

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：33701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06260

研究課題名(和文)安全地区へ集団移転等の整備案の3Dモデルを自動生成する防災まちづくり支援システム

研究課題名(英文)Automatic Generation of Alternative 3D Town Models such as Group Transfer to Safety Zone for Disaster Prevention Support System

研究代表者

杉原 健一 (SUGIHARA, KENICHI)

岐阜経済大学・経営学部・教授

研究者番号：80259267

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：復興まちづくりで安全地区へ集団移転するために「地区に隣接する丘陵地と一体的な整備」等の整備案の検討を地図上で行う。ここで、「整備案」を具体的な形にする「3Dモデル」は「整備の出来あがり」を周知し、合意形成に役立つ。ところが、現状では、3Dモデル作成には膨大な手作業を必要とする。そこで、自動運転やAIの分野でも応用されている計算幾何学の分野の「ストレートスケルトン手法」を用いて、「整備案の電子地図」上に描く「キー等高線」から、等高線群を自動的に描き、これまでの研究成果、「3次元都市モデルの自動生成システム」と統合させ、整備案の3Dモデルを自動生成するシステムの研究・開発を行った。

研究成果の概要(英文)：For everyone, a 3D town model is quite effective in understanding what if this alternative town plan is realized for sustainable development or disaster prevention. Traditionally, urban planners design the town layout by drawing building polygons and contour polygons of equal elevation for a 3d terrain model on a digital map. Depending on these polygons, the proposed system automatically generates a 3D town model placed on a 3d terrain model so instantly that it meets the urgent demand to realize another alternative plan. In our proposal, based on key contours manually drawn, the faces connecting key contours are automatically formed, and then 3D terrain models are created, using the straight skeleton computation for forming faces. After 3D terrain models are generated, 3D house models are placed on these prepared sites. Our methodology greatly saves the laborious manual steps of creating 3D town models.

研究分野：情報科学、計算幾何学、CG(コンピュータ・グラフィックス)、土木計画学、ソフトウェア開発

キーワード：自動生成 3次元建物モデル 3次元地形モデル 3次元都市モデル ストレートスケルトン手法 計
算幾何学 CG(コンピュータ・グラフィックス) まちづくり

1. 研究開始当初の背景

復興まちづくりや南海トラフなどの巨大地震・津波対策のために、デザイナーや専門家は、生態系ネットワークに配慮した、例えば、「地区に隣接する丘陵地と一体的な整備」等の整備案の検討を地図上で行う。ここで、案の構想段階から住民参加の機会を確保し、関心の醸成と計画・設計への寄与を促し、整備案の検討プロセスの「透明性」や「公平性」を高めることで、社会的合意の形成に取り組むことが重要であるとされる。しかし、通常、これら「整備案」は、住民に分りにくい文章や平面図の提案となっている。そこで、「整備案」を具体的な形にする「3Dモデル」は「整備の出来あがり」を分かりやすく周知し、合意形成に役立つ。ところが、現状では、3Dモデル作成には、地形や建物の3次元モデリングなど膨大な手作業を必要とするため、3次元モデル作成をあきらめるか、予算超過に陥ることになる。そこで、これまでの研究成果、「3次元都市モデルの自動生成システム」を発展させ、「整備案の電子地図」に基づき、整備案の3Dモデルを自動生成するシステムの研究・開発を目指すこととした。

2. 研究の目的

「安全地区への集団移転」等の整備案を具体的な形にする「3Dモデル」は、現実に出るであろう「整備案」を分かりやすく周知し、「防災まちづくり」を支援する。しかし、3Dモデルを作成するには、3次元CGソフト等を用いて、多大の労力と時間が必要である。そこで、本研究では、「整備案の電子地図」に基づき「安全地区への集団移転などの整備案の3Dモデル」を自動生成する「防災まちづくり支援システム」の研究・開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、上記、研究目的のために、以下の具体的な開発目標に対し、以下に記述する研究方法で研究を行った。

(1) 地形モデルの自動生成システムの開発

整備案の街が建設される整備した「3次元地形モデル」を自動生成するシステムの研究・開発を目的とする。そのために、自動運転やAI(人工知能)の分野でも応用されている計算幾何学の分野の「ストレートスケルトン手法」を用いて、キー等高線から等高線群を自動的に描き、それらに基づいて、地形の3Dモデルを自動生成する手法を用いた。

ドローン等による計測で、3次元地形モデルを構築できるが、整備案の3Dモデルはドローン等による計測だけでは構築できない。これは、整備案の3Dモデルは、これから出来上がるもので、現在はまだないものであるからである。通常、整備案の地形モデルは、等高線群を作図して、それらに基づいて地形モデルを生成する。しかし、この等高線群を作図するには時間と労力がかかり、また、トポロジ的に変化する等高線群を描くのは

技術的にも難しい。提案するシステムは、平面図上のキー等高線(地形を囲む外周線)を描くだけで、内部に等高線群を自動作図し、そして、3次元地形モデルの自動生成まで行い、製作効率を著しく向上させる。

本研究では、高さデータを持たない平面に対して、キー等高線(地形を囲む外周線)から、それに囲まれる「盛り上り」である3次元地形モデルを自動生成することを目指した。そのとき、外周線内部に3次元地形モデルの元になる等高線を描くには、外周線となるポリゴンの各辺がポリゴン内部に後退してプロセスで、「交差判定」や「辺消失判定」を行いながら、縮小ポリゴンを描いていくストレートスケルトン手法が有効であると考え、当手法を使うことで3次元地形モデルを自動生成するシステムを開発することとした。

(2) 非直角建物ポリゴンに基づく3次元建物モデルの自動生成

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)の頂角がほぼ直角の場合(直角建物ポリゴン)は、それを長方形の集まりまで分割・分離し、各長方形の上にBox形状の建物本体を配置して3次元建物モデルを自動生成した。しかし、建物の形態は多岐にわたり、全ての建物境界線が直角ポリゴンとは限らない。本研究では、Aichholzerらが提案したストレートスケルトン(straight skeleton)手法を用いて、3次元建物モデルを自動生成する。

本研究の新規性は、Aichholzerらの手法で述べられている辺消失イベントと分割イベント以外の「第3のイベント」を考慮すること、及び、縮小プロセスの最終段階の「収束の形」として、彼らの手法で述べられている「収束点」だけでなく、同様に面積がなく、これ以上収束しない「収束線分」も最終の収束の形であることを提案することにある。このように機能を拡張したstraight skeleton手法を用いて、非直角建物ポリゴンを含む、あらゆる形状の建物ポリゴンに対して、「数値演算エラー」を発生させることなく、現実によりうる形状の屋根付き建物の3Dモデルを自動生成することができる。

4. 研究成果

研究の主な成果、得られた成果の国内外における位置づけとインパクト、今後の展望などについて、以下にまとめる。

(1) 地形モデルの自動生成システムの開発

① 既往の研究と目的

等高線の自動作図について、「CADソフト」の分野で代表的なオートデスク社の製品AutoCAD Civil 3D、及び、「GIS(地理情報システム)」で代表的なArcGISでは、高さデータの与えられた点群に対して、同一の高さである点群を等高線でつないで、等高線を描画する機能を持つ。但し、この方法では、こうした高さデータを持つ点群データが

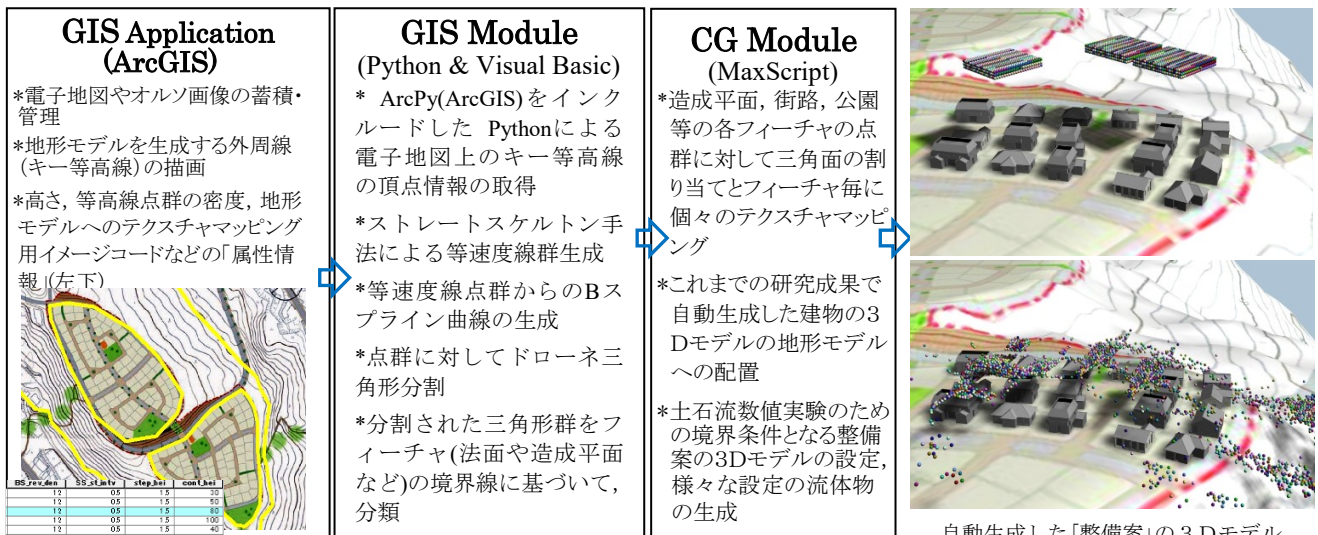


図1 3次元地形モデルの自動生成システムの構成と自動生成のプロセス

前もって準備されていることが前提となる。この高さデータの与えられた点群を作成することがかなりの時間と労力を要する。また、複数の等高線において、対応付けられた点を持つ等高線が、その間に内挿関数(interpolation function)を用いて、対応付けられた点間を内分する点を順に求め、つなぐことで等高線を自動作成する機能を持つCADソフトは存在する。しかしながら、起伏する稜線などに見られるような複数のピークを持つ尾根において、高さを上げるとともに、順に後退していく等高線は、自分自身の等高線と交差して、トポロジーが変化する可能性がある。こうした等高線では点に高さデータがない場合、点の対応付けが困難で、自動作成することはできない。

例えば、ある領域で、2つのピークを持つ山に等高線が収束するような場合、2つのピークを囲むような1つの等高線が高さを上げるとともに後退していくとき、ある高さで等高線は自分自身に交差し、2つのピークを囲む2つの等高線に分離する。このとき、領域の全ての点において高さデータが与えられていれば、交差する点(鞍点: saddle point)も分かるが、高さデータが与えられていない場合は鞍点の位置を求めるのは困難である。

本研究では、高さデータを持たない平面図上のキー等高線(地形を囲む外周線)から、それに囲まれる「盛り上り」である3次元地形モデルを自動生成することを目指した。そのとき、外周線内部に3次元地形モデルの元になる等高線を描くには、外周線となるポリゴンにおいて、ポリゴンの各辺がポリゴン内部に後退して行くとき、「交差判定」や「辺消失判定」を行いながら、縮小ポリゴンを描いていくストレートスケルトン手法が有効であると考え、当手法によって等高線群を自動作成し、3次元地形モデルを自動生成する手法を提案した。

但し、Aichholzerらのストレートスケルトンの論文では、数学的にスケルトンが持つ性

質、その証明は記述してあるが、スケルトンの構築方法の記述はないため、本研究の構築方法は独自の手法である。

②本システムの構成と自動生成のプロセス

本研究における地形の3Dモデルの自動生成のプロセスとシステム構成を図1に示す。街の3Dモデルの情報源は、図1左に示すような属性情報を関連付けたキー等高線(等高線ポリゴン)を描いた電子地図である。電子地図は、汎用GIS(ArcGIS)によって、蓄積・管理される。電子地図上の等高線ポリゴンは、本研究で開発したArcPy(ArcGIS)をインクルードしたPythonプログラムにより、ポリゴン頂点と属性情報などを取得する。Visual Basic.NETで開発したGISモジュールによって、次の前処理を行う。

(1) ポリゴン各辺が自らに平行で、一定速度で内部に後退する縮小ポリゴン群の生成(図2(b)&(f)参照)。(2) 縮小処理において、各イベントの検出とノードの生成、イベントでトポロジーが変化する縮小ポリゴンの各頂点において「縮小開始する前の元の辺情報(元辺情報)」の継承。(3) 特にSplitイベントが生じた時点のノードの生成と、イベントでトポロジーが変化した(分裂)した縮小ポリゴンにおける「元辺情報」の継承などのイベント事後処理(4)元のポリゴンの各辺について、ノードの元辺情報を調べ、合致する場合には、その元辺に属するノードとして認識、元辺の方向成分についてソートし、各元辺に対するmonotoneポリゴンを生成する。これらは同時にポリゴンのstraight skeleton(直線状骨格)となる(図2(c)&(g)参照)。

前処理したデータを、3次元CGソフト(Autodesk社の3ds Max)をコントロールする「CGモジュール」(3次元CGソフトのスクリプト言語MaxScriptでプログラム開発)が取り込み、3次元地形モデルを自動生成する。

本システムでは、3次元CGソフトのスクリプト言語で3Dモデルを自動的に作成する

が、3次元CGソフトにはTINサーフェス(不規則三角形網:点群に対してドローネ三角形を割り当てた面)を点群に割り付ける機能を有するものの、スクリプト言語には、点群をドローネ三角形分割する機能がない。

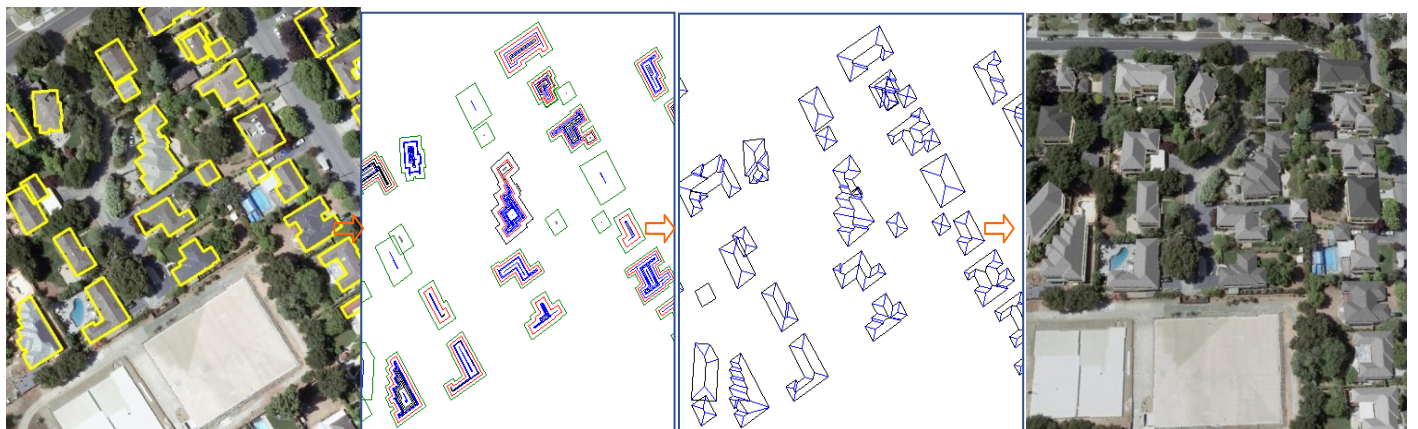
また、ドローネ三角形分割の処理には、自分自身を呼び出すことが必要であり、自分自身を呼び出すことのできる(recursive)言語体系でなければならない。そこで、図1のGISモジュールにおいて、ドローネ三角形分割を行うプログラムをVisual Basic.NETで独自に開発した。生成された点群をドローネ三角形分割し、分割された三角形群に三角面を割り当て、キー等高線に関連付けられた属性情報に基づいて、三角面群にテクスチャマッピングして自動生成した3次元地形モデルを図1右で示す。

本研究でソフト開発した、図1に示す「GISモジュール」と「CGモジュール」での処理は、全て自動的に処理される。本システムは国内外の市販のソフトではできない「キー等高線からの地形モデルの自動生成」を行う。ソフト開発の今後の展開として、「複数の」キー等高線からさらに精度の高い地形モデルの自動生成ができれば、国内外の地形モデル作成等のモデリングの分野でのインパクトは大きいものと考えられる。

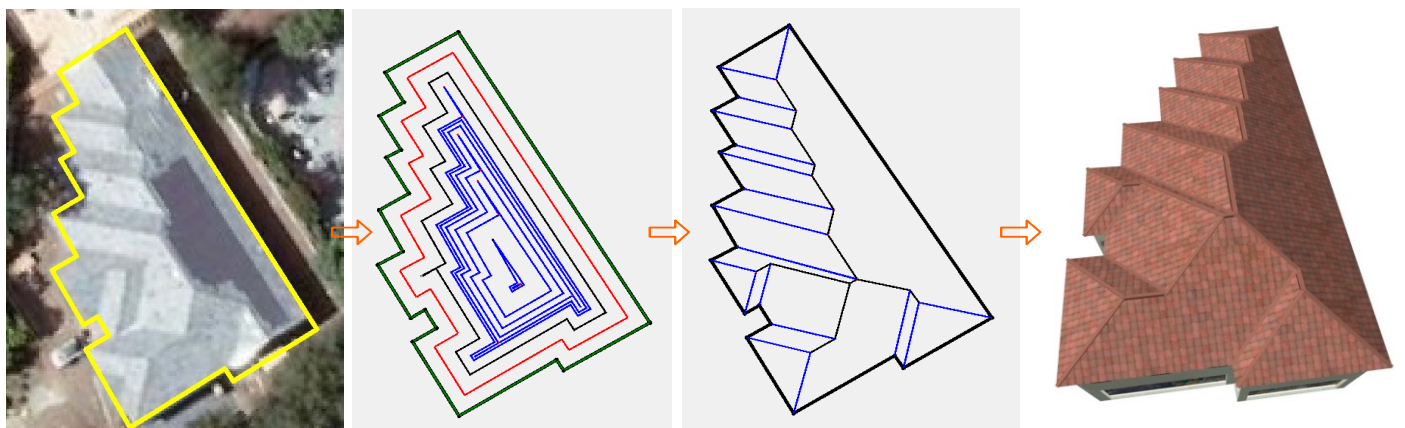
(2) 3次元建物モデルの自動生成

これまでの研究で「GISとCGの統合化による3次元都市モデルの自動生成システム」を提案してきた。本システムでは、GISが蓄積・管理する電子地図上の建物境界線が「直角ポリゴン(全ての頂角が直角)」である場合、それらを長方形の集まりにまで、分割・分離して、各長方形の上にBox形状の建物本体と、上から見て長方形の屋根を配置し、3次元建物モデルを自動生成した。しかしながら、全ての建物境界線が、直角ポリゴンとは限らない。本システムを適用した非直角建物ポリゴンも含む事例を図2に示す。図2の(b)と(c)で示す多くの建物ポリゴンにおいて、また、図2の(f)と(g)で示す1つの複雑な形状の直角建物ポリゴンにおいても、「第3のイベント」及び「収束線分」を定義し、プログラム中でそれらの場合を場合分けし、それらに対応するプログラムを開発することで、縮小処理及び straight skeleton の形成が正しく行われる。もし、これらの場合を「場合分けしない場合」は数値演算エラーを生じるか、不要なノードを生成することになる。

図2に示すような地域の建物群については、straight skeleton 手法によって、ほぼ現実に近い建物モデルを自動生成できた。



(a)電子地図上の建物ポリゴン、大部分は直角ポリゴン (b)等速度でポリゴン内部に後退する縮小ポリゴン群 (c)頂角の2等分線の集まりとして生成される straight skeleton (d) monotone ポリゴンに基づき自動生成された屋根を持つ建物



(e)拡大した直角建物ポリゴン (f)等速度でポリゴン内部に後退する縮小ポリゴン群 (g)頂角の2等分線の集まりとして生成される straight skeleton (h)monotone ポリゴンに基づいた屋根板から成り立つ3Dモデル

図2 Straight Skeleton 手法による縮小プロセスと自動生成された3次元建物モデル

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① Kenichi Sugihara, Youry Khmelevsky: “Roof Report from Automatically Generated 3D Building Models By Straight Skeleton Computation”, 2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Conference Publications, 23-26 April 2018, 査読有, http://2018.ieeesyscon.org/sites/2018.ieeesyscon.org/files/2018-04/SysCon-2018_program_v13-web.pdf
- ② 杉原健一、沈 振江: “拡張した straight skeleton 手法による屋根の自動生成”、建築学会 第 40 回 情報・システム・利用・技術 シンポジウム 査読付き、DVD-ROM 収録 6 page, 2017. 12. 14-15 <http://www.aij.or.jp/jpn/symposium/2017/171214-15.pdf>
- ③ Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: “Automatic Generation of a 3D Terrain Model from Key Contours”, General Track (Full Papers) of 2017 International Conference on CYBERWORLDS University of Chester, UK, 20-22nd September, 2017, 査読付き <http://cw2017.org/advance-programme.html>
- ④ Sugihara, Kenichi, and Zhenjiang Shen. “Automatic Generation of 3D Building Models with Efficient Solar Photovoltaic Generation”, 査読付き, International Review for Spatial Planning and Sustainable Development Vol. 5 (2017), No. 1 Special Issue on BIM and VR Technology, p.4-14: DOI: http://doi.org/10.14246/irspsd.5.1_4
- ⑤ 村瀬孝宏, 杉原健一: “ポリゴン縮小処理による 3 次元地形モデルの自動生成”, 地理情報システム学会講演論文集 Vol. 26, CD 収録 4 頁, 宮城大学, 査読無, 2017-10 <http://ujgis.blog.fc2.com/blog-entry-1729.html>
- ⑥ 杉原健一、沈振江: “倒壊シミュレーションによる 3 次元ハザードマップの自動生成”、日本災害情報学会、査読無、第 19 回学会大会 情報技術 (2)、京都大学防災研究所、2017. 10. 21 http://www.jasdis.gr.jp/_userdata/02yokoushu/19.pdf
- ⑦ 杉原健一、村瀬 孝宏: “外周線からの地形モデルの自動生成とその活用”、第 42 回土木情報学シンポジウム講演集 (旧: 土木情報利用技術講演集) CG/VR、査読無、Vol. 42, pp. 59-62, 2017. 9. 28-29 <https://ndlonline.ndl.go.jp/#!/detail/R300000002-1028715867-00>
- ⑧ 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. L167-L174、査読有、DOI: <http://doi.org/10.2208/jscejcei.72.L167>
- ⑨ 杉原健一、沈 振江: “ストレートスケルトン手法による 3 次元地形モデルの自動生成とその活用”、建築学会 第 39 回 情報・システム・利用・技術 シンポジウム 査読有、DVD-ROM 収録 6 page, 2016.12.8-9 <https://www.aij.or.jp/jpn/symposium/2016/161208-09.pdf>
- ⑩ Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: “POLYGON PARTITION AND SHAPE RECTIFICATION FOR AUTOMATIC GENERATION OF 3D BUILDING MODEL”, IEEE TENCON 2016, Oral Interactive Forum 847, Conference Publications, 23-25 November 2016, 査読有, DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848441
- ⑪ Kenichi Sugihara, Zhenjiang Shen: “Automatic generation of 3D house models with solar photovoltaic generation for smart city”, 2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC) Pages:1-7, IEEE Conference 2016, 査読有, DOI: 10.1109/ICBDSC.2016.7460391
- ⑫ 杉原健一: “等高線の自動作図による防災まちづくりの整備案となる 3 次元地形モデルの自動生成”、日本災害情報学会, 第 18 回学会大会 地域リスク, 日本大学文学部, 査読無, 2016. 10. 23. www.jasdis.gr.jp/_userdata/01gakkai_taikai/18kai/program-18.pdf
- ⑬ 村瀬孝宏, 杉原健一, 周欣欣: “街区における再生可能エネルギーに適した建物の 3D モデルの自動生成”, 地理情報システム学会講演論文集 Vol. 25, CD 収録 4 頁, 立正大学, 査読無, 2016-10-15 to 16, www.gisa-japan.org/news/file/2016_vol.2_program.pdf
- ⑭ 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直角ポリゴン整形”、第 41 回土木情報学シンポジウム講演集 (旧: 土木情報利用技術講演集) Vol. 37, pp. 131-134, 査読無、土木学会講堂および A B 会議室 (東京都・四谷)、2016. 9. 26-27、www.setsunan.ac.jp/civ/curriculum_to_pics/41program20160921.pdf
- ⑮ 杉原健一、沈 振江: “電子地図上の建物ポリゴンの整形による 3 次元建物モデルの自動生成”、建築学会 第 38 回 情報・システム・利用・技術 シンポジウム 査読有、DVD-ROM 収録 6 p 2015.12.10-11 www.aij.or.jp/jpn/symposium/2015/151210-11.pdf
- ⑯ K. Sugihara; T. Murase; X. Zhou: “Automatic Generation of 3D Building Models from Building Polygons on Digital Maps”, International Conference on 3D Imaging (IC3D), International Conference on Year: 2015 Pages: 1 - 9, 査読付き, DOI: 10.1109/IC3D.2015.7391817, IEEE Conference Publications
- ⑰ 杉原健一、沈振江, 林良嗣: “レジリエントな国土・地域をデザインするための整

備案の3Dモデルの自動生成”、土木計画学研究・講演集、第51回土木計画学研究発表会（春大会）、査読無、2015.6. <https://www.jsce.or.jp/committee/ip/conference/ip51/51program01.pdf>

- ⑱ 杉原健一、村瀬 孝宏、沈 振江：“建物境界線の直角ポリゴン整形による3次元建物モデルの自動生成”、地理情報システム学会 講演論文集、Vol.24、2015.10、4 page
http://rnavi.ndl.go.jp/mokuji_html/00009227440-0024.html

[学会発表] (計9件)

- ① Kenichi SUGIHARA, Zhenjiang SHEN: “Automatic Generation of 3D Building Models from Building Polygons for BIM (Building Information Model)”, International Symposium of Environment/Eco-technology and policy in East Asian, ETIC/RSET/SPSD Symposium 2018, Kanazawa: <https://ecokanazawa-u.jimdo.com/symposium-2018/invited-speakers/prof-sugihara/>
- ② Kenichi Sugihara, Takahiro Murase and Zhenjiang Shen: “Automatic generation of 3D models for mass granular flow simulation”, 2017 International Conference on Spatial Planning and Sustainable Development (SPSD 2017), Seoul
- ③ Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: “Automatic Generation of a 3D Terrain Model by Straight Skeleton Computation”, The 2017 issue of the International Conference on Computer Graphics and Digital Image Processing (CGDIP 2017). Prague Czech, July 2-4
- ④ Kenichi Sugihara, Youry Khmelevsky, Frank Zhang, Martin Wallace, “Roof Damage Assessment from Automated 3D Building Models”, Earth Observation Summit 2017 (CSRS2017), Universite du Quebec a Montreal (UQAM)
- ⑤ Kenichi Sugihara, Youry Khmelevsky, Frank Zhang, Martin Wallace. “Hail drop and debris flow simulation with automatically generated 3D models”, Earth Observation Summit 2017 (CSRS2017), Universite du Quebec a Montreal (UQAM) science centre
- ⑥ Kenichi SUGIHARA, Takahiro MURASE: “Building Polygon Rectification for Automatic Generation of 3d Building Models ”, 16th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2016), 11-13 December 2016, Hong Kong, DVD-ROM 収録
- ⑦ K. Sugihara, Zhenjiang SHEN:

“Automatic Generation of 3D Town Model for Efficient Solar Photovoltaic Generation”, 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2016), Proceedings of the International Conference, Osaka International Convention Center, Paper 006, 6 July-8 July, 2016

- ⑧ K. Sugihara, Zhenjiang SHEN: “Automatic Generation of 3D Buildings Models with Efficient Solar Photovoltaic Generation”, Proceedings of International conference 2015 for spatial planning and sustainable development (SPSD 2015) ISBN: 978-4-9905800-2-5, Aug. 7-9, 2015, 国立台北科技大学, TAIPEI
- ⑨ K. Sugihara, Zhenjiang SHEN: “Automatic Generation of 3D Building Models by Building Polygons Orthogonalization”, Proceedings of the IADIS International Conference Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing (CGVCVIP 2015), Las Palmas de Gran Canaria, Spain 22 - 24 July 2015

[その他]・ホームページ:

http://www.gifu-keizai.ac.jp/outline/teacher/sugihara_k.html (本務校の大学HP)
<http://anime.geocities.jp/mjsbp812/> (海外向け本研究成果発表用 アニメ含む)

・国際共同研究:
科研費のテーマである「3次元都市モデルの自動生成」を元にした応用システムの開発をカナダのオカナガン(Okanagan)大学の Youry Khmelevsky 教授が、カナダ政府の科研費である「National Science and Engineering Research Council-Engage Grant (NSERC)」に申請し、採択される。NSERC Engage College grant (501194-2016)。
<http://people.okanagan.bc.ca/ykhmelevsky/site/Grants.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉原 健一 (Sugihara Kenichi)
岐阜経済大学・経営学部
情報メディア学科・教授
研究者番号 : 80259267

(2) 研究分担者

沈 振江 (SHEN Zhenjiang)
金沢大学・理工研究域・環境デザイン学系
教授
研究者番号 : 70294543