

## ◇特集：3D技術②◇

## 三次元計測とリバースエンジニアリング

## －完全自動化ソフト ReverseZのご紹介－

松崎 幸一\*

## 1. はじめに

現物を三次元計測する試みが活発化している。設計モデルと現物モデルとを比較検証して、その結果を設計作業にフィードバックする試み（現物融合型エンジニアリング）が普及し始めているが、このことが強く影響しているようだ。また三次元測定機についても、以前に比べて種類が増えてきたことや、性能自体が向上してきたことも要因と考えられる。例えば形状内部まで高精度に測定可能な産業用X線CT装置が普及しているのはその典型例と言えそうだ。

リバースエンジニアリング（以下「RE」）をここでは測定データ（ポリゴン・メッシュデータ）をCAD化する作業の総称としておく。REの発展過程の中で三次元測定機の性能が向上してきたことは、結果的に測定データ量が大幅に増加することになった（表1参照）。この現象はREにとって良い傾向に違いないが、他方で課題も出てきた。まず良い傾向としては、単位面積あたりの測定データ量が向上したことによって曲面のフィッティング精度が向上してきた点あげられる。これは面を生成する方法が最小二乗法をベースにしているために、測定データに含まれる異常値が相対的に減少したことが原因として考えられる。

逆に課題になったのは、データ量が急増化したためにソフト側の処理能力に限界がきてしまった点あげられる。現在ではREには専用ソフトウェア（以下「リバースソフト」）の活用がかかせない。リバースソフトは機能的に「対話型」と「自動型」に大別される。対話型は画面上に現物モデルを表示させながらオペレータが面化していくやり方だが、操作性が良いことが重要になってくる。データ量が多くなると操作スピードが低下することや、求めている形状の検出がより困難になる等の悪影響が出てしまう。

\* ㈱テクノスター

## 2. CAD化の有効性

REの目的は様々ある。どのような目的にしてもCAD化自体が最終目的ではなくその後次の工程が控えている。適用例をいくつか紹介する。

一つ目に、設計モデルと現物モデルの比較というものがある。もともと設計データが三次元CADであるため、その後に現物化されたモデルを測定してメッシュデータ化し、これをCADシステムに取り込んで画面上でCADモデルと比較検討するというものだ。データ量が急増しているため画面上の操作は容易でない。これを回避するためにメッシュデータを簡略化してデータを軽量化する方法が行われるが精度低下はまぬがれない。

メッシュデータを誤差なくCAD化できれば、形状データ自体が軽量化するのでCADシステムへの負担は大幅に軽減できる。またメッシュデータの簡略化による精度低下はない。さらに面化は最小二乗法によって行われるので、できたリバース面は測定ノイズを除去したことになり都合が良い。CADシステムの評価機能がそのまま使えるのは言うまでもない。

二つ目に、リバースFEMがある。現物の測定データさえあれば図面やCADデータなどがなくても解析モデルは作れる。CAEシステムにより現物の機能分析ができるということだ。解析モデルはメッシャーと呼ばれるソフトによって自動生成が可能な時代になっているわけだが、方法としてメッシュデータそのものから直接に生成するやり方と、CADデータから生成するやり方の2通りある。

一般にはCADデータから生成する方法が選ばれていて、モデル化の品質は高い。機械部品等を例にすると、平面、二次曲面（円柱・球面等）、フィレットといった形状的特徴をCADデータは明確に区別（セグメンテーション）できるためであり、理想的な解析モデルが生成できる。後述するがリバースソフトの自動化においてはこのセグメンテーションが重要

になってくる。

### 3. 自動CAD化の要件

前述の通り、測定データが急増化している今日ではリバースソフトは対話機能よりも自動化機能の充実が重要課題となっている。これ以降は自動CAD化にテーマを絞って考える。

製造業とりわけ自動車業界では、現物モデルを本格的なCADデータへ自動変換する機能の要望が強い。本格的なCADデータとはどのような事をいうのだろう。現物モデルとしてホースモデル（図1(a))を例に考えて見る。このモデルは凹凸など起伏が多く、いくつもの特徴線を持っている。このようなモデルについては、凹領域、凸領域それぞれを別々な領域としてまとめ、領域毎にNURBS曲面をフィッティングするのが一般的なCAD化手法と考えられる。NURBS曲面そのものは高い連続性を持つため、現物モデルの連続的領域は可能な限り面内に定義し、非連続的領域（特徴線）は面間として定義する。この手法により特徴形状の喪失を防ぐことができる。

今日普及しているリバースソフトの自動CAD化機能を見てみると、図1(b)に見られるような四辺形パッチで構成される例が多い。結果を注意深く見ると、特徴形状をまたいで曲面をフィッティングしている点が目立つ。また平坦部分はより少ない面数で構成したいところだが、パッチ曲面数は必要以上に多い。

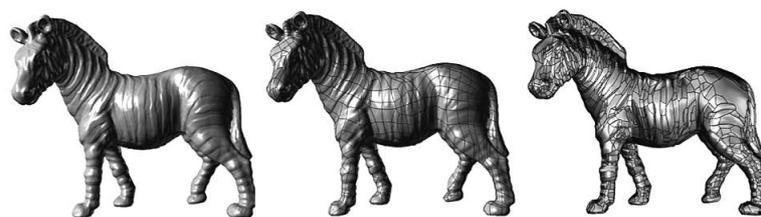
四辺形パッチ・フィッティング法は自動化手法としては一般的であるが、特徴形状をほとんど無視した復元方法なので、面品質も悪いしフィッティング精度も劣るのが欠点になっている。

CAD化で最も重要な点は、形状的に共通する領域を正確に見つけ出して曲面をフィッティングするという（セグメンテーション）であろう。セグメンテーションは「曲率連続領域の抽出」が大きな手掛かりになると考えられる。曲率連続領域が四辺形だけということはまずない。従ってフィッティング領域に対しては、基底面で全体を覆うようにフィッティングし、その後に境界線でトリムする、いわゆるトリム曲面とするのが自然と考えられる。図1(c)はこうした考え方でモデリングした例である。

### 4. ReverseZにおける自動CAD化手法

当社は、唯一完全自動化を実現したリバースソフトReverseZを開発した。この自動化手法を簡単に紹介する。

現物モデル（図2(a))は三角形ポリゴンで構成されたメッシュデータであるが、初めにポリゴン単位に曲率データ（主方向ベクトルと主曲率値）を計算しておく。隣接ポリゴン同士で曲率値を比較するとポリゴン間の曲率連続性がわかる。連続性を持つポリゴン同士を連鎖的に結び付けると、まとまった曲率連続領域ができる（図2(b))。一見するとCADの



(a) メッシュデータ (b) 面構成 (c) リバースモデル  
図1



(a) メッシュデータ (b) 曲率連続グループマップ (c) リバースモデル  
図2

面構成に近い領域に見える。ReverseZはこの曲率データ重視による方法により自動CAD化機能を実現した。その後は、この抽出方法とは別に現物モデルをある適当な大きさの領域に分割して、逆に分割領域をマージしながらフィッティングしやすい領域に戻す。このマージ処理の時に、先に求めた曲率連続領域を利用してマージに優先度をつける。こうして最適なセグメンテーションを求めている。図2(c)はセグメントに基底面をフィットしてトリム化した状態である。

曲率連続領域内は曲率値の局所的な平均化が可能である。このことから中心点や中心軌道線あるいは半径などが正確に計算できる。この結果、平面・円柱・フィレットなどの領域分けが可能になった。CADオペレータが目視などで判断する作業を、この自動化手法では現物モデルの曲率データから正確に安定的に計算してくれる。

### 5. ReverseZの適用事例

CADデータとメッシュデータの両方が存在するモデルをもちいてReverseZの自動CAD化機能の評価した。図3にリバースモデル（緑色(b)(e)）とCADモデル（青色(c)(f)）とを対比している。両者の面構成はよく似ておりCAD化の復元性は高いように思える。特徴線が一部消失してしまった部分もあるが、これは許容誤差の値による影響と考えられる。なおメッシュデータとCADモデルとでは、形状に一部違いが

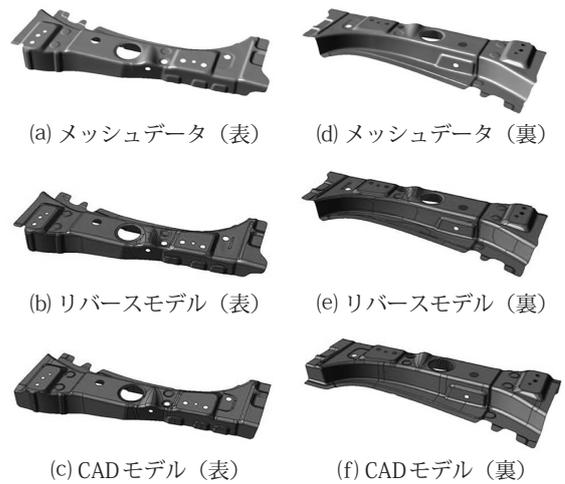


図3 リバースモデルとCADモデルの比較

見られるので注意されたい。

図4はリバースFEMの適用事例である。メッシュャーはTSV-Pre、リバースソフトはReverseZと当社の2製品を選ばせて頂いた。正確に作業時間を計測したわけではないが2製品とも自動化機能をもちいたので、おそらく2～3時間以内と思われる。結果が2種類あるが、上段は現物モデルそのものによる結果であり、下段はReverseZの単純化機能（微小フィレット除去）を適用した単純化モデルによる結果を示している。

過去に実施した適用事例の計算時間を参考までに列挙する（表1）。

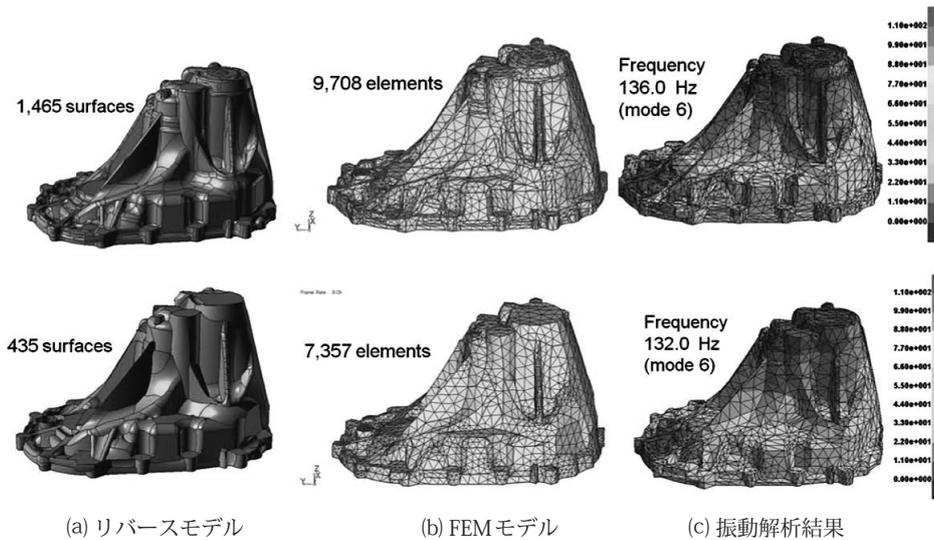


図4 解析事例

表1 ReverseZの適用事例

業種	部品名	ポリゴン数	計算時間	生成面数	図番号
自動車	機械部品	820,000	10分	340	第3図
自動車	ミッションケース	2,430,000	34分	2,800	第2図
自動車	エンジンブロック	18,500,000	36時間	59,000	—
自動車	ボディ (フレーム)	5,300,000	7時間	38,000	—
自動車	ボディ (外形)	(簡略化済)700,000	20分	540	—
自動車	エンジンブロック	(簡略化前)47,000,000	43時間	59,100	—

(出典：当社エンジニアリング・サービスから抜粋)

## 6. おわりに

測定データ量が急増していることと、これによってリバースソフトの自動化機能の重要性が高まってきた点をお話しさせて頂いた。対話機能が不要であるかのような文章構成になった感があるが決してそうではない。品質的には対話機能がまだ優位であるので、目的に応じて自動／対話の選択をすべきと理解して頂きたい。今後自動化機能への依存度が増す時代になってくると測定データの品質がより重要になってくるので、根幹となるスキャニング技術の向上に期待したい。

トリム化曲面は万能性を持っているがリバースソ

フトへの実装化は今日始まったばかりで普及度はまだ低い。四辺形パッチ生成型の自動化機能を利用しているユーザ数は数多くいるが、不満の声をもちつつもなお利用している現状もある。技術的にはまだ改善の余地もあるので、開発者側の今後の努力に期待したい。

### <参考文献>

- 1) 松崎, 鈴木, 大竹: 「リバースエンジニアリングソフト MOSIC の開発(第1～13報)」, 精密工学会講演論文集, 2006年春季大会～2012年春季大会

原稿中の図面がカラー画像でご覧いただけます。  
[http://www.nikko-pb.co.jp/products/detail.php?product\\_id=3400](http://www.nikko-pb.co.jp/products/detail.php?product_id=3400)  
 (画像ラボ(日本工業出版(株)発行) HP内です。)