

# ハイライト曲線に基づく意匠曲面構築システム

## Aesthetic Design System Based on Highlight Lines

80817597 矢納咲子(Sakiko Yano)

Supervisor 青山英樹(Hideki Aoyama)

### 1. 緒言

意匠性の高い工業製品のデザインプロセスでは、クレイモデルや木型モデルなどの実モデルが制作され、リバースエンジニアリングにより CAD モデルが構築されている。実モデルあるいは CAD モデルの形状確認、面の滑らかさ評価、ボリューム感の評価にあたり、ハイライト曲線による評価法が採用されている<sup>[1],[2]</sup>。同評価において、提示されたハイライト曲線と異なるハイライト曲線を呈する曲面が要求された場合、曲面形状の再構築が必要となる。この場合、クレイモデルを再構築しリバースエンジニアリングにより CAD モデルを再構築することが必要である。あるいは、CAD システムにより CAD モデルを形状修正する場合もあるが、直接的な形状修正は困難であり、CAD オペレータによる試行錯誤の操作が必要である。クレイモデルの再構築あるいは CAD モデルの再構築は、時間的損失が大きくコストの増大の原因になっており、解決が望まれている。

そこで本研究では、デザイナーが直感的に要求するハイライト曲線を入力することにより、そのハイライト曲線を呈示する形状を自動的に構築するシステムの開発を行うことを目的としている。

### 2. ハイライト曲線による曲面再構築手法

#### 2.1 概要

本研究で提案する手法を以下に示す。

- (1)対象曲面のハイライト曲線を表示し、修正したいハイライト曲線を指示するとともに、要求するハイライト曲線を液晶タブレットによりペン入力する。
- (2)入力されたハイライト曲線情報を基に、対象曲面の断面のハイライトプロファイルの修正・再定義を行う。
- (3)新たに定義されたハイライトプロファイルからそのハイライトプロファイルをもつ断面形状を再構築する。
- (4)対象曲面の全体において、上記(1)~(3)の断面処理を行う。
- (5)対象曲面の全体に渡る断面データ、すなわち離散点群データより曲面を再構築する。

#### 2.2 ハイライト曲線およびハイライトプロファイル

$V_L, V_R, V_V, N$  は、それぞれ、光源方向単位ベクトル、正反射方向単位ベクトル、視点方向単位ベクトル、単位法線ベクトルを表している。この関係において、ハイライト曲線は、正反射方向単位ベクトル  $V_R$  と視点方向単位ベクトル  $V_V$  のなす角  $\phi$  が一定の値をもつ点の集合として求められる。すなわち、式(1)を満足する点の集合がハイライト曲線<sup>[2]</sup>になる。

$$V_R \cdot V_V = \cos \phi = const. \tag{1}$$

正反射方向単位ベクトル  $V_R$  は、光源方向単位ベクトル  $V_L$  と単位法線ベクトル  $N$  から式(2)のように導出される。

$$V_R = V_L - 2(V_L \cdot N)N \tag{2}$$

式(1)、(2)より式(3)が得られる。

$$V_R \cdot V_V = -2(V_L \cdot N)(V_V \cdot N) + (V_L \cdot V_V) = \cos \phi = const. \tag{3}$$

本論文では、正反射方向単位ベクトル  $V_R$  と視点方向単位ベクトル  $V_V$  がなす角  $\phi$  の余弦値  $\cos \phi$  を「ハイライトパラメ

ータ」、断面における各点のハイライトパラメータの変化の軌跡を「ハイライトプロファイル」と定義し、このハイライトプロファイルを用いて形状の再構築を行う。ハイライトプロファイルは、光源・視点位置が指定されている条件下において、断面曲線形状に依存する。

#### 2.3 ハイライトプロファイルに基づく形状構築

本手法では、ユーザが入力したハイライト曲線情報からハイライトプロファイルを導出し、そのハイライトプロファイルから曲面形状を再構築する。以下にその曲面構築方法について述べる。

##### (a) ハイライト曲線からハイライトプロファイルの導出方法

図1において、太実線は対象曲面における断面形状を示しており、細実線はその断面の各点におけるハイライトパラメータ、すなわちハイライトプロファイルを示している。同図において、点Cを通過するハイライト曲線を点Dの位置に移動させることが要求されたとき、点Dにおけるハイライトパラメータは  $HP_0$  から  $HP_m$  に修正されなければならない。このときの修正量は  $HP_0$  と  $HP_m$  の差  $P_m$  となる。断面上の点A, Bを修正しないハイライト曲線が通過する点とすると、その点のハイライトパラメータは固定されなければならないので、ハイライトパラメータの修正量はゼロである。ここで、図1(b)に示すように、点A, Bでのハイライトパラメータ修正量がゼロ、点Dでの修正量が  $P_m$  となり、その間の修正量を滑らかに変化させる修正量関数を、接続点を点Dとする2セグメント3次Bezier曲線により定義する。この3次Bezierの制御点は、図1(b)に示される位置に決定する。断面の各点において、この修正量関数を修正前のハイライトプロファイルに乘以、要求されるハイライト曲線を呈示する断面形状のハイライトプロファイルを導出する。

複数のハイライト曲線の修正が要求される場合も上記と同様の手法でハイライトプロファイルを導出できる。図2に示されるように、対象曲面の断面上の点P1, P2, P3において、ハイライトパラメータの修正量  $P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}$  が求められる。その離散的修正量を断面間で滑らかに補間する曲線を求め、

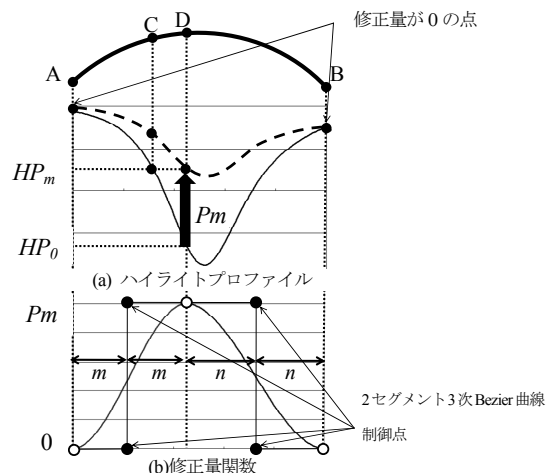


図1 ハイライトプロファイル導出手順 (1本のハイライト曲線を修正する場合)

修正量関数を求める。断面の各点において、この修正量関数を修正前のハイライトプロファイルに乘じ、要求されるハイライト曲線を呈示する断面形状のハイライトプロファイルを導出する。

### (b) ハイライトプロファイルに基づく形状構築方法

上述のとおり、要求ハイライト曲線を入力することにより、対象曲面の断面におけるハイライトプロファイルが決定される。結果として、式(1)において、その点における正反射方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_R$  と視点方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_V$  のなす角  $\theta$  が求められ、さらに視点位置は既知であるため、正反射方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_R$  を求めることができる。光源方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_L$  と正反射方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_R$  は、単位法線ベクトルに関して入射角と反射角の関係にある。光源位置が既知であるため光源方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_L$  が求められ、反射方向単位ベクトル  $\mathbf{V}_R$  から単位法線ベクトル  $\mathbf{N}$  を求めることができる。

図3は、単位法線ベクトル  $\mathbf{N}$  から要求ハイライト曲線をもつ曲面形状を再構築するプロセスを示す。曲面は、前述したハイライトプロファイルを導出する際の断面形状ごとに再構成される。再構成には円近似を用いる。曲面上の隣接した2点間の距離が接近している場合、曲率中心および曲率半径がほぼ一致するという考えに基づく円近似より、離散点  $P_i$  の単位法線ベクトル、 $x$ 座標、 $z$ 座標と、離散点  $P_{i+1}$  の単位法線ベクトル、 $x$ 座標を用いて、離散点  $P_{i+1}$  の  $z$ 座標  $z_{i+1}$  を求める。最小自乗法を用いて、位置が決定した離散点群  $P_i$  を近似することにより双3次 Bezier 曲面を構築する。

### 3. システムの実行結果

提案した手法を基本システムを構築し、提案手法の有用性の検証を行った。ユーザは液晶タブレットによりタッチペンを用いて修正ハイライト曲線の選択と要求ハイライト曲線の入力を直感的に行うことができる。図4(a)は要求するハ

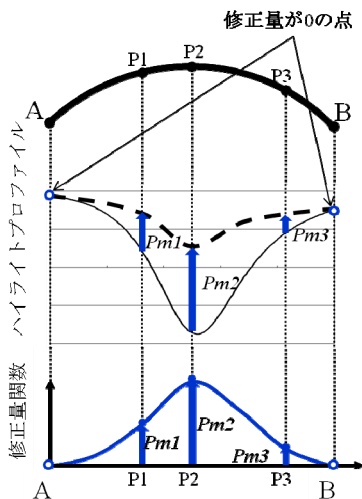


図2 ハイライトプロファイル導出手順 (複数のハイライト曲線を修正する場合)

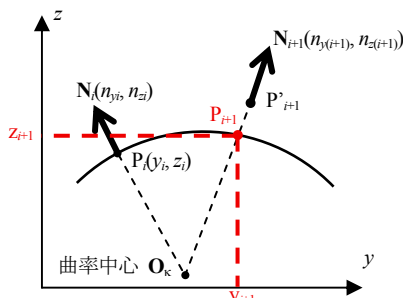


図3 円近似による断面離散点群の生成

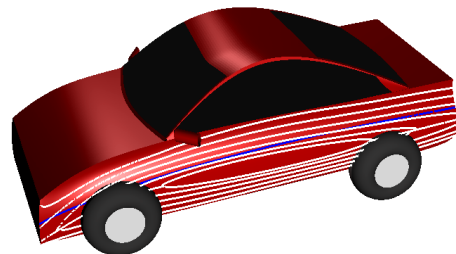
イライト曲線を入力した結果を、同図(b)はシステムにより曲面が構築された結果を示している。また、本手法はキャラクタラインの構築も可能としており、図5(a)に示すようなハイライト曲線を入力することにより、同図(b)に示すキャラクタライン形状が自動構築された。以上より、提案手法の有用性が確認された。

### 4. 結言

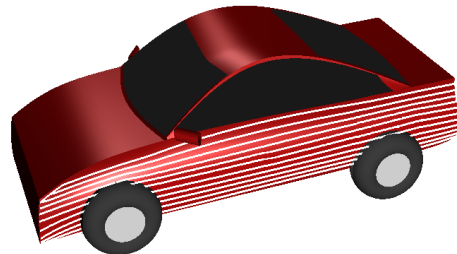
本研究では、デザイナーが要求するハイライト曲線を入力することにより、ハイライト曲線から曲面断面のハイライトプロファイルを定義して、要求するハイライト曲線を呈示する曲面を自動構築する手法を提案した。また、提案に基づいてシステムを構築し、提案手法および開発したシステムの有用性を確認した。

### 参考文献

- [1] G. Farin, Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design Second Edition, (1990), p.280-282, Academic Press.
- [2] 穂坂衛, CAD/CAM における曲線曲面のモデリング, (1996), p.118-401, 東京電機大学出版局.

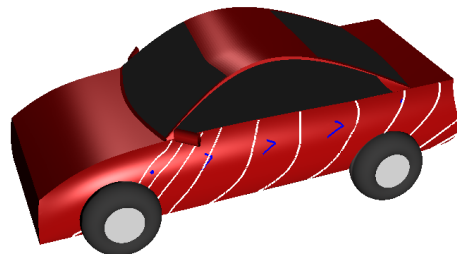


(a) ハイライト曲線の入力

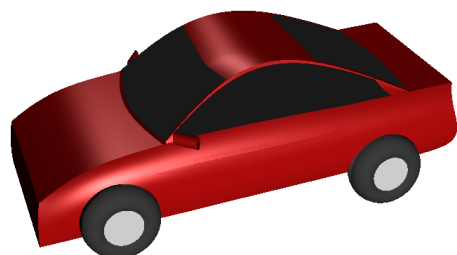


(b) 曲面再構築結果

図4 曲面の再構築



(a) ハイライト曲線の入力



(b) 曲面再構築結果

図5 キャラクタラインの付与