

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21500100

研究課題名（和文）美しい曲面の事例に基づいた造形支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of Formative Support System Based on Instances of Aesthetic Curved Surfaces

研究代表者

原田 利宣（HARADA TOSHINOBU）

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：80294304

研究成果の概要（和文）：本研究は、「デザイナーがVRシステム上で製品デザインを行う際、工芸品や自然造形物などの曲線（面）アーカイブを参照しながら、美しい空間曲線を創成し、またそれらを用いて美しい曲面も創成するシステムの開発」を目的とした。具体的には、デザイナーがVRシステム上で美しい空間曲線を創成するアルゴリズムとシステムを開発した。次に、創成した空間曲線をコ型に配置し、美しい曲面を創成するアルゴリズムとシステムを開発した。その結果、設計図面応用に耐えうる美しい曲面を短時間に創成することができ、現在の曲面創成作業が飛躍的に効率化する可能性が考察された。

研究成果の概要（英文）：Recently, in the field of industrial design, precise models by CAD systems are required from an earlier design phase. However, designers can't control space curves or surfaces directly on present CAD systems and have an impenetrable difficulty creating precise models because the CAD systems can generate only plane curves or space curves compounded from two plane curves. Due to this limitation, designers must refine clay models made by CAD data using a lot of labor. This study shows the algorithm for generating log-aesthetic curves that are needed to create precise models on CAD systems and also shows the characteristics of the space curves that compose curvature lines of surfaces. First, we developed a log-aesthetic curve generating system by our algorithm. Second, we analyzed lines curvature lines of various surfaces and clarified the characteristics of the curves. Finally, we could generate aesthetic surfaces of log-aesthetic curves regularly placed by using the result of analyses.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・データベース

キーワード：曲線・曲面，視覚言語，デジタルアーカイブ，自然造形物，データマイニング

1. 研究開始当初の背景

今日の NURBS などの有理化されたスプライン曲線を用いた CAD システムを用いても、意図する“美しい曲線”（定義は後述）の創成はきわめて難しい状況である。その原因として、スプライン曲線は、局所的な曲率の連続性を保証しているが、曲線の全体における大局的な形状変化特性（後述する自己アフィン性はその一種と考えている）はその創成条件として考慮されていないからである。また、Pal, Nutbourne, Farouki, さらに Farin らにより、美しい曲線を成立させる要因を探求する研究が近年なされているが、そのいずれの方法も研究代表者の提案する美しい曲線のベースとなる自己アフィン性を有する5つのタイプの曲線（詳細は後述）を完全には再現できない。

次に、平面曲線の性質を分析するにあたって、研究代表者（1994）は曲線の重要な性質である曲率変化の仕方とボリュームを同時に、直感的に理解しやすく定量化する方法を開発・提案した。また、工業製品や自然造形物における美しい平面曲線の性質についても、数千を超える分析結果に基づいて解明され、5つのタイプに分類されている。ここで、研究代表者らは、上記分析結果を基に、“美しい曲線”とは曲線全体を通して曲率変化に自己アフィン性（曲線の任意の個所を切り出し、アフィン変換[拡大/縮小/回転]することにより、それが元の曲線の別の個所の曲線形状に一致する性質）を有する曲線と定義した。現在、この定義は曲線創成の分野で多くの研究者に支持され、これに関する研究が盛んになりつつある。さらに、近年では、空間曲線にその理論を拡張し、曲率変化と捩率変化双方の定量化を行うとともに、反対にそれらを制御して、美しい空間曲線を得る可能性を示した（2006）。

現在までに、本定量化手法を空間曲線に拡張し、工業製品や自然造形物上の曲率線として表れる空間曲線の“性質（曲率変化と捩率変化）”を分析した結果、その多くの空間曲線においては、その曲率も捩率も自己アフィン性を有することが確かめられた。よって、曲率/捩率変化に自己アフィン性を有する空間曲線は、曲面創成の際の最小単位となる形の要素（デザイン

の分野では“視覚言語”と呼ぶ)になると仮説を立てた。また、現在までに、数学曲線や工業製品における空間曲線の性質を分析し、それを裏付ける結果を得ていた。

しかし、曲率/捩率変化に自己アフィン性を有する空間曲線をどのように構成すると美しい曲面を得ることができるのか、またどのような操作性を持った曲面創成システムが最適なのかについては未知であった。

2. 研究の目的

現在、工業製品の形状デザインに使用する曲面を創成する際、まずモデラーがクレイモデルを作成し、それらをデジタイザにより計測しコンピュータに入力する方法が未だ主流である。なぜなら、美しい空間曲線を何も事例がないところから CAD 上で創成することが極めて困難だからであり、ひいては美しい曲面も創成できない。

そこで、本研究では、「デザイナーが VR システム上で製品デザインを行う際、工芸品や自然造形物などの曲線（面）アーカイブを参照しながら、美しい空間曲線を創成し、またそれらを用いて美しい曲面も創成するシステムの開発」を目的とした。具体的には、次章で詳述する3つの課題に取り組んだ。その結果、本研究において開発されたシステムは、自動車や家電製品などの外形形状デザイン段階への適用が考えられた。それにより、デザイナーは従来の試行錯誤による膨大な曲面創成作業を行わなくても、金型設計図面への応用に耐えうる美しい曲面を短時間に創成することができ、これにより現在の曲面創成作業が飛躍的に効率化する可能性が考えられた。

3. 研究の方法

具体的には以下のテーマについて研究を行った。

課題 1 デザイナーが VR システム上で美しい空間曲線を創成する。【空間曲線創成段階】

- ① 200~300 種の自然造形物（人の顔なども含む）、工芸品に対して分析を行い、曲線（面）アーカイブを構築する。
- ② どのようなデバイスを用いて、空間曲線を制御するのが最適であるかを明確にする。

課題2 創成した空間曲線をH型やロ型に配置し、美しい曲面を創成する。【曲面創成段階】

- ③ どのような規則性で空間曲線を配置し、曲面を創成するのが最適であるかを多くの分析結果を通して明確にする。
- ④ 曲面を構成する空間曲線(曲率線群)の曲率/振率変化量を新たなパラメータで定義する。
- ⑤ 定義されたパラメータ値の変更により、どの程度の微調整が効くのかを検証する。

課題3 創成した曲面に新たな曲線(面)を接続し、美しい曲面を得る。【曲面接続段階】

- ⑥ どのようなアルゴリズムで曲面同士を接続するのが最適であるかをいくつかの仮説を立て、検証する。
- ⑦ 拡張現実感(AR)を用いて、より直観的操作により、美しい曲面を創成、修正できる造形支援システムを開発する。

4. 研究成果

本研究では以下に示す成果が得られた。

① に関する研究成果：

1) 美しい曲線(面)の応用として、形成外科手術用テンプレートの開発を行った。本研究では耳介形状に着目し、様々な被験者におけるその曲線の分析と分類を行い、その結果を用いてテンプレートを製作することを目的とした。具体的には、まず被験者50名の耳介形状を撮影し、画像処理によりその輪郭曲線と対耳輪下脚部曲線を抽出した。次に、曲率プロファイルによりそれらの曲線の性質を分析し、耳介輪郭曲線3タイプ、対耳輪下脚部曲線2タイプに分類を行った。その結果から、90種類(3タイプ×2タイプ×15サイズ)のテンプレートを製作した。さらに、それらテンプレートを実際の形成外科手術に適用し、その有効性を明らかにした。【論文3, 5, 6, 10, 国際会議3】

2) 次に、形成外科手術で外鼻の形状が修正される際の、その形状の完成度向上に対する支援を目的として、日本人の外鼻形状の輪郭曲線を分析し、分類した。具体的な方法は、まず日本人84人(18~24歳)の外鼻形状を撮影し、画像処理により輪郭曲線を抽出した。次に、外鼻形状の曲線について曲率プロ

ファイルを用いて分析した。その結果を用いて、外鼻形状の輪郭曲線を5タイプ(A~Eタイプ)に分類した。また、その分類を用いて外鼻の形成外科手術の支援を目的として、テンプレートとそのテンプレート作成支援システムの開発を行い、実際の形成外科手術においてその有用性の検証を行った。【論文投稿中】

①, ②に関する研究成果：

造形支援システムの中核をなす、手描きスケッチから対数美的空間曲線を創成し、その空間曲線を用いて対数美的曲面を創成する手法を提案した。次に、その手法を用いた対数美的曲面創成システムの開発を行い、有効性を明らかにした。さらに、3次元位置測定装置を用いて、創成した曲面の直観的制御をVR技術を用いて行った。最後に、評価実験を行った結果、従来の入力デバイスに比べ、より短時間での曲面創成が可能となった。【論文9, 国際会議2】

②, ④に関する研究成果：

造形システムのデータベースの基礎となる、自然造形物や工業製品などのさまざまな美しい曲面から曲率振率分布曲線(CLDCT)を抽出してその性質を分析し、曲面の性質を解明することを目的とした。具体的には、3次元計測装置を用いてさまざまな曲面を計測し、その計測データを元に曲面の最大・最小曲率線を抽出した。さらに2本の最大曲率線を基準線とし1本の最小曲率線をガイド線とする曲面からCLDCTを抽出し、2本の基準線と抽出したCLDCTのそれぞれの曲率対数分布図と振率対数分布図を作成することで曲面の性質を同定するシステムを開発した。これにより、さまざまな曲面の分析が可能となり、美しい曲面がどのような性質を持つ場合に成立するのかが解明できるようになった。また、それらの結果を元に、曲面を性質により体系化することで、対数美的曲面の汎用性が向上すると考えられる。【論文作成中, 国際会議2】

⑤に関する研究成果：

造形支援システムの発展を考え、拡張現実感(AR)を導入し、対数美的曲面の評価にも着

手した。拡張現実感により現実空間（環境）における光源環境を再現し，その中で対数美的曲面をシミュレーションするシステムを開発した．具体的には，精密な拡散反射色で曲面の映り込みを再現するため，金属半球に反射した光源環境を球面調和解析した結果を用いてレンダリングを行った．また，開発したシステムを用いて，様々な環境下（晴天，曇天，夕日など）における曲面の印象の違いに関する評価実験を行い，環境が曲面の印象に与える影響を明確にした．【論文4】

⑤，⑦に関する研究成果：

本研究では，まず8個の制御パラメータ値（各2種）の組み合わせ計256種から創成された対数美的曲面とその曲面上の映り込み形状の関係性，また視点位置と映り込み形状の関係性について分析を行った．その結果，不具合映り込み形状となると制御パラメータ値の組み合わせが明らかになった．また，ガイド線の α ， β と， γ_c ， γ_t の制御パラメータ値を適切に設定することで，不具合映り込み形状にならないことが明らかになった．また，映り込み曲線の性質に対する，視点位置によらない制御パラメータ値の組み合わせの一部が明らかになった．さらに，分析より得られた結果から，デザイナーが意図する映り込み形状となるような曲面を創成する制御パラメータ値を最適化する支援システムを開発した．【論文作成中】

その他関連する研究成果：

本研究では，上記の研究以外に，曲線（面）に影響を与える「概念とその抽出方法」に関する研究も合わせて行った．特に，ネット上にあるユーザーの製品に対する評価からのマイニングに関する研究を行った．【論文1，2，7，8，国際会議1，図書1】

本研究では，以上のような研究成果があった．ただし，⑥に関しては，現在のところ明確な方法を開発できていない．理由は，拘束条件が幾通りか考えられ，そのうちのどれがもっとも効果的かを断定できていないからである．今後の課題として，研究を継続中である．

5. 主な発表論文等 (研究代表者に下線)

[雑誌論文] (計10件)

(全文査読付き論文)

- 1) 大木基至，乾口雅弘，原田利宣：ラフ集合の決定ルール可視化による知識発見支援システム，日本知能情報ファジィ学会誌，Vol.24, No.2, 660-670, 2012
- 2) 井上拓子，原田利宣：ファジィ AHP を用いた製品レコメンドシステムの開発，日本感性工学会論文誌，Vol.11, No.2, 1-9, 2012
- 3) 山田朗，上田晃一，原田利宣：小耳症における全耳介再建術の工夫，PEPARS, No.63, 77-94, 2012
- 4) 平野亮，原田利宣，床井浩平：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, 2028-2035, 2012
- 5) 原田利宣，山田朗，佐藤瑛，富田郁成：耳介形状における曲線の分析と形成外科手術用テンプレートの開発，デザイン学研究，Vol.57, No.4, 21-26, 2011
- 6) 山田朗，原田利宣，上田晃一：耳介の形態に応じたフレームワークの作製，形成外科，Vol.54, No.3, 251-260, 2011
- 7) 大野森太郎，原田利宣，宗森純：“動詞”の情報量分析に基づくビクトグラムデザイン支援システム，デザイン学研究，Vol.58, No.2, 55-64, 2011
- 8) 原田利宣，宮尾和樹：Web 上画像と感性ワードを用いたデザインコンセプト立案支援システム開発，デザイン学研究，Vol.57, No.1, 67-76, 2010
- 9) 井上治郎，原田利宣，今井敏行，小島志織：空間曲線の性質分析手法の提案，デザイン学研究，Vol.55, No.5, 65-74, 2009
- 10) 原田利宣，河野正之：美しく接続された視覚言語を用いたラフスケッチの清書化，デザイン学研究，Vol.55, No.5, 55-64, 2009

[学会発表] (計3件)

(国際会議発表)

- 1) Motoyuki Ohki, Masahiro Inuiguchi, Toshinobu Harada : Decision Rule Visualization for Knowledge Discovery by Means of Rough Set Approach, C3-05, GrC2011, 2011
- 2) Inoue Jiro, Harada Toshinobu and Hagihara Tohru : An Algorithm for Generating Log-Aesthetic Curved Surfaces and the Development of a Curved Surfaces Generation System using VR, IASDR2009 proceedings, 2009
- 3) Akira Yamada, Toshinobu Harada, and Kenneth E. Salyer : External ear reconstruction, The 11th Congress of Pan

Arab Association for Bum & Plastic Surgery,
2009

〔図書〕(計1件)

1) 井上勝雄, 原田利宣, 他3名:「ラフ集合の感性工学への応用」, 海文堂出版, 97-107,
2010【著書(日本感性工学会出版賞(平成22年度)受賞)】

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

HPによる研究成果の公開

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~harada/curre/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田利宣 (HARADA TOSHINOBU)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号: 80294304

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし