

# 質感情報を組み込んだ曲面モデル表現の研究

北大大学院 ○伊藤宏平 近藤司 金子俊一 小野里雅彦

## 要旨

本研究では、製品設計における製品モデルを対象に、その表面の微細な形状、すなわち質感情報について考える。展開平面を提案し、その平面を使用することによる製品モデル上への歪みの少ない質感情報の付加を目的とする。また本手法を使用した際の質感情報の歪みの評価に関する実験を行った。

## 1. はじめに

加工における一般的な曲面モデル（ベジェ、B スプライン曲面等）は面の境界を定義する手法であり、面に付随する模様や質感情報を有していない。（質感情報とは、ゴルフボールのようにでこぼこした様子や、やすりのようにざらざらした様子を表す情報の事とする。）すなわち、曲面モデルを用いて製品の設計をする場合に質感情報を製品モデル情報に実際に持たせることができない。製品モデルにおいて質感情報を扱えないのは非常に不利であると考えられる。本研究では、従来の曲面モデルに対する質感情報のマッピング手法を提案する。実空間で定義される製品モデル情報に対して、パラメータ空間で定義される質感情報を組み込むために、両方の空間を相互に対応付けできるマップを作成し、そのマップを介して製品モデルを生成することにより曲面へ質感情報を付加する事を目的とする。

## 2. 本手法の基本的考え方と手順

平面で表される質感情報から直接質感情報を曲面に組み込むと、曲面の形に応じて質感情報が歪んでしまう（図1）。質感情報も実曲面もパラメータにより表現されていると考えると、質感情報を定義する平面においてはパラメータに対する密度にあまり変化はないと考えられる。しかし、実曲面の場合、曲面形状境界部に依存して形状が歪み、パラメータに対する密度はさまざまである。上の問題は、質感情報を定義する空間密度と実曲面の密度の違いから生じていると考えられる。歪みの少ない質感情報を製品モデル情報に組み込むために、質感情報上でのパラメータ  $\alpha, \beta (0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1)$  と、実曲面上でのパラメータ  $u, v (0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1)$  の間の適切な関係を実現する。

ここで展開平面という平面を考える。展開平面とは微小な正方形の集合により近似的に作成される平面である。各点に実曲面上の対応する点でのパラメータ  $u, v$  の値を持たせることで質感情報空間と曲面間に対応付けることができる。

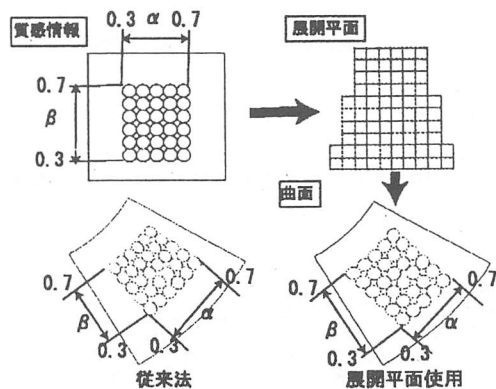


図1: 本手法の基本的な考え

以下に本手法の手順を示す。

1. 実曲面に対して等距離線群の作成  
現状においては実曲面の例として、Ferguson の曲面式を利用している。また、等距離線を計算する際に必要な基準線として、パラメータ一定線を使用している。
2. 等距離線群に基づく展開平面の作成  
「3. 展開平面の作成」で説明。
3. 展開平面に対する質感情報の写像  
質感情報上のパラメータと展開平面上のパラメータの関係から展開平面に質感情報を写像する。
4. 実曲面上の質感情報の作成  
展開平面に写像した質感情報のパラメータと実曲面上のパラメータの関係から実曲面上に質感情報を組み込む。

## 3. 展開平面の作成

ここで、図2の左図における等距離線によってパッチ上に作られる格子は、等距離線の間隔  $CP$  を一辺の長さとする正方形に近似できると考え、図2右図のようなマップをつくり、展開平面では隣同士の点の距離は一定となっており、パラメータ  $(s, t)$  で表される。展開平面の交点に対応する実空間における点の  $(x, y, z)$  の値とパラメータ  $u, v$  の値を有する。実空間の交点と等距離マップを下図のように対応付ける。展開平面は格子状の部分しか実空間と対応していないため、格子状の部分にしか質感情報を貼り付けることはできない。

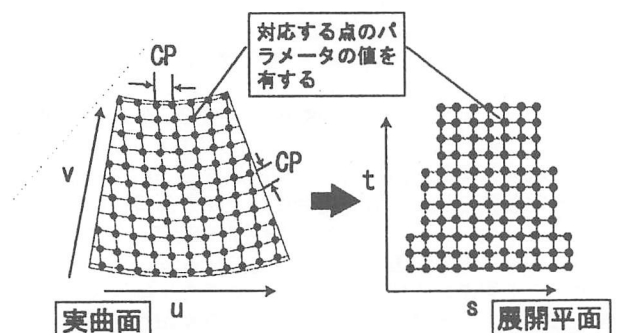


図2: 展開平面の作り方

## 4. 展開平面による近似計算

展開平面に移した質感情報から、パッチ上での質感情報のパラメータ  $u, v$  の値を計算する。図3のように  $P(s_0, t_0), P(s_0, t_1), P(s_1, t_0), P(s_1, t_1), Q(s, t)$  を決める。この時、展開平面上の各点は展開平面上でのパラメータ  $s, t$  と同様に、対応するパッチ上の点でのパラメータ  $u, v$  の値を有している。  $P(0, 0)$  での展開平面上のパラメータ  $s, t$  の値を  $s_0, t_0, P(0, 0)$  で

のパッチ上のパラメータ  $u, v$  の値を  $u_{s_0, t_0}, v_{s_0, t_0}$  とする。同様に,  $P(0, 1), P(1, 0), P(1, 1), Q(s, t)$  それぞれの点における  $s, t, u, v$  の値を同様に定める。ここで線形補間より  $Q$  におけるパラメータ  $u, v$  の値  $u(s, t), v(s, t)$  を計算する。

$$u(s, t) = [X_{s1} - X_s \quad X_s] \begin{bmatrix} u(s_0, t_0) & u(s_0, t_1) \\ u(s_1, t_0) & u(s_1, t_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{t1} - Y_t \\ Y_t \end{bmatrix}$$

$$v(s, t) = [X_{s1} - X_s \quad X_s] \begin{bmatrix} v(s_0, t_0) & v(s_0, t_1) \\ v(s_1, t_0) & v(s_1, t_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{t1} - Y_t \\ Y_t \end{bmatrix}$$

以上から展開平面に描かれた質感情報のパッチ上で対応する点のパラメータ  $u, v$  の値を計算した。

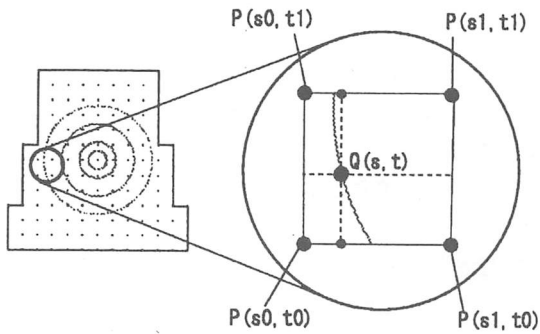


図 3: パラメータの導出法

## 5. 実験

質感情報を曲面に組み込む際に質感情報がどの程度歪むのか検証する。質感情報の歪みは、質感情報の有する高さ情報には影響を及ぼさないと考え、今回の実験では質感情報として高さ情報を持たない実験データを使用している。また、曲面として図 5 のような物を用いた。これ以降の実験においては等距離線の間隔は 0.1mm とする。今回の場合は 54 本の等距離線が縦横に引かれる。

### 実験 1.1 質感情報の中心からの距離と歪みの実験

パラメータ平面における半径 = 0.05~0.3 まで 0.025 間隔の 11 円を使用して、展開平面を使用した場合と、使用しなかった場合のパッチ上の質感情報である円の半径を測り、パッチ上での半径の平均の値と、半径の標準偏差を計算した。

半径の平均と標準偏差の関係を、展開平面を使用した場合と使用しなかった場合それぞれについて図 5 に示す。

実験の評価 図 5 から展開平面を使用した場合も使用しなかった場合もきれいな右肩上がりとなっている事がわかる。この事から、パッチの外側に質感を貼り付けるほど歪みが大きくなる事がわかる。また、グラフ上の標準偏差の差から、展開平面を使用した場合の質感情報の歪みの補正の有効性がよく分かる。

### 実験 1.2 質感情報の大きさに対する誤差実験

質感情報を曲面に組み込んだ場合に、質感情報である円のパッチ上での実際の半径の大きさと、近似計算によって予想される半径との間にどの程度誤差があるのかを検証する。質感情報は実験 1.1 で使用したものと同様とする。質感情報上での半径の値 (パラメータ) を  $r$ 、曲面上で予想される半径を  $R$  とおくと、 $R$  は  $R=r \times 5.757\text{mm}$  で計算される。

「 $R$ /半径の平均」を計算したところほぼ 0.98 付近を推移し、ほぼ 1 であるといえる。この事から、ほぼ期待し

た大きさの質感情報を実曲面に組み込めるといえる。

### 実験 1.3 質感情報の組み込み場所と歪みの検証

曲面上のさまざまな場所に質感情報として円を組み込み、その円の半径の平均と標準偏差を計算した。実曲面における質感情報の位置と歪みの関係について実験した。

実験において円 5 における標準偏差が一番小さくなっていることから、質感情報は基準線にの歪みの応じて歪むと予想される。

円 1, 2 における標準偏差が一番小さい。ことから質感情報は曲面の形 (縦横の長さ) に応じて歪む事が確認された。

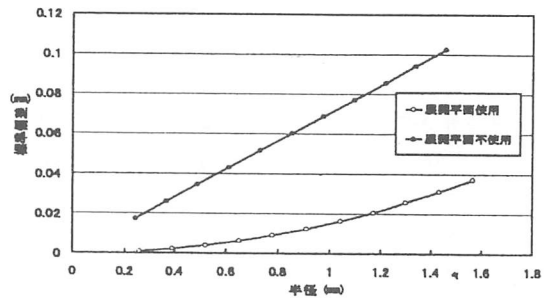


図 4: 半径と標準偏差

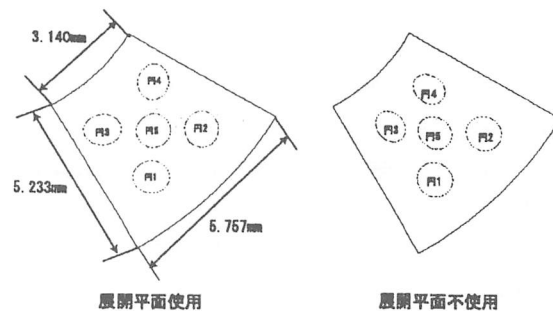


図 5: 半径と標準偏差

展開平面を使用					
	円 1	円 2	円 3	円 4	円 5
標準偏差 (mm)	0.021	0.021	0.026	0.026	0.004
展開平面不使用					
	円 1	円 2	円 3	円 4	円 5
標準偏差 (mm)	0.014	0.014	0.050	0.050	0.034

図 6: 円の描画場所と歪み

## 6. 結論

- 質感情報を曲面モデルに組み込む手法を提案し、その手順を示した。
- シミュレーション実験により曲面上の質感情報の歪みを測定した。
- その結果、本手法の有効性を確認した。