

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 15 日現在

機関番号：33701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 年～2012 年

課題番号：22560537

研究課題名（和文） Web ベースの遺跡等の 3D モデルを自動生成する考古学、まちづくり支援システム

研究課題名（英文） Web based Archeology and Urban Planning Support System by Automatic Generation of 3D Ancient Buildings

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

研究成果の概要（和文）：古の建物を復元する 3D モデルは歴史教育、考古学調査研究、古代建物の復元による観光まちづくり等の様々な分野で利活用が期待される重要な「情報基盤」である。古代の遺跡や中世の街並み等を復元する 3 次元モデルを自由に観察できるシステムがあれば、多くの研究者や住民が発掘調査や考古学研究の成果を理解でき、考古学に資するものである。しかし、3 次元モデルを作成するには、3 次元 CG ソフトを用いて多大の労力と時間を要する。そこで、本研究では、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、「古代の建物等を復元する 3D モデルを自動生成する考古学、まちづくり支援システム」の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：3-D ancient city models including temples, pagodas and ancient gate are important in archaeological research and urban planning. To facilitate “Public Involvement”, 3-D models visualizing a real city or an ancient city by a 3-D CG can be of great use. However, creating 3D city models is labor intensive, using a 3D modeling software such as 3ds Max or SketchUp. In order to automate laborious steps, we are proposing a GIS and CG integrated system for automatically generating 3D building models, based on building polygons (building footprints) on digital maps. Digital maps shows most building polygons' edges meet at right angles (orthogonal polygon). In the digital map, however, not all building polygons are orthogonal. In either orthogonal or non-orthogonal polygons, we propose the new system for automatically generating 3D building models with general shaped roofs such as hexagonal temple building by straight skeleton computation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：地域都市計画、景観・デザイン

1. 研究開始当初の背景

近年、発掘調査の成果を発表する現場説明会や年間の発掘調査を住民へ公開することが重要視されている。しかし、これらの公開は、発掘調査を復元するイメージ図のない、住民に分りにくい文章や平面図の報告書の展示となっている。公開において、少しでも復元イメージ図があれば、多くの住民が発掘調査の成果を理解でき、考古学研究にも役立つ。ところが、現状では、イメージ図作成には、復元対象の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、「遺跡や中世の街並みの3次元モデルを自動生成する考古学研究、まちづくり支援システム」を開発することを目指すこととした。

2. 研究の目的

遺跡など、かつてあったであろう建物等を復元する3次元モデルを自由に観察できるシステムがあれば、多くの住民が発掘調査や考古学研究の成果を理解でき、まちづくりにも役立つ。遺跡や中世・近世の街並み、城郭等を復元する3次元モデルは、以下の分野で利活用が期待される重要な「情報基盤」である。

1)埋蔵文化財の発掘調査を行う行政 2)資料館及び博物館 3)観光協会 4)文化財保存・復元を行うNPO法人 5)教育機関 6)町並み整備を行う行政。

しかし、復元する3次元モデルを作成するには、CGソフトを用いて、多大の労力と時間が必要である。そこで、本研究では、これまでの研究成果：「電子地図に基づく3次元都市モデルの自動生成システム」を発展させ、「遺跡や中世の街並み等を復元する3次元モデル」を自動生成し、共有・更新を行える「Webベースの遺跡等の3次元モデルを自動生成する考古学研究、まちづくり支援システム」の開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、具体的に、次の当初の研究手法で研究を行った。

(1) 建築部品の自動生成システムの開発

遺跡や中世の建物に見られるような複雑な形状の建物、あるいは、古代の宮殿などの屋根下の組み物、鴟尾(しび)、鬼瓦などの古代の建物に備わった複雑な形状物を色々な視点から撮影して得られる「ステレオ画像」と「輪郭線と特徴線を含む正面図、側面図」等から、複雑な形状の「遺跡や中世の3次元建物モデル」を生成する手法を研究開発する。

(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

これまでの研究では、建物境界線(建物ポリゴン)の頂角が直角のポリゴンを長方形の集まりにまで、分割・分離して、これら長方形の上に、Box形状の建物本体や上から見て長方形の屋根を配置して、3Dモデリングを行った。しかし、全ての建物ポリゴンが直角ポリゴンとは限らない。本研究では、非直角建物ポリゴン(non-orthogonal)に対して、Straight Skeleton(直線状の骨格)手法を用いて、自動生成する手法を研究した。

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) 建築部品の自動生成システムの開発

①背景と目的

過去を復元するための推論過程で、ビジュアライゼーション(3Dモデル化)が重要な役割をはたすと期待されている。掘立柱の遺構(柱穴)とその他の断片的な情報を総合的に分析・推論して、上部構造(建物)を復元する事例が多い。この推論する過程で、断片的な物証をよりどころにして、原形を脳裏にイメージしなければならぬ場面にしばしば遭遇するが、往々にして、これは正確さを欠いたり、ときには誤った思いこみの原因につながる。そこで、3次元CGを用いて、上部構造の3次元モデル化を行えば、こうした問題が劇的に軽減できると考えられる。

また、発掘調査の成果を住民に説明することや古の街並みを復元する町並み整備案等を住民へ公開することが、公の仕事の合意形成という観点から、重要視されている。このとき、現状では、遺跡や中世の街並み等の平面図や地図の公開や、一般的には難解な文章で説明を行っている。整備案の地図や難解な文章では、専門家でないと案の出来上りを理解することは困難であり、また、かつてあった遺跡のイメージを思い浮かべることができない。遺跡など、かつてあったであろう建物等の3Dモデルを自由に観察できるシステムがあれば、多くの住民が発掘調査や考古学研究の成果を理解でき、まちづくりにも役立つ。

しかし、現状では、この3Dモデル作成のためには3ds MaxやSketchUpなどの3次元CGソフトを用い、多くの手作業を行う必要があり、多大な時間と労力を掛けている。多大の労力と時間が必要なため、外注する場合も予算超過に陥ったり、モデル作成を断念することが多い。そこで、入手可能であれば

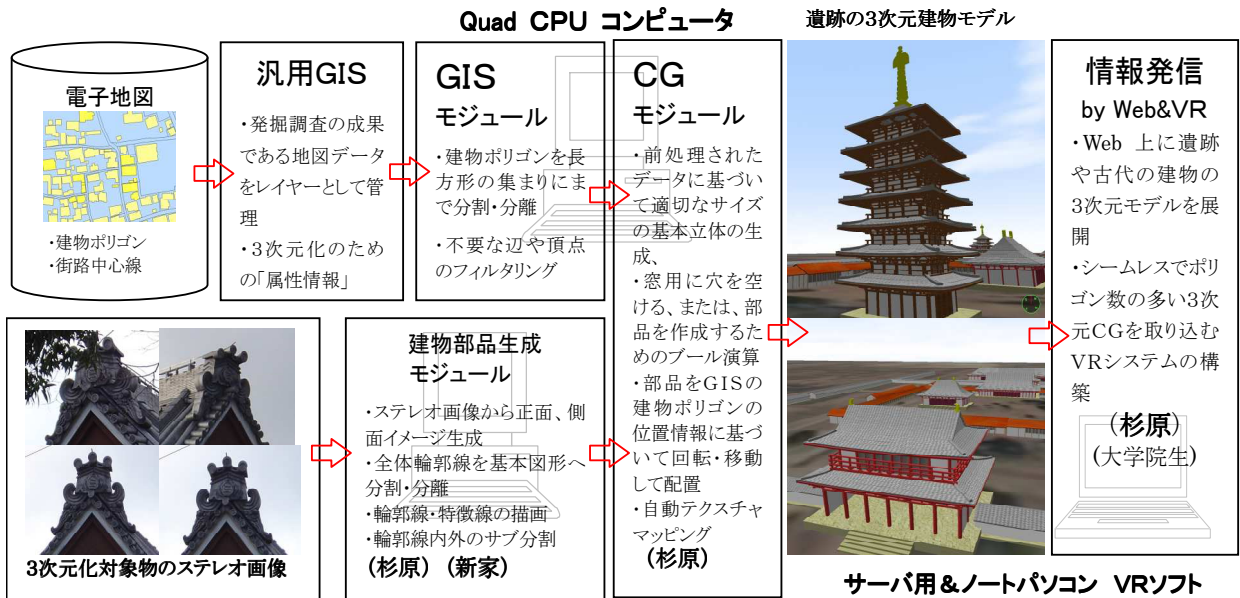


図1 古代都市の3次元モデル自動生成のプロセスと構成(設備備品)と研究員の役割分担

発掘調査の地図に基づいて、往時の建物などを再現する3Dモデルをプログラムで自動生成するシステム(上の図1参照)を提案する。具体的には、これまでの研究成果である「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」、これは現代の建物を自動生成するプログラムとなっているが、それらを改変して、古代の建物などを復元する3Dモデルを自動生成するプログラム開発を行った。

②本システムの構成と自動生成のプロセス

「過去の街並み」を再現するには、コンサルタント企業が提出する発掘調査結果、古地図などの地図情報に基づき、主にCGを用いて、街並みの3Dモデルを製作する。これらの街並みの3Dモデルを作成するには、多くの手作業で作成を行う必要があり、多大な時間と労力を掛けている。本研究における自動生成のシステム構成と3D建物モデルの自動生成のプロセスを図1に示す。建物の3Dモデルの情報源になるものは、発掘調査の電子地図である。電子地図は、汎用GIS(ArcGISなど)によって、蓄積される。電子地図上の建物ポリゴンは、GISのソフト部品(MapObjects)を用いてプログラム開発したGISモジュールにて、**(1)直角ポリゴンを「長方形の集まり」にまで、分割・分離する。****(2)建物ポリゴン上の不要な頂点をフィルタリングする。****(3)建物境界線よりセットバックした所にある窓やドアを配置するため内側境界線を生成する、などの「前処理」を行う。**前処理したデータを、3次元CGソフト(3ds Max)をコントロールするCGモジュール(MaxScriptでプログラム開発)が取り込み、以下の処理を自動的に行い、3D建物モデルを自動生成する。

(1)屋根や建物本体、窓など建物の部品となる、適切な大きさの直方体、三角柱、多角柱などの基本立体(プリミティブ)を作成する。**(2)これらの基本立体の間で、屋根や窓用に穴を空ける、または、部品を作成するためのブール演算を行う。****(3)作成した部品を回転する。****(4)正しい位置にそれらを配置する。****(5)それらにテクスチャマッピングを施す。**

③建築部品の自動生成のプロセス

社寺建築を構成する主要な建築部品の一つに、柱または台輪(だいわ)上にあつて、軒を支持するために斗(ます)、肘木、桁などで構成される建築部分を「組物(くみもの)」がある。寺院や門などの古代の建物において、屋根を支える軒下の組物は、古代中国、朝鮮からの、主に帰化人より伝来されたもので、組物を構成する各パーツの形状やその組み立て方は、ほぼ、古代から標準化されている。

本研究では、この組物を構成する部品の3Dモデルを、各部品の正面図と側面図から自動生成することを試みた。図2に、その自動生成のプロセスを示す。前処理として、各部品を正面と側面から見たときの、部品の外側の輪郭線を、開発した「図形描画ソフト」上手作業で描く。この図形描画ソフトは、描いた輪郭線の図形情報を、正面図と側面図として、エクスポートする。図1に示すCGモジュールが、ヘッダファイルとして、輪郭線図形情報を受け取る。

本研究において、平城宮の南面中央に作られた正門である朱雀門を自動生成のターゲットとした。そして、それを構成する詳細な部品として、朱雀門の「組物」を自動生成の対象とした。図2において、組物のW形の部品(肘木)とL字形の部品(桁)の側面図、正面図から3Dモデルが生成される様子を示す。

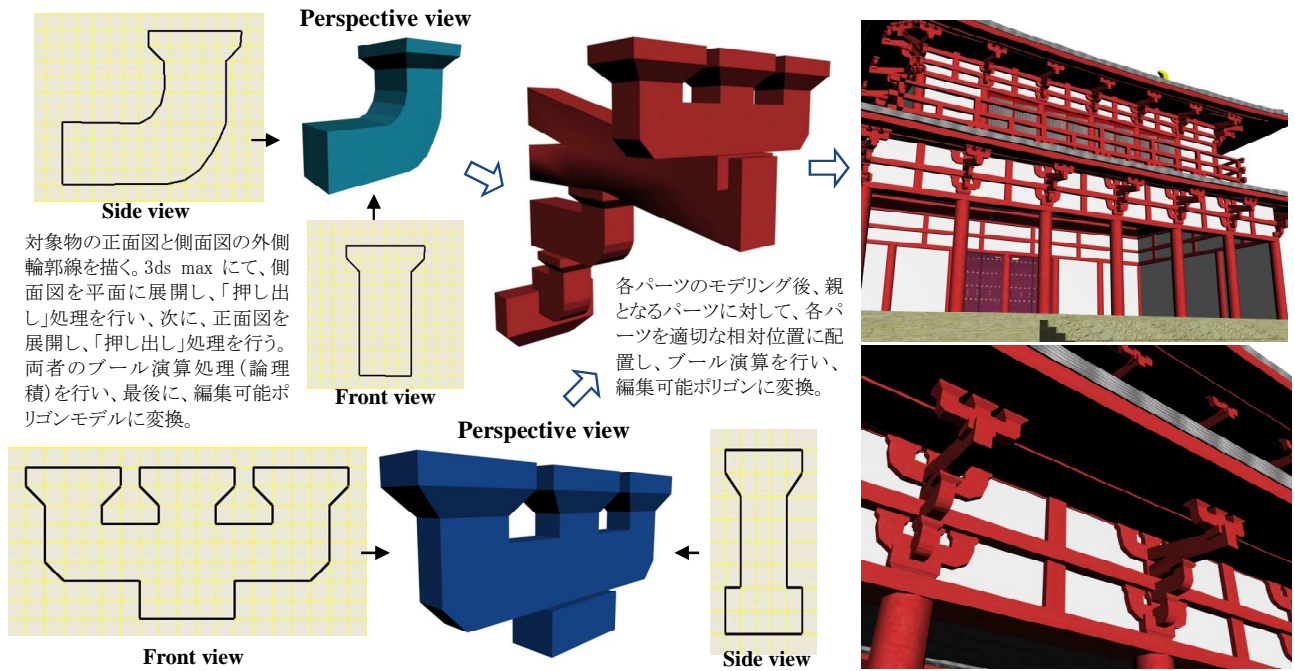


図2 軒下の組物の3Dモデルの自動生成のプロセス

CGモジュールが以下の手順を行い、3Dモデルを自動生成する。

- (1) 描いた外側輪郭線をヘッダファイルとして取り込む。(2) 輪郭線の範囲を調べる。(3) 輪郭線を実寸値にスケール変換する。(4) 正面からみた対象物の輪郭線を x y 平面に展開する。(5) 輪郭線を部品の長さに応じて押し出し(Extrude)処理を行う。(6) 押し出しされて形成された3Dモデルを y 軸回りに回転し、2段階目の押し出しとブール演算処理のために、適切に位置合わせする。(7) 側面からみた対象物の輪郭線を x y 平面に展開する。(8) 側面輪郭線を部品の長さに応じて押し出し処理を行い、3Dモデルを形成する。(9) 形成された2つの3Dモデルでブール演算(論理積)を行う。(10) ブール演算した3Dモデルを、面の集まりである「編集可能ポリゴン」モデルに変換する。

(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、筆者らは、「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。本研究では、特に、非直角建物ポリゴン、例えば、正多角形の建物境界線に対して六角堂、八角堂などの「多角堂の3Dモデル」を、Straight Skeleton

手法を用いて、自動生成する手法を提案し、それに成功した。本研究における自動生成のシステム構成と3D建物モデルの自動生成のプロセスを図3に示す。古代都市の3Dモデル(図3右)の情報源は、コンサルタント企業が提出する発掘調査結果、古地図などの地図情報をデジタル化した電子地図(図3左)である。電子地図は、汎用GISによって、蓄積・管理される。電子地図上の建物ポリゴンは、GISのソフト部品を用いてプログラム開発した「GISモジュール」にて、以下の「前処理」を行う。

- (1) 直角ポリゴンを「長方形の集まり」にまで、分割・分離する。(2) 建物ポリゴン上の不要な頂点をフィルタリングする。(3) 建物境界線よりセットバックした所にある窓やドアを配置するため内側境界線を生成する。(4) 建物ポリゴンに対してStraight Skeletonを生成する。

このGISモジュールとCGモジュールでの処理は、本研究で開発したプログラムによって、全て自動的に処理される。本研究では、建物境界線が直角か非直角ポリゴンであることを問わず、その上に屋根付き3次元建物モデルを、Straight Skeleton手法を用いて、自動生成する手法を提案した。特に、正多角形の建物境界線に対して六角堂、八角堂などの多角堂の3Dモデルを自動生成した(図3右)。Straight Skeleton手法で建物の3Dモデルを自動生成する事例は他には見られない。

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)

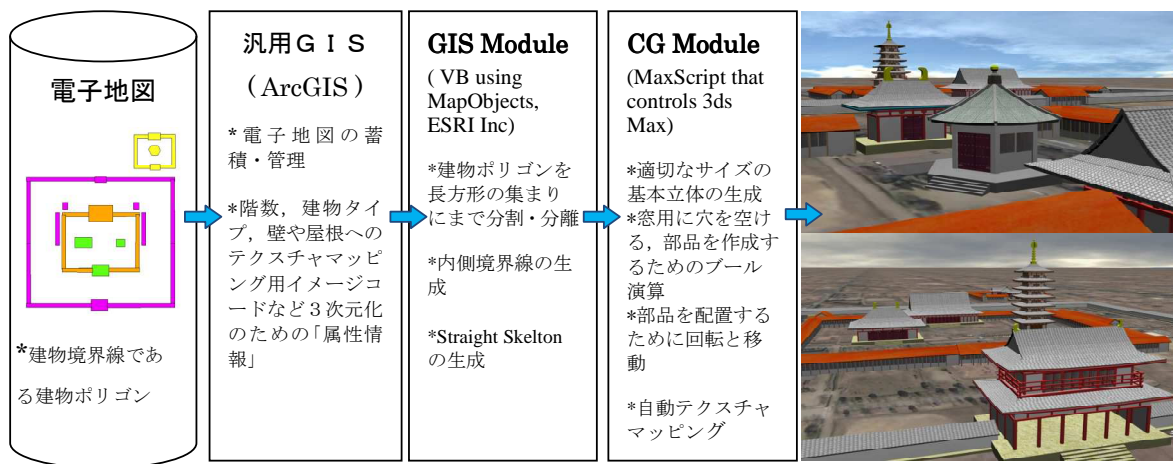


図3 自動生成システムの構成と古代建物の3Dモデルの自動生成のプロセス

〔雑誌論文〕(計17件)

- ① Kenichi Sugihara: "Knowledge-based automatic generation of 3D building models from building footprint by straight skeleton computation", International Journal of Knowledge and Web Intelligence (IJKWI) 2012 - Vol. 3, No.4 pp. 361 - 371, 査読有り, DOI: 10.1504/IJKWI.2012.051319
- ② Kenichi Sugihara and Junne Kikata: "Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE (American Society of Civil Engineers), 査読有り, January 2012, DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000192,
- ③ Kenichi SUGIHARA: "Automatic Generation of 3-D Building Models by Straight Skeleton", ACM SIGGRAPH ASIA 2011, Technical Sketches, Visualization, Proceeding SA '11, 査読有り, Sketches Article No. 24, DVD-ROM, doi:10.1145/2077378.2077408 12-15 DEC, 2011.
- ④ 杉原健一, 周欣欣, 木村寛之, 村瀬孝宏: "発掘調査地図に基づく古代建築物の3Dモデルの自動生成システム", Visual Computing / グラフィクスとCAD合同シンポジウム 2011, 査読付き, DVD-ROM収録 4 page, 2011.6.25-26
- ⑤ 杉原健一, 村瀬孝宏, 周欣欣: "Straight skeleton手法による非直角建物ポリゴンに基づく3D建物モデルの自動生成", Visual Computing / グラフィクスとCAD合同シンポジウム 2011, 査読付き, DVD-ROM収録 4 page, 2011.6.25-26
- ⑥ Kenichi Sugihara, Xinxin Zhou, Takahiro Murase: "Automatic generation of 3D building models from orthogonal building footprint", Proceedings of SPIE, IS&T/SPIE Electronic Imaging, 3D Imaging, Interaction, and Measurement, Vol.7864, pp.78640 T1 - T9, 査読有り, doi:10.1117/12.872133, January 2011
- ⑦ 杉原健一, 周欣欣, 村瀬孝宏: "建物の3Dモデル自動生成のための多重建物ポリゴン処理", 土木学会 情報利用技術委員会 2010年度土木情報利用技術論文集 査読付き, Vol.19, pp.221-226, 2010.10
- ⑧ 杉原健一, 沈振江, 林良嗣: "計画プロセスの合意形成において利活用できる3次元都市モデルの自動生成", 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM(209), 査読無し, 2013.6.
- ⑨ 杉原健一, 沈振江: "非直角建物ポリゴンに基づく古代建物等の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.21, 査読無し, DVD-ROM収録 4 page, 2012.10
- ⑩ 杉原健一, 沈振江: "Straight Skeleton手法による建物の3Dモデルの自動生成", 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, 査読無し, 2012.9
- ⑪ 杉原健一, 村瀬孝宏, 周欣欣: "自動生成する古代建物の3Dモデルによる歴史教育支援システムの開発 - Straight Skeleton手法による多角堂の3Dモデルの自動生成 -", 教育システム情報学会(JSiSE), 第37回全国大会講演論文集, 査読無し, CD-ROM収録 2 page, 2012.8.22
- ⑫ 杉原健一, 沈振江: "発掘調査地図に基づく古代建物の3Dモデルの自動生成", 土木情報利用技術講演集(旧: 土木情報

- システムシンポジウム講演集) Vol. 36、pp. 87-90、査読無し、2011. 10
- ⑬ 杉原健一、沈 振江：“防災まちづくりのための基盤地図に基づく3次元都市モデルの自動生成”、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 18、査読無し、2011. 10、DVD-ROM収録 4 page
- ⑭ 周欣欣、杉原健一、木村寛之、村瀬孝宏：“発掘地図に基づく古代の建築物の3Dモデルの自動生成と歴史教育への応用”、教育システム情報学会(JSiSE)、第36回全国大会講演論文集、査読無し、pp. 210-211、2011. 9. 1
- ⑮ 杉原健一、村瀬孝宏、周欣欣：“防災教育のための街並みの3Dモデルの自動生成”、教育システム情報学会(JSiSE)、第36回全国大会講演論文集、査読無し、pp. 108-109、2011. 9. 1
- ⑯ 杉原健一、沈 振江：“GISベースの古代建築物の3Dモデルによる考古学、まちづくり支援システム”、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 17、2010. 10
- ⑰ 周 欣欣、杉原 健一、村瀬 孝宏：“古代の建物の3Dモデルによる歴史教育を支援するシステムの開発”、教育システム情報学会(JSiSE)、第35回全国大会講演論文集、pp. 75-76、2010. 8 ……学術奨励賞受賞(講演総数288件中8件)

[学会発表](計6件)

- ① K. Sugihara, Y. Hayashi: “Automatic Generation of 3-D Building Models from Orthogonal Building Polygons”, In Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE XIII), Proceedings of the International Conference, 30 June-2 July, 2010, Nottingham University Press, Paper 64, p. 127
- ② Kenichi SUGIHARA, Zhenjiang SHEN: “Automatic Generation of 3-D Ancient Building Models by GIS and CG Integration”, Proceedings of Region 4th UIA 2010 International Symposium on the Conservation of Architectural Heritage, pp. 218-223
- ③ Kenichi SUGIHARA, Zhenjiang SHEN: “Automatic Generation of 3D Building Models for Urban Planning”, Proceedings of International Conference 2011 on Spatial Planning and Sustainable Development, July 29-31 2011, Kanazawa University, DVD-ROM収録
- ④ Kenichi SUGIHARA: “ Automatic

- Generation of 3D City Models”, 7th International Symposium on Digital Earth: the Urban Environment, 23-25 August 2011, , USB収録 9 page
- ⑤ Kenichi Sugihara, Xinxin Zhou, Takahiro Murase: “Knowledge-based system for automatic 3D building generation from building footprint”, Proceedings of 5th International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services (KES IIMSS 2012), Gifu, Japan, 23-25 May 2012, pp. 363-373, DOI10. 1007/978-3-642-29934-6_35
- ⑥ Kenichi SUGIHARA, Zhenjiang SHEN: “Automatic Generation of 3D Building Models by Straight Skeleton Computation”, Proceedings of the 12th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2012) :National Taiwan University, Taipei, Taiwan November 1-2, 2012, DVD-ROM収録

[図書](計1件)

- ① Kenichi Sugihara, Zhenjiang Shen: “Automatic Generation of Virtual 3D City Models for Urban Planning”, Geospatial Techniques in Urban Planning, Edited by Zhenjiang Shen, Advances in Geographic Information Science 2012, pp 265-283, DOI: 10.1007/978-3-642-13559-0_13, Springer 2012 Jan

[その他] ホームページ : http://www.gifu-keizai.ac.jp/outline/teacher/sugihara_k.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

(3) 連携研究者

新家 茂 (Niinomi Shigeru)
岐阜経済大学・経済学部・教授
研究者番号: 40211453