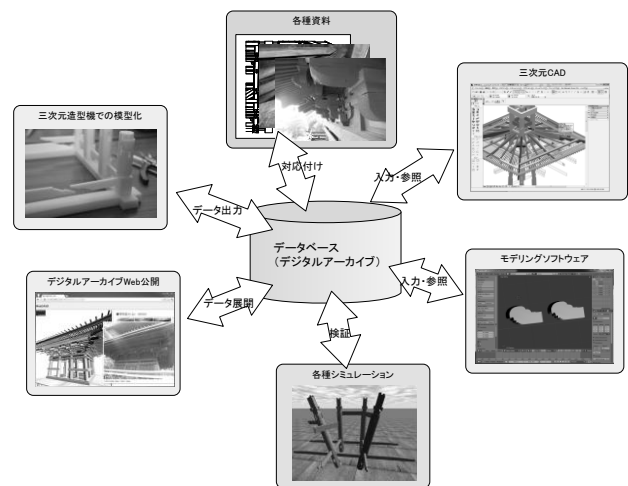


図1 データベースを中心としたデジタルアーカイブ

3. データベースの拡張による写真資料の紐付け

建築に関連する資料の管理は、従来からフォルダ分けやファイル名称によって行われており、資料のうち、例えば写真の管理については、撮影日時や撮影位置といった属性に加え、ユーザが独自にタグ（属性）を定義し、それと紐付けて管理するソフトウェアもある。こういったソフトウェアではタグを検索キーに検索を行うことができるが、大量に蓄積される写真に逐一タグを付けるのは手間が掛かる。建築の資料の管理を考えれば、それに関連する（写真であれば写る、図面であれば記載される）建築部位との紐付けがなされ、建築部位を検索キーとして検索を行うこ

とができれば便利であろう。

筆者らは工事写真の管理に関する研究の中で、コンピュータビジョン^{注4}などにより、工事写真の撮影位置と注視方向を取得し、それから求めた視錐台・FOV (Field Of View) モデルと三次元 CAD 内の部品 (オブジェクト) との位置関係から写真とそれに写る建築部位とを紐付ける手法を提案した²⁾。この紐付けによって CAD で選択中の部品に相当する建築部位の写る写真を検索するといった機能を実現した。ここでは、この手法をベースに、以下の手順によってデジタルアーカイブ上の部品情報と写真とを紐付け、関係データベースにて管理する。

① 写真を参考に視錐台を配置する

筆者らは前出の工事写真の管理に関する研究の中では、施工現場に予め二次元マーカを基準点として設置し、それが含まれるように撮影した工事写真に対しマーカトラッキングを行うことで、撮影位置、注視方向を取得し、撮影箇所を求めた。また、GPS や三軸角度センサにより撮影位置、注視方向を取得するといった研究も行なっている。このように写真の撮影位置、注視方向を得ることを前提に撮影を行えば、その撮影箇所を自動で三次元空間上に FOV モデルとして表すことは可能である。ただし、建築文化財に蓄積される写真にはもちろんこういった前提はない。ここでは、三次元モデルの表示中に現在の視点位置、注視方向、画角に対応した FOV モデルを配置するアドオンを用意し、写真を見ながら三次元モデル上で同じ視野となるよう視点を移動しながら、視野が一致した状態で、このアドオンを起動し FOV モデルを配置していくという手順をとった。

② 写真とそれに写る部品との紐付け

FOV モデルは透視投影がされた三次元空間上において、画面に表示される領域をカメラの位置と向き、画角を表す四角錐によって示したものであり、写真の視野・撮影箇所に相当するものである。FOV モデルと三次元 CAD 内のオブジェクトとの衝突判定により、FOV モデルと衝突 (交差ないし内包) しているオブジェクトがあれば、当該オブジェクトがその FOV モデルに対応する写真に写っている可能性がある (図 2)。これらのオブジェクトには、手前にあるオブジェクトに隠蔽される後方のオブジェクトも含まれているため、撮影位置からクリップ面に向けて等間隔に生成したベクトルとの交差判定により、オブジェクトの前後関係を判定する。これらのベクトルと最も近くで交差するオブジェクトは写真に写っている可能性が高い (図 3)。データベースを拡張し、(視錐台に対応する) 写真とそれに写る可能性がある、高いといった情報を記録する。

筆者らによる現地調査の際に撮影した写真等について、上記手法により FOV モデルを配置し (図 4)、各写真とそれに含まれる部品との紐付けを行った。なお、FOV モデルないし視点から発せられたベクトルとの衝突 (交差) 判

定を適用する際に、伝統木造建築では部品総数が多く、個々の部品モデルが複雑であることにより計算コストが膨大になる問題が生じた。凹ポリゴン、穴あきポリゴンの効率的な処理、そもそもの衝突判定の高速化を目的に OpenGL の提供するテッセレーション^{注5}機能およびセレクション機能^{注6}を取り入れた。

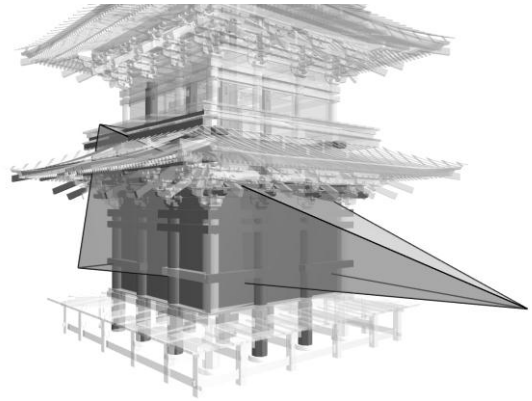


図 2 FOV モデルとの判定 (赤 : 衝突しているモデル)

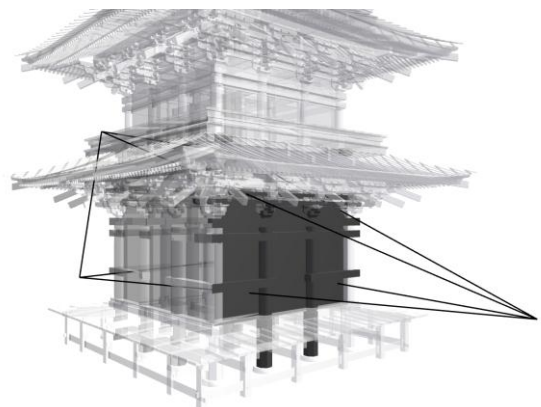


図 3 視点からのベクトルとの判定

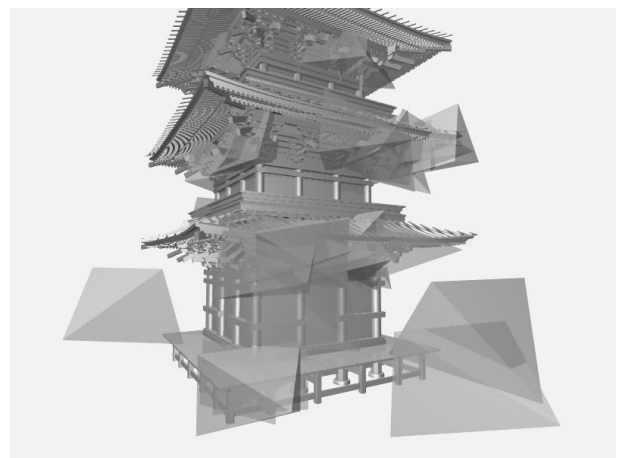


図 4 FOV モデルの配置

4. Web アプリケーションへの展開

デジタルアーカイブを広く公開し、資料として活用することを目的に、三次元モデルを操作しながら関連する情報を呼び出すことのできる Web アプリケーションの実装を行った。関係データベースに用意されている PHP スクリプトとのインターフェイスにより Web アプリケーション、データベース間の情報のやり取りを行う。クライアント（ユーザ）の要求に応じて PHP スクリプトが実行され、データベースへの問い合わせ結果を HTML や埋め込みの JavaScript としてクライアントに返す。図 5 は Web アプリケーションのユーザインターフェイス（操作画面）であり、ユーザはこの画面を操作しながらデジタルアーカイブを閲覧する。



図 5 Web アプリケーションのインターフェイス

4.1. ユーザインターフェイス

ユーザインターフェイスには、三次元モデルを表示する三次元モデル領域と、資料等の表示を行う資料領域を用意した。それぞれについて簡単に説明する。

4.1.1 三次元モデル領域

データベースには部品と対応する形でその幾何情報が頂点、辺、面に分けて記録されており、この幾何情報から直接三次元モデルを描画することも可能である。しかし、ここではサーバや回線の負荷に配慮し、予め Three.js (JSON) 形式のモデルファイルを出力しておき、サーバ上の適当なフォルダに置いておくことにした。モデルファイルの名称は部品 ID とし、データベース上の部品情報と対応するようにしておく。ブラウザ上での三次元モデルの描画には WebGL^{注7}を利用している。

Web アプリケーションが開かれると PHP スクリプトから三次元モデルの表示範囲を指定する SQL 文が発行され、データベースは読み込み部品の ID、部品名称の配列を返す。PHP スクリプトはこの配列を JavaScript の書式にあわせて整形し HTML とともにクライアントに送信する。三次元モデル領域にはこのデータにそって三次元モデルが表示される。この三次元モデルは、部品モデルの集合として構成されており、データベースにおいて部品管理を行

うための部品 ID がそれぞれに割り当てられている。ユーザはこの領域に表示された三次元モデルを操作し、部品を選択することでその部品に関連する資料を呼び出す。

4.1.2. 資料領域

資料領域は、ユーザが選択した部品に関する情報を表示する領域であり、説明文、写真、図面、寸法表で構成される。三次元モデル領域でユーザによって部品が選択されるたびに、資料領域（が記述されている PHP スクリプト）にその部品の ID が渡され、データベースへの問い合わせによって部品に関連する情報が表示される

・説明文

説明文はその表示順序を定める属性（値）と共に管理されており、この値が小さいものほどその部品に関する詳しい説明文となる。ある部品に説明文が複数紐付けられている場合は、値が昇順となるよう表示を行う。例えば大斗では、上から大斗に関する説明文、斗（ます）に関する説明文、斗拱に関する説明文といった順に説明文が表示される。

・写真

写真は、その写真に写る部品との紐付けによって管理されており、部品 ID によって問い合わせを行い、その部品の写る写真を検索し表示する。データベースでは、写真の撮影位置が記録されており、表示の順はその部品との距離が近い順となるよう並び替えを行う。具体的には、三次元モデル領域で部品をクリックする際にクリックした点の三次元座標を得、この点との距離を計算に用いている。貫や長押のようにある程度の長さがある部品や、尾垂木のように五重塔の内外にあらわれる部品に対し、興味のある箇所が写る写真が優先的に表示されるよう工夫したものである。

また、選択した部品そのものでなくても、同形状の部品の写る写真であれば参考となるであろう。選択した部品が写る写真の下に、同形状の部品の写る写真も表示する。法華経寺五重塔を対象としたデジタルアーカイブでは、同じ部品雛形から実体化され、同じ階層に配置されている部品は同一の形状であるといった方針をとっており、これを利用して問い合わせを行う。

・寸法表

本研究では、伝統木造建築を構成する部品を正確かつ効率的に表現するために、部品雛形を木割・規矩術をモデル化しプログラム言語によってパラメトリックに実装する手法をとっている。部品雛形には、その部品の主要な寸法を属性値（パラメータ）として与えられるように公開変数が設計されており、この公開変数に与えるパラメータを適宜変更することで、層間の通減や微妙な形状の変更に対応している。データベースではある部品がどういったパラメータで実体化されているかといった情報が記録されている。寸法表ではこういったパラメータのうち、主要なものを一覧として表示する。

4.2. 機能

これまでに、三次元モデルを操作し部品を選択することでそれに関連する資料を呼び出すといった Web アプリケーションの基本部分について示した。ここでは、Web アプリケーションについて、スクリーンショットとともに利用の様子を示す。三次元モデルをマウス操作で回転・拡大縮小しながら、資料を表示させたい部品をクリックする(図6左上)。その部品に関連する資料が表示され、さらに写真をクリックすると写真が拡大で表示される(図6右上)。写真の下のボタンを押すと、三次元モデルが写真と同じアングルへと移動し、見比べが可能である(図6左下)。ある部品を取り出し納まり部等の形状を確認することもできる(図6右下)。

5. まとめ

これまでに作成した伝統木造建築の精緻なデジタルアーカイブの活用方法の一つとして実装した、Web ブラウザ上で三次元モデルを操作しながら閲覧できる Web アプリケーションについて報告した。

謝辞

本研究は、特別研究員奨励費(24005874)の助成によって行われたものである。

【注釈】

- 注1 例として凸版印刷によるトッパン VR・デジタルアーカイブ(<http://www.toppan-vr.jp/bunka/>)を挙げる。
- 注2 本研究では ArchiCAD 15 (Graphisoft 社)を用いた。
- 注3 PostgreSQLを用いた。オープンソースの関係データベース管理システムである。
- 注4 画像解析によって有益な情報を得ようとする技術の総称である。後述のマーカーラッキングもこの技術の一つである。
- 注5 凹ポリゴンや穴の空いたポリゴンを処理しやすくする目的で(主に三角形に)再分割することである。
- 注6 マウスクリックで三次元空間上のモデルを選択する機能。
- 注7 Web ブラウザ上で三次元モデル(グラフィクス)を表示させるための標準である。

【参考文献】

- 1) 加戸啓太、平沢岳人:精緻な建築デジタルアーカイブの作成と活用に関する研究、日本建築学会技術報告集第15巻第30号、pp. 581-584、2006.9
- 2) 加戸啓太、岩田健吾、中林拓馬、平沢岳人:三次元CADとコンピュータビジョンによる写真管理に関する研究、日本建築学会技術報告集、第18巻第39号、pp. 781-784、2012.6

*1 建築研究所 建築生産研究グループ 日本学術振興会特別研究員 博士(工学)

*2 千葉大学大学院 工学研究科 博士後期課程

*3 千葉大学大学院 工学研究科 准教 工学博士

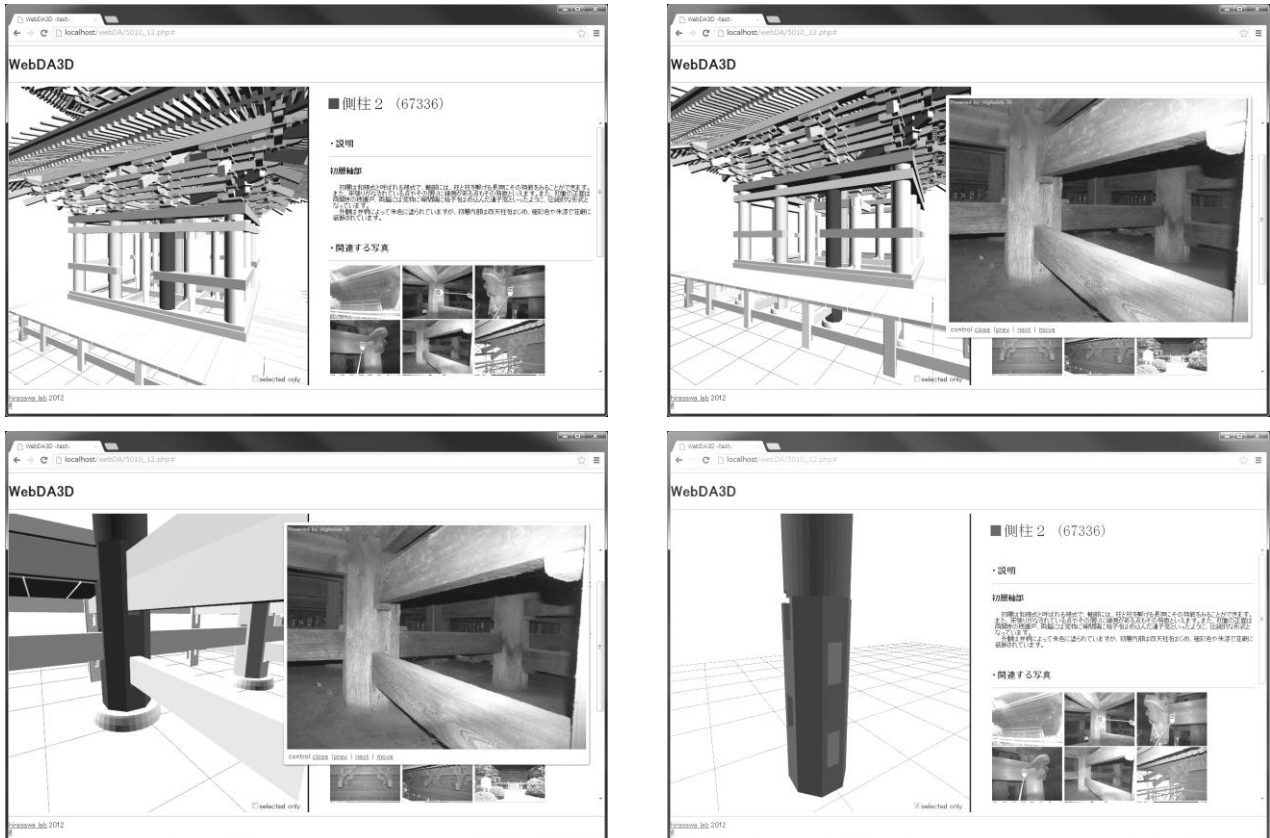


図6 Webアプリケーションの利用の様子

(左上: 部品の選択、右上: 関連写真の拡大表示、左下: 写真との比較、右下: 部品の取り出し)