

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究（A）  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20680003  
 研究課題名（和文） X線CTと超広視野顕微鏡による3次元画像計測トータルシステムの開発  
 研究課題名（英文） A new development of image processing system using X-ray CT and microscope  
 研究代表者  
 森田 正彦（MORITA MASAHIKO）  
 慶應義塾大学・環境情報学部・講師  
 研究者番号：40449038

研究成果の概要（和文）：「外殻の形状情報と高精細でフォトリアルスティックなテクスチャ情報、および内部の構造情報を有した小型実物体の3次元コンピュータモデルを短時間に生成可能とする」ことが本研究の目的である。この目的を実現するために、X線CT装置と超広視野顕微鏡などの画像計測装置を利用した装置開発を行った。本研究成果を用いて作成したコンテンツは実際に多数のミュージアムで使用されており、本研究の有効性を示すことにも成功している。

研究成果の概要（英文）：Our aim is to design the high speed techniques for making three dimension computer model with an internal structural data and the external photo-realistic color data. We developed an image processing system for micro living matters using X-ray CT and microscope. Our results were used for the exhibit of the museum.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	11,300,000	3,390,000	14,690,000
2009年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
年度			
年度			
年度			
総計	18,300,000	5,490,000	23,790,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：画像処理、コンピュータグラフィックス、Image Based Modeling、X線CT

## 1. 研究開始当初の背景

現在解像度の高い3次元コンピュータモデルの作成は、主としてコンピュータグラフィックスの延長として作成されており、多大な労力と時間・資金を必要とする。本研究が提案する3次元画像計測トータルシステムは、誰もがボタンを押すだけで高解像度の3次元

コンピュータモデルを作成することが可能となることを目指している。

本研究では外殻の形状情報と高精細でフォトリアルスティックなテクスチャ情報を取得するための手法として、IBM&R(Image Based Modeling & Rendering)を適用する。IBM&Rにおいては、実画像を用いてコンビ

ュータモデルを作成するため、フォトリアリスティックなテクスチャ付きデータの生成が期待できるからである。従来の IBM&R の研究では人の顔、人形、建物といったような中型から比較的大型な実物体を対象としてきた。これらの研究成果は実際に映画などへと応用されており、期待通りの成果が得られているといえる。しかしながら、小型の実物体を高解像度に撮影する場合、十分な被写界深度を得られないといった理由から、IBM&R による手法を小型の実物体に対してそのまま適用することは困難とされてきた。そこで本プロジェクトでは、厚さ約 0.4~1 ミリメートルの光の幕を生成する特殊な照明装置を開発、これを適用した複合照明型 3 次元計測装置の試作を行った。これらの成果によって 20mm~100mm 程度の小型実物体について、フォトリアリスティックなテクスチャ情報付き 3 次元コンピュータモデルの生成に成功した。これら光の幕を利用した計測法においては、奥行き分解能はほぼ光の幕の厚さに制限される。そのため、1cm 以下の小型実物体を計測するには奥行き分解能が不十分であることが判明した。そこで共焦点光学系と非共焦点光学系の 2 観察光路を有することで IBM&R の特性を取り入れた 3 次元画像計測を可能とする超広視野共焦点顕微鏡の試作を行い、5mm~20mm 程度の大きさの小型実物体の形状計測と高精細でフォトリアリスティックなテクスチャの取得を可能とした。

また、本プロジェクトでは内部構造を有した 3 次元コンピュータモデルの作成法に関する研究も行っている。実物体の内部構造を含む 3 次元の形状計測を非破壊に行うことが可能な技術として、X 線コンピュータ断層撮影法 (X 線 CT)、核磁気共鳴画像法 (MRI) などがある。これらの技術は、医療においては患部の発見に、製造業においては製品検査等へと応用されている。X 線 CT、MRI によって測定されたボリウムデータは、臓器と血管の色分けや部品毎の色分けといった疑似色情報を扱うことは可能である。その一方で、他の 3 次元画像計測装置によって取得された高解像度のテクスチャをボリウムデータと混合して利用することは困難であった。そこで本研究プロジェクトでは高解像度のテクスチャを有したサーフェイスとボリウムデータを同時に扱うデータ形式、およびレンダリング方法について研究を進めた。

本研究はソフトウェアとハードウェアの両方から取り組む点、データ計測手法からコンテンツ作成法、コンテンツ公開のための web ビューアの開発といった一貫した取組を行う点に特色がある。また、本研究が提案する手法はこれまでに実現されていない小型の実物体を対象とし、超高精細でフォトリアリ

スティックなテクスチャ有した 3 次元コンピュータモデルの作成を IBM&R により実現した点が特徴である。本研究のこれまでの成果は、上記特徴から Siggraph の Emerging Technology に採択、「Laval Virtual 2006」においてはグランプリを受賞、第 9 回「ロレアル 色の科学と芸術賞」では銅賞を受賞するなど、内外で高い評価を受けている。

さらに、本研究は高解像度のテクスチャ付きサーフェイスデータとボリウムデータを同時に扱うデータ形式を提案することにより、従来特定の分野のみで利用されてきたボリウムデータを、それ以外の分野におけるコンテンツとしての利用法を提案した点が独創的である。本プロジェクトでは昆虫の成長過程を計測したデータの試作も行っており、これらを 2007 年 8 月に開催された科学技術館特別展「昆虫力」に提供するなどの実績がある。このような X 線 CT データの利用法は他に類がなく、今後の展望が十分期待できると確認している。

## 2. 研究の目的

「外殻の形状情報と高精細でフォトリアリスティックなテクスチャ情報、および内部の構造情報を有した小型実物体の 3 次元コンピュータモデルを短時間に生成可能とする」ことが本研究の目的である。本研究は、本研究プロジェクトがこれまでにやってきた研究成果を統合し、前述の目的を満足する 3 次元画像計測トータルシステムの研究・開発を行うものである。

過去の研究成果により「外殻の形状情報と高精細でフォトリアリスティックなテクスチャ情報、および内部の構造情報を有した小型実物体の 3 次元コンピュータモデル」を作成することは可能となったものの、依然としてデータ計測、計測データの修正・編集作業には多大な時間と労力を要した。そこで本研究では、これまでの研究成果を統合するとともに、X 線 CT 装置を組み込むことでコンテンツ制作時間の短縮化を目的とした計測装置の開発を行う。

また生成された 3 次元コンピュータモデルのネットワーク上における利活用についても研究を進めることとする。

具体的には下記の 3 つの課題に取り組む。

課題(1) . X 線 CT と超広視野顕微鏡によるトータルシステムの開発

課題(2) . 共焦点・非共焦点の 2 画像を用いた 3 次元画像計測アルゴリズムの設計

課題(3) . 内部構造を有したテクスチャ付き 3 次元コンピュータモデルのネットワーク上における利活用に関する研究

本研究が提案する3次元画像計測トータルシステムが完成すれば、超高精細でフォトリアリスティックなテクスチャを有したサーフェスデータと、内部構造情報を有したボリュームデータから成る3次元コンピュータモデルを短時間に作成可能となる。また開発した装置を用いて作成された3次元コンピュータモデルを実際にインターネットを介して公開することが可能となる。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、2年間の研究期間内に前述の課題(1)(2)(3)を図1に示す研究スケジュールで実施する。

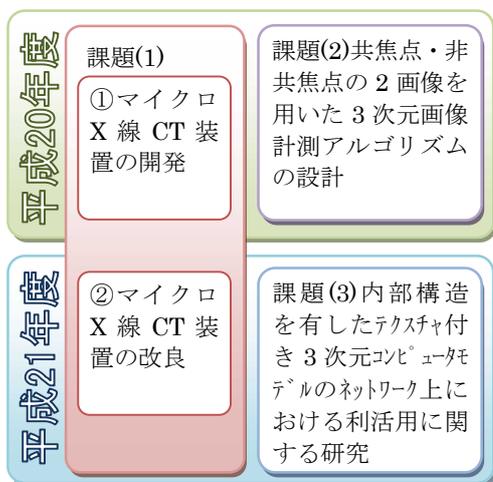


図1. 研究スケジュール

課題(1). X線CTと超広視野顕微鏡によるトータルシステムの開発

#### ①マイクロX線CT装置の開発

超広視野顕微鏡などによる3次元画像計測では、対物レンズの光軸と平行に被写体を移動させながら撮影を行うことで得られた数100枚の画像群から、合焦領域を判定することで3次元形状情報を、合焦領域のみを抽出することで全画素に焦点の合ったテクスチャ情報を生成する。このため、一回の計測で取得されるのは、対物レンズから見た被写体の側面サーフェスモデルである(図2左参照)。したがって、すべての方向から閲覧可能な全方位3次元コンピュータモデルを生成するために、複数の視点方向から得られた側面モデルを合成する必要がある、その作業には多大な労力と時間を要する。

X線CTはX線の透過量を計測することでボクセルあたりの透過量を輝度値としたボリュームデータを作成する。そのため一回の計測によりほぼ死角なく内部の構造情報を含む全方位の3次元形状計測が可能である(図2右参照)。

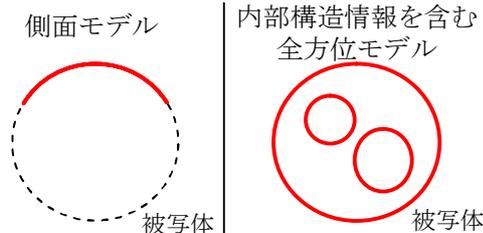


図2. 計測領域(計測可能部位を赤線で示す)

もしX線CT装置によって取得された全方位の3次元コンピュータモデルに、超広視野顕微鏡などによって取得されたテクスチャ情報を適用することが可能であれば、前述の側面モデルを合成する労力と時間を削減することが出来ると考えられる。

そこで初年度は超広視野顕微鏡などの画像計測装置との融合性を考慮したマイクロX線CT装置の開発を進めることとする。

#### ②マイクロX線CT装置の改良

①において開発したX線CT装置に、本研究プロジェクトが従来試作したスリット光による3次元画像計測システムを融合させるための装置改良を行う。具体的にはX線観察系とスリット光による画像観察系を垂直に配置し制御を行う(図3参照)。これにより、X線CT装置によるボリュームデータから抽出された外殻の形状情報に高精細でフォトリアリスティックなテクスチャ情報、および内部の構造情報を有した小型実物体の3次元コンピュータモデルを短時間に生成することが可能であると期待している。

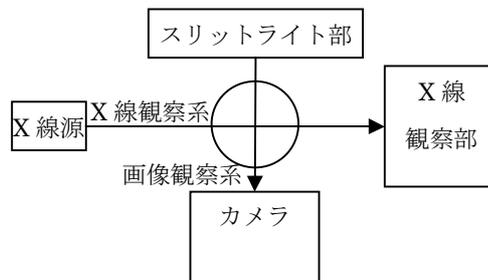


図3: マイクロX線CT装置の改良

課題(2). 共焦点・非共焦点の2画像を用いた3次元画像計測アルゴリズムの設計

一般に共焦点光学系によって撮影された多焦点画像から全焦点画像を生成するには、輝度の最大値を検索する手法、任意の関数をあてはめその中心点を取る手法などがある。本プロジェクトが試作した超広視野顕微鏡は、輝度値の変化が緩やかであるため、共焦点画像のみを頼りに合焦点画像を合成することは困難であると予想される(図4参照)。そこで共焦点・非共焦点光学系において撮影された2組の多焦点画像から全焦点画像を生成するアルゴリズムを設計する。

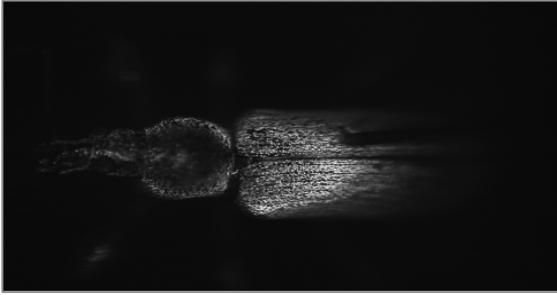


図4：評価装置によって撮影された画像  
 課題(3). 内部構造を有したテクスチャ付き3次元コンピュータモデルのネットワーク上における利活用に関する研究  
 課題(1), (2)の成果によって内部構造を有したテクスチャ付き3次元コンピュータモデルを短時間のうちに作成可能となる。これらの成果を用いてコンテンツ開発、コンテンツを閲覧するためのwebビュープラグインの開発を行う。従来、計測、および3次元コンピュータモデルの作成には労力と時間を必要としたため、生物の成長過程を観察した時系列のコンテンツ作成を扱うことは困難であった。本研究が開発する3次元画像計測トータルシステムの完成により、成長速度の早い対象についてもその成長過程を記録したコンテンツ生成が可能となる。そこで、時系列からなる超高精細でフォトリアリスティックなテクスチャを有したサーフェスデータと、内部構造情報を有したボリュームデータから成る3次元コンピュータモデルを、Web上において閲覧可能とするビューソフトウェア・データフォーマットの開発を行う。また、本研究成果によって作成したコンテンツ、ビューソフトを利用した展示を行うことにより、本研究の有効性を確認する。

#### 4. 研究成果

課題(1). X線CTと超広視野顕微鏡によるトータルシステムの開発

1cm~5cm程度の大きさの動植物を計測対象とし、テクスチャ撮影とX線CT計測を可能としたマイクロフォーカスX線CT装置の試作を行った。実際に試作装置を用いて作成した昆虫の3次元データを図5に示す。



図5：試作装置を用いて作成した昆虫(体)の3次元データ

提案手法では、3次元画像計測システムによ

って計測された複数枚のテクスチャデータを、X線CT装置による単一の全方位モデルに適用することとなる。テクスチャデータは光源位置の違い、適用時の誤差などから、図6に示すようなテクスチャが折り重なった境界において色合いの違いや位置ずれが発生するため修正作業が必要となる。

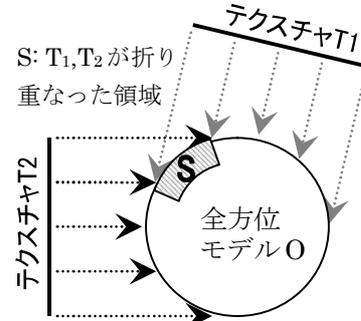


図6. テクスチャ境目の修正

この修正作業はn枚のテクスチャデータの合成結果を考慮してそれぞれに行う。しかしながら2次元のテクスチャデータに投影された境界の形状はテクスチャごとで異なるため、従来手法による修正作業には労力、時間を要した。そこで別途全方位モデルにアトラス展開されたUVテクスチャを設け、ポリゴンごとの射影変換行列を計算し、複数枚のテクスチャデータを一枚に統合するためのテクスチャ統合ツールの開発を行った。これにより、境界の形状をアトラス展開上で共通となり、修正作業の労力削減と時間の短縮化、クオリティの向上に成功した。

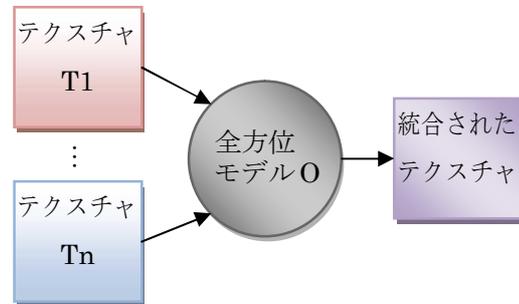


図7. テクスチャ境目の修正

また、より詳細なテクスチャデータを必要とする場合は、別途超広視野顕微鏡によって取得したテクスチャデータを、テクスチャデータ同士の位置合わせを行うことで適用が可能である。

課題(2). 共焦点・非共焦点の2画像を用いた3次元画像計測アルゴリズムの設計

超広視野顕微鏡によって深度を変えながら取得された共焦点画像群と非共焦点画像群から、すべての画素に焦点が合った全焦点画像の撮影手法・生成アルゴリズムの設計を行った。図8に合成結果を示す。昆虫の足など

領域が狭い部位において誤判定が多くみられる。今後はアルゴリズムの見直しと論文執筆をするとともに、ワーキングディスタンスの狭い顕微鏡下においても有効な照明の開発が必要であると考えられる。



図 8 : 合成結果

課題(3) . 内部構造を有したテクスチャ付き 3次元コンピュータモデルのネットワーク上における利活用に関する研究

「外殻の形状情報と高精細でフォトリアリスティックなテクスチャ情報、および内部の構造情報を有した小型実物体の 3次元コンピュータモデル」をインタラクティブに回転・拡大・切断しながら立体・非立体で閲覧することを可能とした Internet Explorer 対応 web Plug-in ソフトウェアを開発した。本データビューアは、外郭モデル、内郭モデル、切断面とボリュームデータの 3種類のレンダリング結果を、グラフィックボード上の機能であるステンシルバッファを参照して合成することで画像を生成している。具体的なレンダリング手順は次の通りである。

外郭モデル  $M_{EXT}$  のレンダリング

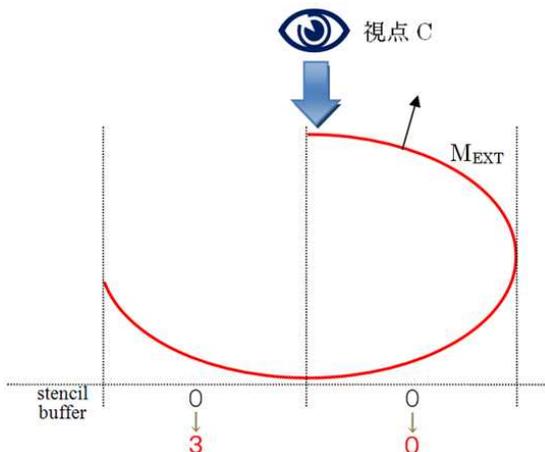


図 9 : Step1 - 外郭のレンダリング

図 9 中の外郭モデル  $M_{EXT}$  上の矢印は法線を表す。奥行きを判定する Z-Buffer より切断面に重なっていない領域をレンダリングする。このとき法線が表向きのポリゴンを描画し

た画素のステンシルを 0 に、裏向きのポリゴンを描画した画素のステンシルを 3 にする。  
内郭モデル  $M_{INT}$  のレンダリング

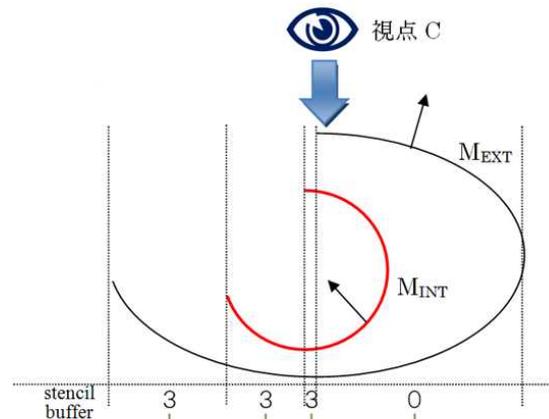


図 10 : Step2 - 内郭のレンダリング

Z-Buffer より切断面、および外郭モデルに重なっていない領域をレンダリングする。このとき、ポリゴンの法線が表向きであるポリゴンを描画した画素のステンシルを 1 に、裏向きであれば 3 にする。

切断面  $M_{SCOOP}$  のレンダリング

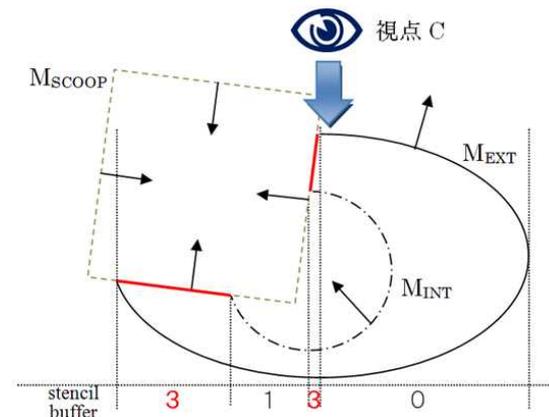


図 11 : Step3 - 切断面のレンダリング

ステンシルバッファが 3 の領域について、切断面をレンダリングする。



図 12 : 出土品の繰り抜き表示例

以上の操作による表示例を図 12 に示す。本レンダリング方式への改良により、内郭・外郭モデルを複数個持つことが可能となる。これにより時系列で内部の状態が変わっていくものを表現しやすくなる、といったメリットがある。

本研究はコンテンツ作成法に関するものである。したがって本研究成果によって作成されたコンテンツが実用に耐え得るレベルに到達しているか確認を行うことは非常に重要なことである。そこでミュージアムにおける展示を積極的に行い(5. 主な発表論文等、その他参照) 本研究の有効性について確認を行った。

#### 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)

[学会発表](計 3 件)

森田正彦, 覚正信徳, 小檜山賢二, 小川克彦, 横田秀夫, "生物情報の web 公開を目的としたメッシュボリュームビューアの開発", 理研シンポジウム VCAD システム研究 2009, 2010.3.4, 日本.

M.Morita, "Virtual Environment for Micro-Presence with Image-Based Model Acquisition", 1st Joint Workshop on Computational Science, 7-8 Jul 2008, Japan.

森田正彦, 覚正信徳, 小檜山賢二, 小川克彦, 横田秀夫, "生物情報の web 公開を目的としたメッシュボリュームビューアの開発", 理研シンポジウム VCAD システム研究 2008, 2008.11.6, 日本.

[その他]

ホームページ: 慶應義塾大学マイクロアーカイビングプロジェクト

<http://web.sfc.keio.ac.jp/~masahiko/maphp/>

展示: 特別展「ふしぎ! 昆虫パワー」へのコンテンツ提供, (主催)名古屋市科学館, 2010.7.17 ~ 2010.8.31.

展示: 特別展「大昆虫博」へのコンテンツ提供, (主催) 公益財団法人東京都歴史文化財団 東京都江戸東京博物館他, 2010.6.22 ~ 2010.9.5.

<http://www.edo-tokyo-museum.or.jp/exhibition/special/next.html>

展示: 個展「Micro Presence - 昆虫 ミクロ・リアリズム」(主催)慶應義塾大学 Micro Archiving Project, STU 研究所, (共催)財団法人 日本科学技術振興財団, 2009.8.10 ~ 2009.8.30.

<http://stulab.jp/exhibition2009>

<http://www.jsf.or.jp/info/2009/07/micro>

[\\_presence.php](#)

展示: 特別展「ムシテク展」へコンテンツ提供, (主催)つくば科学万博記念財団 つくばエキスポセンター, (共催)つくば市, 2009.7.5 ~ 2009.8.31.

<http://www.expocenter.or.jp/mushitech>

展示: 常設展「シンラドーム」へコンテンツ提供,

財団法人 日本科学技術振興財団・科学技術館, 2008.8.19.

展示: 夏休み特別イベントへコンテンツ提供, 財団法人 福井原子力センター あっとほうむ, 2008.7.20 ~ 2008.8.12.

展示: OPEN SPACE 2008 へコンテンツ提供, NTT インターコミュニケーション・センター, 2008.4.19 ~ 2009.3.8.

[http://www.ntticc.or.jp/Archive/2008/OpenSpace2008/Works/micropresence\\_j.html](http://www.ntticc.or.jp/Archive/2008/OpenSpace2008/Works/micropresence_j.html)

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 正彦 (MORITA MASAHIKO)

慶應義塾大学・環境情報学部・講師

研究者番号: 40449038