

# (76) 四角形の方角フリップを行うポリゴン分割整形手法による3次元建物モデルの自動生成

杉原 健一<sup>1</sup>・村瀬 孝宏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 金沢大学 理工研究域 研究協力員(〒920-1192 石川県金沢市角間町ヌ7番地)  
E-mail:mjsbp812@yahoo.co.jp

<sup>2</sup>非会員 中京学院大学 短期大学部(〒509-6192 岐阜県瑞浪市土岐町2216)  
E-mail: murase@chukyogakuin-u.ac.jp

これまでの研究で、電子地図上の建物境界線(建物ポリゴン)を四角形の集まりに分割・整形し、分割四角形上に3次元建物モデルを自動生成した。本手法では、分割四角形の頂点や辺は「ラベリング(番号付け)」を行い、分割四角形に隣接する四角形、自分と相手の隣接辺、隣接の仕方などの「隣接情報」を取得し、それに基づいて、建物ポリゴンを整形する。このとき、分割四角形が正しく隣接情報を取得するために、ポリゴン形状をそのままにして、隣接四角形、隣接辺を探索するが、整形後にはありえない「隣接関係」も整形前にはありうる。整形時に、このことを検出して、四角形の方角フリップを行い、正しく分割四角形の方角を決める。本研究では、四角形の方角フリップを考慮したポリゴン分割・整形手法による3次元建物モデルの自動生成を提案する。



**Key Words :** automatic generation, 3D building model, polygon partitioning, polygon rectification, CG

## 1. はじめに

図-1 右に示すような「建物の3Dモデル」は、まちづくりの案を検討する際、関係者で街並みの出来上がりのイメージを共有し、合意形成に役立つ。ここで、持続可能な「スマートハウス」とこれらを集合したスマートタウンはどうあるべきかを仮想空間で検討するとき、建物の3Dモデルはソーラーパネルを備え、どれぐらいパネルが太陽光を受け止められるのか。さらに、3Dモデル内部、即ち、部屋に入ることができ、建物形状に応じて、冬に太陽光がどのように導かれるのか、あるいは、夏にはどのように遮蔽されるのか等をシミュレーションでき

れば、よりよいスマートハウスの設計につながる。そのため、建物の3Dモデルを効率よく作ることが求められている。しかし、現状では、3Dモデルを構築するには、それぞれ、専門家が描く「建物境界線や平面図」に基づき、3次元CGやCADソフトを用いて、膨大な手作業にて、建物の3Dモデルを製作する。

これまでの研究<sup>1)4)</sup>で、電子地図上の頂角がほぼ直角の建物境界線(直角建物ポリゴン)を四角形の集まりまで分割し、四角形の集まりを「互いに直交する長方形の集まり」まで「整形」し、各長方形の上にBox形状の建物本体と屋根を配置して3次元建物モデルを自動生成した。さらに、分割四角形のどの辺に壁を作り、あるいは、「壁

<p><b>市販 GIS (ArcGIS)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*電子地図の蓄積・管理</li> <li>*建物境界線(建物ポリゴン)</li> <li>*階数, 建物タイプ, イメージコードなど3次元化のための「属性情報」(左下)</li> </ul>  <table border="1" data-bbox="130 1915 422 1995"> <thead> <tr> <th>Shape</th> <th>STORIES</th> <th>AREA</th> <th>GOL</th> <th>SITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Polygon</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Polygon</td> <td>2</td> <td>0</td> <td></td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Polygon</td> <td>2</td> <td>0</td> <td></td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Polygon</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Polygon</td> <td>2</td> <td>0</td> <td></td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Shape	STORIES	AREA	GOL	SITE	Polygon	1	0		8	Polygon	2	0		5	Polygon	2	0		7	Polygon	1	0		8	Polygon	2	0		6	<p><b>GIS Module</b> (Python &amp; VB)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* ArcPy(ArcGIS)をインストールしたPythonによる頂点と属性情報の取得</li> <li>*建物ポリゴンを互いに直交する長方形の集まりにまで分割</li> <li>*枝屋根の伸長、及び、WDA壁(Windows and Doors Available wall)の明確化</li> </ul>	<p><b>CG Module</b> (MaxScript)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*建物部品を形成するため、適切なサイズの基本立体の生成</li> <li>*窓やドア用に穴を開ける、部品を作成するためのブル演算</li> <li>*部品を配置するために回転と移動</li> <li>*自動テクスチャマッピング</li> </ul>	
Shape	STORIES	AREA	GOL	SITE																													
Polygon	1	0		8																													
Polygon	2	0		5																													
Polygon	2	0		7																													
Polygon	1	0		8																													
Polygon	2	0		6																													

自動生成した街並みの3Dモデル

図-1 自動生成システムの構成と3Dモデルの自動生成のプロセス

のどこからどこまで窓やドアが設置できるか (WDA壁: Windows and Doors Available wall)] を明らかにする手法も提案した<sup>4)</sup>。この「分割・整形」は、四角形の分割時、分割四角形の頂点の「ラベリング (番号付け)」を行い、分割四角形自らの隣接辺、隣接の仕方、その後、相手の隣接辺を検索して調べ、これらの「隣接情報」に基づいて、整形処理を実行する。この検索時、分割四角形が正しく隣接情報を得るために、ポリゴン形状をそのままにして、隣接四角形、隣接辺を探索する。このとき、整形後にはありえない「隣接関係」も整形前にはありうる。整形時に、この「ありえない隣接関係」を検出して、「四角形の方角フリップ」を行い、正しく分割四角形の方角を決める。本研究では、ありえない隣接関係を正すため、四角形の方角フリップを行うポリゴン分割・整形手法による3次元建物モデルの自動生成を提案する。

## 2. 四角形の番号付け

本手法では、ポリゴン分割・整形のプロセスで、分割した四角形の切り口の辺 (これをActive Edgeとする) が、どの四角形に含まれ、次に、その四角形のどの辺に含まれるかを探索する。「どの辺に含まれるか」を調べる際、四角形の頂点のラベリングを行うことで辺が特定される。

線分をラベリングする場合、線分の両端の2点で、x座標が小さい点を「点1 (a1, b1等)」にする。このようにすることで、線分の傾きを $-90$ 度から $+90$ 度の範囲に一意に収めることができる。このことを下の図-2に示す。

図-2の線分a12は $a1.x < a2.x$ で、傾きは $-90$ 度から $+90$ 度の範囲に一意に収められるが、線分b12は $b1.x > b2.x$ で、傾きは $-110$ 度になってしまう。線分a12と線分b12は同じ傾きであり、同じ傾きに対して、2つの角度を与えるのは不適切なので、線分の両端の2点で、x座標が小さい点を点1とする。このようなラベリングにおいて、線分がほぼ垂直に立っている場合、点1の位置は微小な傾き

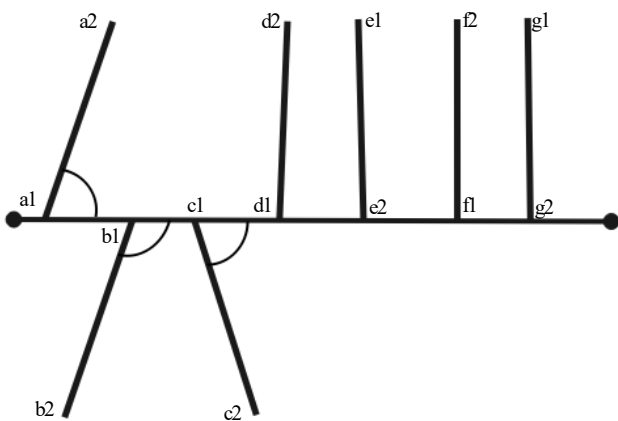


図-2 線分の傾きを一意に決める番号付け

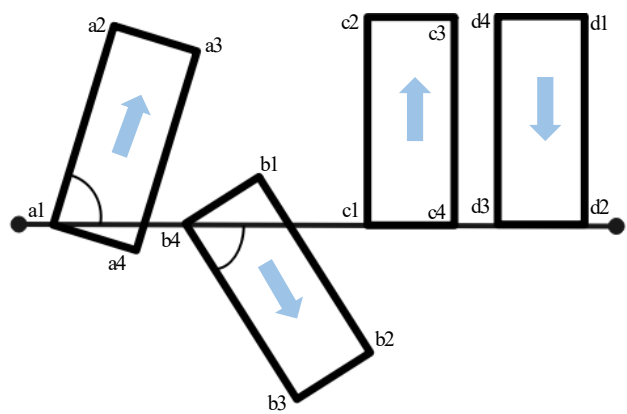


図-3 長方形の傾きを一意に決める番号付け

の変化でも、点1の位置は大きく変わってしまう。具体的に、ほぼ垂直に立っている線分g12の傾き( $-89.9$ 度)と線分f12の傾き( $+90.0$ 度)の差の絶対値は僅か $0.1$ 度であるが、点1から点2のベクトルの方向を線分の方角とすると、線分g12は下向きで、線分f12は上向きとほぼ $180$ 度異なる。ほぼ垂直に立っている線分の傾きの微小な変化でも、線分の方角は反転する、これを本研究では、「方向フリップ」とする。

この線分のラベリングを長方形に拡張したのが、図-3である。長方形の頂点は時計回り (Clockwise) に番号付けるとして、長方形の辺は長辺と短辺の2つに分類されるが、上の長辺の始点を点1とし、図-3のように頂点をラベリングする。ここで、長辺の傾きを長方形の傾きとすると、長辺の始点(a1, b1等)のx座標は長辺の終点(a2, b2等)のx座標より小さいので、線分と同様に、長方形の傾きを $-90$ 度から $+90$ 度の範囲に一意に収めることができる。このようなラベリングは、ポリゴンから四角形を分割するとき、分割四角形の辺の長さや辺の向きを調べ、右向きで最も長い辺の始点を点1、あるいは、左向きで最も長い辺の始点を点3とすることで実現できる。

また、線分と同様に、長方形がほぼ垂直に立っている場合、微小な傾きの変化でも、ラベリングは大きく変わってしまう。図-3で、ほぼ垂直に立っている四角形c1234の傾きが $-89.9$ 度とすると、その向きは下向き、四

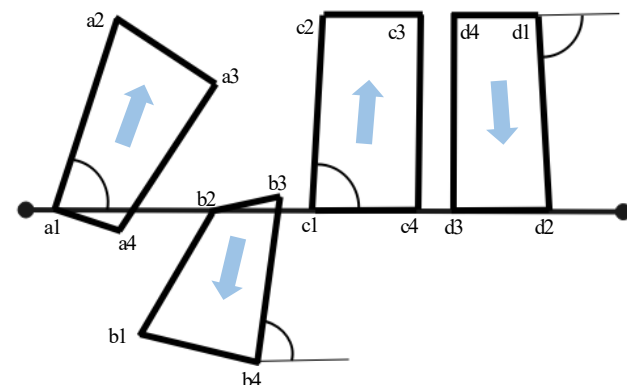


図-4 四角形に対する番号付け

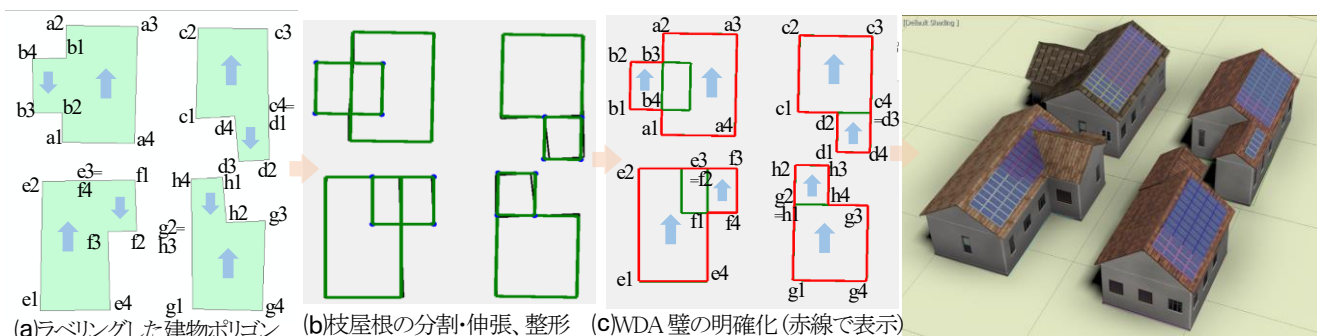


図-5 ポリゴン分割、整形、枝屋根の伸長、および、WDA 壁 (Windows and Doors Available wall) の明確化プロセス

角形d1234の傾きが90度とすると、その向きは上向きとなるが、両者の傾きの差は微小である。

長方形のラベリングを「一般的な四角形」に適用した場合を図-4に示す。本手法では、切り出した四角形の最長辺の傾きと向きを調べ、分割四角形の傾きはその最長辺の傾きとし、また、最長辺の向きが右向きであれば、その始点を点1とし、左向きであれば、始点を点3とし、残りの頂点は時計回りに番号付けする。本システムは、ポリゴンを四角形の集まりまで分割した後、分割四角形は、隣接四角形のIDと隣接辺を、そのままの形状を保ちつつ、上記の方法でラベリングした各四角形の各辺を順に調べ、「隣接情報」を取得する。その後、最後に残った四角形を最初に長方形に整形し、次に、それに隣接していた四角形を整形する。さらに整形された四角形に隣接していた四角形を整形するという「整形処理」を伝搬させて、整形処理を実行する。

### 3. 「方向フリップ」による整形処理

本手法では、分割四角形の頂点を時計回りにラベリングするとき、最長辺の向きが右向きであれば、その始点を「点1(a1,b1等)」とし、左向きであれば、始点を「点3(a3,b3等)」とし、全頂点を番号付けする。ここで、点1と点2の間の「辺12(ed12,a12,b12等)」は、整形された後では「上側の右向き長辺」、点2と点3の間の「辺23(ed23,a23,b23等)」は「右側短辺」、点3と点4の間の「辺34(ed34,a34,b34等)」は「下側左向き長辺」、点4と点1の間の「辺41(ed41,a41,b41等)」は「左側短辺」となる。「整形後」においては、建物ポリゴンは分割され、互いに直交する長方形の集まりとなるが、「整形後の長方形を組合せたポリゴン」は以下の性質を持つと考える。

(1)長方形は2つの方向は、即ち、「主傾き(ポリゴン各辺の辺長の総和が最大となる辺の傾き)か「それに垂直な方向」のどちらかをとる。

(2)2つの長方形が一边(隣接辺)を共有して隣接するとき、隣接辺の両側に長方形は存在する。従って、長方形

Aの辺12が長方形Bの辺12に接続することはない。

このポリゴンの分割、ラベリング、枝屋根の延長、整形、WDA壁(窓やドア設置可能壁)の明確化のプロセスを上図-5に示す。ここで、整形前の図-5(a)にて、四角形b1234、d1234等を切り出し、前記手法でラベリングを施し、分割四角形の傾きを算出するが、これらは主傾きと約180度は異なる。システムは、それを検出すると、「方向フリップ」を発生させて、分割四角形の向きを「主傾き」にあわせる。つまり、分割四角形の整形処理は、「整形後の傾き」や「隣接情報(分割四角形の起点、隣接辺)」などのいわば「設計諸元」に基づいて、再構築するが、その設計諸元は方向フリップによって、大きく変化する。具体的には、図-5(a)の分割四角形d1234は、整形前の傾きは、-89度で、四角形の再構築の起点は「d1」であるが、整形後の傾きは90度で、四角形の再構築の起点が「d3」に変更される。同図でその他の分割四角形の設計諸元も変更され、整形処理される。また、整形後には、2つの長方形が一边(隣接辺:d41とc41)を共有して隣接するとき、隣接辺(d41)の両側に長方形(c1234、d1234)が存在するが、整形前には、長方形(d1234)の「辺41(d41)」が長方形(c1234)の同じ辺、即ち、「辺41(c41)」に接続しており、整形後にはありえない「隣接関係」となっている。これらは「方向フリップ」によって、長方形(d1234)の「辺23(d23)」が長方形(c1234)の「辺41(c41)」に接続するという、正しい接続に修正される。

### 4. 2つの四角形の全ての組合せとまとめ

前記の「整形後にはありえない隣接関係」も含めて、2つの四角形の全ての組み合わせを図-6に示す。ここで、2つの四角形を「主四角」と枝屋根を延長する「枝四角」とし、主四角の各4辺に枝四角の4つの辺が接続、そして、その接続方法が「分割線の引き方」で3通り(「分割線を始点から時計回りに引く」、「反時計回りに引く」、「両側から引く」)あり、さらに、2つの四角形のうち、どちらかがフリップするという場合を付け加えると、接続の組合せの数は4×4

× 3 × 2 = 96通りある。「分割線の引き方」で場合分けするのは、分割四角形の4つ目の頂点をポリゴン辺の交点として求める際、その辺の組み合わせが「3通りの分割線の引き方」で異なるからである。図-6の1行目において、主四角のed12に枝四角の4つのed34, ed23, ed41, ed12が、各々3通りの場合で接続、2行目においては、フリップする可能性のあるほぼ垂直に立った枝四角が主四角のed12に各々3通りの場合で接続、次は逆に、ほぼ垂直に立った主四角のed12に、枝四角がそのed23, ed41で、各々3通りの場合で接続するケースである。

図-6の3行目では、主四角のed23に枝四角がそのed34, ed12, ed41, ed23で、各々3通りの場合で接続、4行目においては、主四角のed23にフリップする可能性のあるほぼ垂直に立った枝四角が、そのed34, ed12で、各々3通りの場合で接続、それから、ほぼ垂直に立った主四角のed23に、同じく垂直に立った枝四角が、そのed41, ed23で、各々3通りの場合で接続するケースである。5行目以降は、同様に主四角のed34とed41に、枝四角の4つの辺で、3通りの分割線の引き方で場合分けしたケースを示している。

本研究で自動生成する建物の3Dモデルは、リモートセンシングや手続き型モデリング(Procedural modeling)で得られる「表面モデル(Surface model)」と異なり、3Dモデ

ルの各部材は中身の詰まったCSG(Constructive Solid Geometry)のモデルであり、3Dモデル内の部屋に入ることができ、建物形状に応じて、冬に太陽光がどのように導かれるのか、あるいは、夏にはどのように遮蔽されるのかな等をシミュレーションできる。その他、力学や熱伝導・熱流体解析等の各種エンジニアリング・シミュレーションにも利用可能である。

謝辞：本研究は、JSPS科研費の研究課題番号：19K04750と20K03138, 21K04405の助成を受けて遂行された。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) Sugihara,K. and Kikata,J.: Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, *Journal of Computing in Civil Engineering ASCE (American Society of Civil Engineers)*, Vol.27, pp.476-488, 2013.
- 2) 杉原健一,村瀬孝宏：3次元建物モデルの自動生成のための建物境界線のポリゴン整形, 土木学会論文集F3(土木情報学) Vol.72(2016) No.2 p.1\_167-I\_174.
- 3) 杉原健一, 沈 振江：四角形の方向性を考慮したポリゴン分割・整形による建物の自動生成, 日本建築学会 第41回情報・システム・利用・技術シンポジウム 査読付き, 2018.
- 4) 杉原健一,村瀬孝宏：窓やドアの設置可能な壁を明らかにするポリゴン分割法による3次元建物モデルの自動生成, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.45, pp.101-104, 2020-9

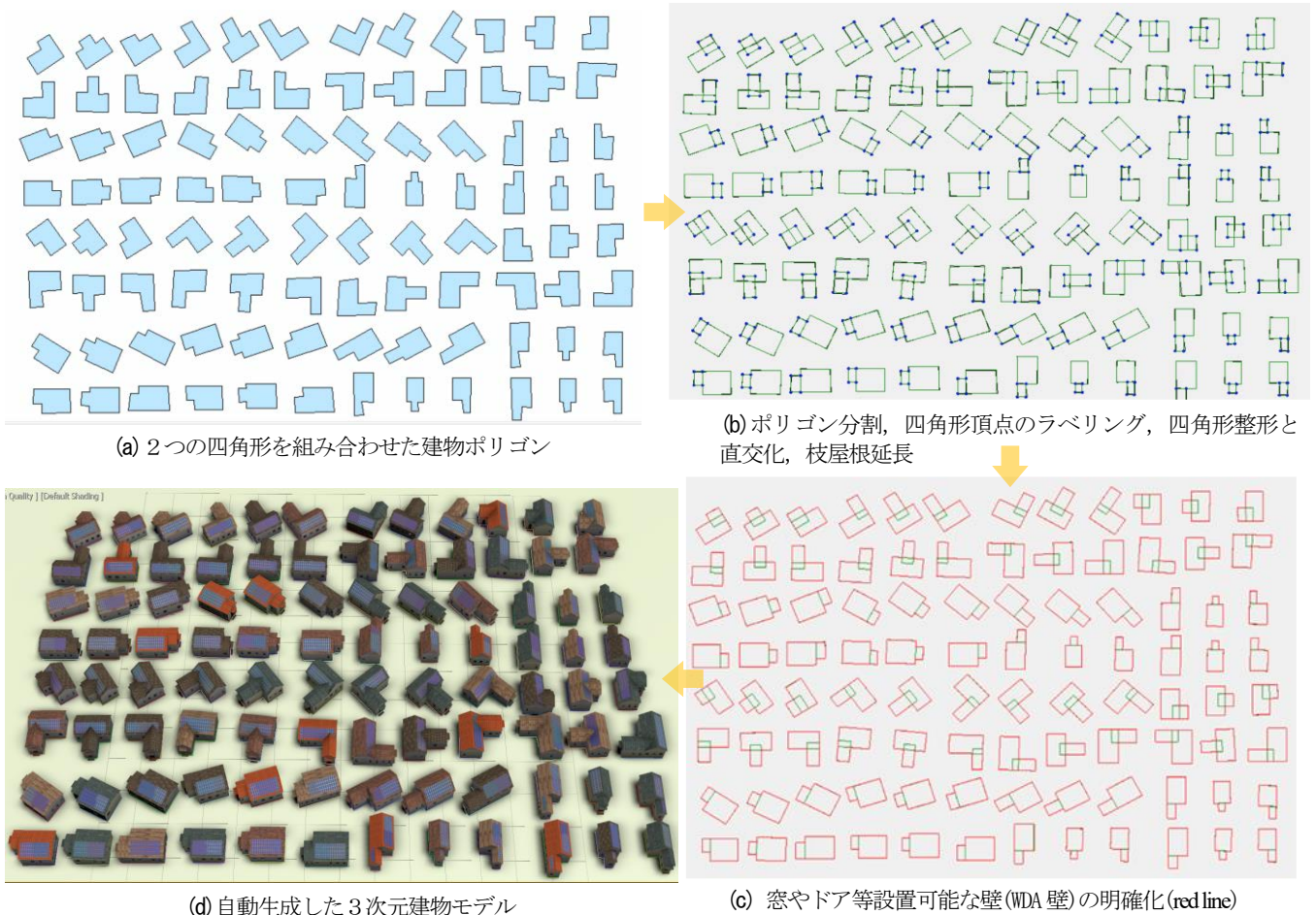


図-6 建物ポリゴン分割, 四角形頂点のラベリング, 四角形整形と直交化, 枝屋根延長, 窓やドア等設置可能な壁(WDA壁)の明確化, 自動生成された3次元建物モデル