

ホワイトボデーにおける解析モデル作成システムの開発

Development of System to Generate FE Models of Body-in-White

飯田 剛*
Tsuyoshi IIDA
小崎 英明*
Hideaki OZAKI

佐羽内 俊司*
Shunji SABANAI
菊地 徹*
Tohru KIKUCHI

和崎 知紀*
Tomonori WASAKI
高村 雅浩*
Masahiro TAKAMURA

要 旨

自動車車体解析における FE モデル作成工数削減のために、ホワイトボデー解析モデル作成システムを開発した。本システムはモデル管理システムと自動メッシュで構成されている。モデル管理システムは、ホワイトボデー部品の CAD モデル、板厚・材料情報、部品間結合情報を自動で登録し、作成した FE モデルもあわせて管理することができる。自動メッシュは登録された CAD モデルより FE メッシュを作成する。今回、計算精度に影響するフィレット、ビード、フランジ等の形状や、スポット溶接結合部の再現性を従来メッシュより向上させることにより、モデルの修正作業工数を削減している。

ABSTRACT

A system to generate models for body-in-white analyses has been developed that reduces the number of man hours expended on the formulation of FE models for automotive body analyses. This system comprises a model management system and an automatic mesher. The model management system automatically registers the CAD models of body-in-white parts, data on the thickness and materials, and data on connections between parts, and can also manage the formulated FE models. The automatic mesher creates FE meshes from the registered CAD models. The new mesher provides more detailed reproduction of parts that affect calculation accuracy, including the shape of fillets, beads and flanges and spot welding connections, than the previous mesher. This has reduced the amount of correction required for the models.

1. はじめに

近年、大規模な自動車車体解析が広くおこなわれ、実車ができあがる前段階から高い精度で性能評価をおこなうことが可能になり、自動車開発期間の短縮が進んできた。この大規模車体解析に用いる車体 FE モデルを効率的に作成するために、これまでにもプリプロセッサが開発され、FE モデル作成期間の短縮が図られてきた⁽¹⁾。また、ホワイトボデーの FE モデル作成に用いる自動メッシュも開発され、各部品の FE メッシュ(以下メッシュ)作成の効率化も図られてきた^{(2)・(4)}。

しかし、依然として数百におよぶホワイトボデー部品の情報や、部品間の結合情報を収集するのには多大な工数が必要であり、さらなる自動車開発の期間短縮のために、より一層の効率化が求められている。また、解析結果の精度向上のために、より詳細に部品形状を再現したメッシュが要求

されるようになってきており、詳細な形状を再現するために多大な工数を必要としているのが現状である。

今回、これらの作業の効率化のために、自動でモデル登録可能なモデル管理システムと、形状再現性を向上させた自動メッシュで構成される、車体解析モデル作成システムの開発をおこなった。

2. FE モデル作成の流れ

ホワイトボデーは数百の部品を溶接等で結合して構成されている。有限要素法で解析をおこなうために、これらを FE モデルで再現する。FE モデル作成の一連の流れを Fig. 1 に示す。

まず、ホワイトボデー部品の情報を取得する。FE モデルを作成するのに必要となる、各部品の CAD モデルと板厚・材料情報、および部品間の結合情報を収集する。部品間結合

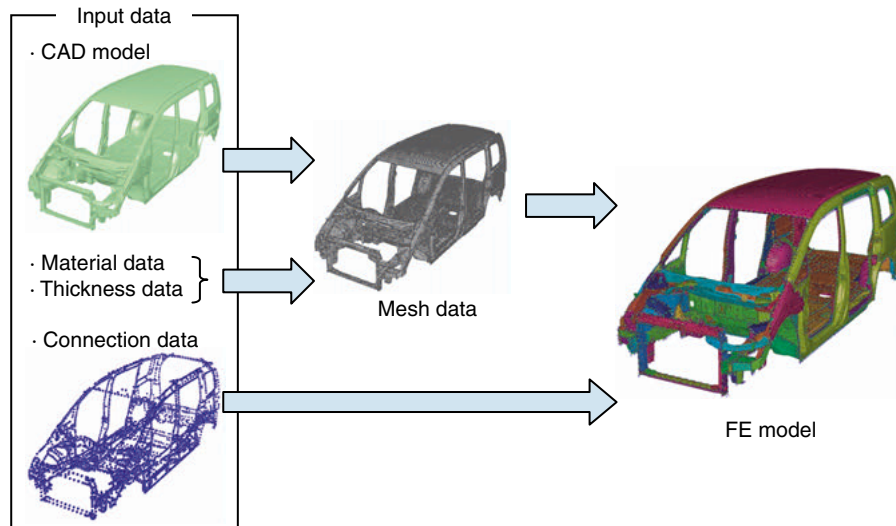


Fig. 1 Data flow of FE model generation

にはスポット溶接、ミグ溶接、ボルト締結などがあり、それぞれ結合する部品の組み合わせと位置の情報がある。

次に、各部品のCADモデルからメッシュを作成する。プレス成形部品のメッシュは三角形、四角形の二次元要素で再現する。この際に、作成された要素に板厚・材料の特性も設定する。

作成したメッシュと結合情報から、強度、振動、衝突の各解析用途にあわせてプリプロセッサでFEモデルを作成する。

3. 従来の課題

ホワイトボデーのFEモデル作成にあたり、多大な工数が必要となる部分を分析した。

3.1. モデル管理機能

メッシュ作成に必要なホワイトボデー部品のCADモデルおよび板厚・材料情報は、デジタルモックアップデータを作成・管理するDPMシステム⁽⁵⁾で一元管理されているが、従来は数百点ある部品の情報をひとつずつ手作業で取得していたため、多大な工数を必要としていた。

また、結合情報も、図面で指示されている結合情報を読み取り、1点ずつ手作業で設定していた。結合箇所はホワイトボデー全体で数千箇所におよぶため、この作業にも多大な工数を必要としていた。

3.2. メッシュ作成

車体解析用メッシュでは、計算精度向上のために元のCAD形状をより良く再現することが求められる。また、要素品質は、ソルバごとにねじれ、アスペクト比、角度などの基準値が決まっており、これを満たさないメッシュでは計算が実行できない場合や、計算結果が正しく求まらない場

合があるため、要素品質の基準値を満たしたメッシュが求められる。一般に、要素を小さくすれば形状再現性や要素品質は向上するが、要素数が増加するためにソルバの計算時間が増加してしまう。少ない要素数のメッシュで形状再現をおこなうために、フィレット、ビード等の周囲のエッジを手作業で拘束線に設定して形状を再現する必要がある。また、要素品質の基準を満たさない要素が発生した場合、これらを手作業で修正する必要があり、多大な工数を必要としていた。

4. モデル管理システムの開発

従来、多大な工数を必要としていた、ホワイトボデー部品のCADモデル、板厚・材料情報の取得、結合情報の設定、メッシュ作成の作業を効率的におこなうために、モデル管理システムの開発をおこなった。Fig. 2に本システムの概要を示す。

4.1. 部品情報取得機能

本システムでは、ホワイトボデー部品のCADモデル、板厚・材料情報、結合情報と、これらから作成するFEモデルを一元的に管理することが可能である。CADモデルと板厚・材料情報が登録されているDPMシステムとの連携機能により、ホワイトボデーの部品情報を一括して自動取得することが可能となっている。また、DPMシステムにおいて部品の登録作業が完了していない段階でも、登録された部品から順次、自動取得し、メッシュ作成作業をおこなうことが可能である。

4.2. 結合情報取得機能

結合情報も、CADモデルや他のFEモデル等に設定されている情報を取り込む機能を開発したことで、結合情報

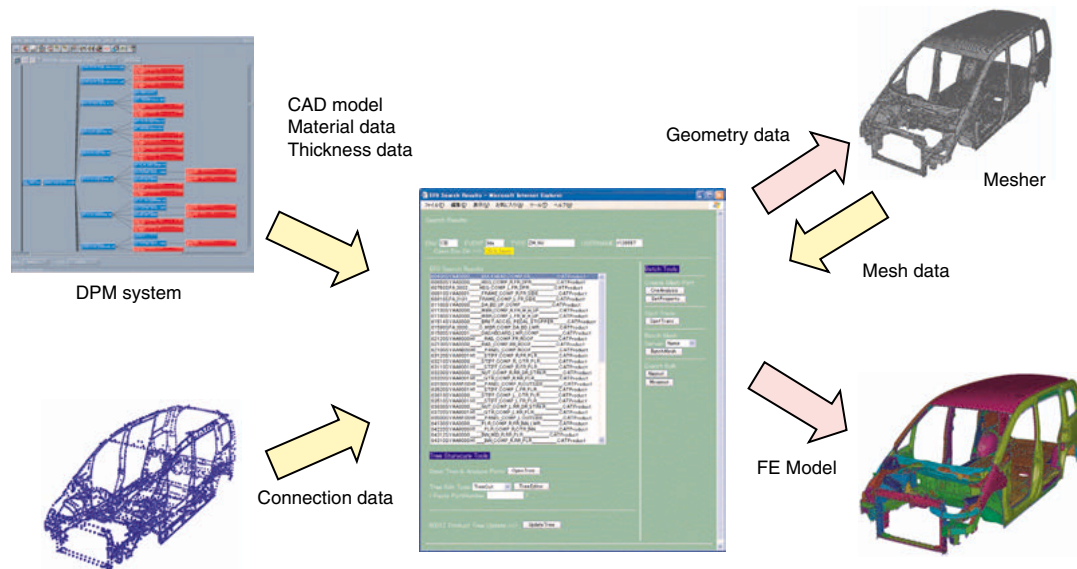


Fig. 2 System overview

を自動で設定することが可能になっている。また、結合情報が正しく設定されなかった場合は、その箇所の一覧を出力するので、作業者は不具合箇所を確認し、修正することができる。

4.3. 自動メッシュ作成機能

本システムでは、登録されている CAD モデルに対して、後述する自動メッシャでメッシュを一括作成することができる。また、自動メッシャ実行結果として、メッシュ作成成否や要素品質などを一覧で出力するため、作業者はその結果をもとに、不具合のあるメッシュのみ修正をおこなうことができる。

4.4. FE モデル出力機能

作成したメッシュと結合情報を、強度、振動、衝突の各解析に応じて、ソルバ用のデータや、プリプロセッサ用のデータとして出力することができる。

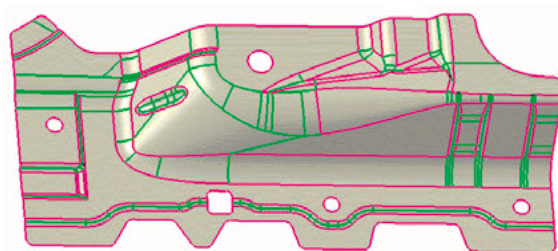
5. 自動メッシャの改良

近年、解析精度向上のために部品形状再現性やメッシュ要素品質の向上が求められており、従来の自動メッシャで

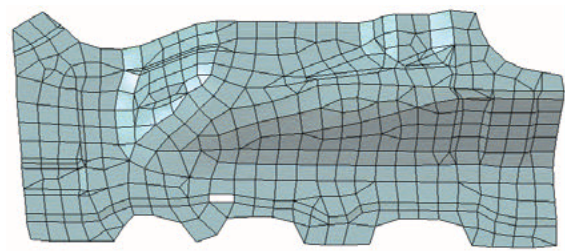
はこれらを満足したメッシュを自動作成することができなかったため、今回自動メッシャの改良をおこなった。

5.1. フィレットの形状再現性向上

一般にプレス成形部品は一般面と、その境界のフィレットで構成されている。メッシュで部品形状を再現するには、フィレットを再現することが重要である。しかし、要素サイズに比べてフィレットの幅が小さい場合には、メッシュで十分に再現されない。このようなフィレットを自動で再現するために、CAD モデルの各フェースの曲率等からフィレットを判別し、その境界エッジを自動抽出するアルゴリズムを開発した。抽出されたエッジを拘束線として用い、これに要素の辺を合わせることによってメッシュでの形状再現を図っている。Fig. 3に適用結果を示す。また、フェースの形状によっては、抽出されたエッジが非常に近接してしまい、メッシュ品質に悪影響を及ぼす場合があるので、近接したエッジの一方を除去する処理もおこない、形状再現性と要素品質の両立を図っている。Fig. 4にその結果を示す。これより、近接した拘束線によって発生しているアスペクト比の悪いメッシュが、本機能によって無くなっていることがわかる。



Constraint edges extracted from fillet faces



Mesh generated using extracted constraints

Fig. 3 Fillet representation

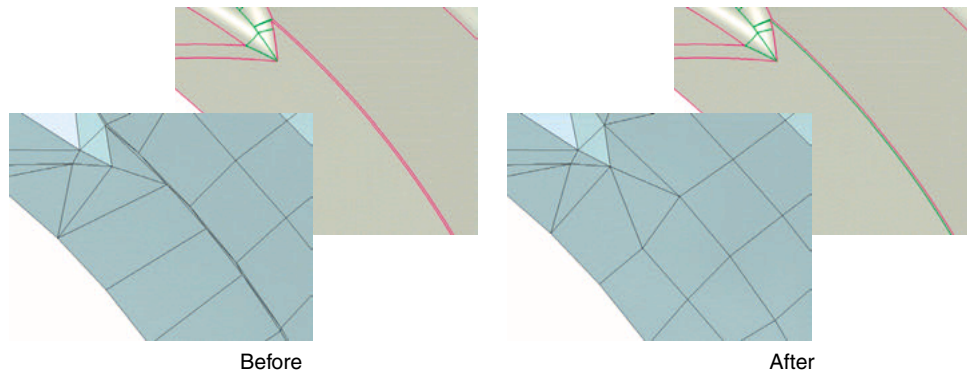


Fig. 4 Constraint simplification

5.2. ビード形状再現性の向上

ビード形状は通常、Fig. 5 のようなフェースで構成されている。ビードをメッシュで再現する場合、ビードの高さを再現することが重要である。しかし、ビードの幅が要素サイズの2倍より小さい場合、Fig. 6 に示すようにビード部に1層の要素しかできず、高さが再現されない。ビードのエッジを拘束線に設定して高さを再現する場合でも、Fig. 7 に示すようにビードの高さが十分に再現されない。ビード再現を自動化するために、CADモデルのフェース構成や曲率からビード形状を検出するアルゴリズムを開発した。さらに、Fig. 8 のように検出されたビードにおいて、頂点でカーブを自動作成し、拘束線に設定することで、Fig. 9 のようにメッシュでビードの高さを自動で再現することが可能となっている。

5.3. スポットパターン作成

強度解析においては、スポット溶接結合部の応力値評価のために、Fig. 10 のような定型のメッシュパターンを作成する。本メッシュではメッシュ作成をおこなう際に、登録されている結合情報の位置に自動で定型メッシュパターンを作成することができる。また、結合情報は結合される部品が完成した後にできるが、その前にあらかじめ作成しておいたメッシュに対して、結合情報ができ次第、結合部のみリメッシュすることも可能となっている。

5.4. 凸形状の再現性向上

フランジの端などの凸形状では、要素サイズが大きいと、CAD形状にメッシュが乗っていない領域が大きくなってしまう。Fig. 11 のような部分にスポット溶接結合がある場合、Fig. 12 のようにメッシュ上にスポット溶接結合部が乗らず、結合要素が作成できなくなってしまう。特に強度解析では、スポット溶接結合部に特定のメッシュパターンを作成するために影響が大きい。このような凸形状にメッシュを乗せるため、凸形状認識アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、エッジの曲率では判別できない接線非連続のエッジ接続で構成される凸部の検出や、フェースの湾曲

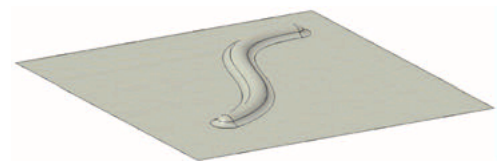


Fig. 5 Bead in CAD model

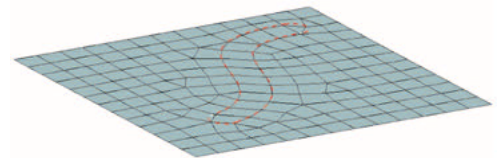


Fig. 6 Mesh generated by constraining edges only around the bead

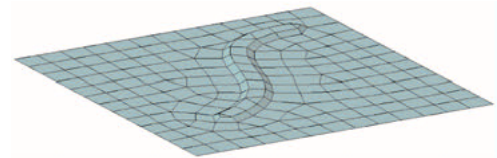


Fig. 7 Mesh generated by constraining all edges of the bead

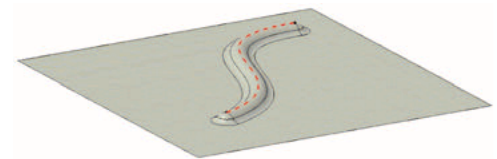


Fig. 8 Extracted ridge curve of the bead

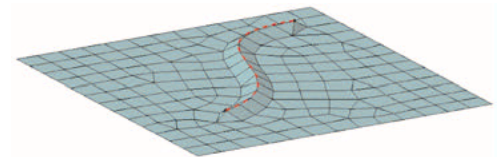


Fig. 9 Mesh generated by constraining ridge curve

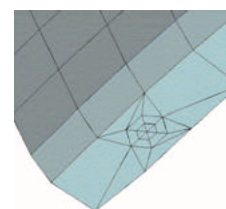


Fig. 10 Spot weld represented as hexagonal mesh pattern

部を除外して、必要な部分のみの検出が可能である。こうして検出した凸部にメッシュの節点を配置することにより、結合要素が欠落することを防止し、Fig. 13に示すようにより元形状を再現したメッシュを作成することが可能になっている。

5.5. 要素品質の改善

拘束線を設定することで、メッシュでの CAD 形状再現性は向上するが、拘束線が近接する場所では均質な要素を作成することができず、要素品質が低下してしまう。本メッシュでは、品質基準を満たしていない要素を検出し、その要素を構成する節点のうち、原因となるものに対して、最適位

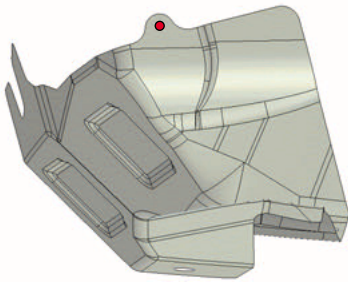


Fig. 11 Spot weld on convex flange

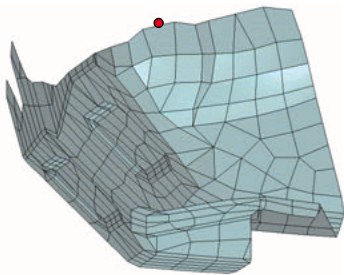


Fig. 12 Lack of elements at convex flange

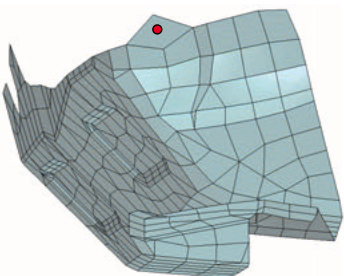


Fig. 13 Convex flange represented as mesh

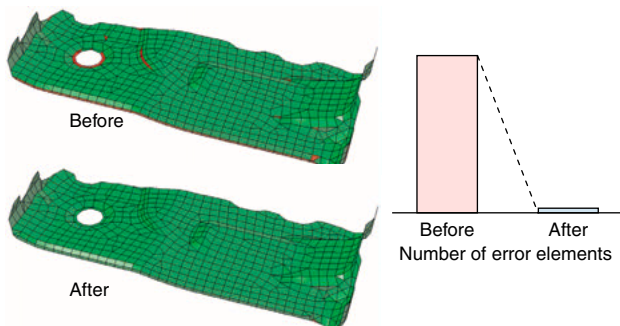


Fig. 14 Mesh refinement

置への移動や除去をおこなうことで要素品質の改善をおこなっている。この処理によって、Fig. 14に示すように、高い形状再現性と要素品質の両立を図っている。

6. 適用事例

本システムを使用して、車体振動解析用 FE モデルを作成した事例を紹介する。モデル登録作業とメッシュ作成作業の工数を Fig. 15 に示す。従来に比べ、約 8 割の工数削減を達成している。また、作成したモデルでの解析結果を Fig. 16 に示す。従来と同等の計算結果が得られており、計算精度にも問題ないことがわかる。

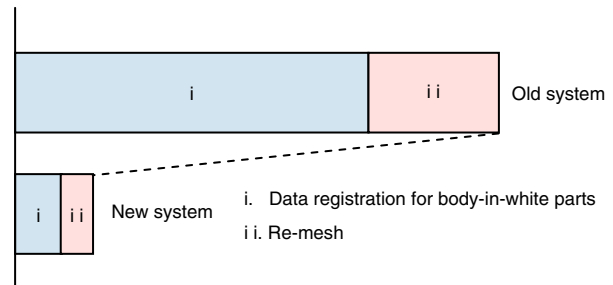


Fig. 15 Man-hour comparison

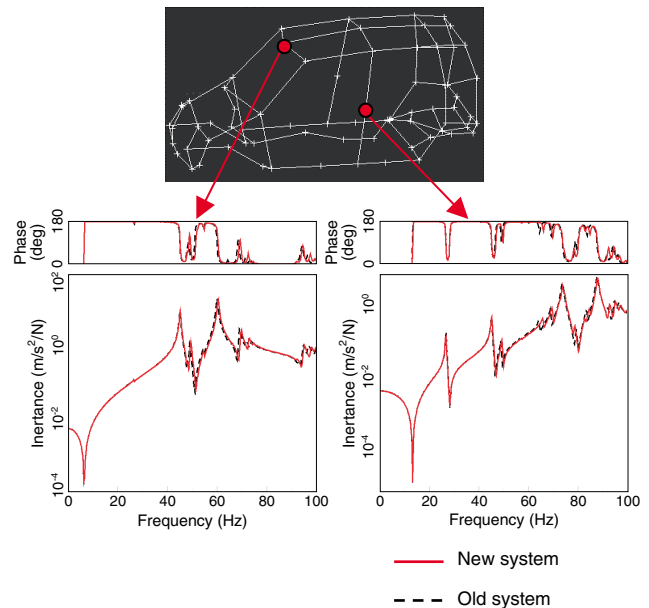


Fig. 16 Comparison of frequency response spectrum

7. まとめ

- (1) モデル管理システムを DPM システムと連携することによって、部品情報の取得を自動化した。
- (2) 従来手作業でおこなっていた、メッシュの形状再現性とメッシュ品質を向上させるための作業を自動化した。
- (3) 以上のモデル管理システムおよび自動メッシュを開発したことにより、ホワイトボデーの FE モデル作成工数を約 8 割削減することができた。

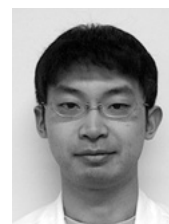
参考文献

- (1) 中野文雄, 岩本淳, 高田賢治, 松浦範和: 自動車車体解析用プリプロセッサの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.163-170
- (2) Shimada,K.: Physically-based mesh generation: automated triangulation of surfaces and volumes via bubble packing, Ph.D.Thesis. Massachusetts Institute of Technology, USA(1993)
- (3) Shimada,K., Liad,J.H., Itoh,T.: Quadrilateral meshing with directionality control through the packing of square cells, Proceedings of 7th International Meshing Roundtable, p. 61-75(1998)
- (4) Inoue,K., Itoh,T., Yamada,A., Furuhata,T., Shimada, K.: Face clustering of a large-scale CAD model for surface mesh generation, Computer-Aided Design 33, p. 251-261 (2001)
- (5) 上田宏, 中里正明, 加賀谷昭夫, 中村忠, 師鉄平, 田中秀幸: Data Proto Model のシステム開発, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.1, p.77-84

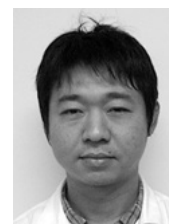
■ 著 者 ■



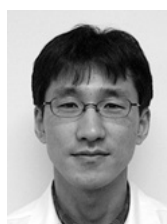
飯田 剛



佐羽内俊司



和崎 知紀



小崎 英明



菊地 徹



高村 雅浩