

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 元年 6 月 27 日現在

機関番号：43706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01045

研究課題名(和文) スマート機器などの環境3Dモデルを自動生成する環境教育支援システム

研究課題名(英文) System to Support Environmental Education by Automatic Generation of Environmental 3D Models such as Smart Devices

研究代表者

村瀬 孝宏 (MURASE, TAKAHIRO)

中京学院大学短期大学部・その他部局等・教授

研究者番号：70342053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能エネルギーによる発電などを制御する「スマート機器」を作成し、3次元都市モデル上に表示することにより、具体的な「次世代発電施設」や「太陽光発電を最適化する建物や街並み」はどのような形態になるか検討を行える環境教育支援を可能にした。

従来は、多大な時間と労力を掛け、手作業で3Dモデルを作成している。本研究では、施設レイアウトや住宅等の電子地図に基づいて、次世代発電施設や建物の3Dモデルをプログラムで自動的に作成するシステム開発を行い、「環境3Dモデルを自動生成する環境教育支援システム」を開発提案した。

また、環境整備を目的とした「3次元地形モデル」を外周線から自動生成するシステムも開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元都市モデルにおいて、敷地や建物を太陽光発電効率に適した形状にして、再生可能エネルギーの利用を進めることが重要である。本研究では、電子地図に基づいて、再生可能エネルギーに適した建物の3Dモデルを自動生成するシステムを開発した。活用事例として、区画整理前後の街区などで再生可能エネルギーに適した建物形状で発電量がどのように変化するか数値実験することを可能にした。

本研究の開発システムにより、環境教育を支援する教材となる、環境3Dモデル、街並みの3Dモデル、3D地形モデルの制作時間を大幅に削減でき、メーカーや環境学の研究者によって設計案が異なるとき、それぞれの提案に応じた3Dモデルを提示できる。

研究成果の概要(英文)：We were able to create 3D models of smart devices that control renewable energy generation etc. and display them on 3D city models. By using this developed system, we have made it possible to support environmental education that allows us to consider what form “next-generation power generation facilities” and “buildings and cityscapes that optimize solar power generation” will be.

Usually, such 3D models were created manually, spending a lot of time and effort. In this research, we developed a system that automatically creates 3D models of next-generation power generation facilities and buildings based on the layout of facilities and electronic maps of houses. In this way, we proposed “Environmental education support system that automatically generates environmental 3D model”.

We also developed a system that automatically generates from the perimeter the “3D terrain model” for the purpose of environmental maintenance.

研究分野：教育工学

 キーワード：環境教育 環境都市 学習支援システム 再生可能エネルギー 3次元建物モデル 環境3Dモデル
太陽光発電 3次元地形モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 3次元都市モデル上の「電力網のスマートグリッド化」や「太陽光発電に適した建物」や「風力発電」といったものの3Dモデル(環境3Dモデルとする)は、ゲーム世代の学習者に興味を持たせ、環境問題を認識し、環境教育に資するものである。これらの3Dモデルが配置される「3次元都市モデル」は、重要な「情報インフラ」であるため、国内外のリモートセンシング、CV(コンピュータビジョン)やCGの分野において、地上の建物等の地物の3次元モデルの生成の研究がさかんである。3次元レザースキャンニングや航空写真、近距離のステレオ画像からパターン認識やCVの技術を用いて、屋根や壁などの建物の構成物(building features)を抽出し、建物の3次元モデルを自動生成あるいは半自動生成する[1][2]。しかしながら、建物をスキャンして得られる点群からパターン認識の技術で建物の概形モデルを抽出できる場合もあるが、その形態の複雑さや多様性、パターン認識技術の能力不足等で、実用に耐えられるレベルでの完全自動抽出は達成されていない[3]。

(2) CGの分野では、L-Systems やフラクタル等のルールを盛り込んだアルゴリズムを用いて、自動生成する「手続き型モデリング(Procedural modeling)」の研究がある[4]。この手法においても、GIS(地理情報システム)が蓄積・管理する電子地図から建物境界線等のデータを取り込んで、3次元モデルを自動生成することが多い。しかし、これらの場合、建物境界線を基本図形(長方形)に分割することなく、建物境界線全体に対して一般的な「straight skeleton」手法を用いて、屋根を形成する。そのため、連なる町屋の屋根にあるような、屋根頂線が建物境界線の長辺に垂直な建物を作ることが出来ない。本研究代表者らは、「GISとCGの統合化による3次元都市モデルの自動生成」という研究課題に取り組んできた。当システムでは、建物境界線を長方形の集まりに分割・分離し、境界線に関連付けた属性情報に基づいて、モデルを生成する。しかし、スマート化した柱上トランス等の複雑な形状物である「スマート機器」、「太陽光発電に最適化した建物」に見られるような複雑な形状の建物は、当システムで生成が不可能であった。そこで、本研究では、対象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「環境3Dモデル」を生成する手法の研究を目的とする。これは、国内外のCVやCGの建物の3次元モデル自動生成の分野では、他に見られない研究となる。

2. 研究の目的

(1) 東日本大震災以降、太陽光、風力、水力等の再生可能エネルギーによる発電を普及し、原子力発電に頼らない持続可能な社会の実現を目指すことが、国を挙げて全力で取り組むこととされる。これらエネルギーによる発電・送電を制御する「スマート機器」や各発電施設の3Dモデルを作成し、3次元都市モデル(例えば、グーグルアース)上に載せれば、具体的に、メガソーラーなど「次世代発電施設」はどのような形態になるか、あるいは、「太陽光発電を最適化する建物や街並み」はどのような形態になるかなどの検討を行え、環境教育に資する。しかし、現状では、多大な時間と労力を掛け、3Dモデルを作成している。そこで、施設レイアウトや住宅等の電子地図に基づいて、次世代発電施設や建物の3Dモデルをプログラムで自動的に作成するシステム開発を行い、「スマート機器などの環境3Dモデルを自動生成する環境教育支援システム」を提案する。

(2) 復興まちづくり、あるいは、今後の巨大地震対策のために行政や専門家は、安全地区への集団移転とする整備案や復興計画などの検討を地図上で行う。その場合、「地区に隣接する丘陵地と一体的な整備」等の整備案や復興計画を整備案を具体化した「3Dモデル」の地図と共に提案することができれば、現実に来るであろう「整備案」を分かりやすく周知し、合意形成に役立ち、「街づくりのための環境教育」を支援する。このような「整備案の3Dモデル」を構成する整備した地形の元になる「3次元地

形モデル」を自動生成するシステムの研究・開発をあわせて目的とする。そのために、計算幾何学で注目されている「ストレートスケルトン(Straight Skeleton)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3Dモデルを自動生成する手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、複雑な形状となる「太陽光発電に最適化した建物」や、スマート化した柱上トランス等の「スマート機器」などの「環境3Dモデル」を効率よく作成するために、「正面、側面イメージに描いた輪郭線・特徴線」に基づいて、「環境3Dモデル」などを自動生成するシステムを開発する。そのために、システムへの要求定義、外部設計、プログラム設計等という一連の開発工程を経て、システム開発する。研究では、図1に示すようなシステムで「環境3Dモデル」や「太陽光発電に最適化した建物モデル」の自動生成を行う。本システムでは、これまでの研究成果である「3次元都市モデル自動生成システム」を「太陽光発電に適した建物モデル」生成用に改変したシステムに、輪郭線と特徴線を描いた正面、側面イメージに基づいて「スマート機器」などの複雑な形状の環境3Dモデルを自動生成するモジュールを組み込み、「環境都市の3次元モデル」の自動生成を目指す。同時に、環境都市の3次元モデルを共有・更新の行えるWebサーバとVRシステムの開発も行う。

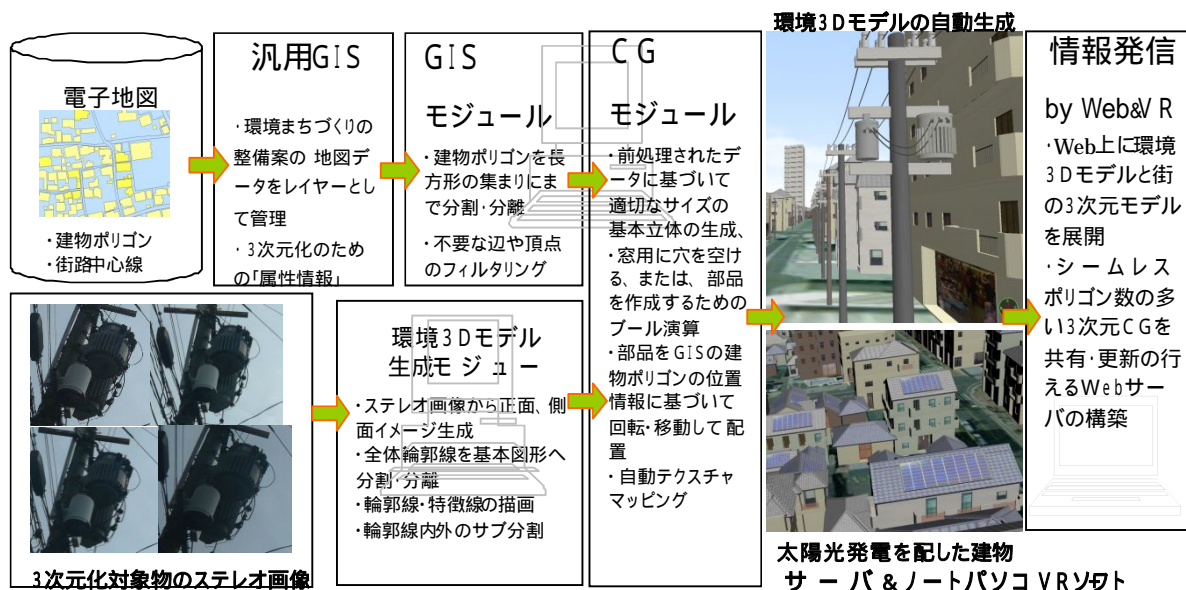


図1 環境3Dモデルの自動生成のプロセスと構成設備品

(2) 複雑な形状となる「太陽光発電に最適化した建物」、スマート化した柱上トランス等の「スマート機器」の3Dモデルを自動生成するために、機器の「ステレオ画像」と「輪郭線と特徴線を含む正面、側面イメージ」に基づいて、3次元モデルを自動的に作成するシステムの開発を目指す。このため、本システムは次の機能を備えシステムの研究・開発を行う。

- (1)ステレオ画像から、通常、撮影の困難な正面、側面イメージをIBR(Image-Based Rendering)で生成する。(2)正面、側面イメージを背景図にして、対象物の全体の輪郭線、特徴部分の輪郭線、特徴線を、基本的にパターン認識で生成し、曖昧なところは手作業で線を描くか、または、パターン認識で生成された線を選ぶ。(3)これら輪郭線、特徴線から3次元モデルを自動生成する。(4) Web上に3次元モデルを展開し、共有・更新を行えるWebベースの支援システム。

これらの機能を実現するために、IBRにおけるエピポーラ方程式を推定し正面図、側面図(イメージ)を生成する。全体輪郭線の形に応じて、それを基本図形(長方形や楕円など)に分割・分離する場合、あるいは、全体輪郭線を分割せず、基本図形を割り当て、基本図形から3次元化した基本立体(直方体

や円柱など)を、輪郭線、特徴線に基づいて、局所的に凹凸を付ける等の処理をして、3次元モデリングするアルゴリズム等を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 研究成果として、電子地図に基づいて、太陽光発電の最適化を目的とした3次元建物の自動生成システムを開発し、これにより利用者が「太陽光発電に適した街づくり」など環境問題や再生可能エネルギーの可能性を検討するケースにおいて支援することを可能とした。本研究では、電子地図に基づいて、太陽光発電に適した建物の3Dモデルを自動生成するシステムを開発した。開発したシステムでは、一般的な屋根である「寄せ棟屋根」に太陽光パネルを配置するために、2枚の台形形状と三角形形状の板屋根からなる寄せ棟屋根の形状や構造を明らかにし、そこへのパネルの配置手法を提案し、さらに、太陽光発電に適した建物として、太陽光発電の効率が高いとされる南向きの屋根を大きくした片流れ屋根の3Dモデルの自動生成手法をも提案した。本システムの活用事例として、「仮想の密集市街地」に対して、細街路を拡幅する等の一般的な区画整理を行い、その前後の街区、あるいは、太陽光発電に適した建物形状であるかないかで、太陽光発電がどのように変わるかを数値実験した。こうした3D仮想空間による環境教育の教材を提供することにより、街区レベルにおいて、敷地や建物を太陽光発電に適したかたちにして、再生可能エネルギーの利用を進めることを支援すると考えられる。また、電子地図上の建物境界線が「頂角がほぼ直角の直角ポリゴン」である場合、それらを長方形の集まりまで分割して、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、3次元建物モデルを自動生成する手法を提案してきた。しかし、手作業で建物境界線を描くため、建物ポリゴンは厳密に頂角が直角の直角ポリゴンではなく、また、不必要な分割をしてしまう場合もある。そのため、Box形状を組み合わせて作る建物で、Box間に「隙間」や「重なり」が生じる。本研究では、建物ポリゴンを互いに直交する、より少ない数の長方形の集まりに分割するよう整形し、精緻な建物の3Dモデルを自動生成する手法を提案した。

(2) 街区レベルにおいて、敷地や建物を太陽光発電に適したかたちにして、再生可能エネルギーの利用を進めることが重要である。そのとき、出来上がるであろう形を具体化する「街区の3Dモデル」は、関係者で合意形成を図るときに非常に有効である。現状では、3Dモデルを多大の時間と労力を掛けて作成している。本研究では、電子地図に基づいて、太陽光発電に適した建物の3Dモデルを自動生成するシステムを開発した。屋根の形状に応じた最適な太陽光パネルの配置手法を提案し、さらに、太陽光発電に適した建物の3Dモデルの自動生成手法も提案した。活用事例として、区画整理前後の街区、あるいは、太陽光発電に適した建物形状であるかないかで、太陽光発電がどのように変わるかを数値実験した。このシステムを活用して、敷地や建物を太陽光発電に適したかたちにして、再生可能エネルギーの利用を進めることを支援すると考えられる。

(3) 本研究では、辺消失イベントと分割イベント以外の「第3のイベント」、及び、縮小プロセスの最終段階の「収束の形」として、「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した。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、現実にあ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) 環境整備案を「具体的な形にする3Dモデル」では、造成した地形が示されることが多い。この「造成する地形」は、等高線から生成できる。研究成果として、3次元建物モデルが建てられる整備した地

形となる「3次元地形モデル」を外周線などのキー等高線から自動生成するシステムを開発した。本研究では、straight skeleton 手法を応用して、この3次元地形モデルの基になる等高線群を1本のキー等高線から自動作図するシステムを提案した。本システムは非常に効率よく整備案となる3次元地形モデルを自動生成する。こうした3D仮想空間による環境教育の重要な「情報インフラ」を提供することにより、学術的な分野から公共事業の情報公開、住民参加の場まで利活用が期待される。

(5) 電子地図上の直角建物ポリゴン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。本研究では拡張した 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、現実にあつる形状の屋根付き建物の3Dモデルを自動生成し、環境への適応性を検討することを可能とした。

<引用文献>

- [1] Gruen A. and et al. (2002) Generation and visualization of 3D-city and facility models using CyberCity Modeler. MapAsia, 8.
- [2] Pu S., (2008) Automatic building modeling from terrestrial laser scanning, Advances in 3D Geoinformation Systems, Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pp.147-160.
- [3] Pu S., Vosselman G., (2006) Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 36, part 5, Germany, September 25-27, 5 p.
- [4] Müller P., Wonka P. and et al. (2006) Procedural modeling of buildings, ACM Transactions on Graphics 25, 3, 614-623.

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計6件)

- 1) Takahiro Murase, Kenichi Sugihara: "Automatic Generation of 3D Building Models for Environmental Education by Straight Skeleton Computation", IEEE International Conference on Signal Processing Proceedings (ICSP), 査読有, pp.1040-1045, Beijing, CHINA, August, 2018
- 2) Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: "Building Polygon Rectification for Automated 3D Building Model", Proceedings of 2018 IEEE 14th International Conference on Signal Processing (ICSP), 査読有, pp.1065-1070, Beijing, CHINA, August, 2018
- 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, 査読付き, University of Chester, UK, September, 2017
- 4) 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), 査読付き, Vol. 72 (2016) No. 2 p. 1_167-1_174 DOI: http://doi.org/10.2208/jscejcei.72.1_167
- 5) 周欣欣, 小橋一秀, 杉山舞奈, 周向荣, 村瀬孝宏: "Kinect を利用した人体動きの検出および動画生成 - 歴史動画生成のための実験", 教育工学論文集 Vol.39, pp.28-30, 2016-12
- 6) Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: "Polygon Partition and Shape Rectification for Automatic Generation of 3D Building Model", IEEE TENCON 2016, 査読付き, Oral Interactive Forum 847, Conference Publications, 23-25 November 2016, DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848441

(学会発表) (計17件)

- 1) 村瀬孝宏, 杉原健一: "拡張 straight skeleton 手法による街並み3Dモデルの自動生成", 情報文化学会第26回全国大会講演予稿集, pp.23-26, 東京大学, 2018-10
- 2) 村瀬孝宏, 杉原健一: "Straight Skeleton 手法による3次元建物の自動生成による環境教育", 2018年日本教育工学会第34回全国大会講演論文集, pp.909-910, 東北大学, 2018-9
- 3) 杉原健一, 村瀬孝宏: "改良した straight skeleton 手法による3次元屋根モデルの自動生成", 2018年度土木情報学シンポジウム講演集, 査読有, Vol.43, pp.205-208, 土木学会講堂, 2018-9
- 4) 村瀬孝宏, 杉原健一: "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による環境教育", 教育システム情報学会第43回全国大会, pp.437-438, 北星学園大学, 2018-9
- 5) 村瀬孝宏, 杉原健一: "3次元地形モデルの自動生成と環境教育への活用", 日本教育情報学会

- 年会論文集 34, pp.328-329, 松蔭大学, 2018-8
- 6) 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, 2017-10
 - 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 CG/VR, 査読有, Vol.39, pp.59-62, 土木学会講堂, 2017-9
 - 8) 村瀬孝宏, 杉原健一: "自動生成による 3 次元都市モデルの環境教育への活用", 2017 年日本教育工学会第 33 回全国大会講演論文集, pp.957-958, 島根大学, 2017-9
 - 9) 村瀬孝宏, 杉原健一: "GISとCGを統合化した 3 次元建物モデルの自動生成による環境教育支援システム", 日本教育情報学会 年会論文集 33, pp.212-213, 芦屋大学, 2017-8
 - 10) 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), Graduate School of Environmental Studies (GSES), Seoul National University, South Korea, August, 2017
 - 11) Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: "Automatic Generation of a 3D Terrain Model by Straight Skeleton Computation", Proceedings of the 2017 International Conference on Computer Graphics and Digital Image Processing(CGDIP '17), 7pages, Prague, Czech Republic, July, 2017
 - 12) Kenichi Sugihara, Takahiro Murase: "Building Polygon Rectification for Automatic Generation of 3D Building Models", Proceedings of the 16th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp.213- 224, Hong Kong, December, 2016
 - 13) 村瀬孝宏, 杉原健一, 周欣欣: "環境共生型まちづくりのための 3 次元建物モデルの自動生成", 情報文化学会第 24 回全国大会講演予稿集, pp.53-57, 東京大学, 2016-11
 - 14) 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,立正大学, 2016-10
 - 15) 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", 2016 年度土木情報学シンポジウム講演集, Vol.41, pp.109-112,土木学会講堂, 2016-9
 - 16) 村瀬孝宏, 杉原健一, 周欣欣: "再生可能エネルギーに適した街づくりのための 3D モデルを利用した環境教育", 2016 年日本教育工学会第 32 回全国大会講演論文集, pp.1003-1004,大阪大学, 2016-9
 - 17) 村瀬孝宏, 杉原健一, 周欣欣: "環境教育のための太陽光発電の最適化を目的とした 3 次元建物の自動生成", 日本教育情報学会 年会論文集 32, pp.278-279,福山大学宮地茂記念館,2016-8

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 杉原 健一

ローマ字氏名: SUGIHARA Kenichi

所属研究機関名: 岐阜協立大学

部局名: 経営学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 80259267

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。