

リバースエンジニアリング・メッシュ生成

人工物はCADデータから造られるが、図1のリバースエンジニアリング（以下RE）は、既存の人工物や動植物からCADデータや形状データを作るもので、今やものづくりの他、医療や史物の保存などに欠かせないものとなっている。しかし、自動車車両全体ともなるとCADデータを市販のREシステムを使って得るのに相当のベテランでもゆうに2～3ヶ月を要しているのが現状である。まず計測散乱点から、3次元の構造再構成を得るには、複数の計測データの位置合わせの問題がある。徐放は論文(1),(2)で査読者から高評価を得た、位置記述子、種類記述子と方向記述子を含めた点群モデルを定義し、これを利用することにより従来の手法で対応できない点群データに対しても精度よく位置合せができることを示し、学位論文「特徴近傍点群及び多記述子モデルを用いた三次元点群の自動位置合せ」(2012.3)とした。

図2に実機に適用した例を示すが、計測データはノイズも多く、ノイズを除き三角形のメッシュであるSTL (STereo Lithography) データで構造再構成する方法として、CSRBF(Compactly Supported Radial Basis Functions)を使って画像解析で得るもの、STLデータを直接作る方式の二つがある。前者については、最終的に得られるマトリクスを帯行列にする方法を我々が初めて行い最も効率の良い手法を開発している⁽³⁾。後者については、1934年のDelaunayの方法が通常使用されるが、著者らのグループでは、それよりはるかに効率のよい手法であるMOA (Maximum Opposite Angulation)法を開発し⁽⁴⁾特許化している⁽⁵⁾。程文杰はこれを学位論文「Study of Automatic Mesh Generation for Complicated Structures (複雑構造に対するメッシュ自動生成法に関する研究) (2004.12)」としている。MOAをモアイ像へ適用した例を図3に示す。

更に、STLデータのメッシュ数も相当多いため、メッシュの簡略化が重要である。メッシュのアスペクト比（最大辺長さと最小辺長さの比）を統計値としメッシュ形状の向上の問題を初めて統計解析に持ち込み、大局的に簡略化して効率を上げる手法を開発し⁽⁶⁾特許化し⁽⁷⁾手島発明賞を得た。オルガ・エゴロワはこれを学位論文「Quasi-Statistical Modeling as

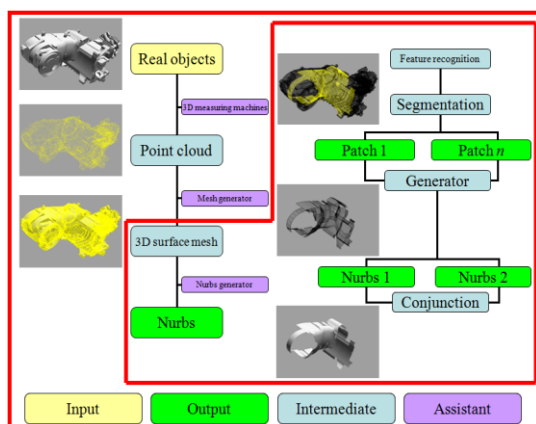


図1 リバースエンジニアリングの流れ

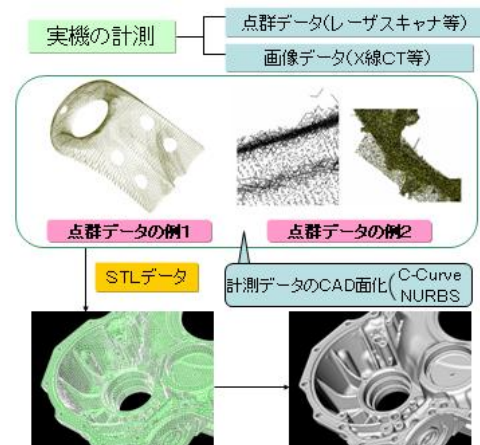


図2 実機適用時のリバースエンジニアリングの流れ

a Tool for Mesh Processing (準統計的手法によるメッシュ生成法に関する研究 (2004. 6))
とした。

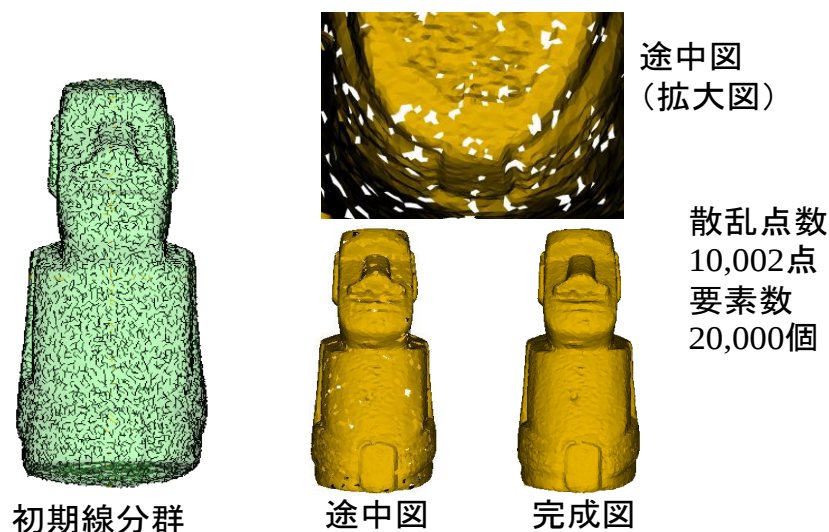
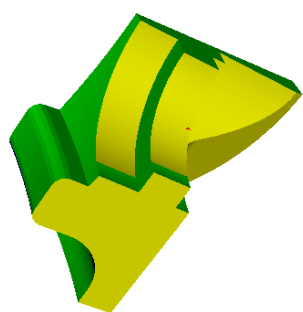
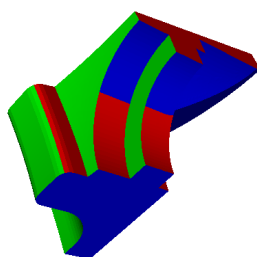


図3 MOAのモアイ像への適用例

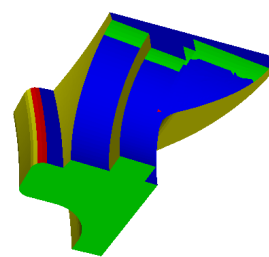
簡略化するとメッシュ形状が悪くなり悪くなるとSTLデータからCADデータへの変換が困難なことから、新たにメッシュの形状の向上法であるTD(Trapezium Drawing)法を開発している⁽⁸⁾。このTD法はこの種の手法で最もポピュラーなラプラシアン法に対する圧倒的優位性が得られている⁽⁸⁾。Irina Semenovaはこれを学位論文「Maintenance of surface shapes for polygonal representations (ポリゴン表示に対する表面形状の保持) (2005. 3)) とした。



(a) 正四面体



(b) 正六面体



(c) 正八面体

図4 正多面体を用いた特徴線抽出

さて、構造再構成のキーポイントは特徴線を確実に捉えることであり世界的に見ても未だ決定打は得られていない。これまでの主な手法は1) 法線ベクトルによる手法⁽⁹⁾、2) 粒子系を用いる手法⁽¹⁰⁾、3) 正多面体を用いる手法⁽¹¹⁾で、我々もそれぞれに独自の手法を編み

出しており、これら三つの手法それぞれの高度化を図るとともに得失を見極め、形状に即した効率的な組み合わせ法を開発している。例えば、3) 正多面体を用いる手法では従来の六面体を利用する手法を拡張し、六面体以外の正多面体である、正四面体、正八面体、正十二面体、正二十面体も加えて計五種類しかないこれら五つの正多面体の中から、法線ベクトルなどを比較することによって最適化解析手法を適用し最も対応する面を決定している⁽¹²⁾。図4にファンディスクに対する特徴線抽出の結果を示す。正四面体に比べて、正六面体や正八面体の方がなだらかに変化する部分に対しても有効に機能していることがわかる。Maria SAVCHENKO女史は関連研究で学位論文「Developing Effective New Algorithms for Mesh Processing (メッシュ整形のための新しい効果的なアルゴリズムの研究) (2010.10).」とした。

最終ゴールのCAD面はNURBSが標準である。NURBSは複数の四角形パッチに必要な連続性を付与して接続される。STLデータから四角形パッチを求めるためいくつかの四角形に分けるステップが必要でこのステップはセグメンテーションと称されている。このセグメンテーションは、手作業なしでは未だどこも成功していない。これは全ての特徴線は境界線にすることが望ましいが、これだけでは多角形を作るとは困難な場合があったり、時には、四角形以外の多角形ができたりする。我々は一般の多角形をより小さな四角形の集まりに分解するのに再分割法(Subdivision法)のCatmull-Clarkアルゴリズムを使用して検討しほぼ満足な結果を得ている。童剛は関連研究で学位論文「Techniques of CAD models restoration and modification for effective numerical simulation (効果的な数値シミュレーションのためのCADモデルの修復と修正技術) (2010.9)」とした。

次に三角形要素からならSTLデータから四角形に変換した後のNURBSパッチの生成は吳卓奇により開発され、関連論文で学吳卓奇位論文「Three-Dimensional Free Form Surface Modeling from Polygonal Mesh (ポリゴンメッシュからの3次元自由曲面) (2006.9)」とした。

パッチ間の連続性付与はG1連続(接合点で両側の1階微分係数の方向は等しいが大きさは異なっても良い)以上となると我々以外どこも成功していない。自動車の外板などではC1連続(1階微分まで連続)が要求されるものの、これは敬遠されそれよりも拘束の緩いG1連続の付与の研究が主流であるが逆に筆者らのグループでは目的のC1連続を直接検討し、境界上のC1連続には条件付きで成功している⁽¹³⁾。以上のようにREは未だ困難な課題があるもののLockFormは最も進んだシステムで、ユーザーから渴望されている完全自動化システムも近々に提供できるものと考えている。また最後のCAD面を生成する所では通常のNURBS(Non Uniform Rational B-Spline)より汎用性と効率のよいC-Curvesを開発している⁽¹⁴⁾。これを計測できなかった所は空洞となるがそれをいち早く見つけてそれを修正する方法を開発し⁽¹⁵⁾特許化した⁽¹⁶⁾。

張子賢はドローネ法とアドバンシング・フロント法を組み合わせ表面メッシュの構造を保持した上での自動的の良好な四面体メッシュを生成する⁽¹⁷⁾こと、また、モーフィング

技術において、対象となる制御頂点の数が減ると、通常メッシュの品質が悪くなる問題を解決し、学位論文「Mesh Based Algorithms for Industrial Applications（産業応用のためのメッシュ生成アルゴリズム）（2012.3）」としている。

以上のように我々のグループでは世界最新の要素技術を開発しシステムを構築している。