

デザイナーの意図する曲線要素による形状デザインシステムの開発

栗原 祐介[†] 中嶋 信幸[†] 原田 利宣^{††} 高木 佐恵子^{††} 吉本 富士市^{††}

[†] 和歌山大学大学院システム工学研究科

^{††} 和歌山大学システム工学部

CADシステムをもちいた自動車の形状デザインでは、クレイモデルの計測データをフェアリングすることでモデルの構築をおこなう。しかし、このフェアリング作業には多くの人的工数を要するという問題がある。そこでデザイナーの意図する曲線要素、すなわち“性質”の良い曲線要素を生成し、これをもちいて曲面を構築するシステムを提案する。曲線要素は計測データの解析結果に基づき、“性質制御による曲線創成手法”により生成する。提案手法により曲面を構築し、その評価をおこなった結果、良好な曲面であることが確認された。

Development of Shape Design System Using Curves with Designer's Intention

Kurihara Yusuke[†] Nakashima Nobuyuki[†] Harada Toshinobu^{††} Takagi Saeko^{††} Yoshimoto Fujiichi^{††}

[†] Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

^{††} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

In a general process to design a car with a CAD system, a shape is modeled by fairing measured data of a clay model. The fairing work takes a long time and requires a great deal of labor. To solve the problem, we propose Shape Design System. Using the system, we can create curves with designer's intention, which satisfy designers, and construct a surface using the curves. A curve is created by "Algorithm of Creating the Curve by Controlling its Characteristics," based on analysis of measured data. We constructed a surface and evaluated it. As a result, we confirmed that it is a good surface.

1 はじめに

自動車における形状デザインでは、クレイモデルを作成し、この計測点列をもとにCADモデルを構築することが多い。これはリバースエンジニアリング [1] と呼ばれている。計測点列に曲線あてはめをおこなうことで得られた曲線は、曲率半径ベクトルが反対を向いているなど、曲率の変化が滑らかではないことが多い。これを修正し、デザイナーの満足する曲線を得る作業をフェアリングと呼ぶ。しかし、この作業には多大な人的工数がかかることが問題となっている。

これまでに、デザイナーによって美しいとされる曲線の通過点列を生成する手法 [2] を応用し、計測データから曲線の自動フェアリングをおこなう手法が提案されている [3]。また、形状デザインの方法として、デザイナーに好まれる曲線要素を生成し、それらを組み合わせることで形状を作成していく方法が提案されている [4]。

本稿では、これらの考え方をベースとするリバースエンジニアリングの手法を提案し、これをもちいたシステムを形状デザインシステム (図 1) と呼ぶ。はじめに非接触型の 3 次元形状計測機により曲面の計測をおこなう。次に、得られた点列データからキーラ

イン¹に相当するデータを抽出し、曲線あてはめをおこなう。さらに得られた曲線を解析し、“性質”²の良い曲線に置換する。このようにして生成した曲線をもちいて、既存CADシステムにおいて曲面を構築する。最後に、構築した曲面の評価をおこなう。この過程のうち、曲線の置換操作を総称して自動フェアリングと呼ぶ。図 1 における曲線デザインシステムは、自動フェアリングを支援し、“性質”により曲線の制御をおこなうシステムである。

2 曲線の自動フェアリング

本節では、フェアリングにおける問題を解決するための自動フェアリングについて述べる。

2.1 クレイモデルの計測と曲線解析

クレイモデルの計測には、非接触型 3 次元形状計測機をもちいる。これにより、計測物に対する影響がなく、また接触型の計測機に比べて短時間で計測できる。

次に、キーラインに相当する計測点列を抽出し、曲線あてはめをおこなう。得られた曲線の曲率単調³と

¹ 自動車の曲面を特徴付ける曲線

² 曲線のリズムとボリューム [2]

³ 曲線の一方向の端点からもう一方の端点へ、曲率半径が一様に増加あるいは減少すること

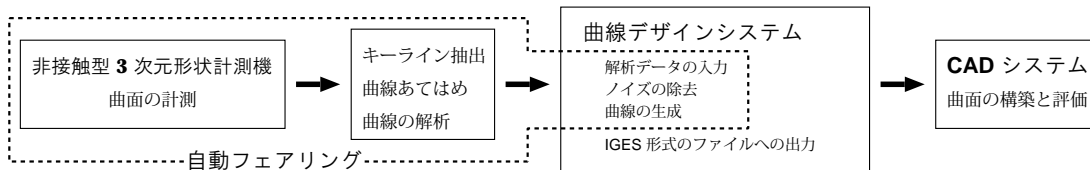


図 1: 提案する形状デザインシステム

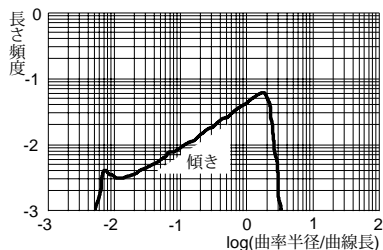


図 2: 曲率対数分布図

表 1: 曲線のタイプと印象

タイプ	傾き	印象
単調リズム	負 0 正	切れがある, 勢いのある 安定した, 静的な 線にたまりのある, 求心的な
複合リズム	山型 谷型	発散, ある境から収束 収束, ある境から発散

なっている部分を抜き出し, 曲率対数分布図をもちいた解析 [2] をおこなう。曲率対数分布図は, 曲線上で等間隔に取った点列における曲率半径を算出し, 曲率半径と曲線上にその曲率半径が現れる長さとの関係を両対数座標系上に表現したものである (図 2)。この曲率対数分布図を XY 直交座標系に見立てたときのグラフの傾きにより, 曲線を分類できる。表 1 に示すように, 曲線はデザイナーの印象と関連のある 5 タイプに分類できることが知られている [4]。

2.2 曲線の置換

曲線の解析結果をもとに, “性質” の良い曲線に置き換えることは, 図 3 に示すように, 曲率対数分布図のグラフをある傾きを持った直線で置き換えることに相当する。このようにして得られたグラフから, 曲線生成をおこなうことで, デザイナーの意図する曲線が得られる (図 4)。

3 曲面の構築

自動車における曲面は基準面と集合面に分類される (図 5)。基準面は車のフォルムを決定づけ, 集合面は車の持つムードをある程度決定する [5]。本稿では,

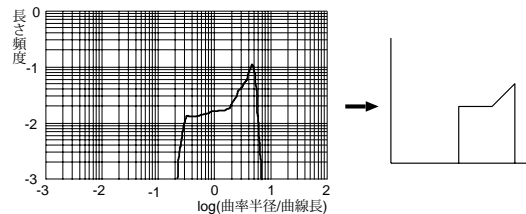


図 3: 曲線の解析結果と解釈

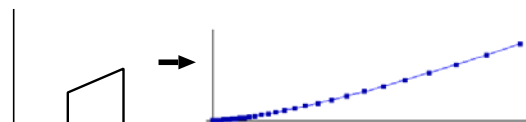


図 4: デザイナーの意図する曲線の生成

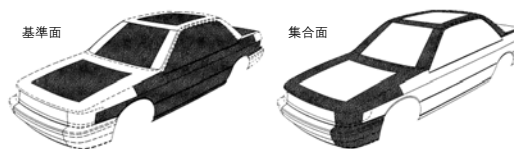


図 5: 基準面と集合面 (文献 [5] より引用)

基準面の構築について述べる。

曲面を構築するために必要とされるツールや評価ツールは既存 CAD システムに用意されており, 本研究ではそれらのツールを活用する。

既存 CAD システムにおける曲面の構築は, 一般的に複数の曲線を基にしておこなわれる。そのため曲線の “性質” が良いものでなければ, 構築された曲面が良いものとはならない。ここでは, 自動フェアリングにより得られた “性質” の良い曲線をもちいた曲面の構築について述べる。

3.1 CAD システムにおける生成曲線の利用

CAD システムでは, 外部データをもちいるために, いくつかのファイル形式をサポートすることが多い。曲線デザインシステム上では曲線を 3 次 B-Spline 曲線により表現しており, これを IGES 形式 [6] のファイルに出力できる。CAD システムにおいて, 曲線の幾

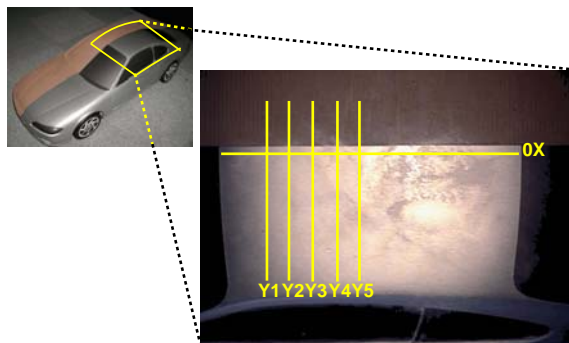


図 6: 計測したクレイモデルとキーラインの抽出

何情報を保持した同ファイルをインポートすることで、既存ツールをもちいた曲面の構築が可能である。

3.2 既存 CAD システムにおける曲面構築手法

本研究では, Alias AutoStudio⁴ (以下 Alias と表記) をもちいて曲面の構築をおこなう。曲面の構築に使用するツールとしては, 以下の 2 つのツールが適当と考えられる。

Birail 2 本の曲線に沿って 1 本あるいは複数本の曲線をスイープして曲面を構築

Skin 空間内の複数の曲線を断面にして通過する曲面を構築

クレイモデルの作成において, モデラはデザイナーの描いた設計図中の曲線に合った大きなカーブ定規である True Sweep を Spring Steel Band に沿ってスライドさせることでクレイを削り面を構築する [5]。キーラインはクレイモデル上での True Sweep や Spring Steel Band に相当する曲線であるため, これらをもちいた曲面の構築はツール Birail や Skin により実現可能であると考えられる。なお, 4 本の曲線から曲面を補間により構築する方法もあるが, これは曲面の中間を制御できないため, 不適當と考えられる。

4 シミュレーション

本節では自動車の 1/4 スケールのクレイモデルを計測し, これまでに述べた手法により曲面を構築した実験について述べる。

4.1 提案手法による曲面の構築

以下に実験の手順を示す。

クレイモデルの計測 非接触型 3 次元形状計測機 InSpeck3D-M⁵ により, クレイモデルを真上から計測した (図 6)。

⁴ Alias |Wavefront, Inc.

⁵ InSpeck Inc.

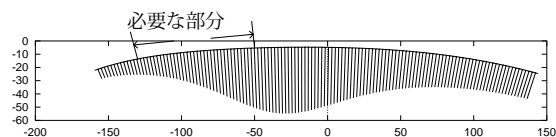


図 7: 曲線 0X

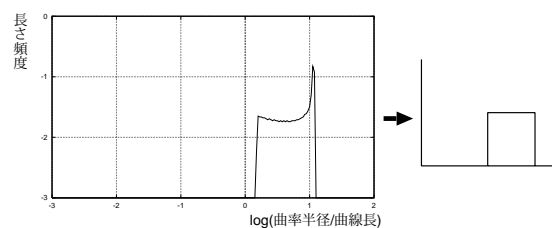


図 8: 断面曲線 Y1 の解析結果とその置換

キーラインの抽出 Alias で曲面構築ツール Skin を使用することを前提に, 図 6 の曲線 0X, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5 の計測点列データを抽出した。曲線 0X は, ツール Skin を使用する前に断面曲線 Y1~Y5 の位置を確定するために, ガイドとして使用する。曲線あてはめには多項式近似をもちいた。

キーラインの解析 各曲線について曲率対数分布図による解析をおこなった。曲線 0X については, 必要な部分を抜き出した (図 7)。断面曲線 Y1~Y5 の解析結果から, ルーフは円弧により中心で対称になるように接続されていることが推測された。

曲線の置換 各曲線の解析結果から, 置き換える曲線の“性質”を表すグラフを決定する。図 8 に断面曲線 Y1 の解析結果と置き換えるグラフを示す。ここで, 解析結果の円弧部分 (グラフで突出した部分) は取り除いた。これは円弧部分が接続部分と考えられるためである。したがって傾き 0 の単調リズム曲線に置換をおこなった。曲線 0X, Y2~Y5 についても同様に置換をおこなった。そして曲線デザインシステムにおいて, これらのグラフから曲線を生成した。

Alias でのインポート 曲線デザインシステムにおいて IGES 形式のファイルに曲線を出力し, これを Alias でインポートした。

曲面の構築 ツール Adjust Intersection により曲線 0X と断面曲線 Y1~Y5 が交わるように調整した後, ツール Skin により構築した曲面を図 9 に示す。

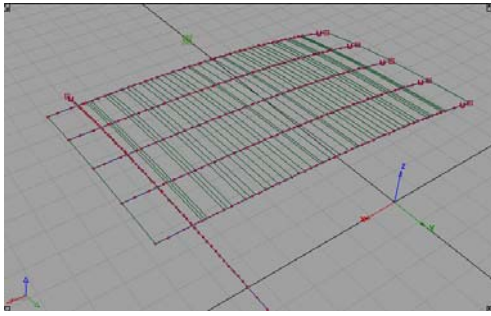


図 9: ツール Skin により構築した曲面

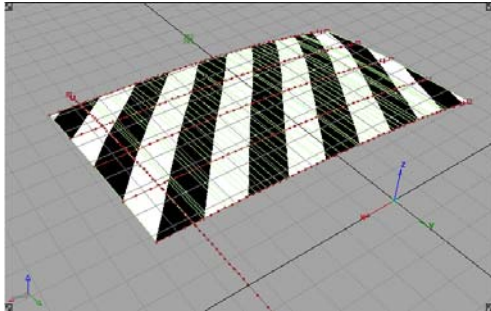


図 10: ツール Skin により構築した曲面の評価

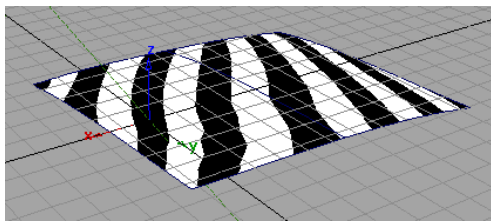


図 11: ツール Corners により構築した曲面の評価

4.2 評価

提案手法により構築した曲面と、計測点列へのあてはめにより構築した曲面を比較する。

Alias においては、ツール Corners により計測点列に対する曲面のあてはめが可能である。これは計測点列から、曲面のコーナーとなる 4 つのポイントを指定することでおこなう。

構築した曲面の評価には Alias の評価ツール Diagnostic Shading をもちいた。構築した曲面のハイライトの様子をそれぞれ図 10 と図 11 に示す。この様子から、提案手法により構築された曲面はなめらかで実用に耐える曲面であるということが伺える。一方、Corners による曲面は、うねりがあることが推測される。以上の評価結果より、提案した手法がリバースエンジニアリングにおいて有用であるといえる。

5 まとめ

本稿では計測データの解析結果を基に、デザイナーの意図する曲線を生成し、曲面を構築する手法を提案した。また、提案手法による実験をおこなった。その結果、以下のような成果を得た。

1. 開発した曲線デザインシステムにより、曲面を構築するために必要なデザイナーの求める曲線を短時間で得ることが可能となった。また、生成した曲線を既存 CAD システムにおいて利用することが可能となった。
2. 提案手法をもちいて構築した曲面はなめらかであり、リバースエンジニアリングにおいて実用に耐える曲面が構築できることが確認された。今後の課題としては以下のようなものがある。

1. ルーフ以外についても曲面を構築し、その評価をおこなう必要がある。また集合面について、既存 CAD システムにおける構築方法を含め研究していく必要がある。
2. 曲率単調曲線を解析した結果は、いくつかのパターンに解釈できることがある。動的に解釈を変更して曲線を生成し、ふさわしい解釈の選択を支援するためのツールが必要である。

参考文献

- [1] Tamas Varady, Ralph R Martin and Jordan Cox: Reverse engineering of geometric models - an introduction, Computer-Aided Design, Vol. 29, No. 4, pp. 255-268, 1997.
- [2] 原田 利宣, 森 典彦, 杉山 和雄: 性質制御による曲線創成手法, デザイン学研究, Vol. 41, No. 4, pp. 1-8, 1994.
- [3] 原田 利宣, 中嶋 信幸, 栗原 祐介, 吉本 富士市: 視覚言語を用いた曲線の自動フェアリングシステム, デザイン学研究, Vol. 47, No. 5, pp. 21-28, 2001.
- [4] 原田 利宣, 森山 真光, 吉本 富士市: 視覚言語を用いた曲線創成システム, デザイン学研究, Vol. 45, No. 3, pp. 6-70, 1998.
- [5] 山田 泰里: クレイモデリング, 三栄書房, 1993.
- [6] Bradford Smith, Gaylen R. Rinaudot, Kent A. Reed and Thomas Wright: Initial Graphics Exchange Specification (IGES), Version 4.0, Society of Automotive Engineers, Inc., 1998.