

ジェスチャ操作による対数美的曲面創成システムの開発

池田聡一郎^{†1} 原田利宣^{†2}

現在、工業製品における曲面設計において、デザイナーは意図するハイライトを生じる曲面を得るため、周囲の光源環境が曲面へ映り込む像(以下、映り込み形状)の形状を手掛かりとして試行錯誤を繰り返している。そこで、本研究ではジェスチャ操作によって、高品質な対数美的曲面を創成、制御可能かつ、現実空間における光源環境を再現し、映り込み形状を再現・評価できるシステムを開発した。具体的には、モーションキャプチャセンサを用い、鉄板を曲げたり、捻じったりする自然な動作で対数美的曲面を創成・制御する。同時に、全天球画像を球面調和解析した結果を用い、映り込み形状のシミュレーションを行うシステムを開発した。

キーワード：対数美的曲面、ジェスチャ操作、映り込み形状

A development of log-aesthetic curved surface generation system by gesture operation

IKEDA SOUICHIROU^{†1} HARADA TOSHINOBU^{†2}

In design process of industrial products, designers design a curved surface using the specular reflection image form on a curved surface. However, In order to generate the intended specular reflection image form, designers adjust curved surface using their intuition and experience. Accordingly, we aimed to develop a system to intuitively control a log-aesthetic curved surface using gesture operation and simulation system that reproduced the light source environment in a real world. Concretely, we control a log-aesthetic curved surface like natural motion to twist and bend the iron plate. Simultaneously, simulation of specular reflection image form using the result of spherical harmonics analysis of celestial sphere image.

Keywords: Log-aesthetic curved surface, Gesture operation, Specular reflection image form

1. はじめに

一般に、自動車におけるデザイン工程では、デザイナーのスケッチをもとに CAD システム上で製品の曲面設計(3Dモデル化)が行われ、Virtual Reality(以下、VR)システムを用いてその3Dモデルの評価が行われる。そして、その3Dモデルから制作された実寸大のクレイモデルを屋内外の検討場で評価を行う。工程中の評価において、デザイナーは曲面表面に映り込む周囲の光源環境の映り込み形状や、その一部であるハイライトの位置や形状を手掛かりに曲率や捻率の変化などの曲面の性質の評価を行う。しかし、意図する映り込み形状やハイライトを生じる曲面を創成することは難しく、デザイナーは勘や経験により曲面形状を調整し、試行錯誤を繰り返して意図する曲面形状を得ている。そのため、CADシステム上で3Dモデルの微調整を行い、クレイモデルを再度制作し評価を行う必要があり、膨大な工数とコストが必要となる。

次に、曲面の創成、評価に関する研究として、原田らにより対数美的曲面に関する研究が行われている[1][2][3]。これらの研究により、CADシステム上で高品質な曲線・曲面の創成や、映り込み形状と対数美的曲面を創成・制御するパラメータ(以下、制御パラメータ)との関係が一部明らか

かとなった。しかし、直観的に対数美的曲面を制御し、同時に映り込み形状による曲面の評価を行う研究については有効性が明らかとなっていない。

そこで、本研究では、ジェスチャ操作によって、高品質な曲面である対数美的曲面を創成・制御可能かつ、現実空間における光源環境を再現し、映り込み形状を再現・評価できるシステムを開発することを目的とした。具体的には、非接触式のモーションキャプチャセンサを用い、画面上に表示された対数美的曲面を、現実の鉄板を曲げ、捻じるような自然な動作で対数美的曲面の制御パラメータを制御する。同時に、全天球画像を球面調和解析した結果を用い、映り込み形状のシミュレーションを行う。

2. 対数美的曲面とは

本章では対数美的曲面の理解のために、曲率・捻率対数分布図と対数美的平面曲線、対数美的空間曲線、対数美的曲面について以下に述べる。

2.1 曲率対数分布図と対数美的曲線

原田らによって、平面曲線の曲率の変化のリズムとボリューム(曲線と曲線の両端点を結んだ直線で囲まれた領域の面積)より、曲線の性質を定量的に表す「曲率対数分布図」が提案された。そして、自然造形物や工芸品、工業製品の

^{†1} 和歌山大学大学院
Graduate School of Wakayama University

^{†2} 和歌山大学
Wakayama University

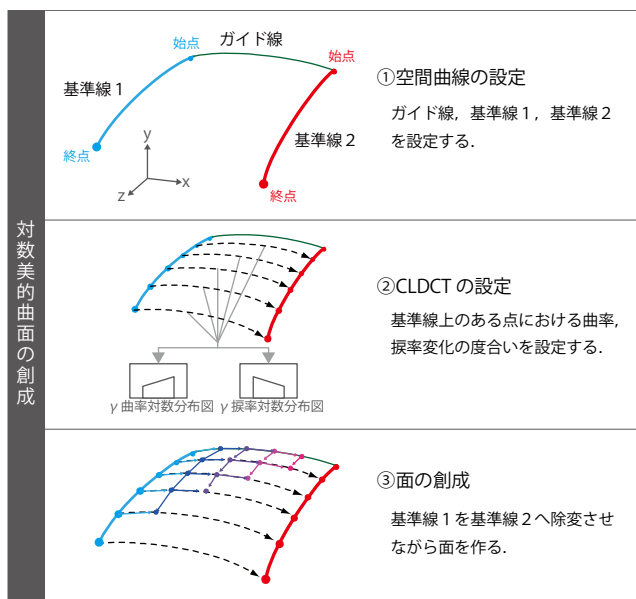


図 1 対数美的曲面の創成

Figure 1 Process of generating a log-aesthetic curved surface. 平面曲線を分析した結果、曲率対数分布図のヒストグラムの頂点を結んだ線である C curve が直線である平面曲線は、自己アフィン性を有していることが示された[4]. 自己アフィン性とは、平面曲線の一部を切り取ったものに対しアフィン変換を行うと、元の平面曲線に一致する性質のことである。そして、自己アフィン性を持つ平面曲線を美しい曲線の一つと仮説し、対数美的平面曲線と定義された。また、吉田、斎藤らによって対数美的平面曲線は一般式化されている[5][6].

2.2 対数美的空間曲線

井上らは対数美的平面曲線の考え方を空間曲線に拡張し、「曲率対数分布図」の考え方を捩率に応用し、「捩率対数分布図」を考案した[7]. そして、自然造形物や工芸品、工業製品、数学曲線の空間曲線の分析を行った。その結果、捩率対数分布図のヒストグラムの頂点を結んだ線である T curve が直線である空間曲線は、捩率について自己アフィン性を有していることが示された。空間曲線における自己アフィン性とは、空間曲線の一部を切り取ったものに対しアフィン変換を行うと、元の曲線または元の曲線の一部に一致する性質のことである。そして、曲率に加え、捩率についても自己アフィン性を有する空間曲線を美しい曲線の一つと仮説し、対数美的空間曲線と定義された。また、吉田らによりフレネ＝セレの公式を用いた対数美的空間曲線創成アルゴリズムが提案されている。

2.3 対数美的曲面

対数美的曲面は、対数美的空間曲線の考え方を曲面に拡張し、対数美的空間曲線を用いて創成される曲面である。一般的にクレイモデリングで用いられている造形手法をもとに、1本のガイド線と、2本の基準線をコの字型に配置して曲面を創成する(図1)。このとき、2本の基準線のうち、

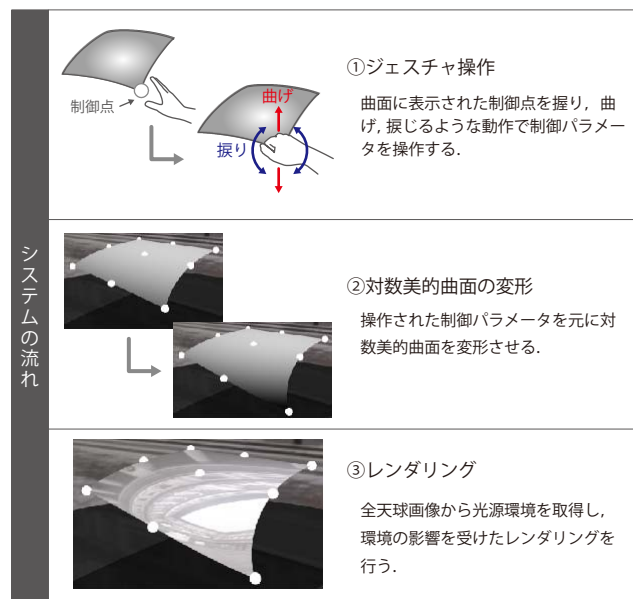


図 2 システムの流れ

Figure 2 Flow of System.

一方の基準線の形を、他方の基準線の形状に徐変させながら曲面を創成する。萩原らは、この徐変していく基準線 n 曲率、捩率の変化の度合いを表すために、曲率、捩率対数分布図を考案し、それと同一の曲率、捩率の変化をする仮想的な曲線を CLDCT とした。この CLDCT の曲率、捩率の変化が自己アフィン性をもつ時、創成される曲面を対数美的曲面と定義した。

3. 対数美的曲面創成システム

先行研究により開発された曲面創成システムでは、3次元位置センサによって直観的に対数美的曲面を制御が可能となっている[2]. しかし、3次元センサを手を持った状態でなければ操作ができず、またキーボードで操作する制御パラメータを選択する必要があった。本研究では、ユーザにセンサ類を装着させることなく、より現実環境に近い自然な操作感を表現するため、ジェスチャ操作で操作する。開発したシステムは、2章で述べた対数美的曲面をコンピュータ上で 3D モデル化し、周囲の光源環境を球面調展開し、レンダリングを行う。同時に、モーションキャプチャセンサより得られる手の情報より、ユーザが要求する曲面の制御パラメータを判別し、曲面形状を制御する。また、周囲の光源環境のシミュレーションをする他に、ゼブラパターンの映り込みや、対数美的曲面の曲率半径、捩率半径の変化を色で表し曲面にマッピングしたレンダリングに任意で切り替え曲面評価を行う。本システムのフローを図2に示す。以下、使用するモーションキャプチャセンサ、インタフェース、球面調和関数を用いたレンダリング手法について述べる。

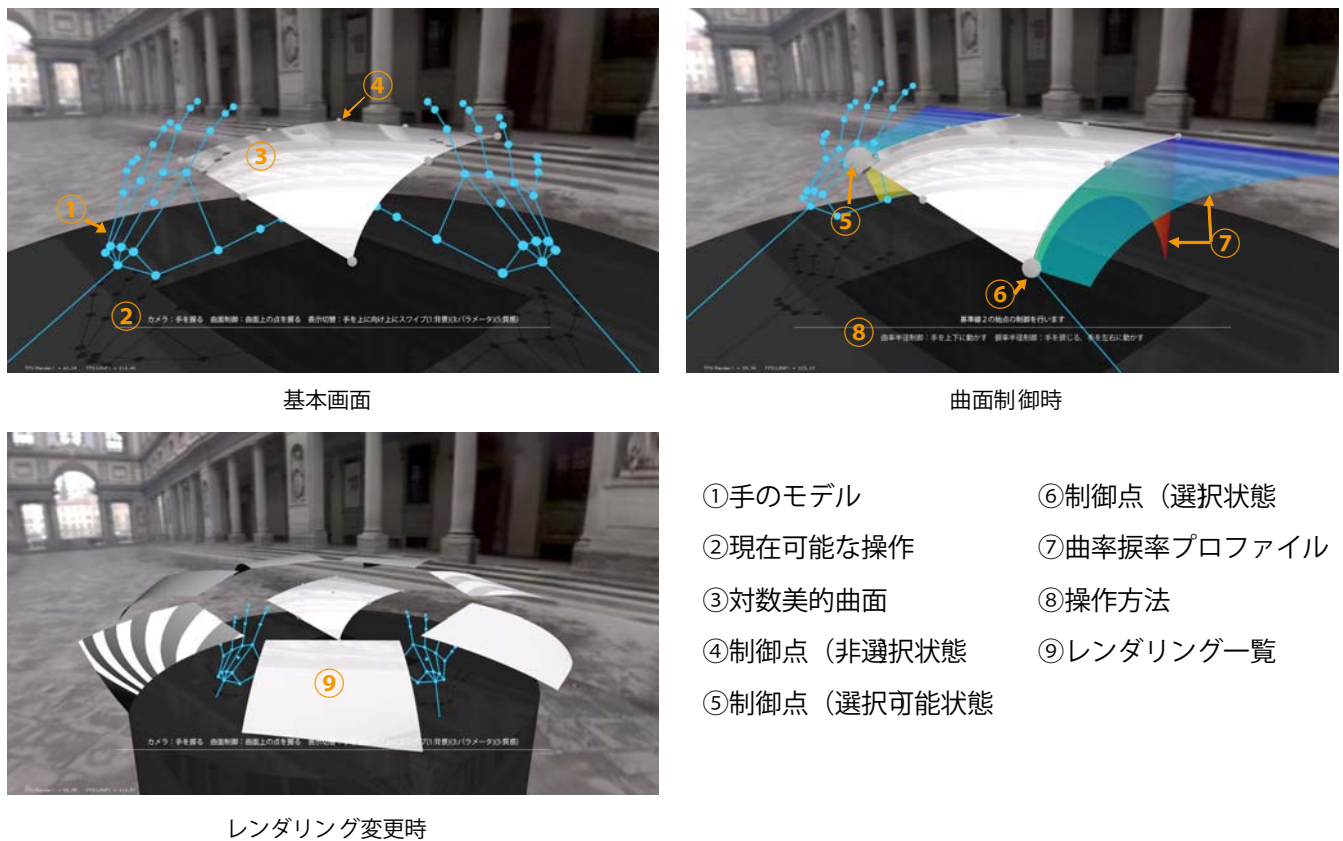


図 3 システム画面

Figure 3 System Image.

- ①手のモデル
- ②現在可能な操作
- ③対数美的曲面
- ④制御点 (非選択状態)
- ⑤制御点 (選択可能状態)
- ⑥制御点 (選択状態)
- ⑦曲率振率プロファイル
- ⑧操作方法
- ⑨レンダリング一覧

3.1 使用するモーションキャプチャセンサ

一般に、ジェスチャ操作に用いられるデバイスとして、ユーザにデバイスを装着する接触型と、カメラなどを用いてユーザの動作を得る非接触型がある。本研究では非接触型のモーションキャプチャセンサである、Leap Motion 社の Leap Motion を使用する。本研究におけるジェスチャ操作は Leap Motion がサポートしているジェスチャ操作と、得られる手の情報を組み合わせて実現する。このセンサを使用した理由は、デザイナーが曲線を制御する場合、鉄板を握り、曲げる、または捻じめるような動作を再現できれば、曲面形状の容易な制御が可能となると考えたためである。

3.2 インタフェース

本システムでは、対数美的曲面の制御に関するインタフェースと、曲面のレンダリングに関するインタフェースの2つに大別した。システムの基本画面、曲面制御画面、レンダリング変更画面を図3に示す。画面上に表示された手の骨格モデル(図3中)は、現実の手の動作や姿勢と連動しており、これを操作して曲面の制御や、レンダリングの変更を行う。以下、対数美的曲面の制御と、曲面のレンダリングの切り替えについて述べる。

対数美的曲面創成システムの操作風景は、下記 URL から参照されたい。

<http://wakayama-u.ac.jp/~harada/gesture/Run.mpg>

3.2.1 対数美的曲面の制御

対数美的曲面の制御は、曲面状に表示された制御点(図

3中)を握り、手を上下左右、または捻じめる動作で制御パラメータの変更を行う。具体的に、まず、制御点は、手が一定の距離以内になった場合に、大きく表示される。また、同時に該当する曲線の曲率半径と曲率半径を視覚的に表したプロファイルが表示される。この状態を選択可能状態とする(図3中)。次に、選択可能状態であるときに、手を握ると、手の骨格が制御点と同じ位置に固定される。この状態を選択状態とする(図3中)。そして、選択状態であるときに、手を上下左右に動かすか、捻じめる動きをすることで、制御パラメータが上下させる。この時、制御点、各動作ごとに上下するパラメータは指定されている。現在制御可能なパラメータは基準線1と基準線2の始点、終点の曲率半径と振率半径である。最後に、手を開くと、選択状態が解除され、曲面形状の制御を終了する。制御点の状態の遷移を図4に、制御点ごとに指定された対数美的曲面の制御パラメータと、制御パラメータを制御する際の動作を図5に示す。

3.2.2 曲面のレンダリング切り替え

曲面のレンダリング選択は、手を上方向へスワイプ(特定の方向へ直線的に素早く動かす動作)し、指を左右にスワイプすることで切り替えを行う。具体的に、手を上に向け、指を全て開いた状態、または指を3本開いた状態で上方向へスワイプを行うと、レンダリングの候補が対数美的曲面の周囲に表れる(図3)。指を全て開いた場合は反射や陰影など、光源に関するレンダリング、指を3本開いた場

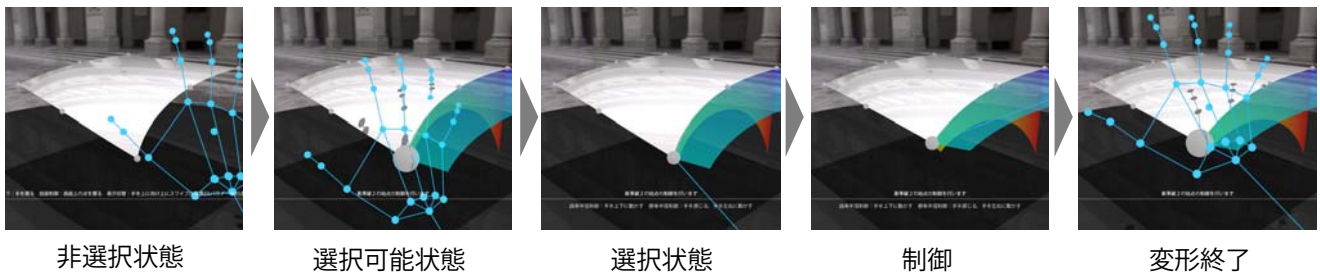


図 4 制御点の状態遷移

Figure 4 State transition of the control points.

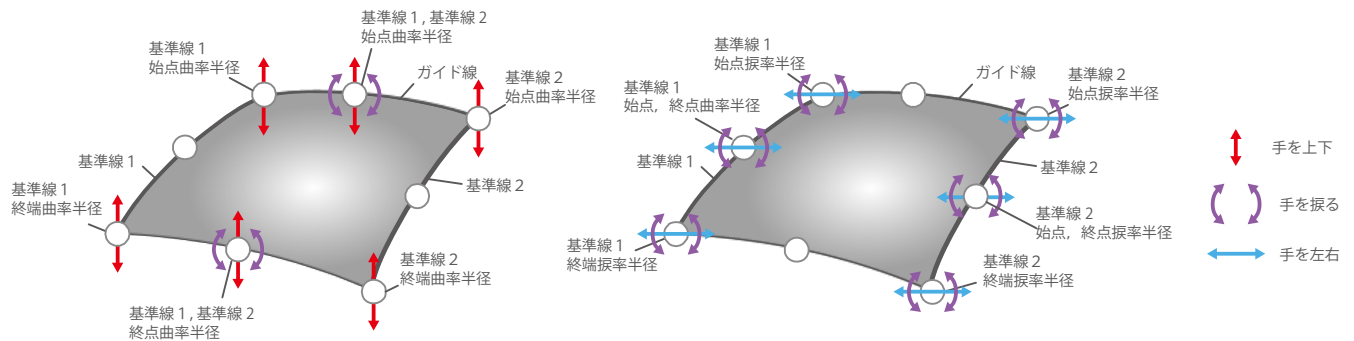


図 5 制御パラメータと操作方法

Figure 5 Control parameters and method of operation.

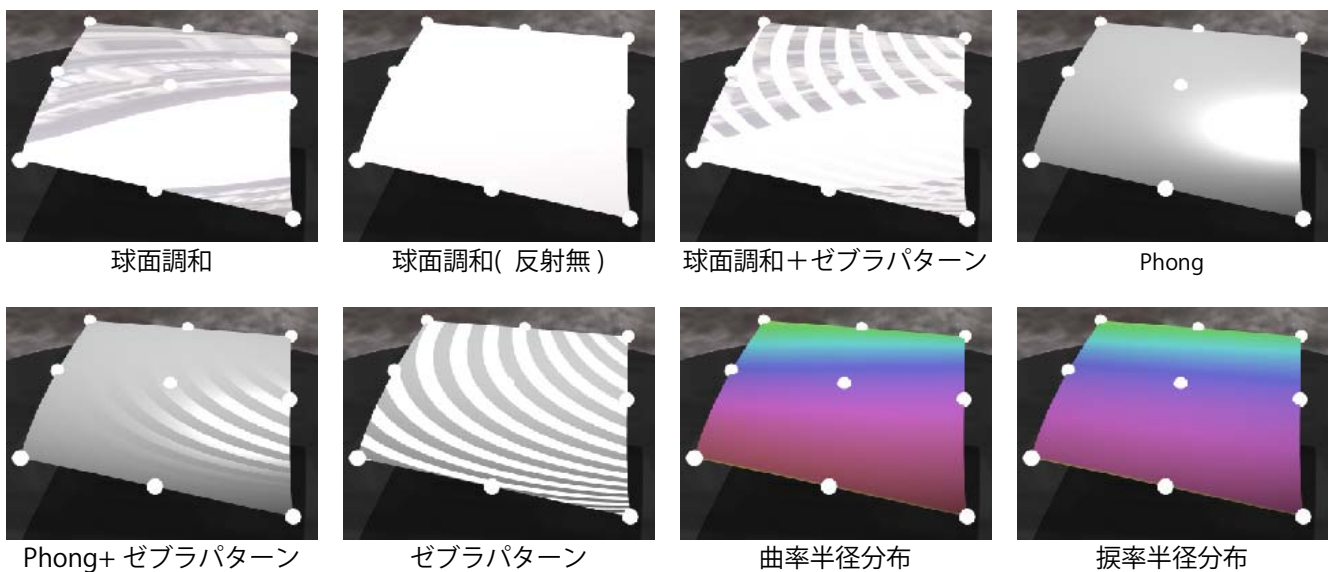


図 6 レンダリングパターン

Figure 6 Rendering pattern.

合は曲率半径や振率半径の変化を色で表した，曲面のパラメータに関するレンダリングの切り替えに移る．次に，指を左右方向へスワイプすることで，任意のレンダリングを切り替える．最後に，手を下方方向へスワイプを行うと，レンダリング候補が消え，切り替えを終了する．光源に関するレンダリングと，曲面のパラメータに関するレンダリングはそれぞれ独立しており，組み合わせる表示することが可能である．図 6 に光源に関するレンダリングの一覧と，曲面のパラメータに関するレンダリングの一覧を示す．

3.3 球面調和関数を用いたレンダリング手法

曲面の拡散反射色を正確に再現するために，現実世界の周囲の光源環境を用いてレンダリングを行う．現実世界の周囲の光源環境を用いた対数美的曲面のシミュレーションは平野らにより行われており[8]，本研究も同様の手法を用いる．対数美的曲面の制御をリアルタイムで行うために，Ravi Ramamoorthi らが提案した手法[9]を用いて光源環境の環境マップを球面調和解析し，レンダリングを行う．また，球面調和展開は，鏡面反射光を近似するには向かないため，全天球画像を環境マッピングすることで鏡面反射光を再現する．よって，現実環境の影響を受けた曲面を再現す

ることができる。

3.4 評価実験

本システムの操作性を検証するため、下記のような条件で評価実験を行っている。

- ・ まず、実験用サンプル曲面をシステム上左上に提示し、被験者に見てもらう。
- ・ 次に、システム中央に提示された、制御用曲面を、実験用サンプル曲面と同じ曲面になるよう、システムを操作して制御してもらう。
- ・ 最終的に得られた曲面と、サンプル曲面の制御パラメータを比較し、本システムの精度を評価する。

本システムの評価実験風景、及びその結論は描き URL から参照されたい。

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~harada/gesture/Experiment.mp4>

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~harada/gesture/Result.pdf>

4. おわりに

本研究では、以下に表す成果が得られた。

- 1) 曲面の制御と評価を同時に行うシステムを開発した。
- 2) ジェスチャ操作により、対数美的曲面を直観的に制御することが可能となった。

また、今後の課題として以下のようなものが考えられる。

- 1) 現在、本システムを用いた評価実験中である。
- 2) 曲面の形状を正確に把握するために、より没入感の高い、VR や VRHMD による立体視にする必要がある。
- 3) 先行研究[]で一部明らかとなった、映り込み形状と対数美的曲面の制御パラメータの関係性を考慮したものに改良する必要がある。

最後に、システムを操作している動画と、現在行っている評価実験に関する結論を以下の URL から参照可能とした。

謝辞

本研究の一部は科学研究費（科学研究費 基盤 (C) 25420090）により補助されました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Inoue, J., Harada, T. and Hagihara, T.: An algorithm for generating log-aesthetic curved surfaces and the development of a curved surfaces generation system using VR, Int. Assoc. of Societies of Design Research, pp. 2513-2522 (2009).
- 2) 伊丹裕美, 原田利宣: 3次元位置センサを用いた直観的制御による対数美的曲面創成システムの開発, 情報処理学会グラフィクスとCAD研究会, Vol.2011, No. 142, pp.1-5 (2011).
- 3) 平野亮, 原田利宣: 映り込み形状に基づく対数美的曲面創成システムの開発, グラフィクスとCAD研究会報告, Vol.2013, No150, pp1-7 (2013j).
- 4) 原田利宣, 吉本富士市, 森山真光: 魅力的な曲線とその創成アルゴリズム, 形の科学学会誌, Vol.3, No. 3, pp.149-158 (1998)
- 5) 吉田典正, 斎藤隆文: 美しい曲線の全体像の解明と対話的制

- 御, Visual Computing / グラフィクスとCAD合同シンポジウム, Vol.2006, pp.72 - 82 (2006)
- 6) Yoshida, N. and Saito, T.: Interactive Aesthetic Curve Segments, The Visual Computer (Pacific Graphics), Vol.22, No.9-11, pp896-905 (2006).
 - 7) 井上次郎, 原田利宣: 多項式による空間曲線の近似手法とそれを用いた性質分析, グラフィクスとCAD研究会報告, Vol.2007, No.129, pp.49-54 (2007).
 - 8) 平野亮, 原田利宣: 拡張現実感を用いた様々な光源環境下における対数美的曲面の再現に関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.8, pp.2028-2035 (2012).
 - 9) Ravi Ramamoorthi, Pat Hanrahan: An Efficient Representation for radiance Environment Maps, In SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp.497-500 (2001)