

自動車車体解析用プリプロセッサの開発

Development of New Pre-processor for Car Body Analysis

中野 文雄*

Fumio NAKANO

高田 賢治*

Kenji TAKADA

岩本 淳*

Atsushi IWAMOTO

松浦 範和*

Norikazu MATSUURA

要 旨

自動車車体 FE モデル作成期間短縮と計算精度向上のために、新しいプリプロセッサを開発した。本プリプロセッサは、ホワイトボデーの要素分割以後の要素間に生じている干渉及び貫通のケース分けによる自動修正、スポット等の結合情報の解析別自動 FE データ化、物性値・部品・質量データベース化による正確な物性値の設定や付加質量およびダミーやバリア等の組み込みの自動化によって、モデル作成者のスキルに依存せず質の高いモデルを効率よく短期間作成する事が可能になった。また簡易形状変更機能を持たせることによって仕様検討時のモデル変更も短期間で行なえるようになった。

ABSTRACT

A new pre-processor was developed to shorten the finite element modeling period and improve calculation accuracy for car body analysis. The new pre-processor made it possible to create high quality models efficiently in a short time regardless of the skills and experience of the modeler. This was achieved by automatically identifying and correcting penetration and intersection between elements after division of a body in white into shell elements, automatically analyzing and converting spots and other connection data into finite element data, setting accurate material properties, automatically adding mass and incorporating dummies and barriers by compiling a material property, parts and mass database. In addition, the pre-processor was also given simple shape modification functions allowing model changes to be made in a short time when investigating specifications.

1. まえがき

近年の商品開発は、性能、品質の高いものを短期間に開発する事が強く求められている。その手段として、三次元 CAD データによる詳細なデジタルモックアップでの検証が行われるようになり、自動車車体 FE モデリングにおいても、このデジタルモックアップから自動要素分割アルゴリズムの開発^{(1)~(3)}により CAD データの簡略化や要素分割のための精度向上なしに短期間でモデリングが行なえるようになってきた。しかし、その一方では計算精度向上の要求、コンピュータ能力の向上により、モデルの大規模化及び詳細化が進んできた⁽⁴⁾ことで、

(1)要素(部材)間の初期干渉

(2)スポット結合部周辺の要素形状の品質

に代表される計算精度に大きな影響を及ぼす計算モデル品質が課題となってきた。このため、要素分割が自動化で速

くなくても、モデル修正のための工数が増大し、計算精度の高いモデル完成までには相変わらず長い期間を必要としていた。

開発期間の短縮のニーズに応えるためには、モデリング期間の短縮が必須であり、またモデル作成者による計算結果の違いを出来るだけなくすために、修正に関わる作業やホワイトボデー以外の FE データの追加、質量配分等を自動化もしくは容易に操作できる必要が出てきた。本稿ではこれらの課題に対応した自動車車体解析用プリプロセッサの開発を行なったのでここに報告する。

2. 解析の流れ

FEM解析では、メッシュと呼ばれる要素に分割し数値計算を行う。現在、車体解析を行うためのホワイトボデーのメッシュは、三次元 CAD データから内製の自動メッシュ

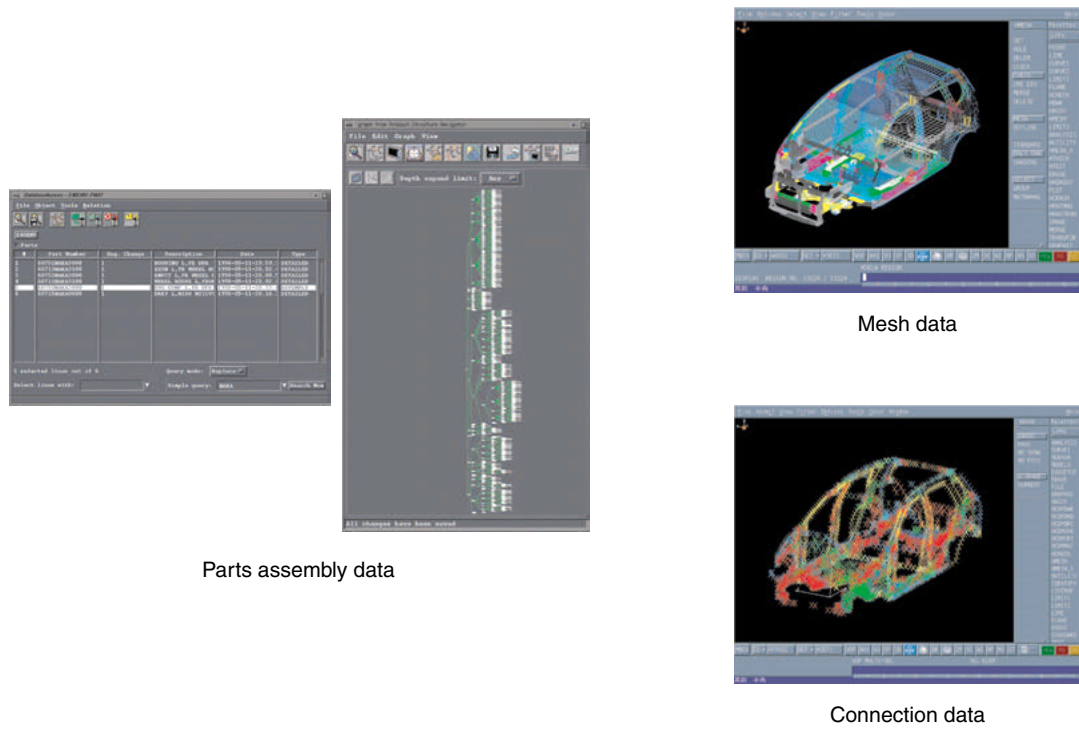


Fig. 1 In-house mesh generator

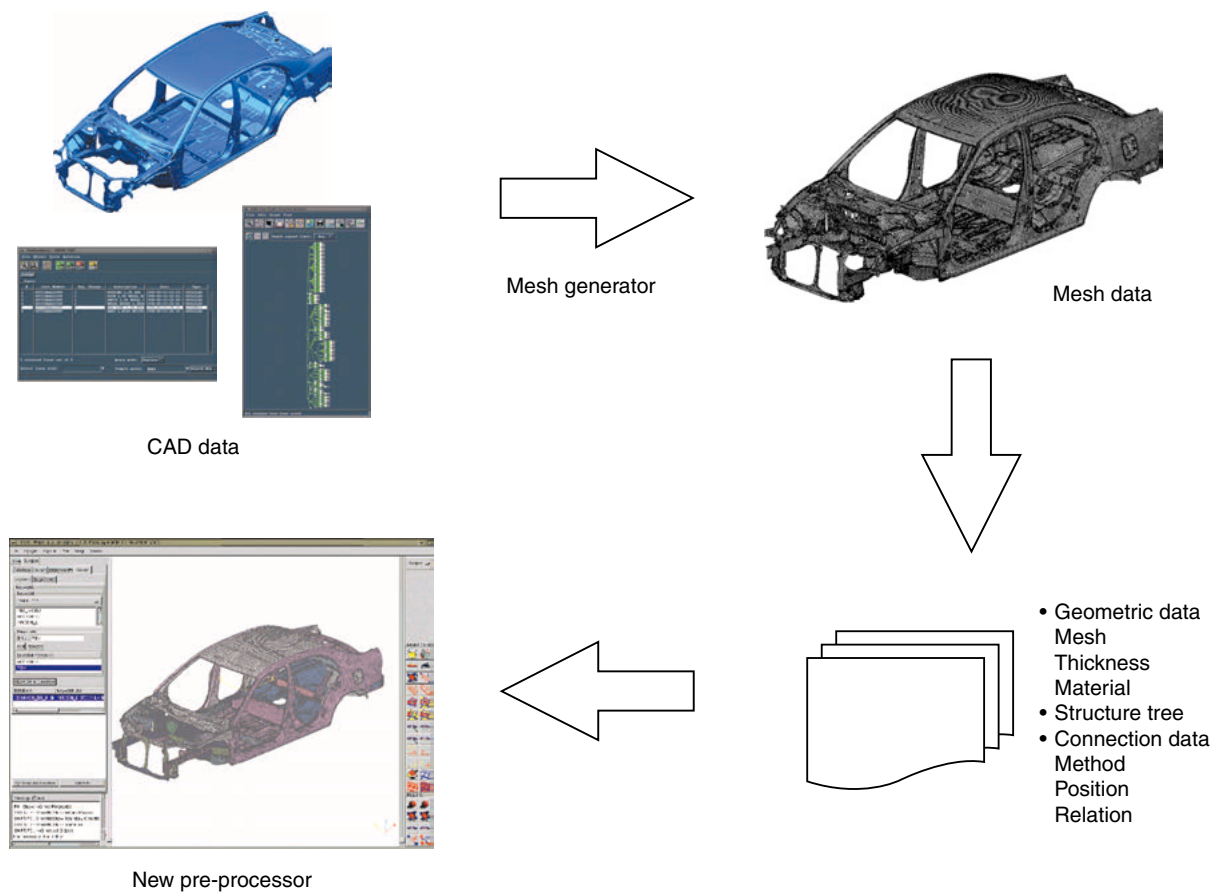


Fig. 2 Mesh data flow

を用いて作成している。ボデー一台分のメッシュデータはこの自動メッシュソフトで部品構成ツリーと同じ形で、結合情報(例えばスポット溶接、ミグ溶接等の結合方法、結合位置)と共に管理され(Fig. 1)、衝突、振動解析等の解析ごとに異なるモデルが自動作成される。

本プリプロセッサにおいては、この自動メッシュで作られたモデルに対して、

- (1) FE データおよび結合情報の取り込み
- (2) 要素間の初期干渉修正
- (3) 結合要素の自動発生および修正
- (4) 物性値の設定
- (5) ホワイトボデー以外の部材結合
- (6) 質量設定
- (7) 境界条件

の車体解析モデリングの一連の流れに沿って極めて短期間で作業できるよう機能の開発を行なった。本稿では、モデリング作成期間大幅削減に寄与した(1)から(6)の項目および仕様検討時に必要な形状変更機能について紹介する。

3. 本プリプロセッサの機能

3.1. FE データおよび結合情報の取り込み

まず、自動メッシュで作られたホワイトボデーの部材ごとのメッシュデータ(節点、要素、板厚、材料)および結合情報(結合方法、位置、結合される部材名)と部品構成を読み込む(Fig. 2)。

3.2. 初期干渉の修正

衝突解析においては、変形前の初期状態で要素が干渉あるいは貫通しているとその時点で反力が発生し計算精度に影響を及ぼすため、極力なくす必要があるが、要素分割の元となる三次元 CAD データ間に干渉がなくても曲面の曲率と要素サイズの問題などにより、メッシュデータでの干渉が起こる場合がある(Fig. 3)。そこで、本プリプロセッサでは以下の四種類の方法を順に行なうことによって、初期干渉の修正を容易にした(Fig. 4)。

- (1) 貫通自動修正
- (2) 貫通した節点の修正方向を表示し、作業者の確認後に自動的に移動
- (3) 貫通した節点を直接マウス操作により移動
- (4) めり込み自動修正

貫通部に関しては、(1)により約 50%、(2)により約 20%、(3)により残り約 30%が修正された事例がある。

これらの機能を使用することにより、従来では約十日かかっていた作業が一日以下で行なえるようになった。

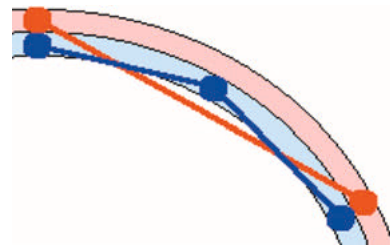
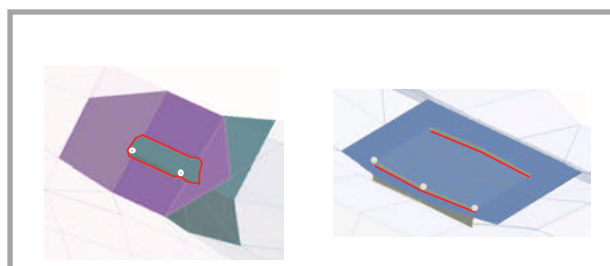
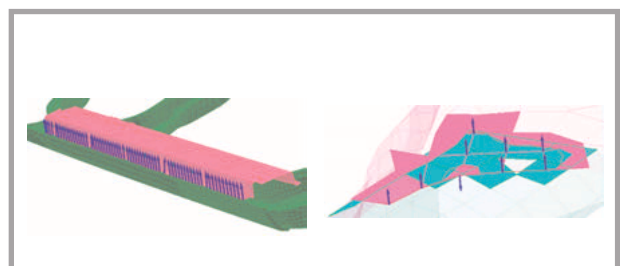


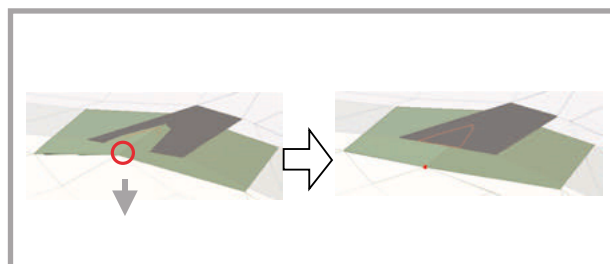
Fig. 3 Initial penetration by difference of mesh size



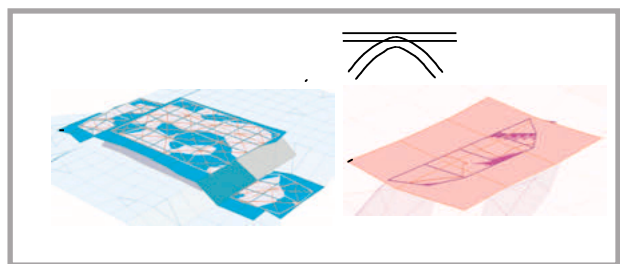
i Automatic correction of initial penetration



ii Automatic correction of initial penetration after displaying direction of correction



iii Manual correction



iv Automatic correction of initial interference

Fig. 4 Correction of initial penetration and interference

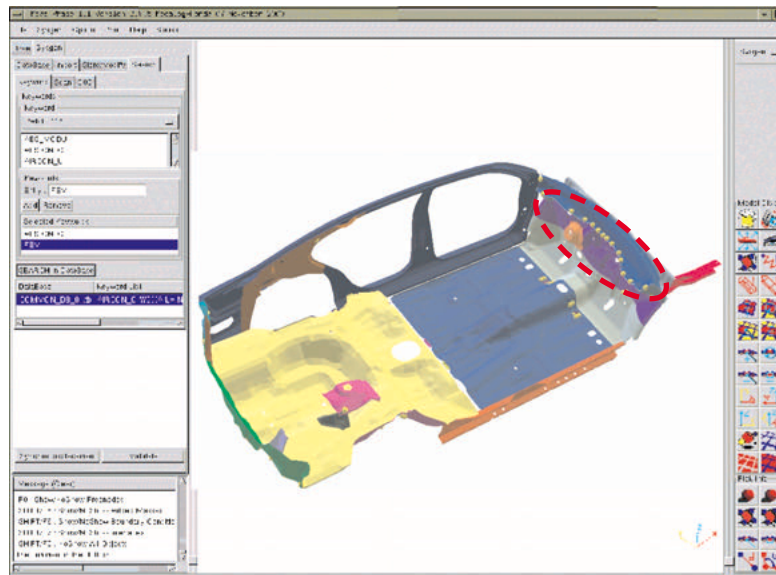
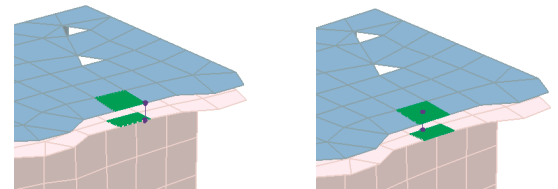


Fig. 5 Display of bad geometric data spots

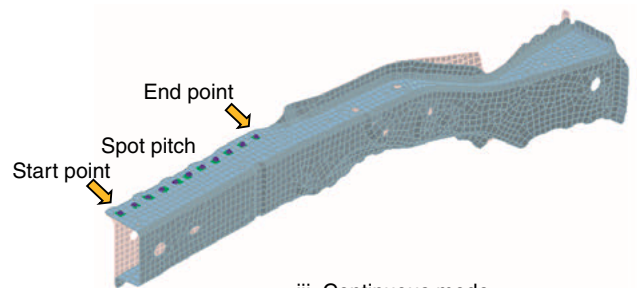
3.3. 結合要素定義

3.1. で読み込みを行なった結合情報を利用して自動的にスポット溶接、ミグ溶接、ボルト結合、ヘミング、接着剤の要素を定義する。現在の衝突解析プログラムにおいてはRADIOSSの接触タイプ2 (INTERFACE TYPE2)^{(5), (6)}のようにスポットデータ定義に関して、スポット位置に要素を構成する節点を用いない方法があるが、その場合スポット位置から近傍の要素に対して正常に投影できない場合は計算が異常終了することがある。本プリプロセッサではそのようなスポットデータを表示し(Fig. 5)、修正する機能(Fig. 6)や簡易的にスポットを作成する機能を作成した(Fig. 7)。また、衝突解析以外への対応のために強度、剛性解析用のスポットモデル(Fig. 8)や他のスポットモデル作成機能等も追加した。



i Node to node

ii Element to element



iii Continuous mode

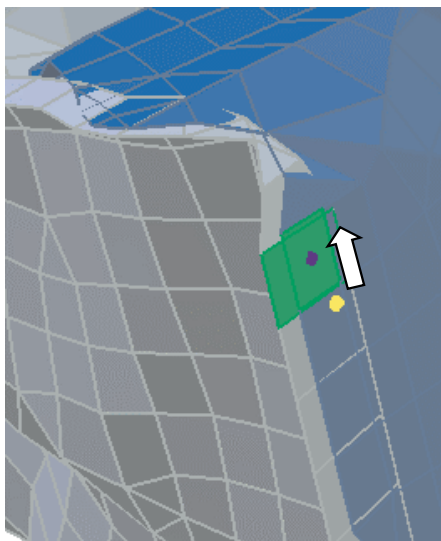


Fig. 6 Modification of spot data

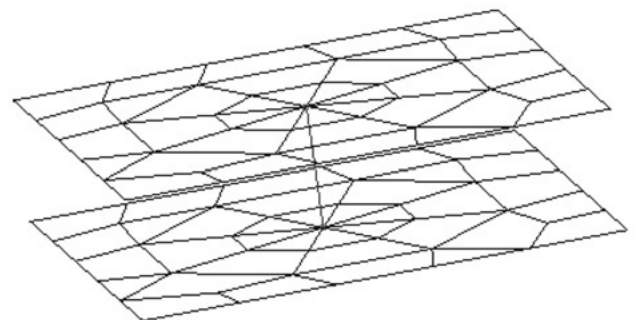


Fig. 8 Spot data for strength analysis

3.4. 物性値・部品・質量データベース

今後のFEM解析の精度改善と詳細な結果検討を行うためには、FEモデルの再現性向上が非常に重要な項目となる。そのためのキーポイントとして、以下の項目が考えられる。

- (1) 物性値の正確な設定
- (2) 部品のモデリングと設定
- (3) 質量データの設定

3.4.1. 物性値データベース

非線形問題を解析する際は、当然ながら材料の応力-歪線図を精度良く設定しなければならない。更に、衝突解析においては、降伏応力の歪速度依存性をも考慮しなければならない。

自動車を構成している材料の種類は非常に膨大であるため、従来これらを忠実に設定することは非常に困難で、計算精度の悪化をもたらしていた。そこで本プリプロセッサでは、物性値データベースを構築し、メッシュデータに記載されている物性名を読み込んだ後、自動的に正しい応力-歪線図を設定できるようにした。

更に、物性値の仕様変更の際には、作業者がデータベースにアクセスし、最適なものを選択可能な機能も設けてある。

3.4.2. 部品・質量データベース

今後、FEM解析において、ホワイトボデー以外の部品の取り扱いが非常に重要となる。例えば、振動解析における高周波数領域での計算精度向上、衝突解析における変形量、加速度の精度向上においては、部品の再現性に影響される。

現状の課題としては、必要とされる部品のFEモデル作成するために、ほぼホワイトボデーと同様な要素数、作成期間が必要とされることである。

ホワイトボデーに関しては、自動メッシュにより、作成期間の短縮化が図られている。そのため、部品モデルもホワイトボデーが完成と同時に出来上っていないといけない。更に、部品を結合させる際、結合方法および貫通補正も自動化させないと、解析期間の短縮を達成できなくなる。

一方、必要となる部品をホワイトボデーに設定し、解析を行った後、仕様を変えたいケースが発生した場合、部品の入換え作業が必要となる。汎用のプリプロセッサでは、一度設定した部品の取り外し、再設定作業を行うと、元のFEデータ不具合が発生するケースが多い。特に、本プリプロセッサが対象としているモデルは、多くの部品と結合データとで構成されており、単に一個の部品の入換えでも、それに関連する結合データ、質量データ、境界条件等をすべて正確に削除する必要がある。

以上の問題点を解決するために、本プリプロセッサでは、データマネージング機能を含んだ部品・質量データベースを開発した(Fig. 9)。

ホワイトボデー以外の部品に関しては、FEモデル等でモデル化するものとししないものに分けて登録を行なうが、登録時には部品名、部品番号、仕向地、解析種類等のキーワードを付加し誰でも確実に目的の部品を読み出せるようにし、また他モデルへの流用部品検索においても効果的となった。

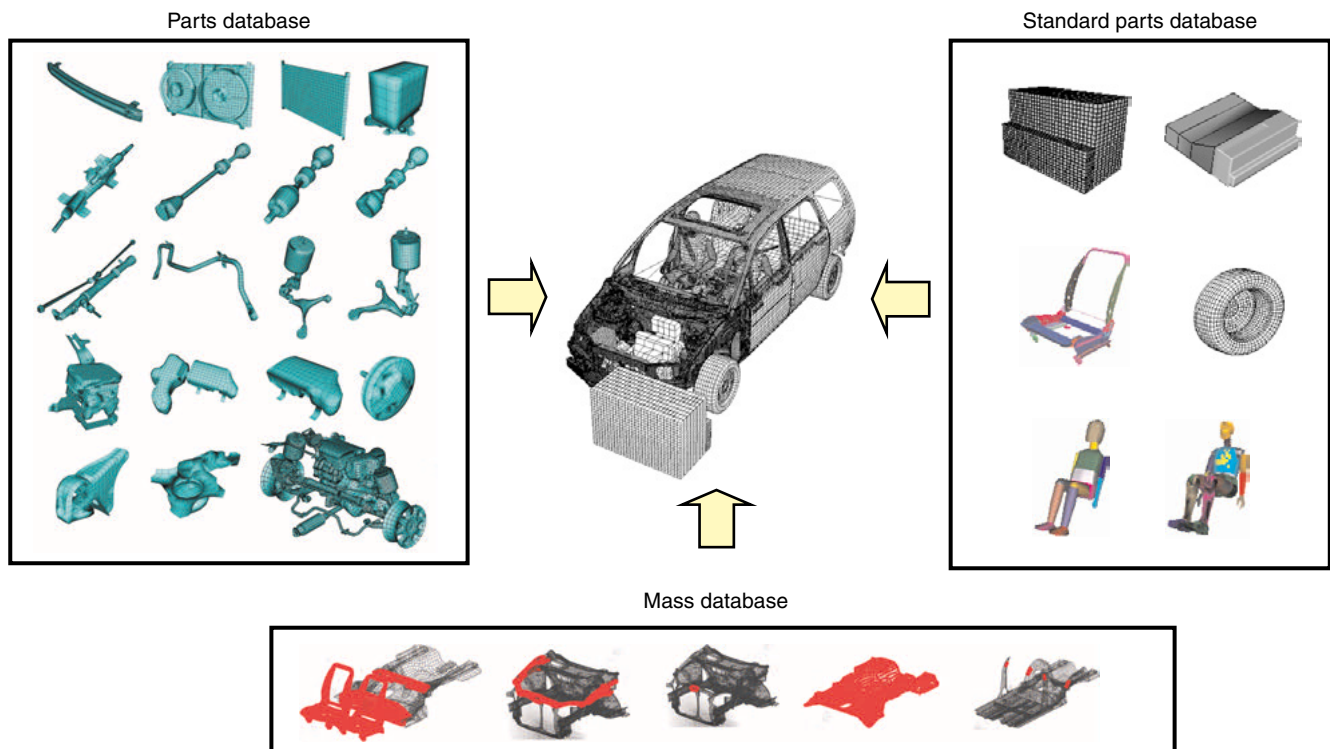


Fig. 9 Parts and mass databases

部品データベースに保存された部品のホワイトボデーへの取付け作業に当たっては、各解析種類ごとに必要なテンプレートを設定してあり、これに沿って以下の作業を行えば初心者でも部品を正確に取り付け、かつ付け忘れを防ぐことが可能になっている (Fig. 10)。

- (1)位置設定
- (2)干渉確認および修正
- (3)ホワイトボデーへの結合

結合作業については、結合位置付近の部品を近傍検索で表示させる機能があり、結合相手の部品名等を知らなくて

も作業をすることができる。また、結合種類別に結合済み、未結合箇所が色分けされるようになっており、結合忘れを容易に確認することが可能になっている。

また、登録された質量データについては、部品データベース同様にテンプレートを用いて、質量を付加すべき部品へ自動的に分布させることが可能になっている (Fig. 11)。

また、通常は完成した FE モデルと実車とでは質量および前後バランスが合わないため、目標質量および前後バランスに自動的に合うように質量を付加する機能も開発した (Fig. 12)。

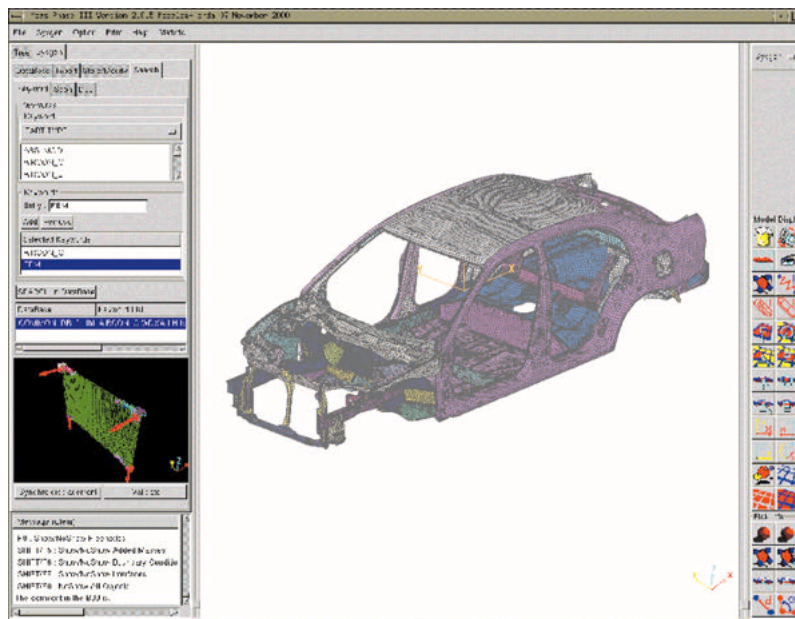


Fig. 10 Menu for automatic connection from parts database

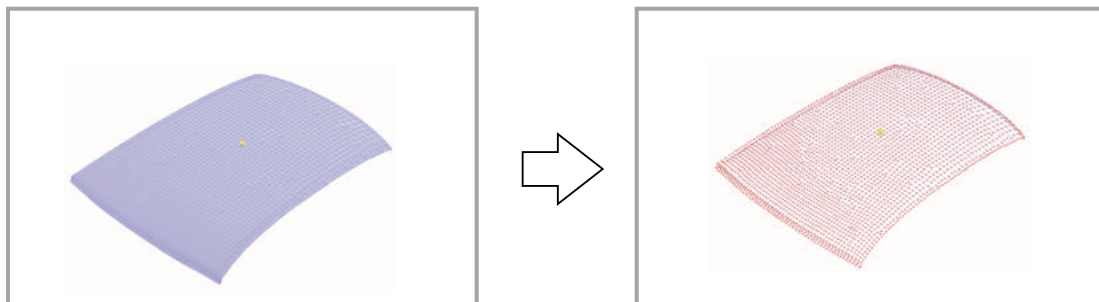


Fig. 11 Automatic mass distribution

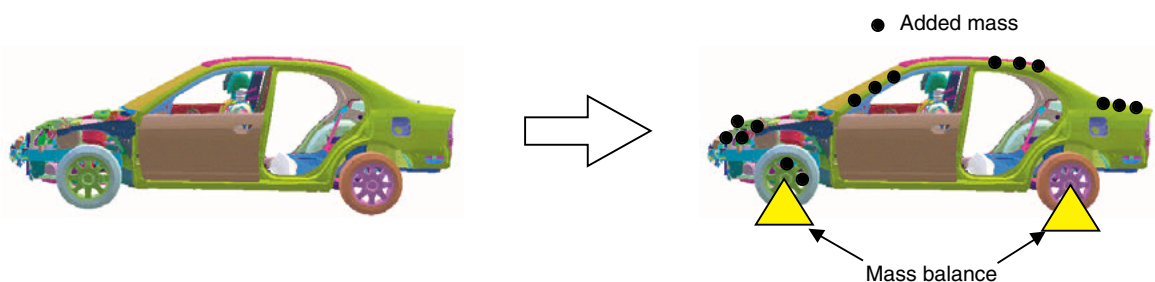


Fig. 12 Automatic mass distribution

3.5. 簡易形状変更機能

FEモデルの形状を変更する際、本来CADデータにて形状変更を行い、再度メッシュ分割するのが理想的であるが、その場合、毎回初期貫通補正、結合条件の設定、部品設定の作業を繰り返さなければならない。そこで、一度作成したFEモデルを用いて、簡単に形状変更を可能にするため以下のような機能を開発し、案別検討時の解析工数の短縮化を

図った(Fig. 13)。

- (1)断面形状変更
- (2)引き伸ばし
- (3)断面拡大
- (4)回転、移動
- (5)対称化
- (6)節点オフセットによるコピー

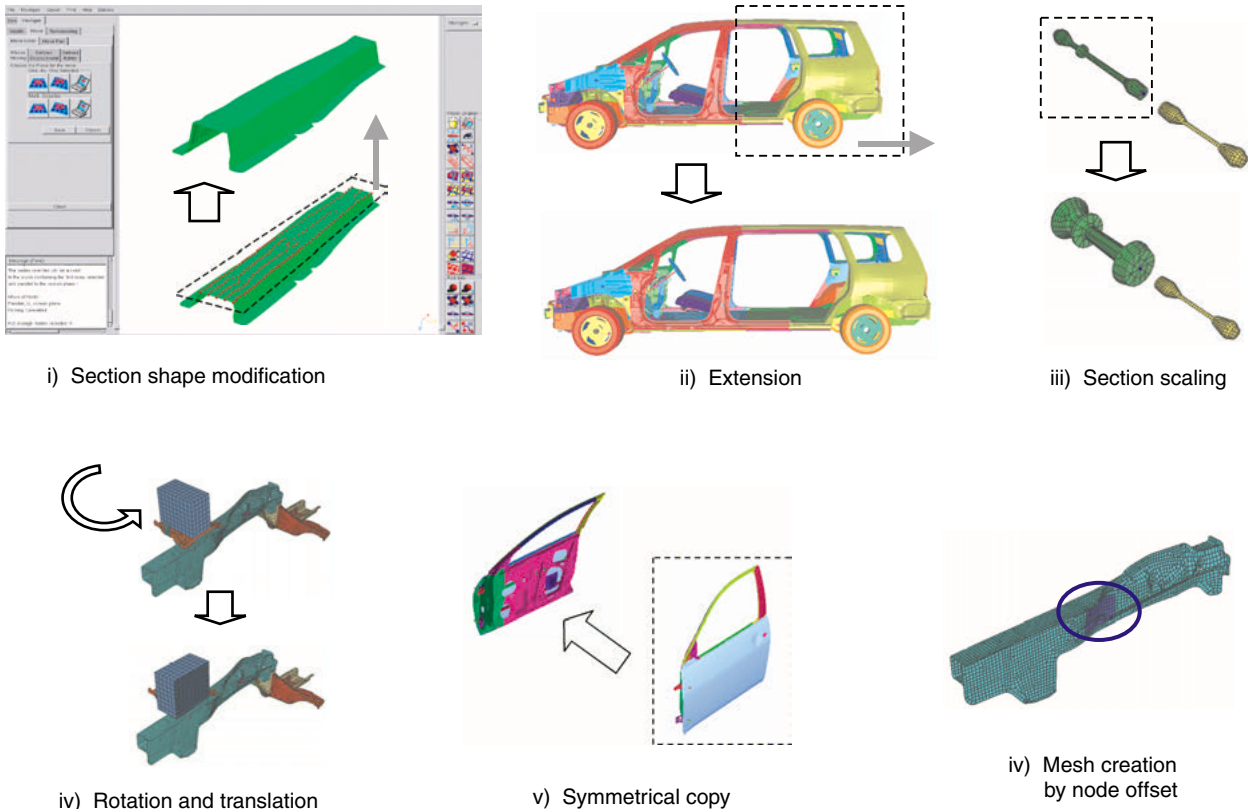
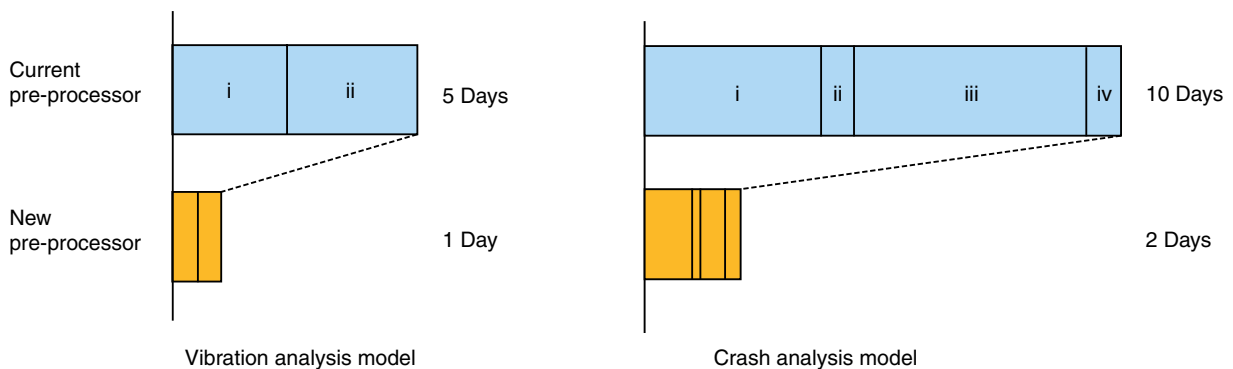


Fig. 13 Mesh data modification



- i Correction of initial penetration and interference
- ii Creation and modification of connection data
- iii Adding other mesh data and mass
- iv Creation of initial conditions and boundary conditions

Fig. 14 Modeling period

4. 適用事例

ここでは、実際に本プリプロセッサを用いて作成されたモデル事例を紹介する。

Fig. 14には従来モデリング手法とのモデリング期間の比較, Fig. 15にはテストとの計算結果の比較を示す。この例からも従来モデリング手法よりもモデリング期間を削減し、かつ計算精度も良好であることがわかる。

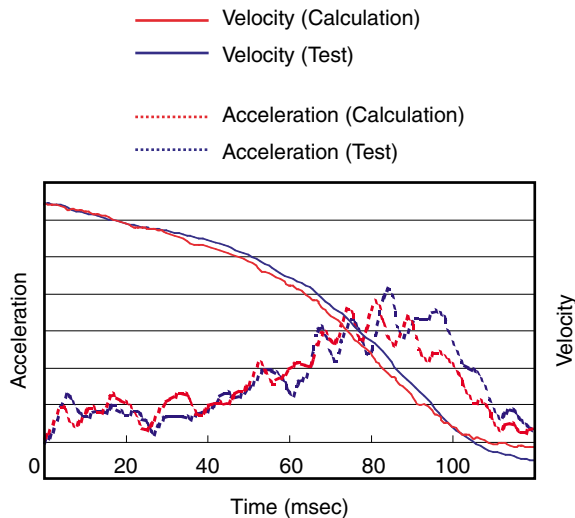


Fig. 15 Acceleration and velocity of floor in frontal offset crash

5. まとめ

上述の初期干渉自動修正機能, 解析別結合モデル自動作成機能, および物性値・部品・質量データベースの利用により,

- (1) 自動メッシュでホワイトボデーモデルが完成した後二日間で計算条件が付加できるようになった。
- (2) 従来, 専門者が行っていた解析業務にかかわって, だれでも行なうことができるようになった。
- (3) 仕様変更が容易かつ迅速に行われるようになった。

6. 参考文献

- (1) Shimada, K.: Physically-based mesh generation: automated triangulation of surfaces and volumes, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA (1993)
- (2) Shimada, K., Liad, JH., Itoh, T.: Quadrilateral meshing with directionality control through the packing of square cells, Proceedings of 7th International Meshing Roundtable, p. 61-75 (1998)

- (3) Inoue, K., Itoh, T., Yamada, A., Furuhashi, T., Shimada, K.: Face clustering of a large-scale CAD model for surface mesh generation, Computer-Aided Design 33, p. 251-261 (2001)
- (4) 藤谷克郎: 自動車の設計開発とシミュレーションの現状と展望, 自動車技術, Vol.55, No.6, p.4-8 (2001)
- (5) RADIOSS-CRASH バージョン 4.2 マニュアル(2000), メカログジャパン株式会社
- (6) RADIOSS ENVIRONMENT 例題集 GUIDELINE バージョン 4.1(1999), メカログジャパン株式会社

■ 著 者 ■



中野 文雄



岩本 淳



高田 賢治



松浦 範和