

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（B）一般

研究期間：2008～2010

課題番号：20300034

研究課題名（和文）複雑な背景動画像を対象とする高機能映像生成・合成システムの
包括的構築研究課題名（英文）Comprehensive development of generating / synthesizing highly
functional moving pictures for complicated background scenery研究代表者 北嶋 克寛（KITAJIMA KATSUHIRO）
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：70107556

研究成果の概要（和文）：

本研究課題は、映像（実写映画、アニメ映画、ゲームなど）制作現場において新たな映像編集技術として期待される、実写映像とCG映像のシームレスな合成技術について包括的に研究開発することを目的とする。実写をベースとする映像においてある特定の（気に入らない）樹木の形状と動きをCGに置き換えかつ周辺の様子に合わせて樹木の配色を自動変換する手法、および背景画像に大量に登場する人のリアルな個人顔形状やアニメキャラクターを短時間で生成する手法などを開発した。

研究成果の概要（英文）：

The theme is about the comprehensive research on a new technology of seamlessly combining the real image film and the CG image, which has been longed by the industry of the visual image (movies, animations, games and etc.). We developed a method of replacing the shape and the movement of trees in the film of real image with the CG model and automatically transforming its color so as to match the color of the surrounding trees. We also developed a method of easily creating realistic face models for humans and animation characters that appear in the background of most of the films.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2008年度 | 11,900,000 | 3,570,000 | 15,470,000 |
| 2009年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2010年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 15,100,000 | 4,530,000 | 19,630,000 |

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：アニメーション，グラフィクス，デジタルコンテンツ，動画像，映像合成
樹木モデリング，草原モデリング

1. 研究開始当初の背景

情報関連産業の中で、デジタルコンテンツ（以下、DC）産業は我が国で重要な地

位を占めている。なかでも、海外で人気の高いアニメやゲームで使われる映像関連DC産業は、我が国を代表する産業に発展し

つつある。本研究は、産業界の一線で活躍する現場の映像DC制作者と連携し、2年間の先行研究「シミュレーションベースのアニメ制作支援ツールの包括的構築(2006年度基盤研究B採択テーマ)」の研究実績に基づき、新たに、動画像を対象とする斬新かつ独創的な映像生成・合成技術を完成させ、そのシステムの包括的構築を目指すものである。

2. 研究の目的

(1) 風に揺れる複数の樹木映像生成支援(編集)システム「Levante」の機能向上

PC クラスタによる樹木の並列レンダリングシステムを構築し、列処理のレベルを上げ、風の流れに基づいて数百の樹木が同時に揺れ動くシミュレーションを実現する。

(2) 実動画像との合成技術の開発

CG 画像と実写画像の色の相違を簡便に修正するための2段階の手法を開発する。まず、撮影環境に適した樹木の陰影を生成するために、映像制作者が容易に陰影を制御することのできる陰影付け手法を構築する。次に、実写映像と前者の手法で生成したCG 映像の配色を自動的に一致させる手法を構築する。

(3) 背景画に登場させる3Dキャラクタの簡易生成ツールの開発

GFFD(一般化空間変形手法)を用いると、形状生成および変形(顔形や体形の変形だけでなく、表情変化を含む)がきわめて容易に行える(図6参照)。この技術をキャラクタ作成に生かすために、アニメ制作者が書いた図面(正面図、側面図)から、キャラクタの3次元モデルを生成する手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 風に揺れる複数の樹木映像生成支援(編集)システム「Levante」の機能向上

アニメーションの制作者が風に揺れる森林を容易に制御できかつ編集の結果を迅速に確認することができることを特長とする樹木アニメーション制作支援システムを構築するために必要となる独自の並列処理手法を提案する。本システムでは、制作者がマウスにより風向(軌跡)を入力し、風速および風の影響する範囲を調整し、意図したタイミングで風を樹木に到達させることができる。そして、入力した風によって生じるすべての樹木の揺れの計算および描画を並列計算手法により短時間で行うことで、制作者に直ちに結果を表示できるのが大きな特徴である。このことにより、制作者が繰り返し行う必要のある、風の入力から樹木の揺れの確認に至るまでの試行錯誤の作業における時間的な負担を軽減することが可能になる。

①PC クラスタの構成

PC クラスタの構成を図1-1に示す。なお、計算機ノード間はGigabit Ethernetを通じて接続し、ネットワーク環境およびPCの性能については、導入の容易さを考慮して一般的に普及しているPCの性能に準拠した構成とする。制御ノードおよび合成ノードを担当する計算機をMain Serverと呼ぶ。Main Serverは、シーンに含まれる樹木数とレンダリングおよび樹木計算ノード(Clientと呼ぶ)数に応じて、樹木データの分配を決定する。画像生成の際には、時刻および位置における風向・風速を各Clientに送信する。各Clientではレンダリング結果を画像データとして保存し、それぞれの画像をMain Serverに転送し、合成することで最終的な結果を得る。画像転送に要する時間を制作者の作業性を考慮し、0.1秒以内(5枚以内)に抑えるために、評価実験においては4台のClientごとに1台の合成ノード(Sub Serverと呼ぶ、4枚の画像を受信し1枚の画像を送信する)を設けた。同様の理由により、Main ServerとSub Server間の比率も1:4とし、システムの実装はMain Server:1台、Sub Server:4台、Client:16台の構成とした。

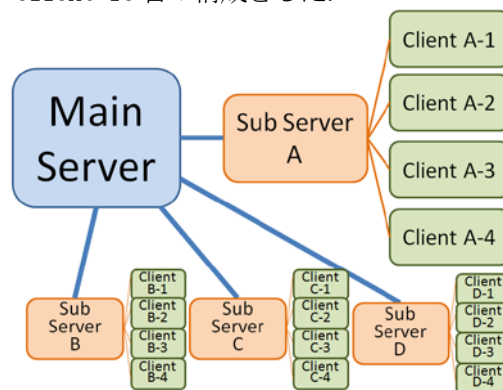


図. 1-1 Overview of our cluster system

②樹木間の相互影響を考慮したアニメーション生成

風の物理シミュレーションを各樹木周辺で独立に行うことにより失われた、風上の樹木が気流を遮ることにより風下の樹木の揺れが減少するなどの樹木間の相互影響の問題への配慮について、どのように解決するかについて述べる。はじめに、映像制作者が各樹木に風上/風下の順序関係を与え直感的に風の状態を制御することのできる、風の入力方法について述べる。次に、各Clientにおける風の計算結果を効率的にMain Serverにフィードバックするための格子配置を示し、風下側の樹木に到達する際の気流の補正手法について述べる。

③風の軌跡による風向と風速の入力

風が吹き樹木(森)が揺れるシーンを制作者の意図通りに制作する行為を支援するシス

テムにおいては、物理的な正確さだけでなく、制作者が意図した風向き、風速、タイミングをもつ風を自由に与えられることが重要となる。そこで、制作者が風のコースをマウスなどにより直感的に設定することのできる風の入力方法を考案した。

④結果の Main Server へのフィードバック

樹木間の相互影響を考慮したシミュレーションを行うには、各 Client における樹木周辺の風の計算結果を Main Server へ集め、上流側と下流側の樹木間の影響をどのようにモデル化するかが重要になる。そこで、次のような工夫を行う。まず、各樹木周辺の気流を計算する際に用いる立方体状の計算格子を、1側面が風向に対して垂直な向きになるように配置する。この配置により、樹木に流入および流出する風の風速分布を参照する際には、最も風上側および風下側の2側面の情報のみを扱うだけで十分となる。この2つの面が離れているときには、この間で変化する風速を考慮し、補正する方法が必要となる。

⑤樹木間の相互影響を考慮した風の伝播手法

自然界の風は、樹木の風下側付近では弱まるものの、樹木から遠ざかるに従い風速が回復するという現象がみられる。この現象は、樹木の影響を受けていない周辺の気流、およびその地域の気圧差によって生じる気圧傾度力等の影響により生じる。この現象をシミュレートするために、次の処理を行う。まず、風上側の Client よりフィードバックされた風下に面した側面の風速分布を初期状態とし(図1-2・(1)、図1-3の流出面に相当)、周囲(図1-2・(2)、2次元格子の上下左右境界)の風速を風のコース上の風速に固定する。次に、SMAC法による2次元の風の物理シミュレーションを行うことで、ある時刻 t において樹木を吹き抜けた風の時刻 $t + \delta$ における速度分布を求める。この時刻差 δ をコース上の風速および下流の樹木までの距離から定めることで、風下側の流入面上に到達した際の風速分布(図1-2・(3))を求めることができる。

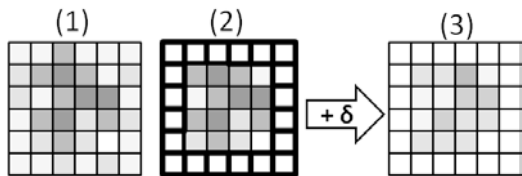
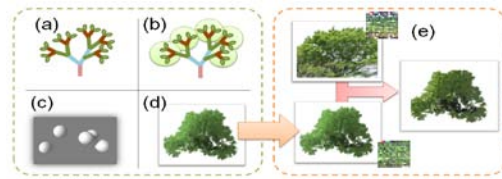


図1-2 Propagation method for the lee-side tree.

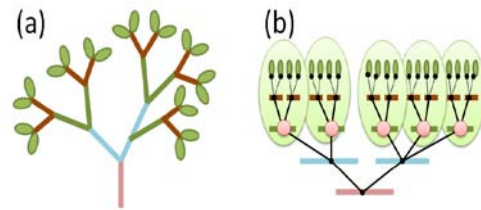
(2) 実動画像との合成技術の開発

制作者が容易に陰影を制御することのできる樹木に特化した陰影付け手法および、前者の手法で生成する樹木画像の配色を実写画像へ一致させるための色情報の変換手法を提案する(図2-1)。第一段階の処理は、樹木の分枝構造に基づき葉をグループ化し(b)、そのグループ(群葉)を球により近似

することで陰影付けを行う(c)という特徴がある。群葉を表す球を障害物として扱うことで、従来手法では複雑な計算を要する自己被陰の生成を簡略化し、計算コストを大幅に削減する。第二段階の処理では、第一段階で生成された画像の配色を実写画像のもつ配色へと変換する。この処理ではまず、両者の画像に用いられる配色をクラスタリングすることで数色の代表色を決定し、代表色の対応関係を自動的に求める(e)。次に、代表色の対応関係から画像全体を滑らかに変換する変換式を定義することで、CG画像を実写画像のもつ配色へ変換する。



(a) 樹木形状データ (b) 枝のグループ化 (c) 枝グループの球による近似 (d) CG画像の生成 (e) 配色の変換
図2-1 合成処理の概要



(a) 枝および葉の階層構造 (b) 階層構造の模式図

図2-2 樹木形状モデル

①球による群葉の近似に基づく陰影の生成

次に、葉の陰影付け手法について述べる。まず、枝の階層構造に応じて葉をグループ化する。図2-2で示した樹木は根元から葉に至るまでに5つの階層に分かれる構造をしている。グループ化の際には、任意の階層より先にある葉をひとつの集団として扱う。次に、各グループを近似する球の中心 C_i および半径 R_i を式1および式2により計算する。球の半径 R_i は、中心 C_i から葉までの距離の平均により求める。 LP_j はグループ i に含まれる葉の位置、 N_i は葉の枚数である。

$$C_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=0}^{N_i} LP_j \quad \dots \text{式1}$$

$$R_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=0}^{N_i} |LP_j - C_i| \quad \dots \text{式2}$$

②陰影の生成

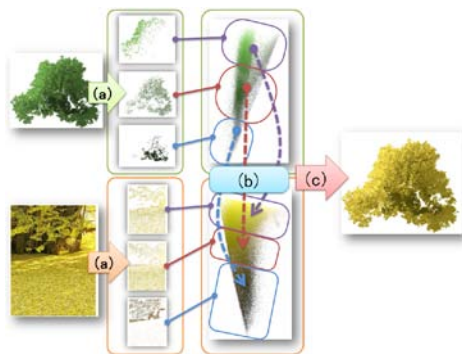
次に、球により遮蔽される領域を判定し、樹木に陰影を生成する手法について述べる。空間に存在する物体を球のみに限定した場合、光源 L と任意の頂点 P_i の間に遮蔽物があるかどうか判定する方法は、まず L から P_i へ向かう光線ベクトル \vec{V}_i を求める(式3)。次に、 \vec{V}_i と他の球との距離 DI_{ij} を求める。このとき、 DI_{ij} がそれぞれの球の半径 R_j より大きい場合、球 P_j は他の球に遮蔽されずに直接光が到達できると判定する(式4)。直接光が到達する頂点については、Phong Shadingに基づく拡散光および鏡面反射光の処理により明るさを与える。

$$\vec{V}_i = P_i - L \quad \dots \text{式 3}$$

$$P_i \text{ IsLighted} = \prod \begin{cases} \text{true} & DI_{ij} > R_j \\ \text{false} & DI_{ij} \leq R_j \end{cases} \quad \dots \text{式 4}$$

③実写画像への配色の変換

樹木のレンダリング結果は、樹木モデルのもつ固有の配色で表現されており、合成対象の実写とは異なる場合がほとんどである。そこで、合成対象となる実写画像の配色を分析することで、レンダリング結果の画像を任意の配色へ変換するための手法を提案する(図2-3)。まず、実写画像およびCG画像の双方で独立に、類似する色同士をまとめるためにクラスタリングを行い、それぞれのクラスタの代表色を定める。次に、実写画像とCG画像の各クラスタ間の対応付けを自動的に行い、色空間上での対応点を定める。最後に、対応関係にあるクラスタ間の色の変換を行う変換モデルを構築する。



(a) 配色の分析
(b) 色空間上での対応付け
(c) 対応色に基づく色空間の変換
図 2-3 配色の分析と変換

④色領域のクラスタ化

表色系の変換を行った後に、分析対象となる画像に含まれる全ての画素をK-means法により複数のクラスタに分類する。クラスタリングを行う際に必要な各クラスタの代表値はそのクラスタに含まれる

画素値の平均とし、クラスタ数はユーザーが任意に与えるものとする。このとき、実写画像側には空や地面などの樹木以外の要素が含まれている可能性が高いため、CG側との対応付けを行う際に関連性の低いクラスタを排除するために、CG側の倍のクラスタ数に分類する。

⑤形状変形手法による色空間の変換

本節ではクラスタの組を用いて配色の変換を行う手法について述べる。いま、実写画像の i 番目のクラスタとCG画像の j 番目のクラスタが対応するという結果が得られたとする。このとき、CG画像側の代表値 Ct_j が実写画像側の代表値 Cs_i へ変換されるようなモデルがあればよい(図2-3(b))。さらに、代表値以外の色空間全体も連続性を保ったまま変換される必要もある。このような空間的に連続な変換を実現するために、GFFDと呼ばれる3次元形状の自由変形手法を用いる。

(3) 背景面に登場させる3Dキャラクターの簡易生成ツールの開発

アニメ制作は通常、1)デザイン、2)モデリング、3)リギング、4)アニメーション・シェーディング、5)レンダリングという順で行われており、2)が3Dモデリングに当たる。このモデリングの作業は、Maya や3ds Maxに代表されるモデリングソフトを利用して行われることが多いが、これらのソフトを用いる場合、ポリゴンモデルを一から構築するため、3Dモデルが完成するまでに非常に多くの時間が必要となる。また、イラスト画を描く人とモデリングを行う人は別の人であることが多く、絵を描いた人のイメージとモデリングを行った人との間で絵の解釈が違っていることも多い。そこで、GFFDという空間変形手法を用いることにより、アニメキャラクターのイラスト画像から容易に3Dモデルを生成する方法を提案する。

①GFFDに基づく顔形状のモデル化

イラスト画は側面方向と正面方向のものを準備する。それらの画像内において、特徴点を指定し、その情報を基に予め準備しておいた標準顔形状をGFFDを用いて変換することにより、イラスト画に描かれているキャラクターの顔形状の復元を行う

②イラスト画の準備と前処理

アニメーターが描くイラストは正面と側面の画像間の対応が正確に描かれていないことがある。そこで、各画像間の対応がより正確になるように、画像上での特徴点指定を行う前に画像を編集する。この画像の前処理は、1) 顔の縦方向の大きさを統一 2) パーツ(目・鼻・耳等)の位置や大きさを修正の2段階で行う。1)は頭頂と顎の先端の長さと同じになるように修正する。2)は、画像間で対応がとれていない箇所を部分的に拡

大・縮小・移動する。

③特徴点

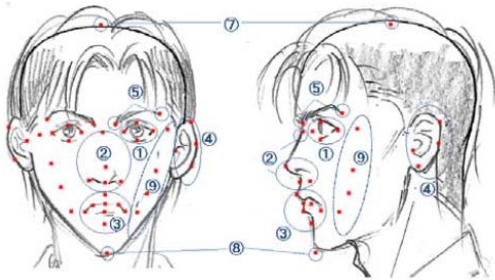
画像上で指定する特徴点は、目視で認識できる箇所であることが望ましい。目・口等の顔に付いているパーツや頭頂・顎の先端等の輪郭線上の点は、必ず描かれているものであり、目視での認識も容易であるので、これらの点を特徴点として用いる（図 3-1）。なお、顔の正面と側面の境界となる点（図 3-1 ⑨）は、通常は描かれない線である。しかし、アニメーターがイラストを描く際には必ず意識されている線であり、顔の形状に影響を与える重要な線である。そこで、目視での認識は難しい点ではあるが、特徴点として用いている。

④標準顔形状モデルの変形

特徴点を GFFD 変換時の操作点として用いることにより、イラスト画に対応した 3D 顔形状モデルを生成する。変形の結果得られた顔形状は、特徴点付近の形状はイラスト画に近いものとなるが、それ以外の箇所では、形状が異なる場合もある。それらの箇所については、3D モデル上で新たな特徴点を自由に設定し、再度 GFFD 変形をする

図 3-1 特徴点

ことで、よりイラスト画の形状に近づける



ことができる。なお、テクスチャは、輪郭線等は削除し、目や眉の部分を切り取って貼り付けている。

4. 研究成果

(1) 風に揺れる複数の樹木映像生成支援(編集)システム「Levante」の機能向上

樹木アニメーション制作支援システムにおいて、樹木形状モデルの生成、物理シミュレーションおよびレンダリングの各処理時に処理時間を大幅に短縮することを目的とした PC クラスタを用いた並列処理を提案した。基本的に各ノードで独立した処理を行うことにより、ノード間のデータ転送量の大幅な削減を実現した。これら一連の並列化手法を用いることで、風に揺れる樹木のアニメーション制作支援システムの処理時間が大幅に削減されることを、各種実験により検証した。

(2) 実動画像との合成技術の開発

樹木の実写画像を用いて色彩の変換を行った結果を図 4-1 に示す。図 4-1 の左側が実写画像、右側が変換後の CG 画像である。実写画像と変換後の画像の類似度を定量化する

ために、画像類似度の算出手法を適用し評価を行った。本算出法における類似度は数値が低いほど、画像同士が類似していることを表している（同一の画像であれば類似度は 0）。

表 1 画像類似度の変化

| | 変換前 | 変換後 |
|--------|-------|-------|
| 実写画像 A | 69.47 | 3.53 |
| 実写画像 B | 69.12 | 1.50 |
| 実写画像 C | 85.65 | 8.44 |
| 実写画像 D | 75.63 | 25.98 |

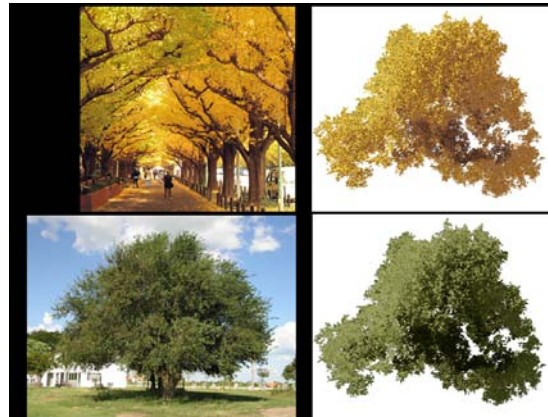


図 4-1 変換結果の比較

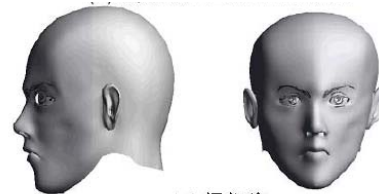
変換の前後における類似度の変化を表 1 に示す。この結果から、提案手法により CG 画像を実写画像中の樹木の色彩へ自動的に近似させることが実現できたといえる。

(3) 背景面に登場させる 3D キャラクタの簡易生成ツールの開発

GFFD という空間変形手法を用いることにより、アニメキャラクタのイラスト画像から容易に 3D モデルを生成する方法を提案した。また、任意の点を操作点として変形を行うことができるという GFFD の特徴を利用して、3D モデル上で新たに追加した特徴点による変形を繰り返すことで、よりイラスト画の形状に近い 3D モデルの生成が可能となることを示した。

図 4-2 キャラクタの編集例

5. 主な発表論文等



(c) 編集後

[雑誌論文] (計 5 件)

①赤木康宏, 北嶋克寛: 植生調査データに基づく大規模森林の表示高速化に関する研究, 精密工学論文会誌, 77 巻, 6 号 pp. 587-593. 2011. 査読有

②近藤聡, 赤木康宏, 北嶋克寛: GFFD 空

間変形手法に基づくカメラ画像からの簡易足型モデリング, 精密工学会論文誌, Vol. 76, No. 4, pp. 474-480, 2010. 査読有

③ 赤木康宏, 北嶋克寛: 並列処理を用いた樹木アニメーション制作支援システムに関する研究, 精密工学会論文誌, Vol. 75, No. 7, pp. 859-864, 2009. 査読有

④ 赤木康宏, 片瀬満則, 北嶋克寛: 背景画における陰影付け技法に基づくアニメ制作のための樹木の色域別レンダリング, 情報処理学会論文誌 第 49 巻, 3 号, pp. 1489-1499, 2008. 査読有

⑤ 佐波晶, 清水エドワルド, 吉田典正, 北嶋克寛: 対話的な室内音響設計のための高速な音響生成システム, 精密工学会論文誌, Vol. 74, No. 11, pp. 1231-1237, 2008. 査読有

[学会発表] (計 15 件)

① 高橋学, 北嶋克寛: GFFDを用いた顔形状デフォルメシステム, 情報処理学会第 73 回全国大会, No. 6z-5, (東京都) 2011. 3. 3

② 弘中悠介, 赤木康宏, 北嶋克寛: リアルな皮膚表現のための血管モデルの生成に関する研究, 情報処理学会第 73 回全国大会, No. 3z-7, (東京都) 2011. 3. 3

③ 近藤 聡, 赤木康宏, 北嶋克寛: GFFD 空間変形手法を用いたアニメキャラクターのイラスト画像からの 3Dモデルの生成, 2010 年度精密工学会秋季大会, (愛知県) 2010. 9. 27

④ 托雅, 近藤聡, 北嶋克寛: 写真画像からの個人の爪形状復元に関する研究, 2010 年度精密工学会秋季大会, (愛知県) 2010. 9. 27

⑤ 岳坤, 近藤聡, 北嶋克寛: 口輪筋を支える筋肉と顎の動きに基づく発話シミュレーション, 2010 年度精密工学会秋季大会, (愛知県) 2010. 9. 27

⑥ N. Tamura and K. Kitajima: 3D Fitting Simulation of Glasses Frames Using Individual's Face Model, NICOGRAPH INTERNATIONAL 2010, Singapore, pp. 91-96 (S5-3), 2010. 6. 19

⑦ S. Yue, Y. Akagi and K. Kitajima: A Study on Speech Simulation with the GFFD Method, NICOGRAPH INTERNATIONAL 2010, Singapore, pp. 101-106. 2010. 6. 19

⑧ 赤木康宏, 北嶋克寛: 多様な樹種を生成および分析するための樹木形状表現に関する研究, 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会, Vol. 2010-CG-138, No. 12, pp. 1-6, (岩手県) 2010. 2. 12

⑨ 近藤聡, 赤木康宏, 北嶋克寛: GFFD 空間変形手法を用いたカメラ画像からの爪形状モデリング, 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会, Vol. 2010-CG -138, No. 4, pp. 1-6, (岩手県) 2010. 2. 11

⑩ S. Kondo, Y. Akagi and K. Kitajima: 3D Virtual Foot Modeling from Multiple Camera Image Data Based on the GFFD Deformation Method, NICOGRAPH INTERNATIONAL 2009, kanazawa, pp. 159-163, 2009. 6. 20

⑪ Y. Akagi and K. Kitajima: Controlling Color Regions of Leaves with Painting Techniques for Landscape Arts, Computational Aesthetics 2009, Victoria, pp. 25-32, 2009. 5. 28

⑫ 橋本剛幸, 赤木康宏, 北嶋克寛: 三次元ウェディングドレスモデルの作成支援及びグレーディングシステムに関する研究, 情報処理学会第 71 回全国大会, No. 4, pp. 329-330, (岐阜県) 2009. 3. 12

⑬ 近藤聡, 赤木康宏, 北嶋克寛: カメラ画像を用いた簡易足型モデリングに関する研究, 情報処理学会第 71 回全国大会, No. 4, pp. 45-46, (岐阜県) 2009. 3. 12

⑭ 中島和哉, 赤木康宏, 北嶋克寛: 繁殖シミュレーションに基づく草原生成, 情報処理学会第 71 回全国大会, No. 4, pp. 273-274, (岐阜県) 2009. 3. 11

⑮ 赤木康宏, 北嶋克寛: GPUによる形状生成に基づく樹木アニメーションの高速化, 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会, Vol. 2008-CG-133, No. 109, pp. 1-6, (福岡県) 2008. 11. 7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北嶋 克寛 (KITAJIMA KATUHIRO)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 70107556

(2) 研究分担者

赤木 康宏 (AKAGI YASUHIRO)
東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 90451989