

平成 28 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「CAD データの幾何学的分析アプローチによる
3 次元形状認識技術を用いたヘキサメッシュを主とする
ソリッドメッシュの自動生成ソフトウェアの開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 5 月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 特定非営利活動法人 CAE 懇話会

目 次

第 1 章 研究開発の概要

- 1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1－2 研究体制
- 1－3 成果概要
- 1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2－1 ヘキサメッシュ生成ソフトウェア開発
- 2－2 メッシュ生成の高速化

第3章 全体総括

- 3－1 複数年の研究開発成果
- 3－2 研究開発後の課題・事業化展開

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発は、中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針の以下のニーズに対応するものである。

川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）

特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に該当。

（一）情報処理に係る技術に関する事項

1 情報処理に係る技術において達成すべき高度化目標

（3）川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ウ．ものづくりにおける研究・開発・製造等の生産性向上を支援する
技術の高度化

自動車部品等の設計や、強度や熱の影響等のシミュレーションは、研究・開発・製造等の各過程において、必須のものである。シミュレーションにおける、生産性向上は、開発期間の短縮につながるとともに、開発される部品、製品の性能向上に直接寄与するものであり、国際競争力強化につながるものである。

本研究開発の背景は、以下のようにまとめることができる。

現在、シミュレーションの範囲は、構造解析、熱解析、振動解析、流体解析、最適設計、樹脂流動解析、鋳造解析等々、多岐にわたるが、それらの多くには、有限要素法が使われている。有限要素法によるシミュレーションの実行のためには、3次元 CAD データを利用することが、全体の処理にかかる工数削減、効率化のために、一般的に行われている。3次元 CAD データの活用により、複雑な形状であっても、3次元 CAD データを活用しない場合に比べ、形状定義に要する時間は大幅に短縮されている。また、3次元 CAD データを活用により、有限要素法では、従来一般的に使われてきたシェル要素の代わりに、ソリッド要素を使う場合が非常に増えている。

【公開版】

有限要素法による解析では、プリ処理（前処理）と呼ばれる 3 次元 CAD データを使った解析対象を要素（メッシュ）に分割する処理を行いそののち解析処理プログラム（ソルバー）により計算し、計算結果データを出力表示するポスト処理の工程で行われる。このプリ処理を要素分割（メッシュ生成）処理と呼ぶ。メッシュ生成技術の向上により、解析対象をテトラ要素（四面体要素）を使って、分割する技術は、ほぼ完成している。しかしながら、テトラ要素を使用した場合、解析精度が悪くなる場合が多い。また有限要素ソフトウェア（ソルバー）によっては、テトラ要素では実行できない（テトラ要素をサポートしていない）場合もある。そのため、解析精度が良いヘキサ要素（六面体要素）を使うことが推奨されるのであるが、解析対象が、複雑な 3 次元形状の場合は、自動分割ではヘキサ要素に要素分割することが非常に難しく、その技術はまだ確立されているとは言えない。

このような状況のなかで、ヘキサ要素に解析対象を要素分割する場合は、担当者が、要素分割ソフトウェアがヘキサ要素に分割しやすいように、対象全体の 3 次元 CAD データをそのまま使うのではなく、解析対象に手を加える処理を行うことが広く行われている。この作業は、要素分割の社内の取り決めに従い、3 次元 CAD データを担当者が見て、判断した上で、3 次元 CAD データの細分化を行ったり、要素分割のための形状データ（点、曲線等）の追加を行う作業である。この処理に要する時間は、大規模モデルでは、3 週間程度の日数を要することもあり、これに要する作業期間の短縮、担当者の工数時間の短縮が、多くの企業での要請としてあがってきている。

以上のように、解析のプリ処理（前処理）で現在最も多くの工数を費やしているところは、従来は担当者が 3 次元 CAD 形状を目で見て行う追加の処理作業である。これは 3 次元 CAD の形状を認識して、形状それぞれに対して、適切な処理を行うというものであるが、本研究の実施機関であるインテグラル・テクノロジー株式会社は、形状認識技術に関する知識、技術力を蓄積し、すでに関連する特許を取得するとともに、その技術を織り込んだソフトウェアを開発し、提供している実績を有している。今回の研究開発については、その延長線上にあるものであり、独自性のある内容としてヘキサメッシュ生成を自動的に行い、これらの課題を解決するものである。

本研究の高度化目標と技術的目標値は以下のとおりである。

高度化目標：

ア.当該技術により実現される機能の高度化

iii) ものづくりにおける研究・開発。製造等の生産性向上を支援する技術の高度化

研究・開発・製造等の各種の過程において、シミュレーション技術は、ほぼ全ての場面で、利用しなければならない状況にある。そのためにシミュレーションを実施するときに、一人あたりの・時間あたりの生産性向上を実現することが重要となる。それを実現するために、従来の技術では、実現できなかったヘキサメッシュを使った自動メッシュ生成ソフトウェアの開発を実施する。

技術的目標値：

本研究開発における技術的目標値として、以下の3つのサブテーマ毎に設定する。

【1.】ヘキサメッシュ生成ソフトウェア開発

従来の技術ではヘキサメッシュが生成できなかったモデルについて、ヘキサメッシュを生成する。従来の方法ではヘキサメッシュが生成できなかったモデルについて、実際の部品、製品に使われているものを解析対象として、取り上げる。採用する対象については、形状の複雑さ、メッシュ生成の難易度から数段階に分けて、複数のモデルを用意する。これについては、メッシュが生成できるかどうかということが判定基準となるが、精度の良いメッシュを生成しなければ、意味がない。そのため、ヘキサメッシュを生成できることを第1フェーズとして、精度の良いヘキサメッシュを生成することを第2フェーズとする。

【2.】ヘキサメッシュ生成ソフトウェア開発（メッシュの精度向上）

第2フェーズでは、精度の良いヘキサメッシュを生成する。

メッシュの精度については、一つの判断基準として、メッシュのゆがみ度というものがある。ゆがみ度は、ヘキサメッシュでは、正六面体（立方体）からの隔たり度合いを表す指標である。できるだけ立方体に近いヘキサメッシュでメッシュ生成ができるのが理想であるが、複雑な解析モデルをメッシュ分割する場合には、ゆがみ度が大きいメッシュが生成されることがある。解析処理プログラム（ソルバー）でも、ある程度ゆがみ度が大きい要素を含んでいる場合は、解析処理を実行しない場

合、あるいは警告メッセージを出力する場合がある。

技術的目標値としては、ゆがみ度を解析処理プログラムの警告値を越えるものの比率を設定することとする。

【3.】ヘキサメッシュ生成ソフトウェア開発（メッシュ生成の高速化）

メッシュ生成ができたとしても、企業で実務に使用するには、処理時間が重要な課題となる。従来の技術では、自動的にヘキサメッシュを生成することができないため、メッシュ生成担当者が解析モデルに手を入れて、ヘキサメッシュを生成するための準備作業をしている。この時間は大規模モデルでは、3 週間程度を要することもある。この処理時間が数日間に短縮されれば、大きな前進ではあるが、日常業務で使用するためには、1 晩のうちに処理を完了することが目標処理時間となる。

そのため、メッシュ生成時間の目標値を、10 時間とする。

実施結果については、1－3 以降に記す。

1－2 研究体制

研究体制は以下のとおりである。

主たる研究開発：

インテグラル・テクノロジー株式会社

研究開発支援：

株式会社アイカムス・ラボ

特定非営利活動法人 CAE 懇話会

アドバイザー：

特定非営利活動法人 CAE 懇話会の会員である複数のものづくり製造業の技術者が参画。

1－3 成果概要

1. ヘキサメッシュ生成ソフトウェア開発

従来の技術ではヘキサメッシュが生成できなかったモデルについて、形状認識技術を利用したヘキサメッシュ生成の技術の開発を行った。結果としては形状認識と、ペア面認識などの技術を利用し従来製品では生成できないモデル(特に板物の形状)でもヘキサメッシュの生成ができ、今後のソフトウェア販売に繋がる成果を出せたと言える。

ただし、対応できていない形状がまだまだ存在し、これらに対するヘキサメッシュ生成の方法の検討および開発が今後の課題となっている。

2. メッシュ生成の高速化

メッシュ生成時間の高速化として、従来は外部ソフトの機能に頼っていた部分をC++のプログラムに置き換えることにより、外部ソフトとの通信時間を削減し、単体の高速化では従来の処理時間の14%減少となったが、このプログラムを並列実行することにより全体の処理速度としては50%以上の減少を達成した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

インテグラル・テクノロジー株式会社

担当： 開発室 有賀 裕晃

電話： 06-6131-5881

FAX： 06-6131-5883

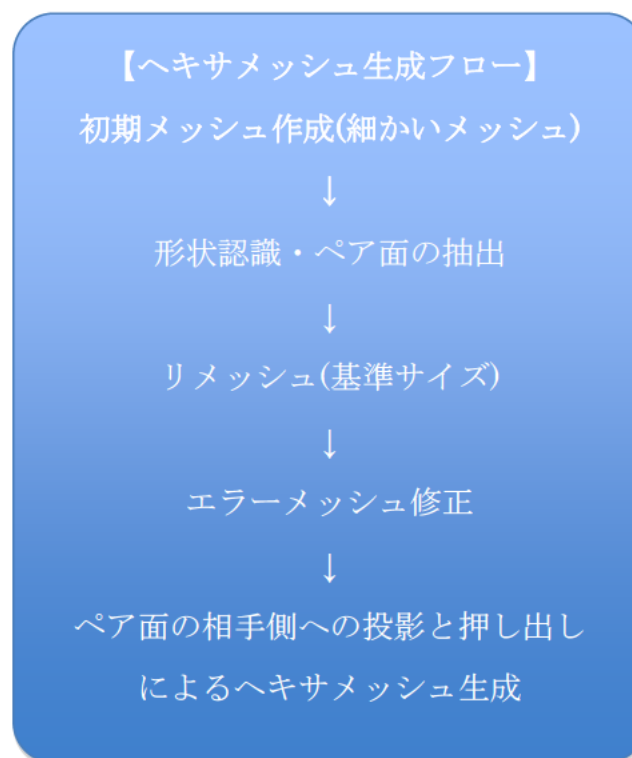
E-mail： hiroaki_ariga@integral-technology.co.jp

第2章 本論

2-1 ヘキサメッシュ生成ソフトウェア開発

2-1-1 ヘキサメッシュ生成方法の検討

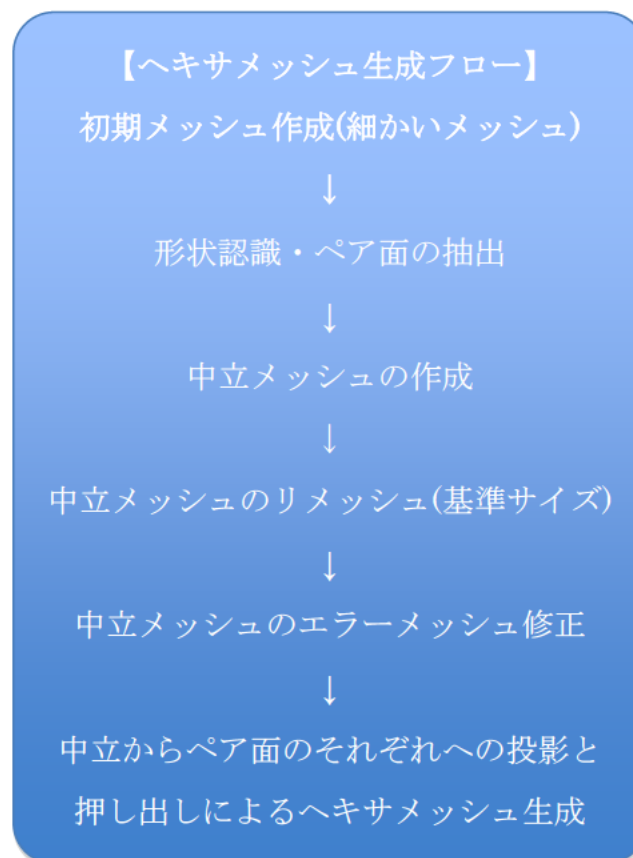
ヘキサメッシュ生成方法について現状の技術と比較を行い、開発の行いやすい方法を検討した。最初は中立面メッシュ作成や層状テトラメッシュ作成の技術を利用し、ペア面の抽出を行い、ペアとなった面の片側から相手側への押し出しによるヘキサメッシュ生成方法を検討し開発を進めた。フローを下図に示す。



またペア面の抽出例を下図に示す。同じ色同士の面(面を横から見た所)がペア面と考える。1 対 1 だけでなく 1 対複数、複数対複数でもペア面の考え方をする。



しかしながら片側からの押し出しでは形状に追従できない場合が多くなり、別の方法を検討した結果、ペア面を取った後、中立メッシュを作成し、中立位置からペア面に対し、それぞれ投影を行って押し出しを行う方法を検討し、開発を進めることにした。下図に変更したフローを示す。



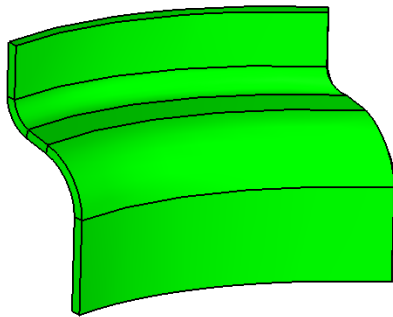
現状はこの方法での開発を行い、ヘキサメッシュ生成を行っている。

また、別途回転で作成できるモデルについては、断面をなるべく四角形要素で作成する方法を検討し、開発を行った。

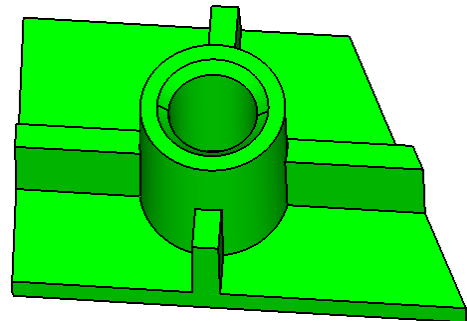
2-1-2 ヘキサメッシュ生成ソフトウェアの開発

2-1-1で検討した作成方法を実際にプログラミングし、テスト、デバッグを行い、形状認識、ペア面の抽出、中立位置へのメッシュ作成、エラーメッシュ修正、中立メッシュからヘキサメッシュへの押し出し作成の精度を上げるための開発を行った。

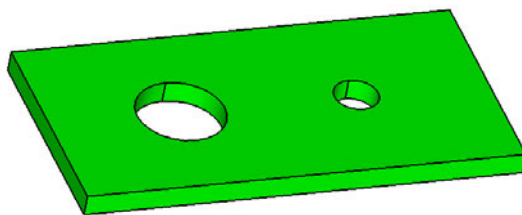
形状認識では形状として特徴のある下図を主に認識している。



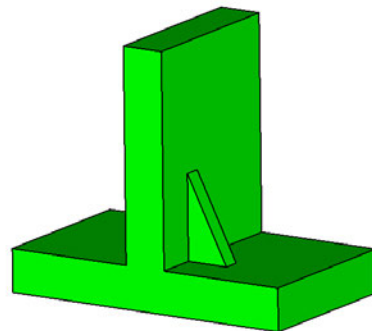
フィレット



円筒

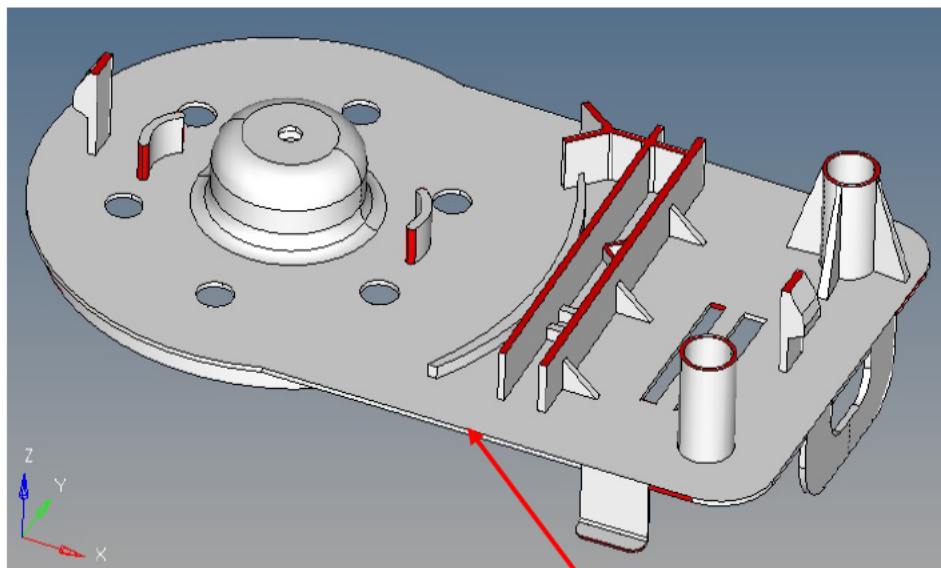
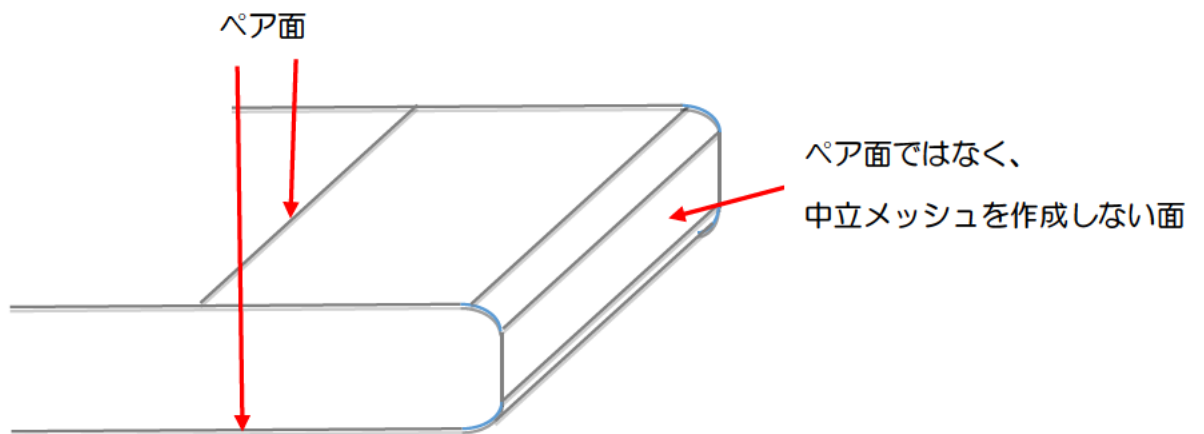


穴



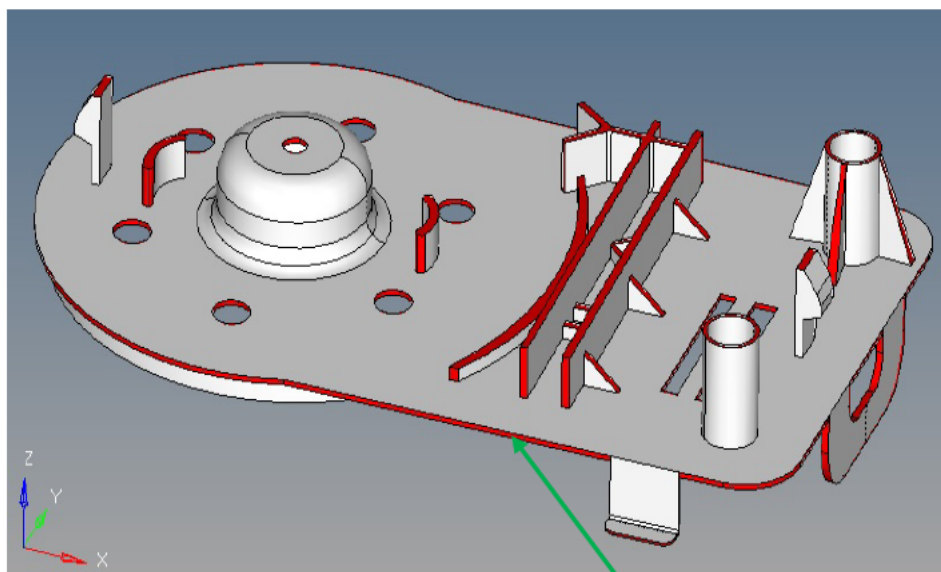
リブ

特に円筒とリブについては母材への延長を行うなど特別な処理を必要するため、認識精度向上の開発を行っている。また中立メッシュを作成する際にメッシュを作成しない面をペア面とは別で端部面と呼び、この端部面の認識の精度を向上させるための開発を行った。この部分を誤認識するとメッシュが重複する結果となるため、精度向上が必須であった。



精度向上前の端部面認識結果

端部未認識

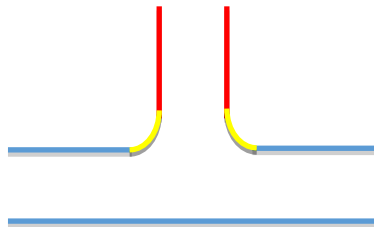


精度向上後の端部面認識結果

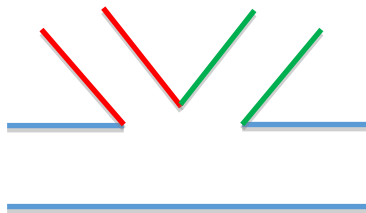
端部認識

ペア面の抽出ではペアの候補となる面の認識および抽出と、ペアとする際の条件の精度向上、ペアの中で中立に持っていく基準面となる側の面の認識技術の向上のための開発を行った。以前はペアとするための認識は、単一面同士でのペアの抽出を行い、そのデータを結合することで1対多の面でのペアや多対多の面でのペアの抽出を行っていたが、これでは認識から漏れてしまい、ペア化することができずメッシュ作成を行えない面が残っていた。これを解消するために、ペア面の比較の後、認識されなかった面を対象に、隣接面との接続状況(面同士の角度など)をチェックする機能の開発を行い、条件があれば改めてペアへの登録を行うことで認識ミスを少なくすることができた。

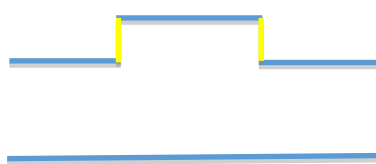
ペア認識イメージ



赤色と青色の部分それぞれペアと認識
黄色はリブの根元の面であり中立に寄与しない
不要面として扱う



赤色と緑色と青色でそれぞれペアと認識

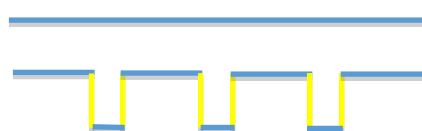


青色の部分のひとつのペアと認識
黄色部分は端部面と認識している



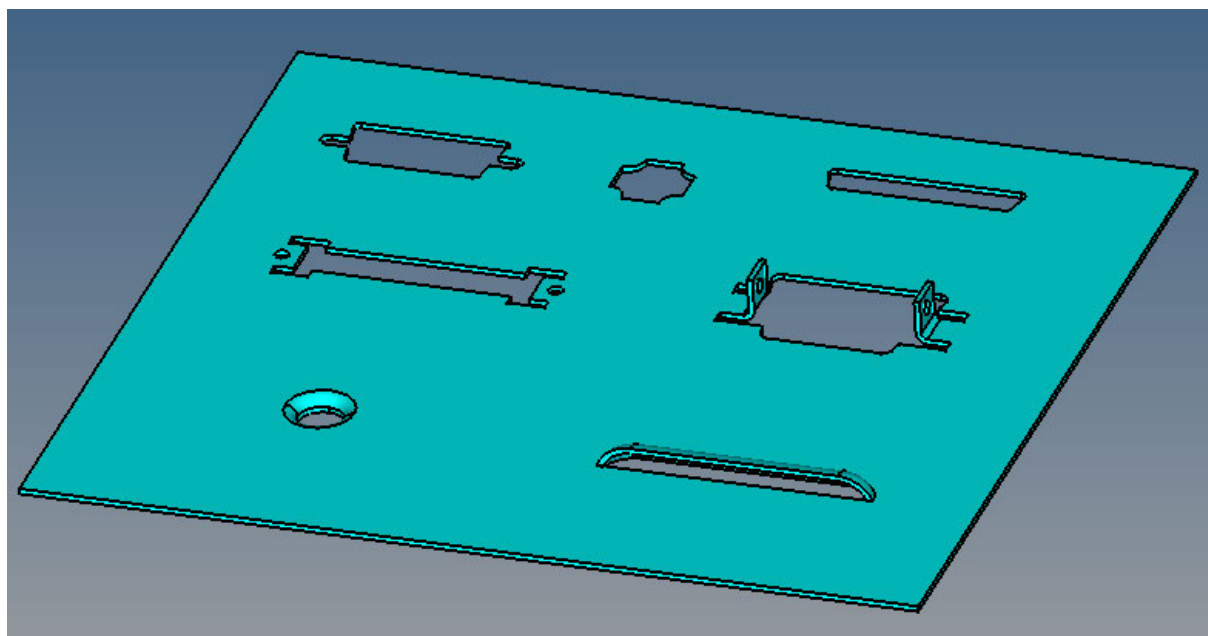
面が斜めになっていてもひとつのペアと
認識する

【公開版】

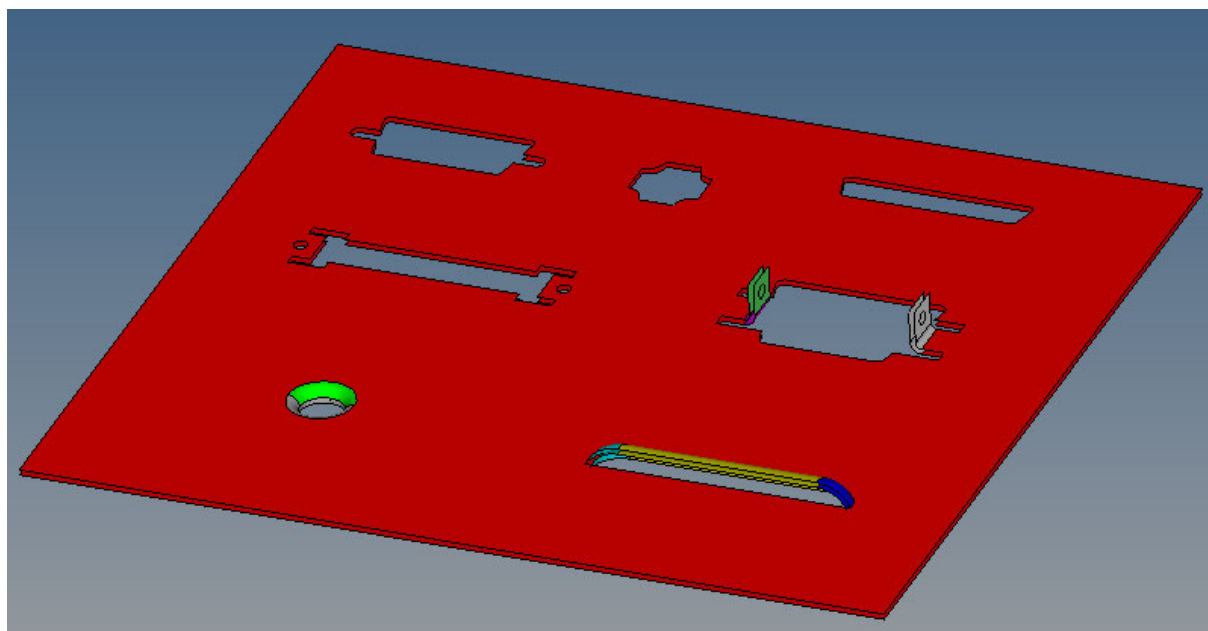


間が何個もはなれていてもペアと認識する

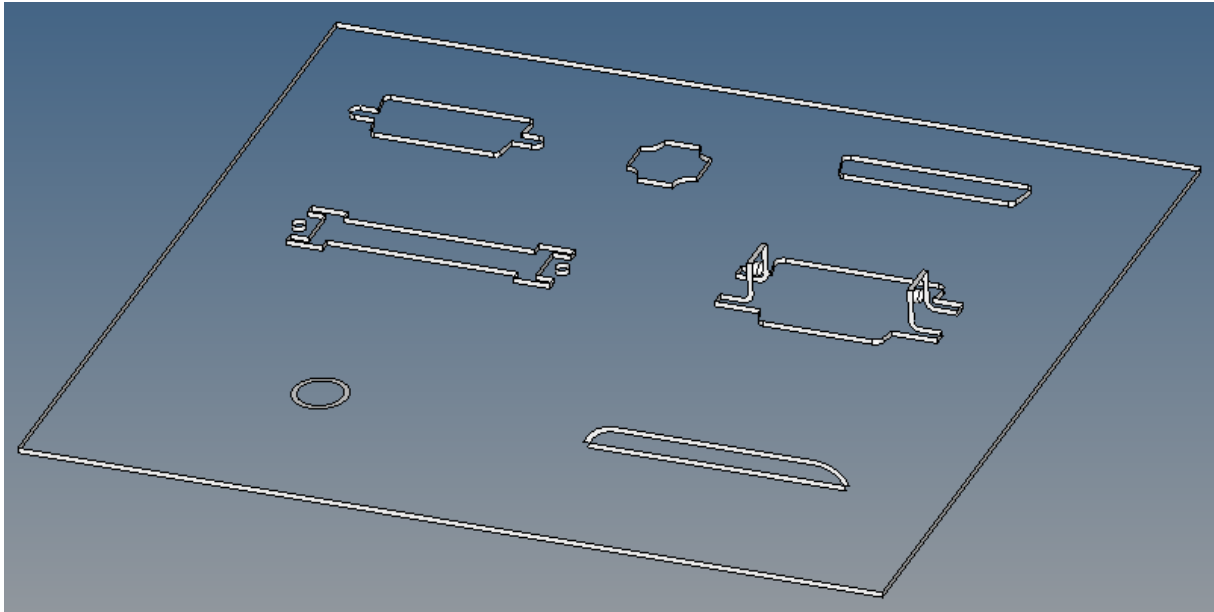
黄色は端部面



元の CAD モデル



認識したペア面(各色ごとでペア)



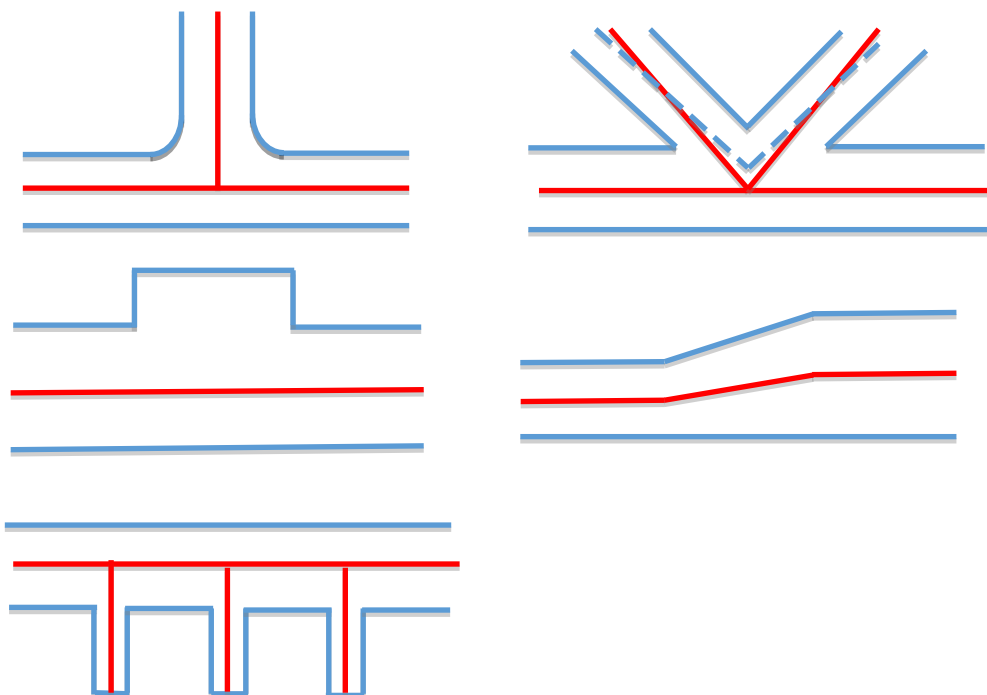
認識した不要面(端部面)

これらの認識結果からペアの中立位置にメッシュを作成する。

ペア面の肉厚を計測して中立位置を決定し、ペア面のうちどちらかの面を基準面として中立位置までオフセットして作成することを基準としている。

基準面の決定方法には面積が大きい方を主に採用し、形状次第では1枚で表現されるきれいな面の方を採用する。

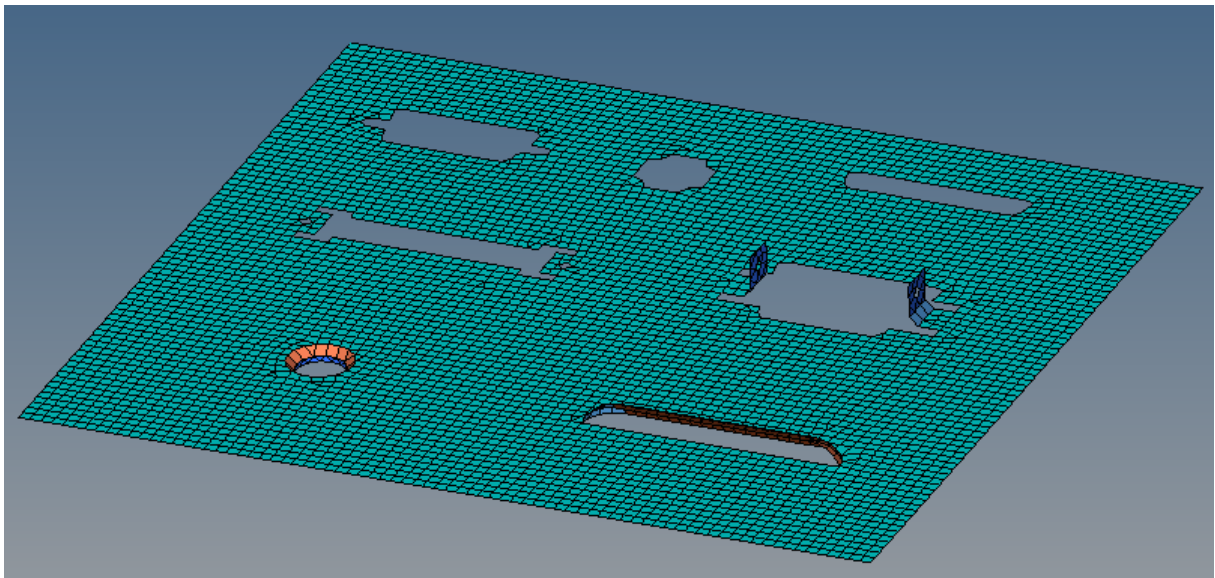
中立位置へのメッシュ作成イメージ



【公開版】

この時点で中立位置にあるメッシュは表面に作成した初期メッシュである基準よりも小さなサイズの三角形メッシュである。これを四角形メッシュにするのと、基準サイズへサイズアップするためにリメッシュを行っている。現時点ではこの部分は外部ソフトの機能で実行しているが、今後外部ソフトに依存しないソフト構築のためにはC++での開発が必要となる部分である。

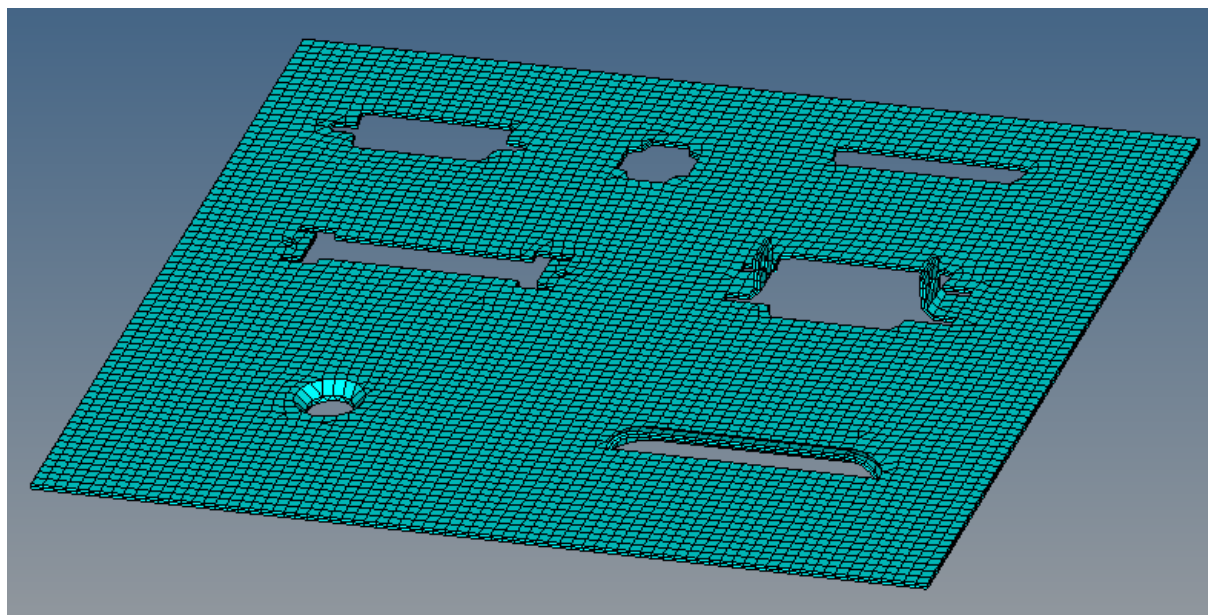
このリメッシュを行っただけではエラーのメッシュが存在するため、エラーメッシュの修正を行うようにした。エラーの修正方法は、節点のマージ、エッジスワップ、点の移動などを色々な要素品質基準を満たすために実行している。ただし、元の形状で拘束されてしまう点同士でエラーとなった場合は修正ができないため、エラーとして残る場合もある。このあたりは形状を変えてでも修正すべきかどうかは、ユーザの考えによるものであり、必ず修正すべきというものではない。



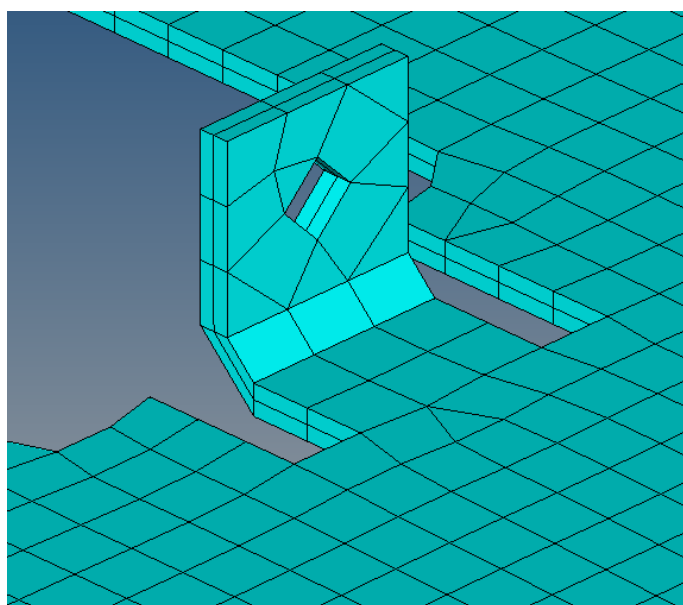
中立メッシュ作成例

中立メッシュの作成が完了すると、これを元の面に対し押し出すことでヘキサメッシュを生成する。ここで押し出しといっても単純な押し出しだけではメッシュにゆがみが生じることがある。これを回避するため、押し出し時のメッシュのゆがみ度を考慮した押し出し方向の修正を行う機能の開発を行った。

フィレットなど曲がった箇所での押し出しでは方向によってクロスしてしまう。この状態を認識し、回避するために境界部分の押し出し部分よりも内側のものは、必ず内側に押し出すようにした。



ヘキサメッシュ生成例(全体)



ヘキサメッシュ生成例(一部)

これらの内容によりヘキサメッシュ生成ソフトウェアを開発した。
現状ですべての形状に対応することは出来ていないが、ペアを抽出できるモデルに
対するヘキサメッシュ生成を可能とし、今後のソフトウェア販売に繋がる成果が
出せたと言える。

2-2 メッシュ生成の高速化

メッシュ生成の高速化として、プログラム単体の処理時間の高速化、および並列処理によるトータル処理時間での短縮化の開発を行った。

プログラム単体の処理時間の高速化では従来外部ソフトのコマンドに頼っていた部分をC++で機能開発することにより置き換え、ネックとなっていた外部ソフトとの通信時間を削減しての高速化を実現させた。プログラム単体の処理時間の短縮効果は開発開始時と比べた場合では14%減少であった。数値としてはあまり効果がでていないように見えるが、実際は開発開始時よりも、色々な形状へ対応するための処理の追加が多く行われており、処理が複雑になり処理時間が増えていた状態からの削減であるため数値以上の効果は出ていたと言える。

並列処理によるトータル処理時間の短縮化では、部品を複数に分割し、並列で処理を実行できるようにプログラムを変更することでひとつにかかる処理時間を減らし、並列実行でのトータルでの処理時間短縮を実現させた。この並列処理での時間短縮効果は50%以上減少と半分以下の時間での処理を可能とした。これは2 並列での実施時の結果であり、大きなモデルでもっと多く分割して並列処理を実行させた場合は、さらに多くの削減効果を見込める結果となった。これにより処理時間短縮の目標は達成した。

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

ヘキサメッシュ生成ソフトウェアの開発として、形状認識技術の開発、ペア面認識技術の開発、端部面認識技術の開発、エラーメッシュ修正技術の開発、メッシュ生成高速化の開発を行ったことにより、ヘキサメッシュ生成のための基盤技術の開発に成功し、今後のソフトウェア販売に繋がる成果が出せた。また自動で処理が行えるようになることで担当者が長時間の作業を必要としていた時間の短縮が可能となり、より知的な活動に時間を割り当てることができることで、開発工程における創造的な活動時間の増加につながり、よりよいものづくりに貢献できると考える。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

今回の開発結果の課題としては、一定のモデルではヘキサメッシュ生成を可能としたが、まだすべての形状に対応できているわけではないという点であり、今後も未対応形状に対するアプローチの検討が必要である。また、処理時間についてもまだ外部ソフトに頼っているコマンドがあり、それらをC++への置き換えを実施することで、さらなる処理時間の短縮を行っていく必要がある。

事業化展開については、ヘキサメッシュ生成の基盤技術を開発できたことにより、現時点でユーザのニーズに対応できていなかったとしても、少しの追加開発でニーズに対応できるようなソフトウェアになったことから、ユーザへの提案・販売活動につなげていく。またヘキサメッシュだけでなく今回の開発で得た形状認識技術を用いることで、ものづくり業界全体への貢献や、ものづくりだけでなく医療分野など新たな事業分野への展開を図っていく。