

「TSV-Reverse」による リバースエンジニアリングの 高速・高精度化

松崎 幸一*
Koichi Matsuzaki
株テクノスター

リバースエンジニアリングという言葉がようやく定着してきた。一般には現物モデル（測定などから得た形状データ）から CAD データへ変換する作業を指す。リバースエンジニアリングを目的とするソフト（以下、リバースソフト）は 10 年以上前から普及が始まっていて、今日ではさまざまな方面で業務に活用されている。最近になって、ユーザー側からリバースソフトに対する改善要望が強まってきた。産業用 X 線 CT 装置や高密度 3 次元スキャナが順調に普及してきていることや、現物モデルを設計業務へフィードバックする作業（現物融合型エンジニアリング）が増加していることなどが原因になっているようである。

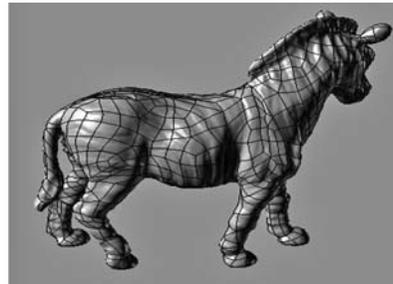
製造業とりわけ自動車業界では、現物モデルを本格的な CAD データへ自動変換する機能を熱望する声が高い。本格的な CAD データとはどのようなことをいうのだろう。現在普及しているリバースソフトの自動

変換機能を使ってみると、図 1 に見られるような結果をよく出力している。現物モデルには多数の特徴形状があるにもかかわらず、四辺形パッチ曲面だけで構成しようとしているのだ。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。さらに、この問題を克服するために対話機能を追加しているのだが、専用ソフトでありながら結果的に CAD を利用したときとさして変わらない工数を費やしているのが現状である。

筆者は 10 年程前からリバースエンジニアリング技術に関する研究をしてきた¹⁾。この問題については四辺形パッチ面ではなく、CAD と同様に非四辺形領域にも十分に対応可能なトリム曲面ベースのデータ構成を導入する必要があると考えている。ただし、完全自動化という条件がついた途端にこの課題を克服することが難しくなってしまうのは確かである。一方でここ



(a) メッシュデータ



(b) 面構成

図 1 四辺形パッチによるモデリング

10年の間にCAD/CG分野においては優れた研究成果が発表されてきており、完全自動化に対するハードルはだいぶ下がってきている。本稿は最新技術を紹介しながら今後のリバースソフトのあるべき姿を展望してみたい。

リバースソフトの最近の利用傾向

リバースエンジニアリングは現物モデルによって大きく二分される。測定データ以外にCADデータを保有しているかどうかという点である。CADデータを保有している場合は、現物モデルにCAD面をフィットしながら変形することになるので、CAD曲面の品質を維持することが最重要課題になる。具体例としては二番型生成などであろう。一般にはCADデータをもたない場合が多い。この場合の利用傾向として次のようなものがあげられる。

1. 競合他社製品の評価

カタログ性能には書かれてない詳細情報を得るために利用する。リバースソフトによって現物モデルをコンピュータという仮想世界にもち込めるので、CAEソフトと連携することで飛躍的に精度の高い詳細情報を得られるのが最近のトレンドである。コンピュータの処理性能の向上と、CAEソフトがもつ解析モデルの自動生成化機能のレベルアップによって、このニーズはさらに強まっている。

2. CADシステムへの負荷軽減

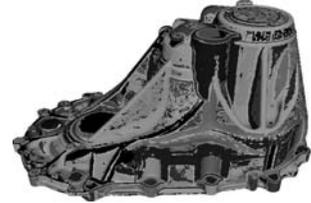
産業用X線CT装置や高性能スキャナの普及により、現物測定が高密度化する傾向にある。測定データそのものをCADシステムに直接取り込むことは、システムへの負荷が増大するばかりでなくCADオペレーターの作業効率も低下する。リバースソフトでCADデータへ変換することで、形状データの軽量化は1/10~1/100に抑えることができる。この場合はフィッティング精度が重要になってくる。

3. 現物モデルの自動CAD化

クレイモデルや木型などいわゆる創造的作業から生まれた形状の面化のニーズが高まっている。本来意匠系は高品質曲面でなければならないという考え方が定着しているが、他方でCADオペレーターのモデリング能力の差異解消や後工程への早出しの要望もあってCAD化作業の効率化が要求されている。この問題は完全自動化によって解決可能なのだが、副産物として



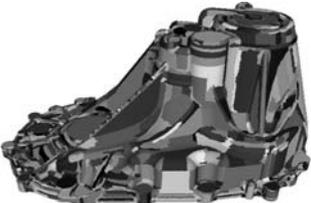
(a) メッシュデータ
[データ提供：(株) 本田技術研究所]



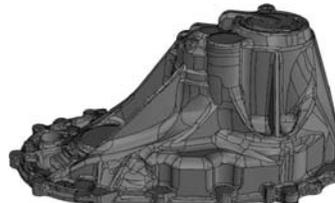
(b) 曲率連続グループマップ



(c) フラグメント・マップ



(d) セグメント・マップ



(e) リバースモデル

図2 自動セグメンテーションの流れ

リバースソフトの出力結果を参考にしながら承認CADモデルを作成するという新たな利用方法も期待されている。

ReverseZにおける自動化手法

冒頭にも説明したとおり、現物モデルを自動CAD

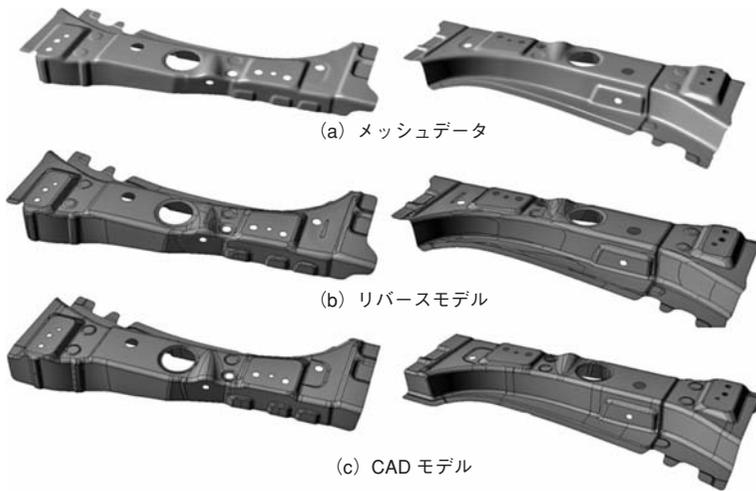


図3
リバースモデルとCADモデル
の比較

化するためにはいくつか課題がある。主だったものでも次のような機能が必要である。

- ① 自動セグメンテーション
- ② 特徴形状抽出および面分類
- ③ 自動面張り&トリム曲面化
- ④ 自動面間調整

当社では最近、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。これを例に自動化手法を説明したい。ここでは課題の一つである自動セグメンテーションを取り上げる。CADの場合はオペレーターが現物モデルを目視あるいは計測作業で得た情報から面化が可能な領域（セグメント）を見つけていく。ダイレクトセグメンテーションと呼ばれるもので、時間はかかるが確実な方法である。

では自動化はどうするかというと、まず前半で現物モデルを適当な大きさの単位に分けておいて、後半でこれらをマージしてセグメントとして再構成するという手順で行う。方法を詳しく説明する前にセグメンテーションにとって最も重要な曲率データの分布図を現物モデルで計算してみよう。現物モデル [図2(a)] はメッシュデータなので、この構成要素であるポリゴンの曲率データ（主方向ベクトルと主曲率値）をすべて計算しておく。その後隣接するポリゴン同士でこの値を比較すると曲率連続性の有無が判断できる。連続性のあるポリゴン同士を結びつけることで曲率連続グループができる。図2(b)は曲率連続グループを色分けしたものである。なお、まだらになっている部分があるが、これは測定ノイズなどの影響で形状に起伏が

生じたため、曲率データが変動して連続性がそこで失われてしまったと考えられる。

説明を元に戻して、現物モデルを適当な数に分割する方法を説明する。図2(c)は分割後の状態を示した図である。各領域のことをここではフラグメントと呼ぶ。フラグメントは平面に限りなく近い形状をしたもので、平面とフラグメント内のポリゴンとの間の法線ベクトルの誤差の総量が全体的に最小である状態を図2(c)は示している。

後半でフラグメントをマージする。隣接するフラグメントは多数あるが、マージする相手によってはとんでもない領域ができてしまう。ここで先に説明した曲率連続グループが重要な役割をする。相手が同じ曲率連続グループに属しているフラグメントならばマージ後も大きなひずみは生じないからマージは可能である。これを繰り返すことでセグメントが完成する [図2(d)]。セグメントが図2(b)をベースに出来上がっている点に注目したい。図2(e)はさらにそのセグメントに基底面をフィットしてトリム化した図である。

「②特徴形状抽出および面分類」関連を補足する。曲率連続グループ内のポリゴンの曲率データはお互いに近い値なので平均化が可能である。この結果、グループ内の幾何特性値はほぼ正確に計算できる。例えば中心点や中心軌道線あるいは半径などである。これらの値からグループを平面・円柱・フィレットなどに分類できる。CADオペレーターが目視などで判断する作業を、自動化では現物モデルの曲率データから正確に計算してくれる。

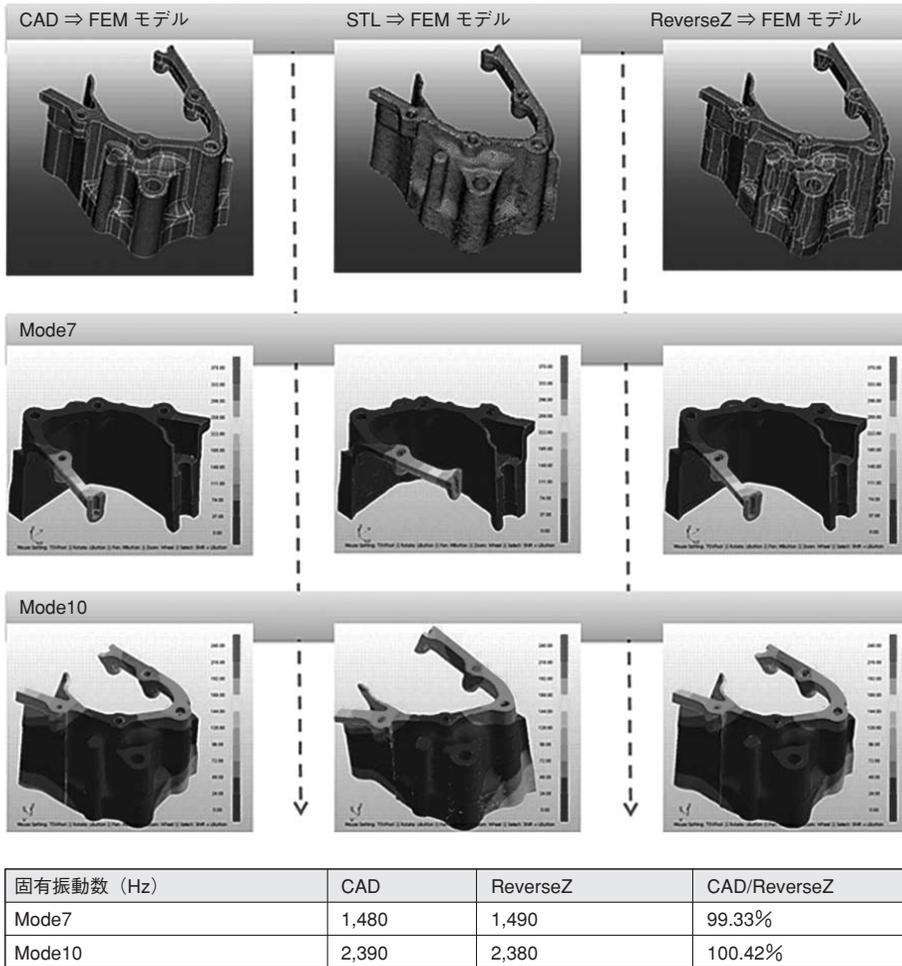


図4 リバースソフトと解析ソフトの連携

完全自動化ソフト ReverseZ の性能評価

1. CAD モデルとの比較

CAD データとメッシュデータがともに存在するモデルを用いて ReverseZ の復元性能を評価した。図 3 にリバースモデルと CAD モデルとを比較している。フィレットの多い形状であるが面構成がよく似ており復元性はよいように思える。段差の少ない部分で特徴線が消失してしまった部分があるが、これは許容誤差の値による影響と考えられる。リバースモデルの生成時間は約 10 分であった。

2. 解析ソフトとの連携

CAD データとメッシュデータがともに存在するモデルを用いて解析精度を検証した。ReverseZ でリバ

ースモデルを作成した後、当社の解析モデル自動生成機能「TSV-Pre」により両方の FEM モデルを作成し、その後 FEM モデルの振動解析結果を比較した(図 4)。両方の結果はほぼ一致しており、おおむね良好と言える。

なお比較のためメッシュモデルから直接 FEM モデルに変換した結果も加えている。

参 考 文 献

- 1) 松崎、鈴木、大竹 (東京大学)：「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