

リバースエンジニアリングの事例研究（第2報）

尾崎 清

Case Study on Reverse Engineering (2nd Report)

Kiyoshi OZAKI

A character doll which surface was composed of smooth curves was used as the target model and the replica was prepared by Reverse Engineering. The shape of the doll was measured by Non-contact 3D Digitizer and the polygon model was created from the scanning point cloud data. Followingly, the surface model was created from the polygon model and the replica was formed from the exported data using Rapid Prototyping System.

Keywords: Reverse Engineering, 3D Digitizer, 3D Surfacer System, CAD, Rapid Prototyping System

滑らかな曲面で構成されるキャラクタ人形をモデルに、非接触三次元測定機で形状測定を行い、三次元曲面作成システムでポリゴンモデル作成、サーフェスモデル作成を行い、最後に三次元造形機で複製モデルを製作した事例について報告する。

キーワード：リバースエンジニアリング、非接触三次元測定機、三次元曲面作成システム
CAD、三次元造形機

1. 緒言

非接触で高い分解能をもつ三次元スキャナや形状処理ソフトウェアの機能向上によりリバースエンジニアリングの活用が多方面で進んでいる。前報⁽¹⁾では自転車競技用ヘルメットをモデルに、非接触三次元測定機とCADを用いてサーフェスモデルを作成した。その手法は、輪郭部分の測定点群から境界線を作成し、境界線で囲まれた部分に曲面を張るというものである。しかし、この方法ではモデル曲面部の測定データが少ないため曲面細部まで忠実に再現することが難しい。また、エッジが少なく、滑らかな曲面で構成されているモデルの場合は、特徴的な輪郭がないため、適切な境界線の設定が難しく、CADでサーフェスモデルを作ろうとすると、非常に煩雑になり、作業時間が長くなる。近年、格段の機能向上と価格低下が進んでいる三次元曲面作成ソフトウェアは、測定機で得られた点群データから自由曲

面を作成する機能を持っており、リバースエンジニアリングにとって非常に有効なツールである。本報では、キャラクタのミッフィをモデルに、三次元曲面作成システムを用いてサーフェスモデルを作成し、三次元造形機により複製モデルを製作した事例を報告する。

2. モデルの形状測定

非接触三次元測定機はミノルタ株式会社のVIVID700を用いた。分解能はXY方向が測定視野域の1/200、Z方向が測定視野域の1/256である。長さの分解能はモデルを測定視野域に納まるように配置し約0.8mmになった。VIVID700はスリット状のレーザ光をモデルにあて、反射光を CCD カメラで受光するため、窪んだ箇所や尖った箇所の測定が難しく、モデルの向きや置き方が影響する。今回は試行錯誤の結果、回転テーブル上に立位姿勢で360°回転させたデー

タ、横臥姿勢で回転させたデータ、さらに横臥姿勢で下側になり欠落した左体側のデータ、これらを用いてモデル全体を形成していった。立位姿勢、横臥姿勢、左体側の測定データをシェーディング表示した結果を図1、図2、図3に示す。

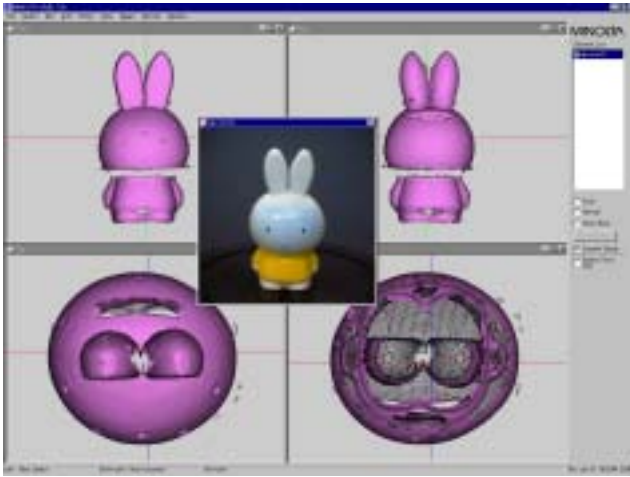


図1 立位姿勢の測定データ

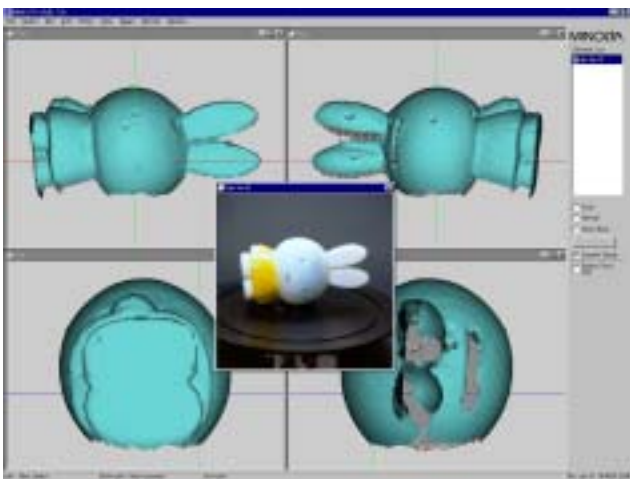


図2 横臥姿勢の測定データ

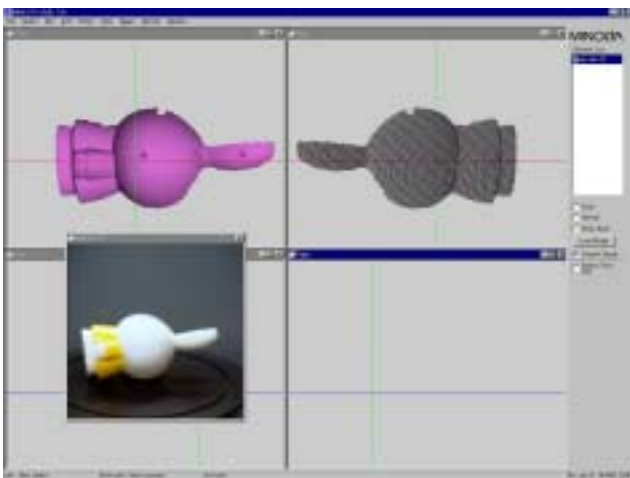


図3 左体側の測定データ

3.モデリング

3-1 ポリゴンモデルの作成

モデリングに用いた三次元曲面作成システムは INUS Technology 社の Rapidform である。測定データにはノイズや誤差データが含まれるため、測定点群からポリゴンモデルを自動生成すると不正面、孤立面、穴などが生じる。最初の作業は、これらの修正である。立位姿勢モデルでは、首部のバリ、耳付け根部の突起、窪み、両耳の誤結合、スカート裾部の鈍化、穴など、横臥姿勢モデルでは、左体側部のバリ、耳と頭部の窪み、両耳の誤結合、穴など、左体側モデルでは、耳と頭部の窪みなどの修正を行った。横臥姿勢モデルの穴埋め処理の様子を図4、図5に示す。

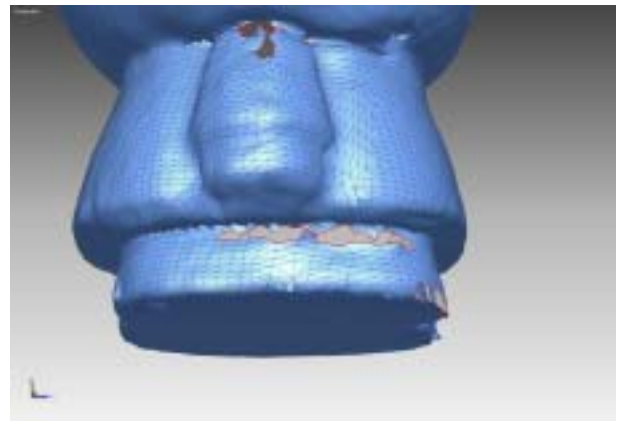


図4 穴埋め処理前

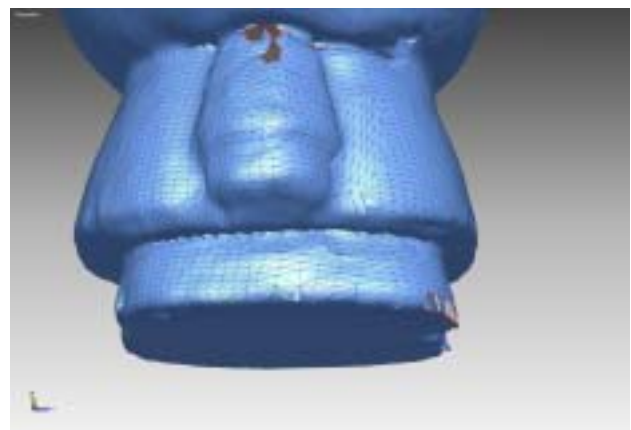


図5 穴埋め処理後

次の作業は、これら3つのポリゴンモデルの結合である。まず、最初に横臥姿勢モデルと左体側モデルの位置合わせ、結合を行った。位置合わせでは、まず3つの共有点を指定して合わせた後に、自動モ

ードで再度、合わせる方法により精度向上を図った。共有点指定の様子を図6、自動モード位置合わせ後の結果を図7、結合、修正後のモデルを図8に示す。

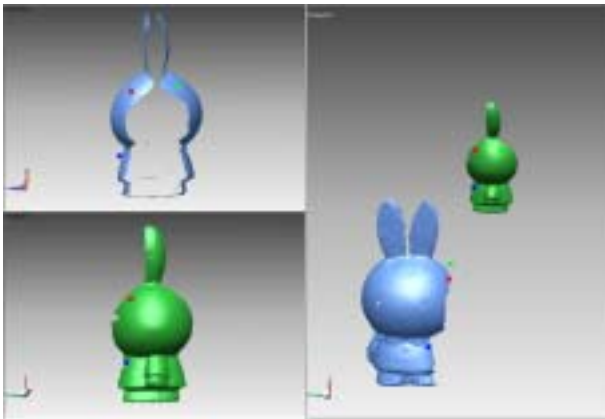


図6 共有点の指定

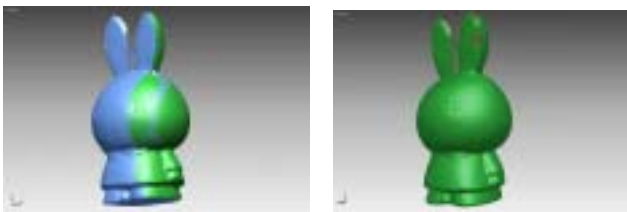


図7 位置合わせ結果

図8 結合結果

次に、横臥姿勢モデルと左体側モデルを結合してできたモデルと立位姿勢モデルの位置合わせ、結合を行った。共有点指定の様子を図9、位置合わせ後の両モデルの誤差分布を図10、結合後のモデルを図11に示す。

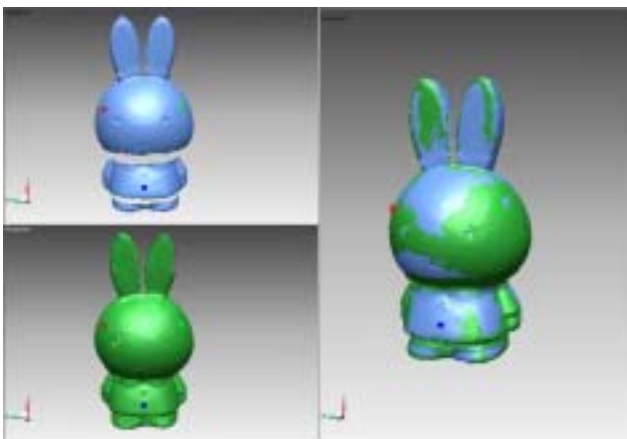


図9 共有点の指定

誤差は、モデルの93%が $\pm 0.8\text{mm}$ 以内に収まっており、平均は約 $+0.12\text{mm}$ であった。また、誤差が比較的大きいのは耳の付け根と左腕であった。

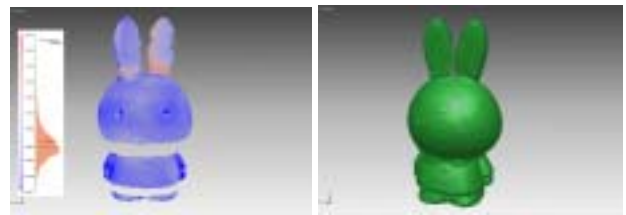


図10 誤差分布

図11 結合結果

結合したモデルでは両耳の内側が欠落している。これは、両耳の間が狭いためにレーザー光の照射・反射が充分に行われにくいことが原因である。そのため、この箇所は実物モデルを観察しながら手作業で修正を行った。修正前の耳の様子を図12、橋架け処理の様子を図13、右耳に穴埋め処理を行った様子を図14に示す。

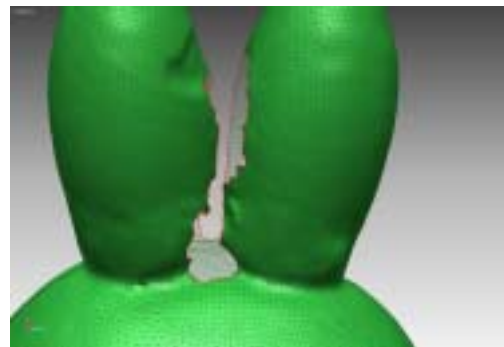


図12 修正前

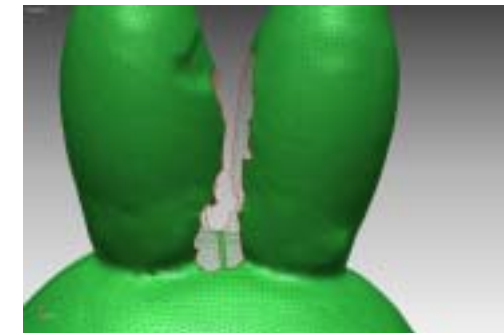


図13 橋架け処理

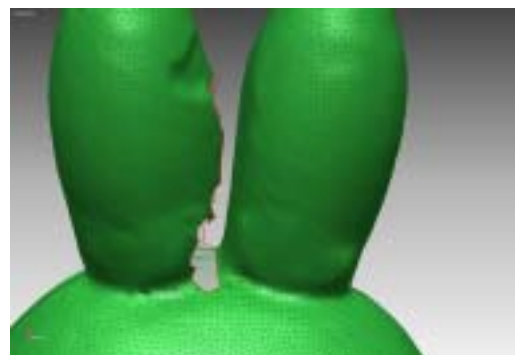


図14 穴埋め処理

次に、測定機の分解能が低いために鈍化してしまった目の部分にオフセット処理を行い明瞭化した。また、ポリゴンの疎密バランスを整えるために再ポリゴン処理を行った。完成したポリゴンモデルを図15に示す。

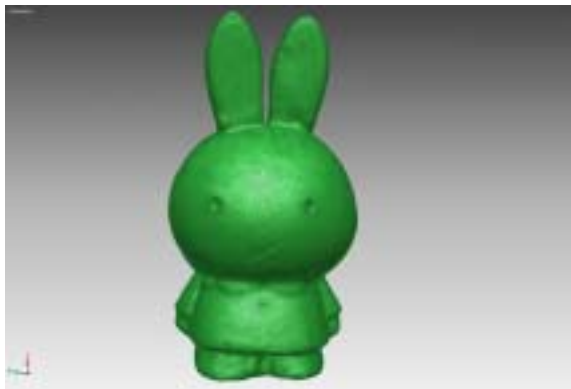


図15 ポリゴンモデル

3-2 サーフェスモデルの作成

ポリゴンモデルから曲面を作成する方法としては、手で境界線を作成し、境界線で囲んだ部分に面を張る方法と、自動で全体に面を張る方法がある。今回のモデルのように、形状にエッジがなく、特徴的な輪郭を境界線として作成しづらい場合は、自動で面を張る機能が大変有効になる。生成面数を300、500、1000、2000と増やしながら自動で生成したサーフェスモデルを図16から図19に示す。生成面数を多くするにつれサーフェスが元のポリゴンモデルに近づいていることがわかる。このサーフェスは、NURBS(Non Uniform Rational B-Spline)であり、そのままCADで利用することができる。



図16 300面モデル



図17 500面モデル



図18 1000面モデル



図19 2000面モデル

4. モデルの造形

完成した CAD モデルを評価するために三次元造形機を用いて試作を行った。造形機は Stratasys 社の Prodigy で、造形方法は ABS 樹脂の糸を積み重ねていく溶解紡糸堆積法(FDM)である。オリジナルモデルと造形モデルを並べた様子を図20に示す。



図20 オリジナルモデルと造形モデル

5. 結言

キャラクターのミッフィをモデルに、非接触三次元測定機と三次元曲面作成システムを用いてサーフェスモデルを作成し、三次元造形機を用いて複製モデルを製作した。今回の事例研究では、次の知見を得た。

(1)窪みや尖りがあるモデルからポリゴンモデルを作成する場合、姿勢を変えて、複数の形状データを測定し、それぞれの不正面、孤立面、穴などを修正した後に、これらの位置合わせ、結合を行ったうえで、再ポリゴン化などの調整を行う手順が有効である。

(2)エッジが少なく、滑らかな曲面で構成されるモデルの場合、三次元曲面作成システムの曲面自動生成機能を用いると、簡単に短時間で精度の高いサーフェスモデルを作成することができる。

今後、目的に応じて、分解能が高く、測定範囲も広い三次元測定機を利用すれば、さらに精度の高いリバースエンジニアリングが可能である。

参考文献

(1)尾崎 清, リバースエンジニアリングの事例研究, 広島市工業技術センター年報, 第17巻(2003), 37-39