

機関番号：14401  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21760469  
 研究課題名（和文） 建築・都市設計を対象としたデジタルデザイン・プロセッシングシステムの開発  
 研究課題名（英文） Development of Digital Design Processing System for Architectural or Urban Design Field  
 研究代表者  
 福田 知弘（FUKUDA TOMOHIRO）  
 大阪大学・工学研究科・准教授  
 研究者番号：80379114

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、模型などの比較的小規模なアナログ・プロトタイプを非接触型3Dデジタイザ（3Dスキャナ）によりデジタル化してCADやVR仮想空間で操作可能なシステムを開発する。3Dスキャナにより得られる点群から生成される小ポリゴンは莫大な量である。そこで、最適化システム「Poly-Opt」を開発した。「Poly-Opt」は、同一平面上にある小ポリゴン群を一つのポリゴンに変換する機能、テクスチャマッピングを付与する機能、幅広い設計ユーザの利用を可能とするGUIを具備する。模型を対象として開発したシステムを検証した結果、ポリゴン数で98.5%の削減率を達成している。また、精度は許容範囲である。

## 研究成果の概要（英文）：

In the field of architectural design and city planning, physical scale model, CAD and VR are acknowledged as effective tools for communication among stakeholders. However, they are often made using different processes so that much labor and high costs are involved. Therefore, an automatic 3D digital modeling system based on a physical scale model is needed. A 3D modeling flow from the physical scale model to the digital data by using 3D Laser Scanner is established. Three problems in this flow were pointed out, namely that the scanning data has too many vertexes and polygons, there are jagged ridges on the edge of the scanned data and spotted losses. Thus, software for resolving these issues, "Poly-Opt" is developed. The experiment showed that the proposed system was effective.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・都市計画・建築計画

キーワード：都市模型, 3Dレーザスキャナ, CAD, Virtual Reality, ポリゴン最適化, 形状モデリング, テクスチャ

## 1. 研究開始当初の背景

既に、設計段階で使用するCAD(Computer A

ided Design)システム, 試作段階のRP(Rapid Prototyping)システム, 製造段階のCAM(Comp

uter Aided Manufacturing)システムなどコンピュータを利用した設計生産は実用的なプロセッシングとして導入されつつある。また、大規模な都市設計や市民参加型まちづくりなど多様な立場の関係者が関与する機会が増え、誰もが直感的に理解可能なコミュニケーションツールとしてVRシステムが実用化されている。国土交通省が提示する景観予測視覚化ツールとしても、スケッチパースやフォトモンタージュ、CG静止画などの手法に加え、VRや模型がリストアップされている<sup>(\*)</sup>。

模型は古くから用いられてきた3次元空間を再現するアナログ・プロトタイプであり、構造物等の3次元的な形の収まりや部分的な細部形状の検討など体感的に認識し理解することができる。反面、作成できる範囲の限界、表現のリアリティや精度、運搬や保管のし易さなどは一般にVRより劣る。一方VRは、近年発展が著しいデジタル・プロトタイプであり、体感的な理解は模型より劣るものの、リアリティのある表現、インタラクティブな操作が可能である。また、デジタルデータゆえ実施設計や施工などの後工程での再利用や加工も容易である。

設計者は自身の設計案を検討しやすいツールを用いる傾向にあり、模型かVR(CG)かどちらかという議論は乱暴である。事実、建築／都市デザインコンペのプレゼンテーションでも、模型とCGが併用されることが多い。一方、模型とCGはそれぞれ別工程で作成される状況であり、効率が非常に悪い。加えて、CGやVRなどのデジタル・プロトタイプは表現技術の向上に伴い、リアリティのより高い表現が求められる傾向にあり、それに伴い作業工数も増加する傾向にある。

## 2. 研究の目的

そこで、設計者が検討に使用する模型をデジタル化して、コンピュータに取り込むシステム「デジタルデザイン・プロセッシングシステム」の開発を本研究の目的とする。これにより模型で作られた設計対象のモデリングの手間を省くことが可能となる。アナログ・プロトタイプである模型をデジタル・プロトタイプ化できれば、設計者はCAD空間上でより詳細に設計検討したり、図面を描くことができる。CG空間上ではプレゼンテーション用の静止画を作成できる。VR(Virtual Reality)空間上では、事業者や市民など多様な立場の関係者と議論を深めることができる。

国内外の研究動向としては、設計したCADデータから3Dプリンタを利用して模型を出力するRPシステムは数多く発表されている

が<sup>(\*)2)</sup>、これらはデジタル-アナログ変換である。本研究はアナログ-デジタル変換を目指している。また呉らは<sup>(\*)3)</sup>、3Dスキャニングにより現実の遺跡をデジタル化しているが、屋外にある巨大な対象物であり対象物の状況が大きく異なる。

## 3. 研究の方法

研究の目的を達成するため、研究の方法を下記の通りとした。

1. アナログ-デジタル変換手法の検討
2. 模型を3Dスキャニングした場合の課題の抽出
3. Poly-Optの開発
4. Poly-Optの検証
5. 結論と今後の課題

## 4. 研究成果

### 1. アナログ-デジタル変換手法の検討

デジタル化する方法として、複雑な3D形状でも形状データ取得が可能と考えられる、非接触型3Dデジタル化方式を採用する。他には、カメラ画像やビデオ映像を用いた方式があるが、3Dデジタル化方式は高い精度を得ることが可能である。次に、複数の3Dスキャナを検討した結果、約1m四方のスキャン領域を有するコニカミノルタ社 VIVID910を導入した。

### 2. 模型を3Dスキャニングした場合の課題の抽出

都市模型で頻繁に用いられる立方体形状を3Dスキャニングし、デジタル化の状況を観察した。その結果、VRやCADで3Dスキャンデータを利用する場合、頂点数・ポリゴン数が膨大であること、モデルの端部に階段状の形状が生じること、スキャンデータの一部分が欠損することなどの課題が発見された(図1)。

そのため、これらの課題解決を目指し必要に応じて最適化するシステム「Poly-Opt」を開発した。

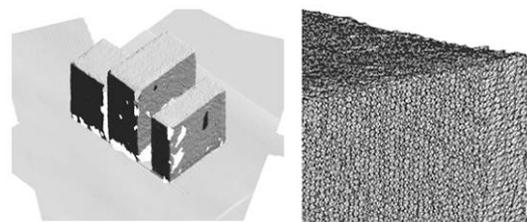


図1 3Dスキャニングにより生成されたデジタルデータ

### 3. Poly-Optの開発

Poly-Optは、「①座標軸の変換」「②平面の算出」「③新しい頂点の算出」「④

テクスチャの生成」「⑤ポリゴンの生成」の5段階で構成されている。

まず「①座標軸の変換」では、VR オーサリングソフトでの編集を容易にするため、スキャンデータの座標軸を、水平・鉛直な座標軸に回転行列で変換する。次に「②平面の算出」では、法線ベクトル同士の成す角が $\theta$ 以下となるポリゴン群を抽出し、それらを含む平面を生成する。そして「③新しい頂点の算出」では、生成された平面の方程式を連立し解くことで、新たな頂点を算出する。「④テクスチャの生成」では、最適化されたポリゴンに対応するテクスチャデータを、色情報を有したスキャンデータから自動的に生成する。最後に「⑤ポリゴンの生成」では、得られた頂点群をドロネー分割によって結合することで、ポリゴンを生成する。

Poly-Opt を実行する際の引数は、k : 任意のポリゴンの識別番号、 $\theta$  (度) : 抽出された法線ベクトルで同一平面と見なす角度の許容範囲(以下「許容角」)、L1 (mm) : 同一平面ではないと判断する垂直方向距離の閾値、L2 (mm) : 同一平面ではないと判断する水平方向距離の閾値、R (mm) : 平面の方程式で得られる変域に対するゆとり、である。

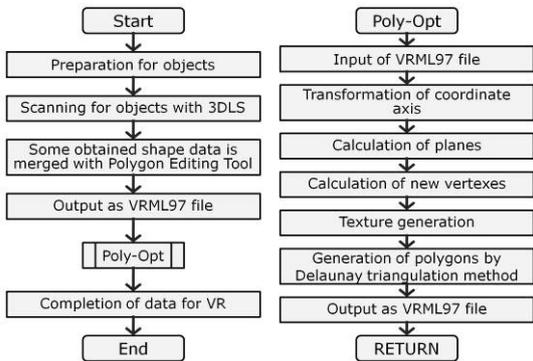


図2 アナログ-デジタル変換フロー(左)と Poly-Opt フロー (右)

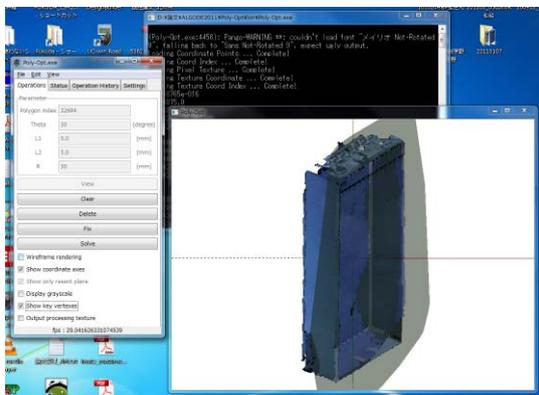


図3 Poly-Opt の GUI

#### 4. Poly-Opt の検証

Poly-Opt の性能を検証する。使用するモデルは、紙製であり、実測で幅  $W_0=68.5\text{mm}$ 、奥行き  $D_0=29.0\text{mm}$ 、高さ  $H_0=159.0\text{mm}$  の直方体の建築模型である。3D スキャンデータのポリゴン数は 47,033、頂点数は 24,350、頂点間距離の最小値は  $0.759\text{mm}$  である。検証の流れを以下に、検証で使用したモデルを図4に示す。

- [1] 許容角を  $0\sim 10$  度の範囲で  $1$  度ずつ、 $15\sim 45$  度で  $5$  度ずつ変更しながら設定し、最適化を試みる。
- [2] 最適化された直方体の幅  $W_1$ 、奥行き  $D_1$ 、高さ  $H_1$ 、各面同士が成す角  $A_1$  を計測する。
- [3] 最初に選択される任意のポリゴンを変更して、[1], [2] を  $20$  回行う。
- [4] [3] で抽出された  $20$  回分の値の平均値(以下「計測値」)を算出する。

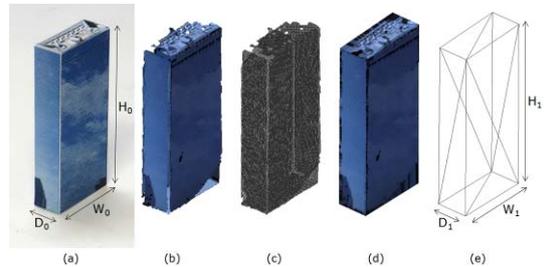


図4 (a)都市模型, (b)3D スキャン直後のサーフェスレンダリング, (c)同ワイヤーフレームレンダリング, (d)Poly-Opt 後のサーフェスレンダリング, (e)同ワイヤーフレームレンダリング

まず、最適化の精度について考察する。本実験で使用したモデルは、頂点間距離の最小値が  $0.759\text{mm}$  であり、一辺がこの値で構成されるメッシュデータにおいて、最大の誤差は  $0.759 \times \sqrt{2} / 2 = 0.536(\text{mm})$  となる。ここで、各許容角における計測値と実測値の差の絶対値の関係を図5に示す。算出した絶対値は、最小のメッシュデータにおける誤差の最大値 ( $0.536\text{mm}$ ) と同程度以下である。他のメッシュデータは、一辺がより大きくなるので、誤差も大きくなる。このことから、スキャンデータが有する誤差と比べ、算出した絶対値は小さいといえる。すなわち、許容できる。

次に抽出率とテクスチャの質の関係について考察する。本研究では、各面(A面～F面)において抽出された画素数の割合を抽出率とする。許容角と抽出率の関係を図6に、許容角が  $5$  度および  $30$  度のときの屋上のテクスチャの比較を

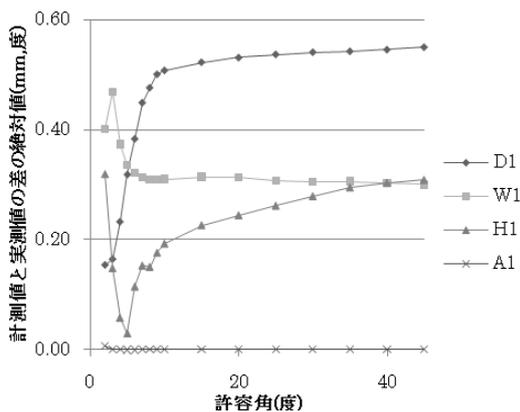


図 5 各許容角における計測値と実測値の差の絶対値の関係

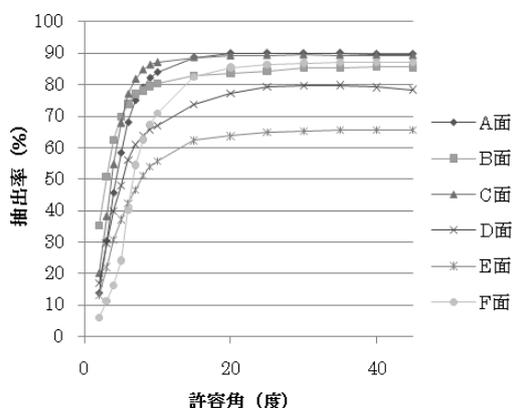


図 6 許容角と抽出率の関係

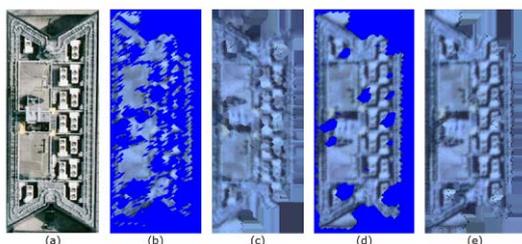


図 7 屋上のテクスチャの比較：[a] 元テクスチャ，[b] 許容角 5 度で抽出されたテクスチャ，[c] [b]に補完処理をしたテクスチャ，[d]許容角 30 度で抽出されたテクスチャ，[e] [d]に補完処理をしたテクスチャ

図 7 に示す。欠損部分は 4 近傍の色を使用して補完している。

結果として、許容角を大きくすれば抽出されるテクスチャの欠損部分が小さくなった。また、許容角 5 度では補完したテクスチャ（図 7-[c]）が 30 度の場合（図 7-[e]）よりぼやけている。これは補完処理が、背景色との境界近傍の

色のみを利用したためであると考えられる。

## 5. 結論と今後の課題

本研究の結論を以下に述べる。

- 都市模型と VR それぞれの有用性が認められる一方で、それぞれが別工程で作成される状況であり、多大の工数と費用が課題となっていることを受け、都市模型を元に 3D スキャナを用いて自動的に 3D デジタル化を行う手法を確立した。
- 3D スキャナにより得られる点群から生成される小ポリゴン群の 3 つの課題、すなわち、頂点数・ポリゴン数が膨大である点、モデルの端部に階段状の形状が生じる点、スキャンデータの一部が欠損している点を抽出し、その課題を解決するシステム「Poly-Opt」を開発した。
- 幅広い設計ユーザの利用を可能とするために、Poly-Opt はスキャンデータが最適化される過程をリアルタイムに 3 次元で描画する GUI 機能を具備する。
- 開発した Poly-Opt によりスキャンデータの軽量化、端部の整形、欠損部分の補填、テクスチャの生成に一定の成果を得た。凸状のポリゴンに適用可能である。
- 今後の課題として、凸状ポリゴン以外の形状、すなわち、凹状、曲面などへの対応がある。また、テクスチャ生成時の補完精度を向上させるアルゴリズムの検討を行う必要がある。

## 参考文献

- (\*)国土交通省，“「公共事業における景観アセスメント（景観評価）システム」の本格運用について”，  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/13/130330\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/13/130330_.html), 2007.
- (\*)M.A.Schnabel, “3D Transformations”, Proceedings of The 13th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, pp.227-237, 2004.
- (\*)S.Oh, “A 3D Digital Archive Experience System based on Comparison”, 日本建築学会・情報システム技術委員会第 28 回情報・システム・利用技術シンポジウム論文集, pp.1-6, 2005.
- (\*)建設省, “平成 10 年度版 建設白書”, 1998.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕（計 5 件）

1. 北川憲佑, 福田知弘, 矢吹信喜: 都市模型から 3 次元計測された点群の最適化システムに関する研究 —GUI とテクスチャ生成機能の開発—, 平成 23 年度日本建築学会近畿支部研究報告集 第 51 号・計画系, 2011-6-19 (発表予定) .
2. T. Fukuda, K. Kitagawa, N. Yabuki : A STUDY OF VARIATION OF NORMAL OF POLY-GONS CREATED BY POINT CLOUD DATA FOR ARCHITECTURAL RENOVATION FIELD, 16th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2011) , pp.321-330, 2011-4-29.
3. T. Fukuda, K. Kitagawa, N. Yabuki: Texture generation system from point cloud data acquired from a 3D laser scanner, ALGODE2011, 2011-3-15.
4. K. Kitagawa, T. Fukuda, N. Yabuki: OPTIMIZING SYSTEM FROM 3D LASER SCANNER DATA TO A VR MODEL FOR URBAN DESIGN STUDY, 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (conVR) 2010, pp.337-346, 2010-11-4.
5. 北川憲佑, 福田知弘, 矢吹信喜: 3 次元レーザースキャナを用いた都市模型の VR モデリングに関する研究, 平成 22 年度日本建築学会近畿支部研究報告集 第 50 号・計画系, pp. 637-640, 2010-6-19.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福田 知弘 (FUKUDA TOMOHIRO)

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号 : 80379114