

# 織物三次元モデリング技術の CAE プリプロセッサへの応用

Application to CAE Pre-processor of Three-dimensional Computer Modeling of Woven Fabric Structures

太田 幸一

Kouichi OHTA

## Abstract

The software which converted from three dimensional model of woven fabric structures to STL file was developed. STL file is a general-purpose three-dimensional CAD data format and loaded by CAE (Computer Aided Engineering) system. The three dimensional modeler of woven fabric structures was applied as preprocessor of CAE for analysis of woven fabric properties. The analysis by FEM (Finite Element Method) and MPS (Moving Particle Simulation) using three dimensional model of woven fabric structures was enabled by applying this software. This analysis allows the various physical properties designs of woven fabric.

Keywords：織物構造、シミュレーション、有限要素法、粒子法、CAD、CAE、FEM、MPS

## 1. 緒言

織布は複数の糸を交錯させた複雑な立体形状をもち、糸の素材、糸密度、織物組織など様々な要因で構造が大きく変化する。高付加価値をもつ製品が要求されている現在では、織物企画設計作業において、この織物の立体構造を把握することが必要とされている。しかし、組織図や織物規格から織物の立体構造を把握することは難しく、必要とされる立体構造をもつ織物を設計するには、相当の経験と知識を要する。

一方、機械、電気・電子、建築・土木、化学などの各分野ではコンピュータシミュレーションなどにより製品の設計、製造や工程設計の事前検討を行う CAE (Computer Aided Engineering：計算機支援工学) が導入されており、製品製造における最適な設計条件の求解や、試作回数の削減、リードタイムの短縮、開発コストの低減化などが実現されている。しかし、繊維産業においては、用いられる素材の柔軟性および繊維製品は微細な繊維の集合体であるという構造的特徴から、CAE 技術の開発は大幅に遅れている。さらに、織物を最終製品に適用した場合に必要な各種特性、変形などの物理特性や通気性などの各種消費性能の設計については、条件が膨大であり、コンピュータによる設計支援技術は皆無である。このため、織物産業における設計・開発部門においては、さまざまな条件で多種類の繊維製品を試作し、最適な製造条件を選び出すという、試行錯誤的、人海戦術的な方法で対応しているのが現状であり、短納期化・省資源対応などの観点から繊維産業向けの CAE の開発が求められている。

これらの繊維産業向けの CAE の要求に対応するため、以前の研究<sup>1-8)</sup>において、織物組織図の情報から織物三次元モデルを作成し、さらに引張および曲げの変形シミュレーションを実

施する手法について検討を行い、従来の織物変形シミュレーションでは実現されていない、糸の物性と織物の設計条件から織物の基本構造単位についての 3 次元モデルを作成し、さらに変形時における形状予測を可能とした。これらの研究では独自で開発したソフトウェア上で動作することを前提としており、織物三次元モデルの構造についても独自のファイル形式で保存を行っている。このため、通気性などの新たな特性についての設計を実現するためには、その特性に応じた解析アルゴリズムを構築し、専用のソフトウェアを作成し検証を行う必要がある。このため、織物 CAE における新たな課題に対応する場合、比較的長い研究開発期間が必要となってしまうのが現状であった。

一方、通気性などの流体が関わる解析や、応力分布などの構造解析などについては、機械、建築・土木、化学分野においてすでに汎用の CAE 用の解析システムが実用化されており、実際に製品設計・開発部門で導入されている。自動車産業においてはコンピュータ上での設計・検証により試作車の作成をほぼ 1 回の試作のみで確認し、本番生産に移行し、設計ならびに生産の効率化を図られるまでにいたっており、十分成熟した技術となっている。従って、一般的に用いられている汎用解析ツールとの連携を行うことで、新たな織物の特性に対するシミュレーションが可能となるものと予想される。

CAE で用いられる汎用解析ツールは一般的に、ソルバ、プリプロセッサ、ポストプロセッサから構成されている。ソルバは解析計算自体を行う。プリプロセッサはソルバで解析計算を行うのに必要な入力データを作成・準備し、ポストプロセッサはソルバから出力された解析結果をグラフやアニメーションなどの形式に加工し、ユーザーが理解しやすい情報を提供する。

以前の研究で開発した織物三次元モデル生成手法をプリプロセッサとして用いることで、汎用解析ツールを用いた織物の各種特性の解析が可能となると考えられる。そこで、開発済の織物三次元モデル生成ソフトウェアを CAE 汎用解析ツールのプリプロセッサとして応用する手法について検討を行った。

## 2. 変換ソフトウェアの開発

以前の研究<sup>1)~8)</sup>において開発した織物三次元モデル生成手法については、図1に示すように、構成する経緯糸1本ごとに對して織物中での座標を確定しモデリングを行い、織物の三次元形状モデルを作成した後、レンダリング処理を行い立体形状の表示を行っている。織物の三次元形状モデルについては、比較的少ないパラメータで表現することができる3次ベジェ(Bézier)曲面によるモデル化手法を採用したサーフェスモデルとなっている<sup>1)</sup>。このサーフェスモデルのデータについては、独自のファイル構造を持つ形式でコンピュータ上に保存されており、他の汎用 CAE ツールでは読み込むことができない。そこで、独自のファイル構造を持つ織物三次元形状モデルファイルに対して、CAE 汎用解析ツールでも読み込むことが可能なファイル形式に変換を行うソフトウェアの開発を行った。ソフトウェアの開発には Microsoft 社製 Visual Studio 2010 Professional を使用した。

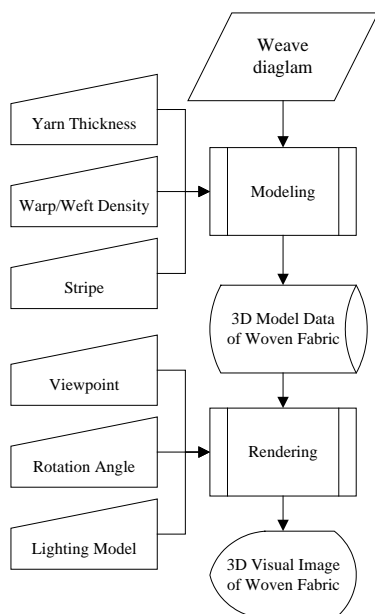


図1 織物三次元モデリングのフロー<sup>1)</sup>

開発したファイル変換ソフトウェアは、織物三次元形状モデルファイルを読み込み、多くの CAE 汎用解析ツールが対応している STL ファイル形式への変換を行う。織物三次元形状モデルは3次ベジェ曲面の制御点の形式で保存されているため、補間計算<sup>9)</sup>によりベジェ曲面の座標を算出する。その後、さらに、

デニーロ分割プログラム<sup>10)</sup>とベジェ曲面の分割法則に従い分割を行い、三角パッチによるサーフェスモデルデータに置き換えられ、STL ファイル形式で出力される。なお、ベジェ曲面の分割法則には de Casteljau のアルゴリズム<sup>9)</sup>を使用している。

図2に示す織物三次元モデル生成ソフトウェアで出力した糸のクリンプモデル<sup>1)</sup>に対し、開発したデータ変換ソフトウェアで STL ファイルに変換した三次元モデルを図3に示した。

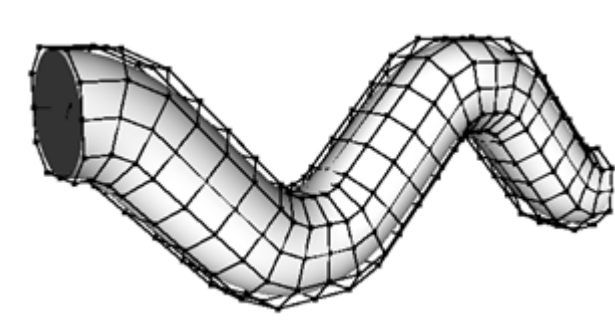


図2 変換前の糸三次元モデル<sup>1)</sup>

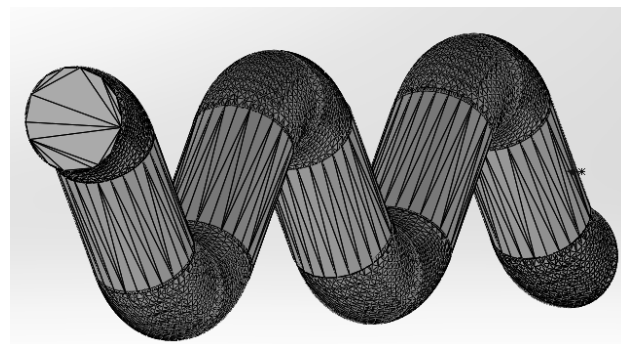


図3 変換後の糸三次元モデル

## 3. 実証試験

作成したデータ変換ソフトウェアについて、織物三次元データを手法の有効性の確認を行った。検証に際しては、CAE で古くから用いられている有限要素法(FEM)と、比較的新しい手法である粒子法を検証対象とした。

### 3.1 有限要素法

有限要素法については、ソリッドワークス・ジャパン(株)製 SolidWorks2014 Simulation を用い、STL ファイルの読み込みおよび有限要素法解析の検証を行った。

まず、STL ファイルの読み込みについて検証を行った。その結果、図4に示したように、各モデルの要素間に多くのギャップや不連続部分などの不整合が検出され、ファイル読み込み直後の状態では有限要素法解析を実施することができなかった。このため、開発ソフトウェアに対して要素間のギャップ・不連続部分・干渉などの不整合を回避させるようプログラムの修正を行い対応した。しかし、修正プログラムによるデータ変換を実施した場合でもすべての不整合を解消するに至らなかった。こ

のため、SolidWorks に読み込んだ後、SolidWorks 固有の不整合修正処理を行い対応するものとした。不整合修正処理後のモデルを図5に示す。

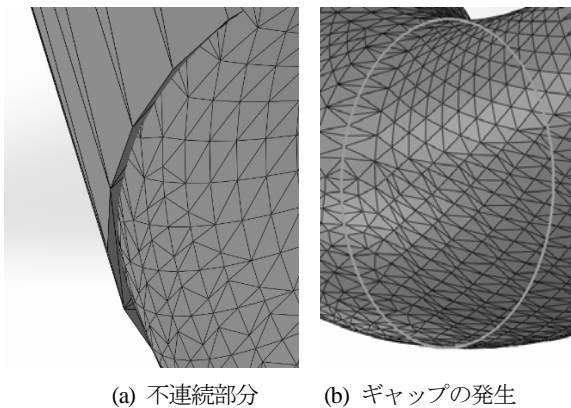


図4 SolidWorks 読み込み時に発生した不整合部分

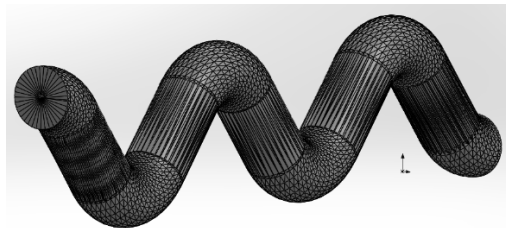
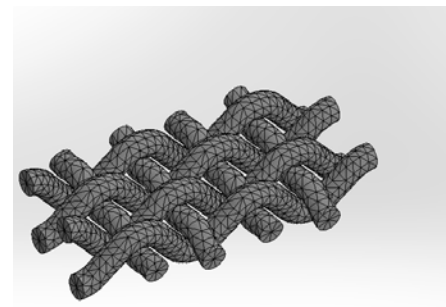


図5 不整合修正処理を行った糸三次元モデル

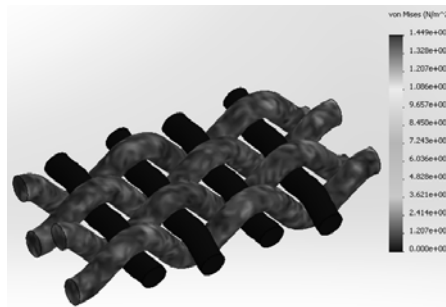
続いて有限要素法解析について、開発ソフトウェアで変換した平織の織物三次元モデルについて、経糸方向の一軸引張試験について解析を行い、有効性の検証を行った。解析条件としては要素数 9756 で再メッシュを行い、解析には FFEPlus ソルバを用いた。解析の境界条件は経糸については引張とし、緯糸については自由端として取り扱った。解析結果を図6に示した。応力、変位、ひずみの3パラメータについて分布が求められており、開発ソフトウェアで変換した織物三次元モデルについて有限要素法解析が可能であることが確認できた。

### 3.2 粒子法

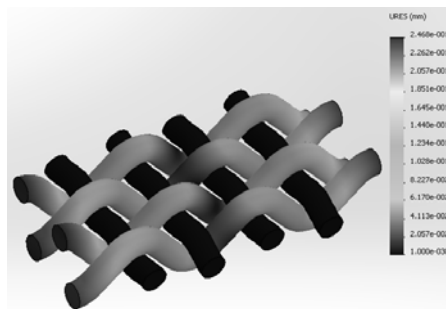
CAE で用いられている従来の汎用解析手法では、解析対象に対してメッシュ分割を行い、メッシュの接点に物理特性を与え解析を行っている。このため、解析結果は分割したメッシュの形状に依存してしまい、流体など自由運動を行う対象の解析においては制約が生じる。このため、メッシュの代替として粒子を用い解析を行い手法として粒子法が提案されている。粒子法には様々な手法が存在するが、越塚による MPS (Moving Particle Simulation) 法<sup>14)</sup>が代表的な手法であり、汎用の解析ツールも市販化されている。本研究では MPS の代表的ツールであるプロメテック・ソフトウェア(株)製 Particleworks を用い、織物のフィルタ特性のシミュレーションを実施し、変換プログラムの有効性の検証を行った。開発ソフトウェアで出力し



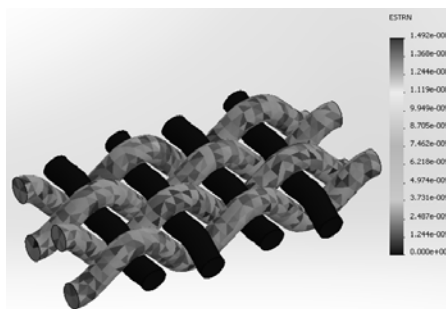
(a) モデル



(b) 応力



(c) 変位



(d) ひずみ

図6 有限要素法による一軸引張時の解析結果

た織物三次元モデルの STL ファイルを Particleworks で読み込みフィルタのモデルデータとし、このモデルに対して埃に相当する多数の粉体粒子を通過させる条件で現象の解析が可能かどうか試行した。解析条件は初期粒子間距離 0.01mm、粉体粒子半径 0.01mm、解析時間 0.05 秒、刻み時間間隔 0.000001 秒とした。解析結果を図6に示す。

この結果、多くの粒子が織物を構成する糸間によって生じて

いる空隙を通過しているが、糸の表面にトラップされている粒子も多数存在しており、フィルタ効果が再現できていることが確認できた。なお、STL ファイルの読み込みについては、粒子法の特徴上、変換モデルの不整合が残っている場合でも問題なく解析が実行可能であった。

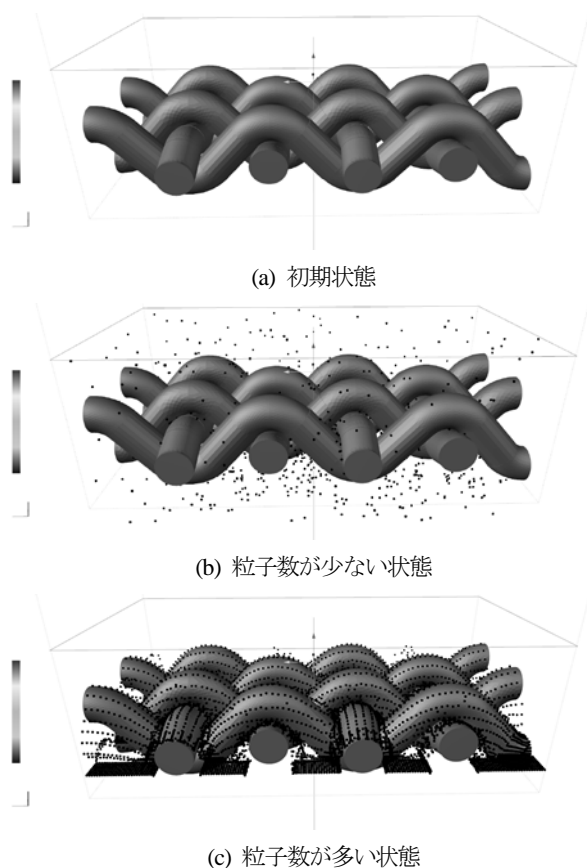


図7 粒子法による織物のフィルタ特性シミュレーション

#### 4. 結言

開発済の織物三次元モデル生成ソフトウェアが生成した織物三次元モデルについて STL ファイルへの変換ソフトウェアを開発し、織物三次元モデル生成ソフトウェアを CAE 汎用解析ツールのプリプロセッサとして使用できるようにした。この結果、一部不整合データが含まれるものの、織物三次元モデルを CAE 汎用解析ツールに読み込むことが可能となり、織物三次元モデルを用いた解析が可能であることを確認した。これにより、CAE のプリプロセッサとして有効であることが実証できたものと考えられる。

本研究においては、汎用解析ツールによる解析が可能であることを確認したものの、解析結果の妥当性などについては未検討のままである。今後は実際の引張試験や通気性試験の結果との比較を行い、解析の妥当性の検証を行い、プリプロセッサとしての有効性を高めていく必要があるものと考ええる。

#### 文献

- 1) 太田幸一：繊維機械学会誌, **57**, T81 (2004)
- 2) 池口達治, 太田幸一：愛知県産技研研究報告, **4**, 188 (2005)
- 3) 特許第 479394 号
- 4) 太田幸一：学位論文, 金沢大学, (2005)
- 5) 太田幸一, 池口達治：愛知県産技研研究報告, **4**, 192 (2005)
- 6) 特開 2006-100230
- 7) 太田幸一, 池口達治：愛知県産技研研究報告, **5**, 178 (2006)
- 8) 特開 2008-242516
- 9) 穂坂衛：CAD/CAM における曲線曲面のモデリング, 東京電気大学出版局 (1996)
- 10) 谷口健男, 森脇清明：3 次元 FEM のための自動要素分割法, 森北出版 (2006)
- 11) 越塚誠一 (日本計算工学会編)：粒子法, 丸善出版 (2005)

(提出日 平成 27 年 1 月 9 日)