

## 曲率・捩率分布に基づく曲面における 性質の同定

井上治郎<sup>†</sup> 原田利宣<sup>††</sup>

工業デザインの分野では、3次元CADによりモデリングを行っている。しかし、美しい曲面とは曲面がどのような性質を持つ場合に成立するのかに関しては未だ未解明のままである。そこで本研究では、様々な曲面の性質を解明することを目的とし、曲面の曲率・捩率の分布を表す曲率捩率分布制御線 (CLDCT) を同定するシステムを開発した。次に、その分析システムを用いてサンプル曲面を分析した。また、対数的曲面創成に応用するために曲面の体系化を試みた。

## Identification of a Characteristic of a Curved Surface Based on a Distribution of Curvature and Torsion

Jiro Inoue<sup>†</sup> and Toshinobu Harada<sup>††</sup>

In the field of industrial design, we make a model by three-dimensional CAD system on a computer. However, we have never investigated what a characteristic of an aesthetic curved surface is. Then, the aim of this study was to clarify the characteristic of an aesthetic curved surface. First, we developed an analysis system that identified a "Control Line of Distribution of Curvature and Torsion (CLDCT)" expressing a distribution of curvature and torsion of the curved surface. Second, we analyzed some sample curved surfaces using the analysis system. Through the experiment of identifying characteristics of curved surfaces using this system, we attempted a systematization of the characteristics for generating a "log-aesthetic curved surface".

### 1. はじめに

現在、車などの工業製品のデザイン工程では、3次元CADシステムを用いてモデリングが行われている。モデリングでは、まず曲面の特徴を表すキーラインと呼ばれる曲線を決定し、それを基礎として曲面設計を行い、モデルを仕上げていく。しかし、既存のCADシステムでは空間曲線の創成が難しく、デザイナーがモデリングで定義するキーラインは平面曲線、もしくは2つの平面曲線を合成して簡単に創成できるレベルの空間曲線しか創成できていない。また、キーラインとキーラインの間に曲面を創成する場合、創成される曲面のハイライトの流れ方や曲面の性質を制御することが難しいのが現状である。そのため、CADデータを基にクレイモデルを削りだし、デザイナーやモデラの手作業によりキーラインとなる空間曲線や曲面を仕上げなければならないため、膨大な工数が必要となる。そこで、デザイナーの意図する高品質な曲線、曲面を創成するための研究がなされている。

筆者らはデザイナーの立場からデザイナー(ヒト)が美しいと感じる曲線は曲線全体において何らかの規則性があるのではないかと仮説を立て、様々な曲線を分析した。そして、その結果を元にシステム上でデザイナーの感覚にあった美しい平面曲線を創成する手法を提案した[1]。この研究では、平面曲線を定義できる曲率半径に着目し、曲線上の等間隔に設定された各構成点における曲率半径とその曲率半径が曲線状に現れる“長さ”の関係を両対数座標系上に表現する「曲率対数分布図」を提案した(図1)。そして、そのヒストグラムの頂点を結んだ線をC curveと定義した。そのC curveが直線であるとき、その曲線はデザイナーが美しいと感じる自己アフィン性を持つ曲線であ

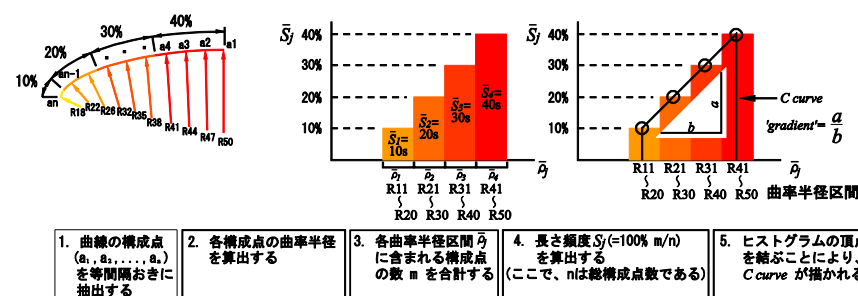


図1 曲率対数分布図の説明図

<sup>†</sup> 和歌山大学大学院  
 Graduate School of Wakayama University  
<sup>††</sup> 和歌山大学  
 Wakayama University

<i>C curve</i> の傾き	模式図	<i>C curve</i> の傾き	模式図
発散型		山型	
定速型		谷型	
収束型		シングルR型	

図 2 曲率対数分布図の体系化

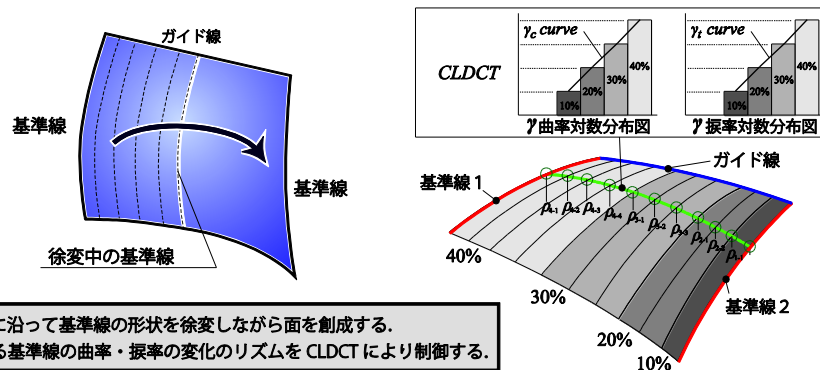


図 3 対数美的曲面の説明図

ることを示した[1]。また、さまざまな曲線をこの手法で分析し、曲線を *C curve* の傾きにより分類することで、デザイナーの求める曲線の性質を明らかにした(図 2)。次に曲率対数分布図と同様に、振率半径とその振率半径が曲線状に現れる「長さ」の関係を両対数座標系上に表現する「振率対数分布図」を考案し、そのヒストグラムの頂点を結んだ線を *T curve* と定義した[2]。*T curve* が直線となるとき、その空間曲線は振率半径について自己アフィン性を持つ。また、これらの結果を元に、システム上で美しい空間曲線(対数美的空間曲線)を創成する手法も研究されている。さらに、それらを応用して性質を制御した美しい曲面(対数美的曲面)を創成する手法が研究された。この対数美的曲面の創成手法はクレイモデリングで行われている曲面の造形手法を元に 2 本の基準線と 1 本のガイド線と曲率振率制御線(*CLDCT*)を用いて創成されている(図 3) [3][4]。しかし、さまざまな工業製品や自然造形物など美しい曲面の曲率・振率変化がこの対数美的曲面と同じような「変化のリズム」となるかを曲面の *CLDCT* に着目して分析されていない。

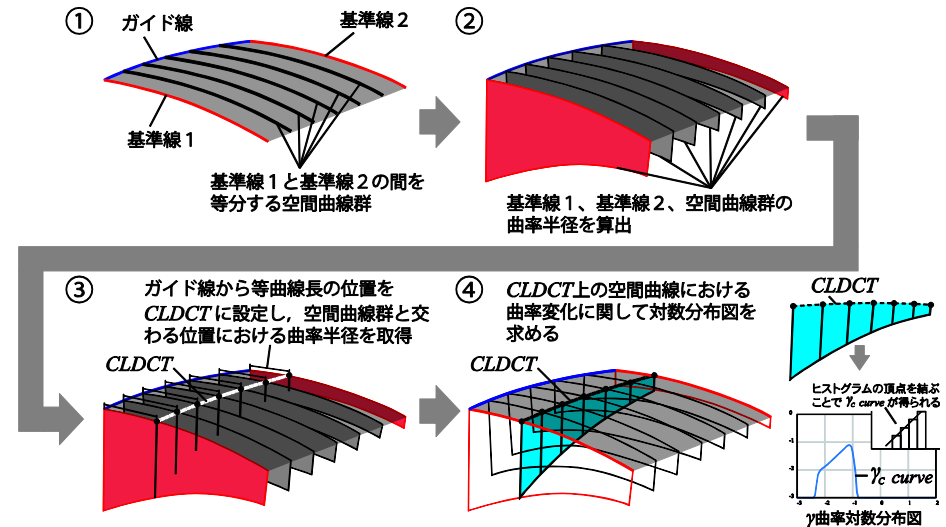


図 4 曲面の *CLDCT* 抽出の流れ

そこで、本研究では、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 *CLDCT* を設定し、その曲面の性質を分析するシステムの開発を目的とする。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、曲面の基準線とガイド線から *CLDCT* を設定した。次に基準線の曲率・振率変化から曲率対数分布図と振率対数分布図を求め、設定した *CLDCT* 上の曲率半径・振率半径に関して  $\gamma$  曲率対数分布図と  $\gamma$  振率対数分布図[3][4]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を解明できる。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。

## 2. 曲面の分析手法

曲面の分析手法は次の通りである。

### 2.1 曲面の *CLDCT* の曲率半径・振率半径抽出

まず、分析を行うサンプル曲面における 2 本の基準線を基準線 1, 基準線 2 とする。次に、基準線 1 と基準線 2 の間を等分するような空間曲線群を求める(図 4-①)。次に、基準線 1, 基準線 2, および空間曲線群の曲率半径・振率半径を求める(図 4-②)。

さらに、サンプル曲面におけるガイド線から等曲線長の位置を  $CLDCT$  と設定し、 $CLDCT$  の位置における基準線 1 から基準線 2 までの空間曲線群の曲率半径・振率半径を求める (図 4 - ③)。つまり、基準線 1 が基準線 2 まで遷移していくように曲面を構成する空間曲線群が  $CLDCT$  と交わる位置における曲率半径、もしくは振率半径を求めている。これをもとに、基準線の遷移の仕方を曲率・振率の分布図として示し、曲面の性質として表すことができる。なお、図 4 では理解しやすいように曲率半径にだけ着目して図示しているが、実際は振率半径についても同様の処理を行う。

## 2.2 曲面の性質分析

基準線 1、基準線 2、および  $CLDCT$  上の曲線は空間曲線となるため、曲率半径・振率半径より空間曲線の対数分布図を求める必要がある。ここで、 $CLDCT$  上の空間曲線の曲率半径・振率半径は、 $CLDCT$  の曲率半径・振率半径ではないことに注意する必要がある。空間曲線の性質分析は筆者らによりすでに開発された空間曲線分析システムを用いる [5]。まず、多項式近似を用いて空間曲線を構成する点列を近似した曲線を取得する。多項式近似の次数設定にはベイズ情報量基準 (BIC) を用いている。次に空間曲線の曲率半径・振率半径を求め、曲率対数分布図と振率対数分布図を求める。この分析を基準線 1、基準線 2、 $CLDCT$  に対して行うことで、分析対象の曲面が基準線 1 から基準線 2 までの遷移する空間曲線の性質をどのように変化させているかが明らかとなる。ここで、 $CLDCT$  上の空間曲線群の曲率半径・振率半径により求めた対数分布図をそれぞれ  $\gamma_c$  曲率対数分布・ $\gamma_t$  振率対数分布図と呼び、また、 $\gamma_c$  曲率対数分布図・ $\gamma_t$  振率対数分布図のヒストグラムの頂点を結んでできる線をそれぞれ  $\gamma_c$  curve・ $\gamma_t$  curve と呼ぶ (図 3, 図 4 - ④) [3][4]。

## 3. 曲面の分析例

前章であげた曲面の分析手法に基づいて、曲面分析システムを開発した。また、本システムが正しく機能しているかを確認するために、対数美的曲面創成システムで作られた曲面を分析した。この分析結果が対数美的曲面創成システムで設定した性質 (パラメータ) と同じ結果になれば、曲面の性質を同定できる分析システムといえる。以下に曲面の分析結果を載せる。

### 3.1 $CLDCT$ の $\gamma_c$ ・ $\gamma_t$ の値が 1.0 (正) の性質を持つ曲面の分析

対数美的曲面創成システムで以下のパラメータを設定した曲面を創成した。この曲面をサンプル曲面 1 とする (図 5)。

- 基準線 1 の  $C$  curve の傾きを -1.0 (負),  $T$  curve の傾きを -1.0 (負)
- 基準線 2 の  $C$  curve の傾きを 1.0 (正),  $T$  curve の傾きを 1.0 (正)
- $CLDCT$  の  $\gamma_c$  の値が 1.0 (正),  $\gamma_t$  の値が 1.0 (正)

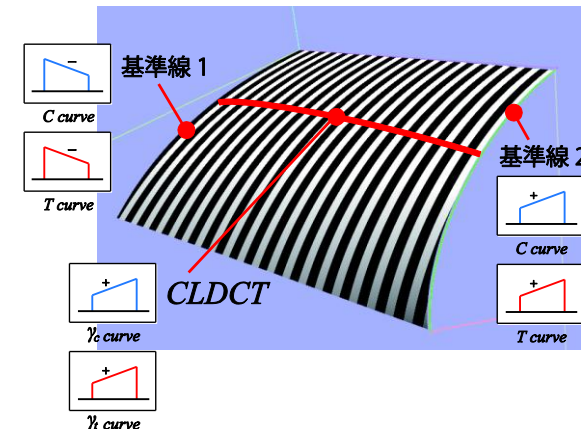


図 5 サンプル曲面 1

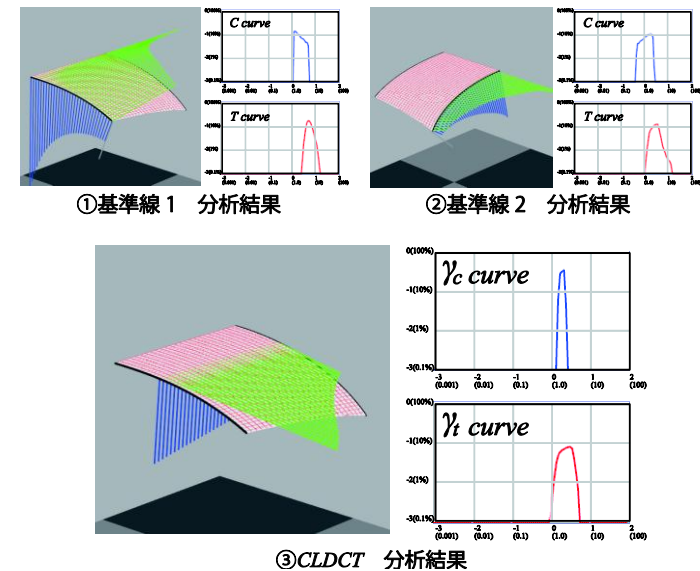


図 6 サンプル曲面 1 の分析結果

サンプル曲面 1 を曲面分析システムで分析した (図 6)。その結果、基準線 1、および基準線 2 の性質として、基準線 1 の  $C$  curve の傾きが負、 $T$  curve の傾きが負、基準線 2 の  $C$  curve の傾きが正、 $T$  curve の傾きが正となっており、対数美的曲面創成システムで設定した性質を示した (図 6 - ①・②)。また、 $CLDCT$  の分析結果として、 $\gamma_c$  curve の傾きが正、 $\gamma_t$  curve の傾きが正となっており、対数美的曲面創成システムで設定した性質と同じ結果が得られた (図 6 - ③)。

### 3.2 $CLDCT$ の $\gamma_c$ ・ $\gamma_t$ の値が-1.0 (負) の性質を持つ曲面の分析

前節で分析した曲面に対し、対数美的曲面創成システムで設定するパラメーターのうち、 $CLDCT$  の  $\gamma_c$  の値と  $\gamma_t$  の値だけをそれぞれ-1.0 (負) に変更した曲面を創成し、曲面分析システムで分析した。この曲面をサンプル曲面 2 とする。

サンプル曲面 2 を分析した結果、基準線 1、および基準線 2 ともに対数美的曲面創成システムで設定した性質と同じ結果となった。また、 $CLDCT$  の分析結果として、 $\gamma_c$  curve の傾きが負、 $\gamma_t$  curve の傾きが負となっており、対数美的曲面創成システムで作り分けた性質を分析することができた。

## 4. まとめ

対数美的曲面創成手法を応用して、曲率・振率分布に基づく曲面の性質を同定するための手法を提案し、曲面分析システムを開発した。また、曲面分析システムの検証として、対数美的曲面創成システムで性質を作り分けた 2 つの曲面を分析した。その結果、対数美手曲面創成システムで設定したパラメーターと同じ性質を分析結果から得ることができた。これにより、本研究で開発した曲面分析システムの妥当性を証明できた。

今後の課題として、本研究で開発した曲面分析システムを使用して、自然造形物や工芸品、および工業製品などのさまざまな曲面をより多く分析する必要がある。また、それらの結果をもとに曲率・振率分布に基づいた曲面の性質について体系化を試みる。さらに、体系化されたいろいろな性質の曲面についてデザイナー (ヒト) がどのような印象を持つかを調査し、その結果をもとに曲面の“意味づけ”を行う必要がある。これにより、曲面の性質をどのように制御すればどのような曲面となるかが明らかとなり、デザイナーが対数美的曲面創成システムを用いて容易に意図した性質の美的曲面を創成できるようになると考えられる。

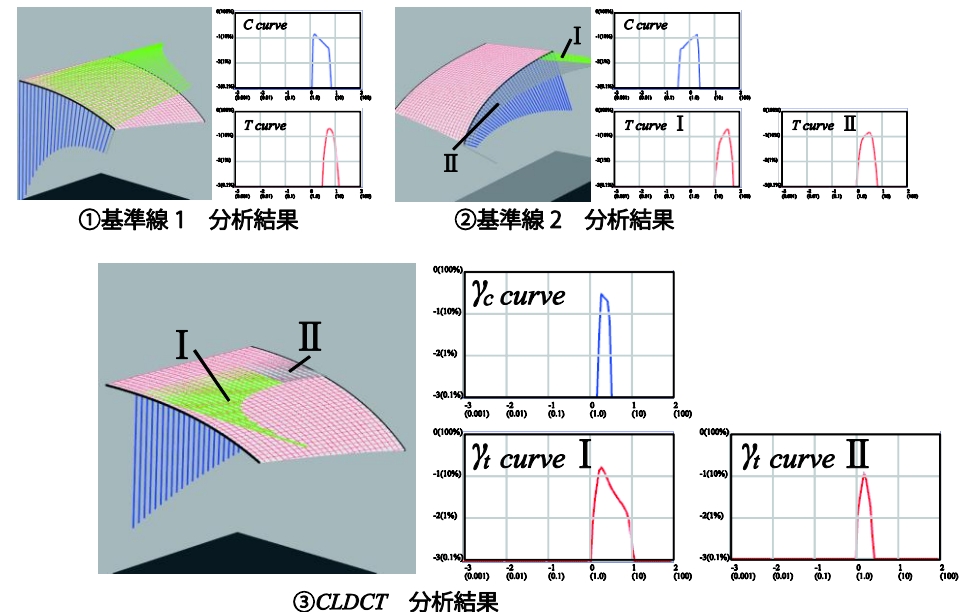


図 7 サンプル曲面 2 の分析結果

## 参考文献

- 1) 原田利宣, 森典彦, 杉山和雄: 曲線の性質に関する定量化研究, デザイン学研究, Vol.40, No. 6, pp.9-16(1994).
- 2) 井上治郎, 原田利宣, 今井敏行: 自然造形物・工芸品における曲面の曲率線抽出とその性質分析, デザイン学研究, Vol.54, No.3, pp.39-46(2007).
- 3) 萩原徹, 原田利宣: 対数美的曲面の創成アルゴリズムと VR を用いた曲面創成システムの開発, 情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告, Vol.2009, No.12, pp.13-16(2009).
- 4) Jiro Inoue, Toshinobu Harada, Tohru Hagihara: An Algorithm of Generating Log-Aesthetic Curved Surfaces and the Development of a Curved Surfaces Generation System using VR, IASDR 2009 conference, (CD-R)(2009).
- 5) 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, pp.65-74(2009)