

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25700011

研究課題名(和文) X線CT画像と写真を用いた花の3次元モデリングの研究

研究課題名(英文) A technique for modeling flowers with X-ray computed tomography and photograph

研究代表者

井尻 敬 (Ijiri, Takashi)

立命館大学・情報理工学部・任期制講師

研究者番号：30550347

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,600,000円

研究成果の概要(和文)：花は、その美しさと多様性から、国内外の研究・教育・趣味と密接な関わりを持ち、コンピュータグラフィクス研究業界でも、そのモデリングは重要な課題となっている。しかし、花は遮蔽構造を持つため、既存のステレオ視やレンジスキャナはそのモデリングに適用しにくい。そこで本研究では、X線CTと写真を利用する。具体的には、花のX線CT画像を撮影し、これを領域分割することで三次元形状モデルを構築する。さらに複数の視点からサンプルを撮影した写真を用いて、モデル表面のテクスチャを復元する。研究成果は、権威の高い学会・論文誌に採録されている。

研究成果の概要(英文)：Flowers are indispensable for designing natural CG scenes, and thus flower modeling is an important topic in the computer graphics (CG) field. However, flowers often have highly occluded structures, and thus traditional measurement techniques, such as stereo vision and range scanners, are difficult to apply. In this project, we adopt X-ray computed tomography (CT) and photographs. We capture a CT volumes of a sample flower and reconstruct a 3D model by segmenting the volume. We also reconstruct a surface texture of the flower model by using photographs taken from multiple viewpoints. Our research papers were accepted for top conferences in the CG field.

研究分野：コンピュータグラフィクス

キーワード：形状モデリング 植物モデリング テクスチャ復元 画像処理 X線CT

## 1. 研究開始当初の背景

花は、その美しさと多様性から、国内外の研究・教育・趣味と密接な関わりを持つ。コンピュータグラフィクス研究業界でも植物（花や樹木）のモデリングは重要なトピックである。実際、2005-2012年のSIGGRAPH・SIGGRAPH ASIA・EUROGRAPHICSなどの権威の高い国際学会において、植物のモデリングに関する研究が約25件発表されており、毎年新たな研究が注目を集めている。

既存の植物モデリング手法は、次の3種類に分類できる。(A)L-Systemに代表される、分岐規則（成長規則）を利用するもの、(B)植物に特化した直観的なインタフェースを提供するもの、(C)複数の写真を元に3次元形状を復元するもの。この(A,B)は、ユーザがゼロからモデルを構築するための手法であり、実物のサンプルを計測するものではない。(C)の複数写真を利用するものは、対象を花に限らなければ、多くの研究が発表されている。しかし、この手法は、遮蔽の少ない観葉植物や樹木のおおまかな形のモデリングに適するものの、遮蔽の多い花への適用は難しい。

つまり、植物の3次元モデリングは重要なトピックであるが、実物の花の3次元形状とテクスチャを同時にモデリングする技術は確立されておらず、急務の課題となっている。

(申請書類の研究背景より抜粋の後、一部修正した)。

## 2. 研究の目的

本研究では、X線CT画像と写真に基づく花のモデリング技術確立のため、以下3件のサブ課題に取り組む。

- **課題1-領域分割.** 花のX線CT画像を、半自動的に分割し3次元モデルを構築する手法を開発する。X線CT画像を利用して3次元モデルを構築する事で、遮蔽の多い花でも、その内部の形状まで詳細に復元できるようになる。
- **課題2-テクスチャ合成.** 複数写真からテクスチャを抽出し3次元モデル上に張り合わせる手法を開発する。これにより、多様な花のテクスチャを正確に再現できるようになる。
- **課題3-可視化環境.** 花3次元モデルの直観的な可視化環境を開発し、一般的なブラウザを用いて花の3次元モデルを観察できる環境を提供する。

構築した3次元モデル群は、直観的な可視化環境と統合して、公開を目指す。

(申請書類の概要および研究目的より抜粋の後、一部を修正した)

## 3. 研究の方法

研究活動の中心は、課題1領域分割、課題2テクスチャ合成、課題3可視化環境に関する、アルゴリズム・ソフトウェアの開発とその実験である。それぞれの成果について、以下に詳細を示す。

## 4. 研究成果

**課題1 領域分割.** 研究期間が開始された2013年度、X線CT装置が導入されるまでは、花の領域分割法開発の準備として『輪郭線を用いた三次元生物画像の領域分割法』の研究に取り組んだ。この研究では、科学者や医師など専門家にしか認識できない曖昧な領域を効率的に分割できるツールの実現を目指し、輪郭線制約を用いたユーザインタフェースとアルゴリズムを提案した。

提案手法において、ユーザは、三次元空間中に切断面を配置し、その切断面上に輪郭線を指定する(図1a)。複数の輪郭線制約が指定されると、領域分割の境界面が自動的に生成される(図1b)。境界面の計算には、エルミート放射基底関数補間法をspatial-range domainへ拡張した方法を提案した。研究成果は、その有用性が認められ、コンピュータグラフィクス分野でも権威の高いComputer Graphics forum (Eurographics 2013)に採録された[雑誌論文4]。

また、本研究期間において、研究成果[雑誌論文4]の、生物学研究への応用[雑誌論文2, 学会発表6]、医療データの可視化応用[雑誌論文3]、に関する研究を、花のモデリングと並行して行った。それぞれ、論文発表・学会発表へ至った。また、開発したソフトウェアVoTracerは、研究代表者のホームページにて公開されている[その他2]。

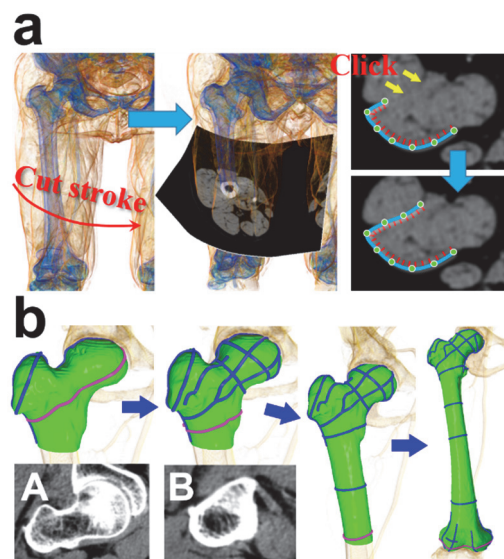
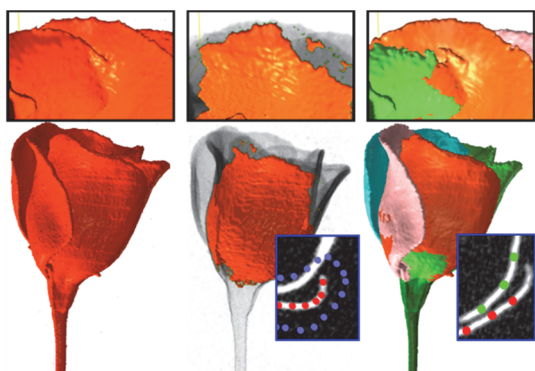


図1. 輪郭線制約を用いた三次元画像の領域分割法。本図は、研究代表者の論文[雑誌論文4]の図6および図9より一部修正し引用した。

2013年下旬にX線CT装置が導入され、本格的に花の領域分割手法の開発に取り組んだ。花は、しべや花弁など、細い要素や薄い要素が小さな空間に密に配置された構造を持つため、そのCT画像に既存の領域分割法をそのまま適用することは難しい(図2)。そこで、『花の各要素を単純なプリミティブで近似できる』と仮定し、『各プリミティブが半自動的にCT画像にフィットする』ような新しいユーザインタフェースとアルゴリズムを提案した。

花弁を例にとってモデリングの過程を説明する。本研究では、花弁はSheetと呼ばれる曲面上のプリミティブで近似する(図3a)。ユーザは、図3bの通り、CT画像の切断面上で目標の花弁に対応する曲線を指定する。するとシステムが自動的に、花弁のふちを通る曲線を計算し、続いて花弁に対応する曲面も計算する(図3c)。つまりユーザは、2次元的な指定のみで三次元的な花弁形状を復元できる。



Iso surface Graph Cut Region Grow

図2. 花のX線CTに従来の領域分割法を適用した際の失敗例。本図は[雑誌論文1]の図15より一部修正し引用した。

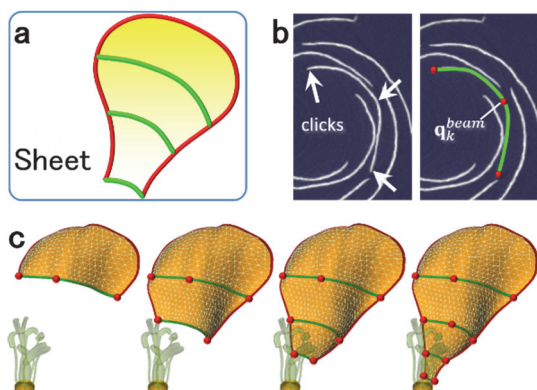


図3. 花弁のモデリング例。花弁はSheetというプリミティブで表現される(a)。ユーザは、切断面上でモデリングしたい花弁に対応する曲線を指定する(b)。するとシステムはCT画像を利用し花弁の三次元形状を復元する(c)。本図は[雑誌論文1]の図7より一部修正し引用した。

曲線や曲面を三次元CT画像内の特定の領域に自動的にフィットさせるため、本研究では、新たな動的輪郭モデルを提案した。具体的には、曲線Cのコスト関数を以下の通り定義する、

$$E_c = \int_{\Omega_c} \frac{1}{2} |\mathbf{C}''(t)|^2 + \alpha |\mathbf{C}'(t)^T \mathbf{M}(\mathbf{C}(t)) \mathbf{C}'(t)| dt.$$

この式の第一項は、曲率に関するもので、曲線を滑らかにする効果を持つ。第二項は、計量Mに依存する曲線の弧長に関する項である。この計量を三次元画像から計算することで、三次元画像の特定部分に曲線がフィットするような効果が得られる。また、異なる計量Mを設定することで、同じ形のコスト関数を用いて『花弁のふち』や『しべの中心軸』など、異なる対象への曲線フィッティングが行える。本成果報告書では省略するが、曲面についても似た定式化を行った。

研究成果は非常に高く評価され、コンピュータグラフィクス分野において最も権威の高い Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2014) に採択された。また、研究成果として得られた、花のCT画像と形状モデルは、『Flower CT volume library』として研究代表者のウェブページにて公開されている[その他3](図4)。

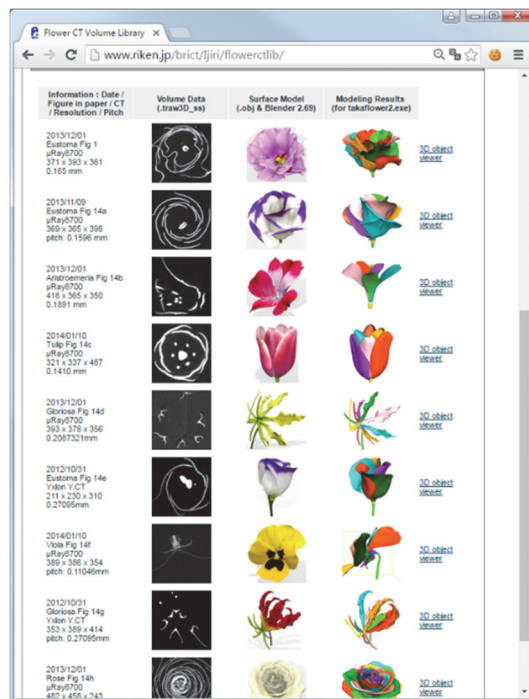


図4. Flower CT Volume Library[その他3]. ([www.riken.jp/brict/Ijiri/flowerctlib/](http://www.riken.jp/brict/Ijiri/flowerctlib/))

課題2-テクスチャ合成。形状モデリングにX線CT画像を用いた場合、対象のテクスチャが取得できないという問題がある。そこで、X線CT計測の前後に、サンプルの写真を複数の視点から撮影し、得られた写真からテク



スチャを復元する手法を提案する。

本研究では、X線CT画像から得られる三次元モデルと、写真撮影位置のキャリブレーション（相対的な位置合わせ）が重要な課題となる。本研究では、三次元モデルを複数の視点からレンダリングし、レンダリング結果と写真を比較することにより、写真のキャリブレーションを行う手法を実現した（図5）。このとき、三次元モデルはテクスチャ情報を持たないため、レンダリング画像そのものではなく、前景領域のシルエット（輪郭）形状を比較することとした。

花や昆虫を用いた実験では、良好なキャリブレーション結果が得られた（図5下）。得られたキャリブレーション結果を利用して、写真を三次元モデル上に逆投影することで、対象のテクスチャが復元できる（図6）。本研究に関しては、現在、提案手法をまとめ、論文投稿準備を進めている。

**課題3-可視化環境。** 本研究により作成された花の三次元モデルを手軽に観察できるように、一般的なブラウザ上で動作する観察ツールを実装し、前述の Flower CT Volume Library 上に公開した[その他3]。このページには、9種の花のみが公開されている。現在、既に複数の花のCT画像撮影を終えており、今後、このページに花のCT画像・三次元モデル・テクスチャを追加していく予定である。

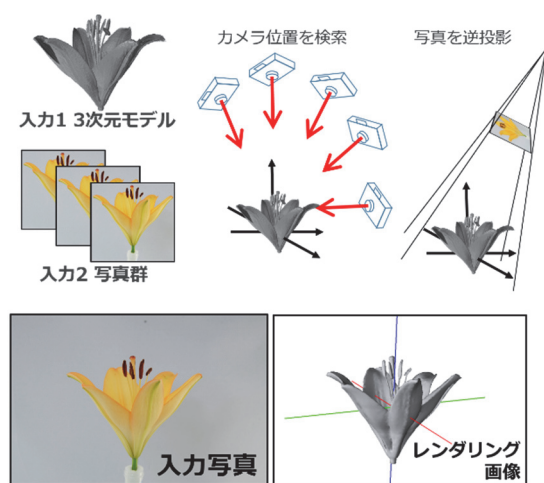


図5. 三次元モデルと写真のキャリブレーション。三次元モデルを複数の視点からレンダリングし、得られた画像と写真のシルエットの類似度を評価することで、写真の撮影位置を検索する。本図下に実際に入力した写真と検索された視点から三次元モデルをレンダリングした結果を示す。



図6. やまゆりとキキョウのテクスチャ復元結果。

## 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）

〔雑誌論文〕（計4件）

[1] Takashi Ijiri, Shin Yoshizawa, Hideo Yokota, Takeo Igarashi. Flower Modeling via X-ray Computed Tomography, ACM Trans. Graph. Volume 33, Issue 4, Article No. 48, 2014, DOI: 10.1145/2601097.2601124. (査読有り)

[2] M. Morita, T. Tawara, M. Nishimura, S. Yoshizawa, B. Chou, I. Kuroki, T. Ijiri, Y. Tsujimura, R. Himeno, and H. Yokota, Communication Platform for Image Analysis and Sharing in Biology. International Journal of Networking and Computing, 4(2), 369-391, 2014, DOI: 10.15803/ijnc.4.2\_369. (査読有り)

[3] D. Ueno, K. Makiyama, H. Yamanaka, T. Ijiri, H. Yokota and Y. Kubota: Prediction of open urinary tract in laparoscopic partial nephrectomy by virtual resection plane visualization. BMC Urology, 14(47), 2014, DOI: 10.1186/1471-2490-14-47. (査読有り)

[4] Takashi Ijiri, Shin Yoshizawa, Yu Sato, Masaaki Ito, and Hideo Yokota: Bilateral Hermite Radial Basis Functions for Contour-based Volume Segmentation. Computer Graphics Forum, Vol. 32, Issue 2, pp. 123-132, 2013, DOI: 10.1111/cgf.12032. (査読有り)

〔学会発表〕（計10件）

[1] 井尻敬, “医用画像のための対話的領域分割法とその植物モデリングへの応用”, 生体医用画像研究会 第3回若手発表会, 2016/03/12, 大阪大学 (大阪府豊中市).

[2] **井尻敬**, X線 CT を用いた形状モデリング技術とその応用”, エンターテインメントコンピューティング メタ研究会, 2015/8/23-24, 中安旅館 (石川県金沢市) .

[3] **Takashi Ijiri**, Shin Yoshizawa, Hideo Yokota, Takeo Igarashi. Flower Modeling via X-ray Computed Tomography, SIGGRAPH 2014, 2014/8/11, Vancouver (Canada). (CG 分野では, 学会採録後, 同じ内容が論文誌にも採録されるものがある. 本研究発表内容は[雑誌論文 1]として論文誌に採録されている.)

[4] 中沢一雄, 稲田慎, 谷昇子, 原口亮, 奈良崎大士, 桑田成規, 岩田倫明, 五十嵐健夫, 小山裕己, **井尻敬**, 芦原貴司, 神崎歩, 鍵崎康治, 市川肇, 黒寄健一, 坂口平馬, 白石公, 医学・医療分野におけるコンピュータシミュレーション技術の可能性: 先天性心疾患分野の診療支援に向けたシステム開発, 第 50 回日本小児循環器学会総会・学術集会, 2014 年 7 月 5 日, 岡山コンベンションセンター (岡山県岡山市) .

[5] **井尻敬**, 吉澤信, 横田秀夫, 五十嵐健夫 X 線 CT を利用した花の三次元モデリング, Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2014, 2014 年 6 月 29 日, 早稲田大学 (東京都新宿区) . (招待講演).

[6] M. Morita, T. Tawara, M. Nishimura, S. Yoshizawa, B. Chou, I. Kuroki, **T. Ijiri**, Y. Tsujimura, R. Himeno, and H. Yokota, Biomedical Image Communication Platform, Proc. International Symposium on Computing and Networking, 2013 年 12 月 5 日, ひめぎんホール(愛媛県松山市) .

[7] 中沢一雄, 小山裕己, 五十嵐健夫, **井尻敬**, 稲田慎, 谷昇子, 岩田倫明, 奈良崎大士, 原口亮, 桑田成規, 神崎歩, 黒寄健一, 白石公. タブレット PC によるマルチタッチインタラクションを活用した先天性心疾患のための診療支援システム. 第 33 回医療情報学連合大会. 2013 年 11 月 21 日, 神戸ファッションマート (兵庫県神戸市) .

[8] **Takashi Ijiri**, Shin Yoshizawa, Yu Sato, Masaaki Ito, and Hideo Yokota: Bilateral Hermite Radial Basis Functions for Contour-based Volume Segmentation. EUROGRAPHICS 2013, 2013/5/8, Girona (Spain). (本研究発表内容は[雑誌論文 4]として論文誌にも採録されている.)

[9] **井尻敬**, 吉澤 信, 佐藤 雄, 伊藤 雅昭, 横田秀夫. Bilateral Domain に拡張した陰関数による画像領域分割法. Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2013, 2013 年 6 月 23 日, リンクステーションホール青森 (青森県青森市).

[10] 小山裕己, 五十嵐健夫, **井尻敬**, 稲田慎, 白石公, 中沢一雄. マルチタッチによる弾性体オブジェクトとのインタラクション手法の開発.

Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2013. 2013 年 6 月 23 日, リンクステーションホール青森 (青森県青森市).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]  
○出願状況 (計 1 件)

名称: 境界特定装置、境界特定方法、プログラム、及び、記録媒体  
発明者: 井尻敬、吉澤信、横田秀夫  
権利者: 国立研究開発法人理化学研究所  
種類: 特許  
番号: 出願 2013-081628、公開 2014-203403  
出願年月日: 2013 年 4 月 9 日  
国内外の別: 国内

[その他]  
ホームページ等

[1] **Takashi Ijiri**. ホームページ.  
[takashiijiri.com](http://takashiijiri.com)

[2] **Takashi Ijiri**, VoTracer.  
[www.riken.jp/briect/Ijiri/VoTracer/](http://www.riken.jp/briect/Ijiri/VoTracer/)

[3] **Takashi Ijiri**, Flower CT Volume Library.  
[www.riken.jp/briect/Ijiri/flowerctlib/](http://www.riken.jp/briect/Ijiri/flowerctlib/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井尻敬 (IJIRI, Takashi)  
立命館大学・情報理工学部・任期制講師  
研究者番号: 30550347