

複合自由曲面で構成する閉空間の造形デザイン感性と そのコンピュータモデリングとの融合に関する研究

デザイン学部技術造形学科 教授 高梨 廣孝
デザイン学部技術造形学科 助教授 望月 達也
デザイン学部技術造形学科 講師 李 恩沃

1. はじめに

自由曲面で構成される造形物は、そのほとんどがデザイナーの感性で創作されている。一方、滑らかな曲面を数学的に定義し、それをもとに曲面を製作する技術は実用の領域に達している。課題は、曲面の創作と技術的な製作が融合されていないことにある。そのため、美術系では直感的な制作が主になっており、工学系では数値制御による製作が主になっている。

そこで、本研究ではリバースエンジニアリングを用いて、この二つのものを融合化することで課題の解決を図ることとした。

2. 自由曲面の数値化

非接触3次元測定機の急速な技術進歩によって曲面を光学的手法で測定することが可能になった。したがって、曲面で構成された閉空間の造形を、その曲面上の点の集まりで数値化することができるようになった。図1に光学式非接触3次元測定機を示す。これは、1つの光源ランプと2台のCCDカメラで構成されている。造形物には、リファレンスポイント用のマークを貼り付けておく。そして、図2に示すように、光源からフリンジパターンを造形物に投射し、そのパターンを2台のCCDカメラで読み取り、座標を測定する。図3に測定機のコンピュータ画面を示す。測定結果は、点データ(X方向,Y方向,Z方向の座標値)の集まりである。

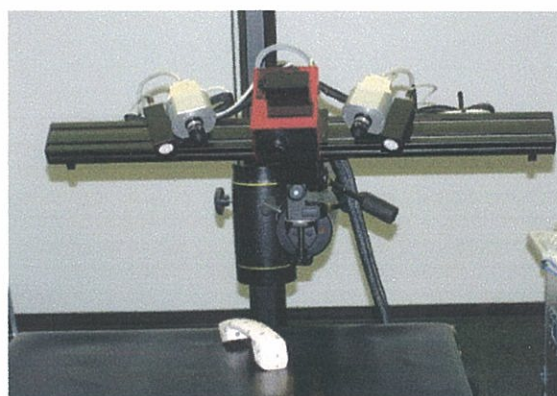


図1 光学式非接触3次元測定機

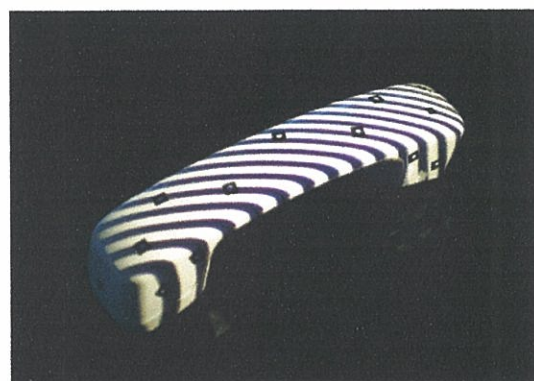


図2 フリンジパターンの投影



図3 曲面の測定データ

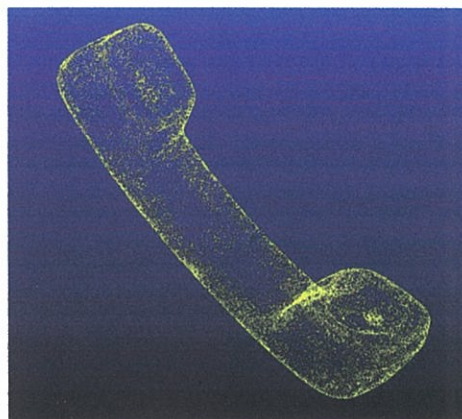


図6 曲率によるサンプリング



図4 造形物の点群データ

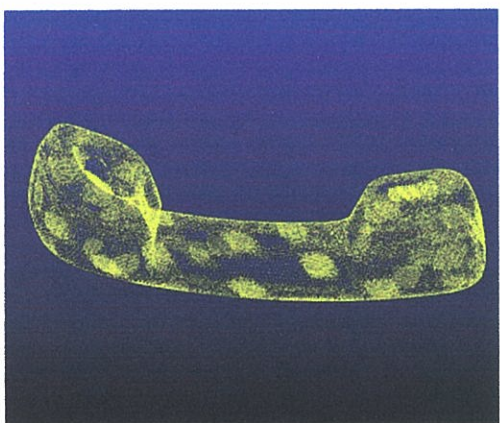
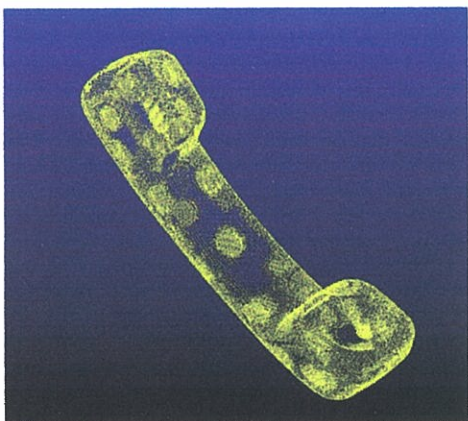


図5 ノイズの除去



3. 点群データから自由曲面データの生成

図4はこの点群データをリバースエンジニアリングのソフトウェアに読み込んだものである。点群の測定数は 32,723 点である。点群の測定データには、ノイズや測定誤差がある。そこで、読み込んだデータの中で、まず、図5に示すように、ノイズによって外れてしまっている点を検出し、その点データを除去する。さらに、自由形状のスムーズのレベルを設定して統計的な処理（最大距離、平均距離、標準偏差）を図り、自由曲面生成のための点群データを抽出する。

測定点数が多い場合には、計算の負荷を減少させるために点群のデータからサンプリングを行う。点群データからランダムにサンプリングしてしまうと、曲率が大きい部位は、造形物と異なってしまうことがある。そこで、曲率を考慮しながらサンプリングを実行すると、図6に示すように形状の特徴を維持しながら点群のデータ数を減少させることができる。これで、自由曲面を生成するための点群データが得られた。

点群データから自由曲面を作成するための最初の処理は、図7に示すように立体メッシュの生成である。この立体メッシュは、点群データから、直接、生成しているので、メッシュの形や大きさはコントロールされていない。そこで、メッシュの形を整えるために、立体メッシュの改善と緩和を図る。

次の処理は、立体メッシュから形状特徴ラインの検出である。そのために、図8に示すようにタ

ターゲットを生成する。このターゲットから形状の特徴ラインを抽出する。この検出された特徴ラインから曲面パッチを生成したものを、図9に示す。



図7 立体メッシュの生成

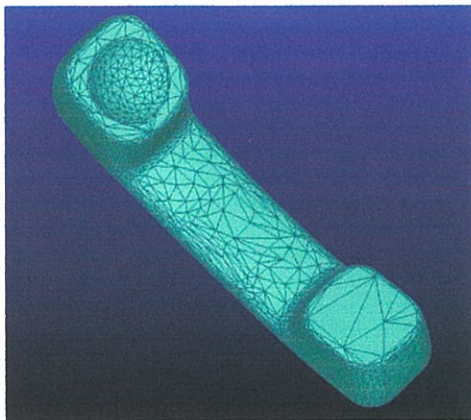


図8 フィーチャラインの検出

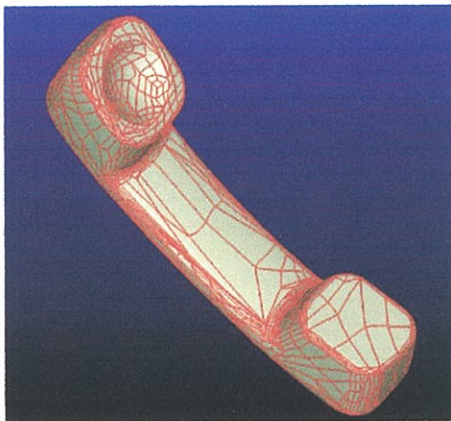


図9 曲面パッチの生成

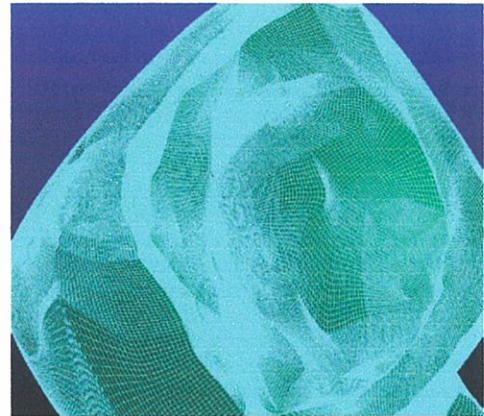


図10 グリッドラインの定義

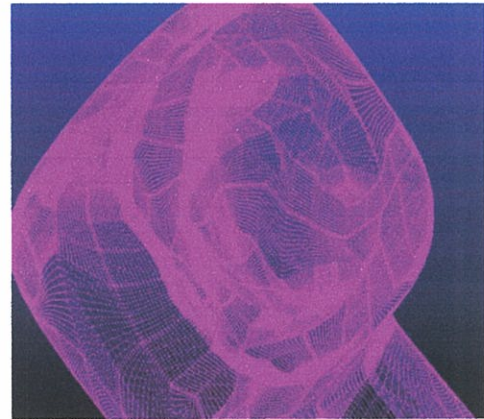


図11 コントロールポイントの定義

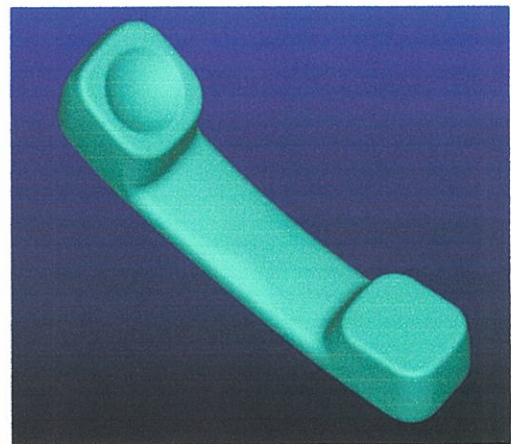


図12 自由曲面のコンピュータモデル

最後の処理は、曲面パッチから自由曲面を定義するために、曲面を構成するグリッドラインとコントロールポイントの生成である。図10にグリッドラインを、図11にコントロールポイントをそれぞれ示す。これで、自由曲面ができあがったので、IGESファイルで保存すれば、3次元CADで曲面を読み込むことができる。

図12に自由曲面で定義されたCADデータを示す。図13に示すように自由曲面にゼブラパターンをマッピングすると、直感的に自由曲面を評価することができる。

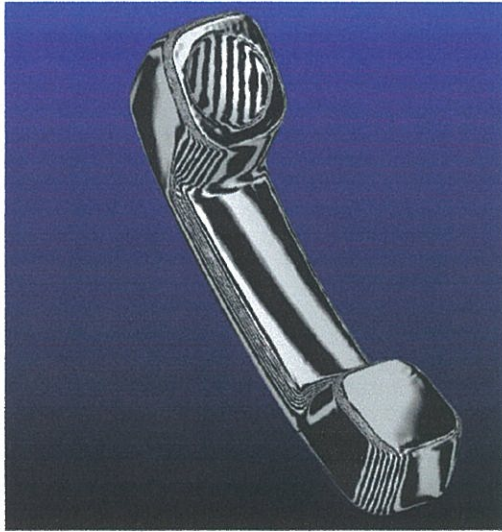


図13 ゼブラパターンによる曲面の評価

4. 自由曲面のモデリング

3次元CADによる自由曲面のモデリングには、いくつかの方法がある。その基本は、図14に示すように断面形状をそれぞれの平面に描き、それらを連続的に滑らかに接続することである。図15に、この技法で生成されたソリッドモデルを示す。この技法はロフトフィーチャと呼ばれるもので、複数の断面形状を滑らかに接続しながらソリッドモデルを定義することができる。

具体的な操作は、**(1)**輪郭をスケッチする平面の設定：平面は既存の平坦な面やデータム平面（参照平面）を使用するか、あるいは、新しいデータム平面を定義する（図14には、4つのデータム平面がある）。これらの平面は平行である必要はない。**(2)**図14に示すように、それらの平面に輪郭をそれぞれ描く、**(3)**それぞれの輪郭で対応する点を順番に選択する、というものである。これらの操作で、図15に示すソリッドモデルが定義される。

ロフトフィーチャで定義される形状はソリッド

モデルとして生成されるので、定義変更やスケッチ変更などの修正、あるいはカットフィーチャなどの操作を容易に実行することができる。スケッチ平面にスプライン曲線を図16に示すように描き、カットフィーチャでその曲線にそってソリッドモデルを切断すると、図17に示すソリッドモデルになる。切断した曲面のエッジにフィレットフィーチャで丸みを定義すると図18に示すソリッドができあがる。

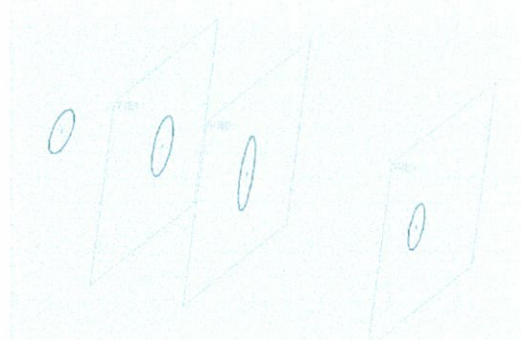


図14 断面形状の定義

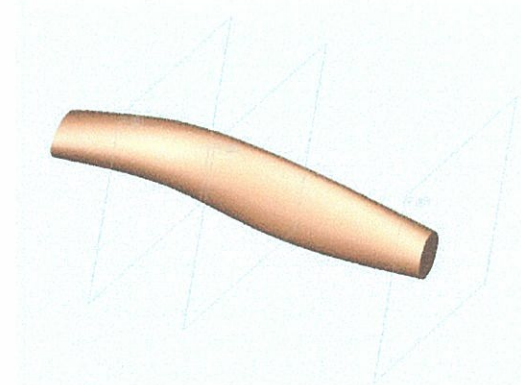


図15 ロフトフィーチャ

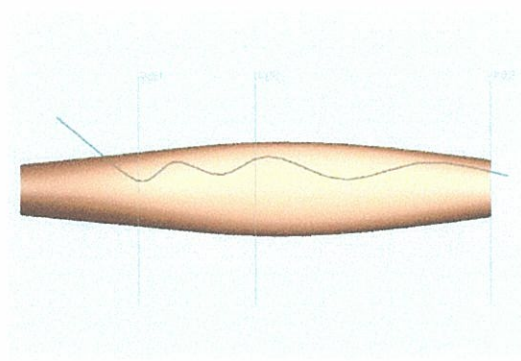


図16 スプライン曲線

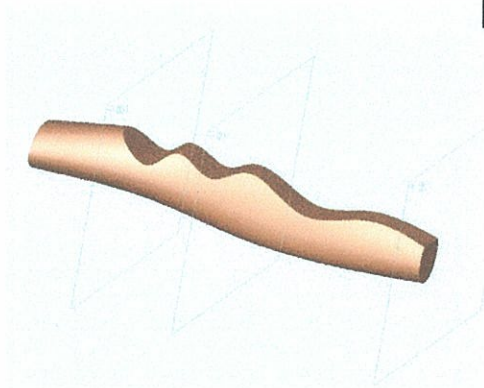


図17 カットフィーチャ

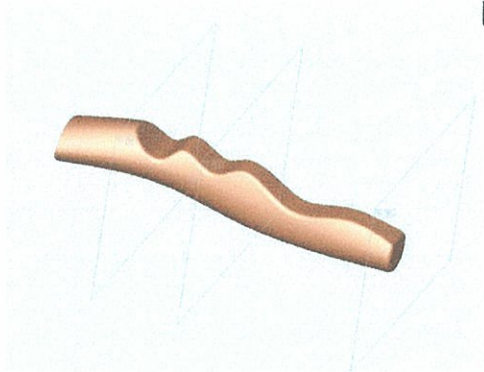


図18 フィレットフィーチャ

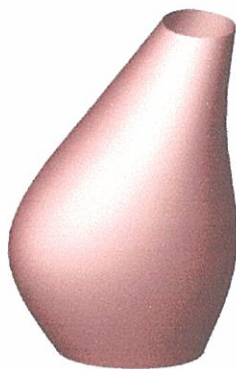


図19 ロフトサーフェースのモデル

次に、ロフトサーフェースは、ロフトフィーチャと同じように複数の輪郭を連続的に滑らかに接続するものであるが、ソリッドを生成するものではなく、サーフェースを生成するものである。ここでは、図19に示すボトルを事例に、具体的に説明する。このボトルのモデリングでは、まず、図20に示すように4つの輪郭をロフトで連続的に接続してサーフェースを生成する。このままで

は、ボトルの底に穴があいているので、図21に示すように、底面となるサーフェースを作成する。そして、この二つのサーフェースの不要な部分をそれぞれトリミングする。この段階では、サーフェースだけで定義されているので、まだソリッドモデルではない。そこで、このサーフェースに厚み付けを定義すると、図19に示すように薄肉のボトルが生成される。これは、ソリッドモデルである。

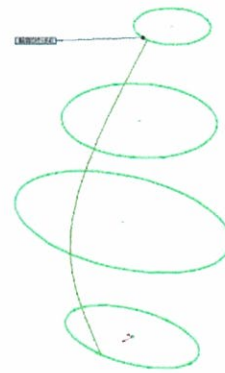


図20 ロフトサーフェースの定義

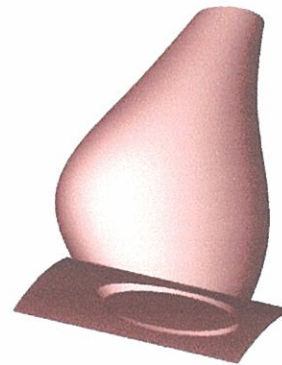


図21 サーフェースの定義

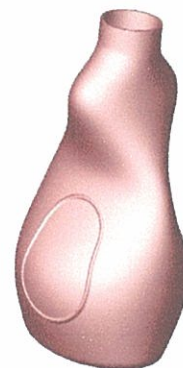


図22 スイープサーフェースのモデル

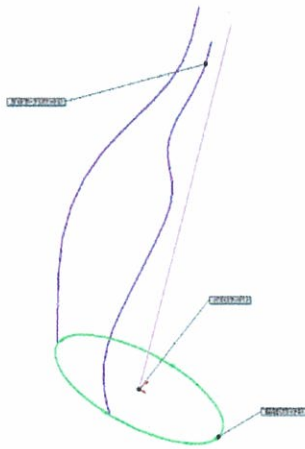


図 23 輪郭とガイドパス

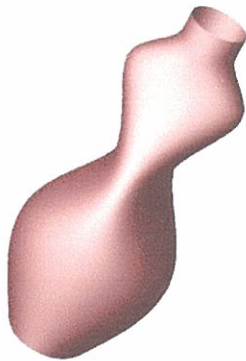


図 24 スイープサーフェース



図 25 スイープフィーチャ

最後に、スイープサーフェースによる自由曲面のモデリングについて述べる。図 22 は、スイープサーフェースを使って曲面を生成し、その曲面に厚み付けを実行してソリッドモデルにしたものである。スイープサーフェースで曲面を生成するためには、図 23 に示すように、輪郭曲線 (緑色)、ガイドパス (ピンク色)、ガイドカーブ (紫色) を定義する。その意味は、輪郭曲線をガイドパスに

沿ってスイープしながら、その輪郭形状はガイドカーブのように変化するというものである。この定義によって図 24 に示すサーフェースが生成される。したがって、このカーブをデザインすることがキーになる。スイープサーフェースで曲面を生成したので、このモデルの底には穴があいている。そこで、底面にサーフェースを定義してから不要な部分をトリミングする。それから、そのモデルに厚み付けを定義すると、ソリッドモデルになる。図 25 は、ソリッドモデルのサーフェースに小さな突起をつけたものである。これは、スケッチ平面に描いた輪郭を、サーフェースに投影し、それをガイドパスとして生成したものである。この突起した部位もスイープによる定義である。図 26 に示すモデルは複数の自由曲面で閉空間を定義したものである。



図 26 複数の自由曲面

5. まとめ

本研究では、デザイナーの感性で創作される自由曲面を、リバースエンジニアリングを用いてコンピュータモデルに融合させる方法と、3D-CAD で自由曲面をモデリングするプロセスにおいて、どのプロセスでデザイナーの感性が要求されるかということを示した。これによって、デザイナーの直感的な制作と論理的なモデリングを融合させることができる。