

## 鏡面反射光を用いた曲面評価に関する研究

北海道大学 ○森田 泰章、佐藤 文彦、近藤 司、金子 俊一、五十嵐 悟

### 要 旨

本研究は鏡面の形状評価を目的としたものである。面のなめらかさが光の反射に大きく影響することは知られており、ハイライト線チェックなどがその評価に用いられている。本研究は鏡面にレーザー光を照射することにより、その鏡面反射光がうつす画像情報から面のゆがみを評価する方法を提案しており、その妥当性を検証実験により確認した。

### 1. 緒論

自動車や家電製品などの意匠性が要求される製品形状においては、その面の表現に自由曲面が多く用いられる。デザイナーの感性により設計された曲面形状を複合自由曲面へ定義し直す場合、曲面間をなめらかに接続する必要がある。

製造段階においても同様で、意匠曲面の場合にはそのなめらかさが形状評価のポイントとなる。一般に形状計測のために用いられる接触式三次元座標測定では位置情報しか得られず、面のなめらかさである連続性を評価するための測定法としては不十分である。通常、製造工程ではその金型面に対して蛍光灯などの直線光源を写し込み、その反射光のゆがみ具合を形状の評価として用いられている[1]。しかしその評価は作業者の主観に委ねられ、そこには経験から得られるノウハウや評価の個人差という問題点があり、定量的手法はまだ確立されていないといっている。

本研究は、金型などの鏡面のなめらかさ評価を行うことを目的としている。本報では、開発した一軸レーザースリット光を用いた鏡面反射光の測定原理と、その原理に基づいた曲面の評価法について報告する。

### 2. 面のなめらかさと鏡面の性質

曲面がなめらかであるということは、その面上に不連続点がないことであり、面の2次微分情報が連続であると考えられる。そのなめらかさを人は面からの反射光のゆがみより認識し判断している。鏡面からの反射光は、鏡面の面法線を二等分線とする方向に反射するため、反射光方向は面法線方向の変化に応じて変化する(図1)。すなわち、面のなめらかさ情報が含まれる反射光軌跡の変化を計測できれば、形状のなめらかさの測定・評価が可能になる。

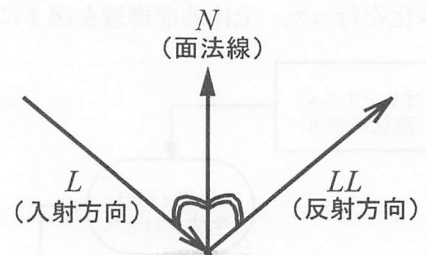


図1 鏡面反射

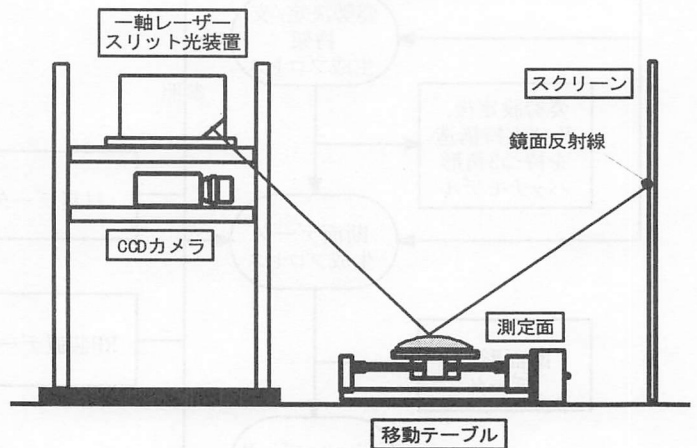


図2 測定装置概略図

### 3. 面のなめらかさの測定原理

図2に本研究における面のなめらかさ測定の装置概略図を示す。使用する装置は一軸レーザースリット光装置、移動テーブル、スクリーン、CCDカメラから構成される。測定面の傾きに応じてテーブルの位置やレーザーの照射角度を調節できる。その適度に角度設定されたレーザースリット光をテーブル上の測定対象物に照射すると、その反射光は形状の面法線を二等分線とする方向に反射し、スクリーン上に投影される。その

像は CCD カメラを介してパソコン内にデジタルデータとして入力される。本研究では、この像を鏡面反射線と定義し、その線を基に曲面評価を行う。

#### 4. 連続性に関する鏡面反射線と曲面の関係

面がなめらかであるということ、本研究ではその面の 2 次微分情報が連続であると定義する。本章では鏡面反射線と測定面の連続性に関する関係を明らかにする。図 3 に面の法線変化と鏡面反射線の関係を示す。また、その幾何学的関係は以下の式で表される。

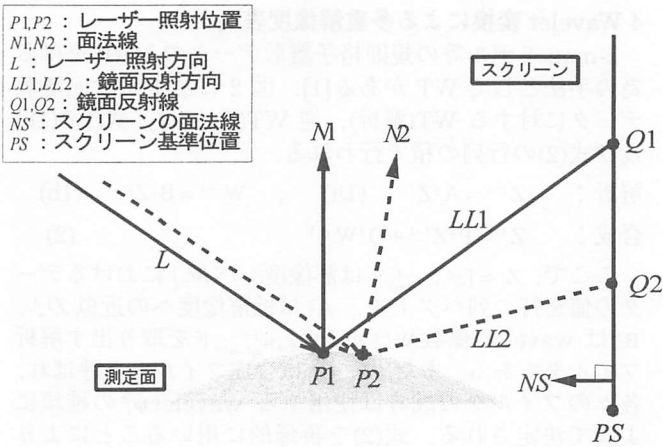


図 3 面法線と鏡面反射線の関係

・ 鏡面反射方向  $LL1 = L - 2(N1 \cdot L)N1$  (1)

$LL2 = L - 2(N2 \cdot L)N2$  (2)

・ 鏡面反射線の 0 次情報 (座標値)

$Q1 = P1 + \frac{(PS - P1) \cdot NS}{LL1 \cdot NS} LL1$  (3)

$Q2 = P2 + \frac{(PS - P2) \cdot NS}{LL2 \cdot NS} LL2$  (4)

・ 鏡面反射線の 1 次情報 (接線)

$dQ = Q2 - Q1 = LL2 - LL1$  (5)

レーザー光の照射方向  $L$  を一定にし、その照射位置  $P1$  と  $P2$  が限りなく近い位置であると仮定すると、鏡面反射線の位置  $Q1, Q2$  は、面法線  $N1, N2$  より決まり、1 次情報  $dQ$  は面法線  $N1$  と  $N2$  の変化に依存する。すなわち曲面の法線変化が、鏡面反射線における位置の変化に写像されていることを示している。したがって曲面と鏡面反射線の連続性の関係は、曲面を  $n$  次連続とすると鏡面反射線は  $n-1$  次連続となるので、1 次低い次元での曲面評価が可能となる。

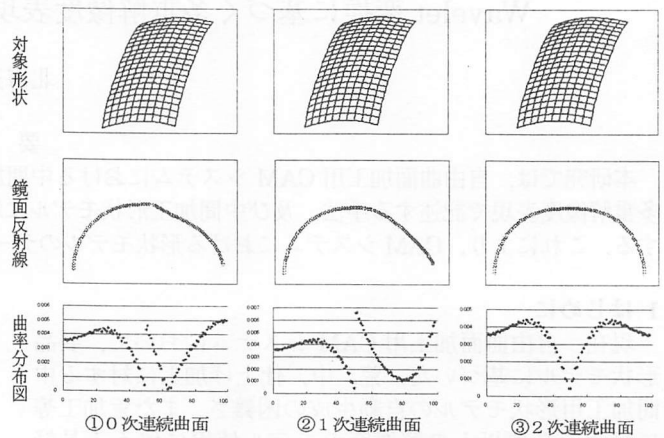


図 4 曲面の連続性に基づく鏡面反射線の算出結果

#### 5. シミュレーション実験結果

図 4 にシミュレーション実験における、曲面の連続性に基づく鏡面反射線情報の算出結果を示す。実験内容としては、二枚の双三次 Bezier 曲面を 0 次、1 次、2 次連続で接続した場合に対して鏡面反射線を算出し、その曲率分布を求めた。

面が 0 次連続の場合には鏡面反射線が分断され、1 次連続の場合には、鏡面反射線は 0 次連続となり曲率が  $\infty$  となる部分が存在しているのがわかる。また面が 2 次連続の場合には鏡面反射線に直線部があり、曲率が 0 となる領域が存在している。したがって 4 章で明らかにしたように、鏡面反射線の連続性は測定面より 1 次低い連続性をもつということをシミュレーション実験により確認できた。

ゆえに曲面がなめらかに接続されている場合には、鏡面反射線の軌跡に尖点や分断がないという特徴で判断できる。

#### 6. 結論

本研究における結論を以下に示す。

- (1) 曲面の連続性を評価するための鏡面反射光を用いた測定原理を示し、鏡面反射線と曲面の関係を明らかにした。
- (2) シミュレーション実験において、連続性の異なる曲面に対する鏡面反射線の算出結果を示し、曲面のなめらかさに関する測定評価の可能性を示した。

#### 参考文献

[1] 穂花衛 他：CAD/CAM における曲線曲面モデリング、東京電気大学出版局、1996、p.386~p.395