

論文・解説

18

サスペンション設計支援ツールの開発

Development of Suspension Design Support Tool

鐵 本 雄 一^{*1} 倉 田 直 樹^{*2} 武 田 健 二^{*3}
Yuichi Tetsumoto Naoki Kurata Kenji Takeda
厚 井 省 吾^{*4}
Shogo Kouji

要 約

サスペンション部品の製造寸法バラツキやジオメトリ、ブッシュ特性等は、サスペンションの特性に影響を与える重要な設計因子である。そのため、その中の影響度（感度）の高い設計因子を、厳密に管理することでサスペンション品質の向上・安定化を実現することができる。

しかし、近年のサスペンション形式の複雑化によって考慮すべき設計因子数は増加し、設計因子ごとのケーススタディによるシミュレーションでは、全ての設計因子の感度算出には膨大な回数の計算を行う必要がある。そこで、短時間で効率的にシミュレーションを行い、感度の高い設計因子を明らかにするために、現在多くの企業・教育機関で注目を集めている品質工学的手法（実験計画法、応答曲面近似モデル）や、グリッドコンピューティングといったIT技術を適用したツールを開発した。

Summary

Dimensional variation in manufacturing and geometry of suspension parts and bush hardness are important design factors that impact the suspension characteristics. Therefore, by strictly controlling design factors whose impact level (sensitivity) is high, it is possible to improve and stabilize the quality of the suspension.

However, due to suspension types becoming more complicated these years, the design factors to be taken into account are increasing, and by the case-study based simulation of each design factors, a huge amount of calculations will be required to calculate the sensitivity of all the design factors. In order to perform simulation efficiently in short periods of time and identify sensitive design factors, we have developed a tool using applied the quality engineering methodologies such as Design of Experiments, Response Surface Model and the Information Technology as the Grid Computing, which are currently drawing attention of many companies and educational institutions.

1. はじめに

サスペンション設計では、各車種のコセプトに適合する操縦安定性を実現するために、機構解析ソフト(ADAMS)により、パーツジオメトリ、ブッシュ特性などの設計因子の変更がサスペンション特性に及ぼす影響を分析している (Fig.1)。これらの設計因子は、車両の運動

性能を決める重要なファクタであり、マツダプロダクトDNAを体現するためには欠かすことができないものである。設計業務ではこれら設計因子を最適値に導くと同時に、走行安定性に関する品質（直進安定性など）といったばらつきやすい性能に対してロバスト性を確保しなくてはならない。このような設計因子の特性許容範囲（狙いの特性を得られる範囲）を明らかにし、厳密に管理することで、更

*1, 4 エンジニアリングシステム部
Engineering Systems Dept.

*2 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

*3 NVH性能・CAE技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

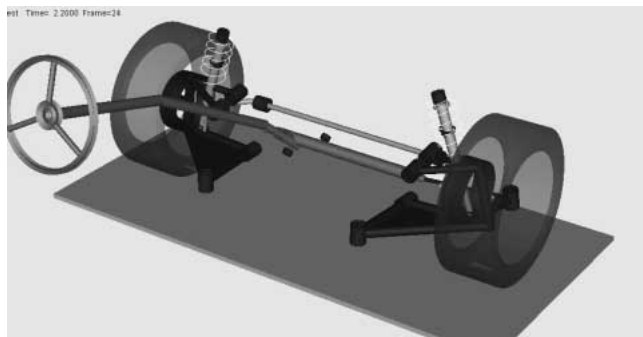


Fig.1 Analysis of the Suspension Characteristics

$$f(x, y, z) : Response \quad x, y, z : Design Factor$$

$$a_n (n = 1, 2, 3, \dots) : Sensitivity$$

$$f(x, y, z) = a_1x + a_2y + a_3z + \dots \quad (1)$$

に品質の高いサスペンション設計を実現することができる。

しかし、近年のサスペンション構造の複雑化によって、考慮すべき設計因子は増加しており、従来のシミュレーションプロセスではその検討に膨大な回数の計算が必要となる。そこで、サスペンション設計を効率的に行うことが可能なシミュレーションプロセスの確立に取り組んだ。

まず、複数の設計因子の感度を同時に算出するために、実験計画法と応答曲面近似モデルを用い、短時間でそれらの感度情報を得ることができる感度解析ツールを開発した。更にこのツールの計算時間を短縮し、より効率的にシミュレーションプロセスを実行可能にするために、グリッドコンピューティング技術を活用したシステムを構築した (Fig.2)。

2. 感度解析ツールの開発

感度解析とは、応答 (目的関数) に対して設計因子の変化がどのような影響を及ぼすか知るための解析である。このような考え方を基盤とした感度解析ツールを開発した (式(1)は設計因子と応答の関係を表したモデル式である)。

本ツールは、実験計画法と応答曲面近似手法を用いており、ケーススタディの網羅性・解析精度を維持したデータを最小のサンプリング回数で得ることが可能となっている。

また、このツールはFig.2下部に記述されている通り、①計算パラメータ設定プロセス、②解析プロセス、③応答曲面近似モデル作成プロセス、④ポスト処理 (可視化) の4つのプロセスで構成されている。このうち、①~③は最適化ソフト上で解析実行しているため (解析、応答曲面近似モデル作成については自動実行)、設計者はADAMSを意識することなく、利用することが可能となっている。

以降は、各プロセスについての説明を行う。

① 計算パラメータ設定

このプロセスでは、感度解析を実行する際に必要となる設計因子 (設計変数) と応答を設定している (Fig.3, 4)。

実際には、Table 1のような条件で解析を実施しており、例えば、タイヤの上下ストロークの解析モードに対して、サスペンションパーツの取り付け位置を設計因子、トー角を応答という形で設定している。

Table 1 Analysis Condition

Design Factor	Parts Geometry, Bushing Feature
Response	Wheel Alignment
Analysis Mode	Wheel Stroke, Compliance
Other	Sampling Number, Parameter Interval

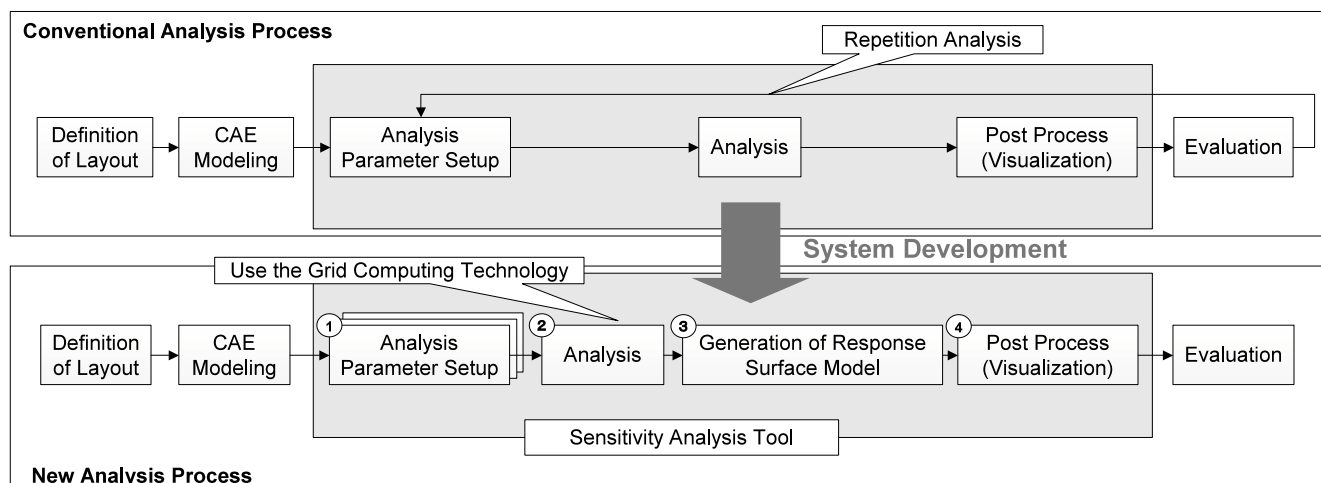


Fig.2 System Development

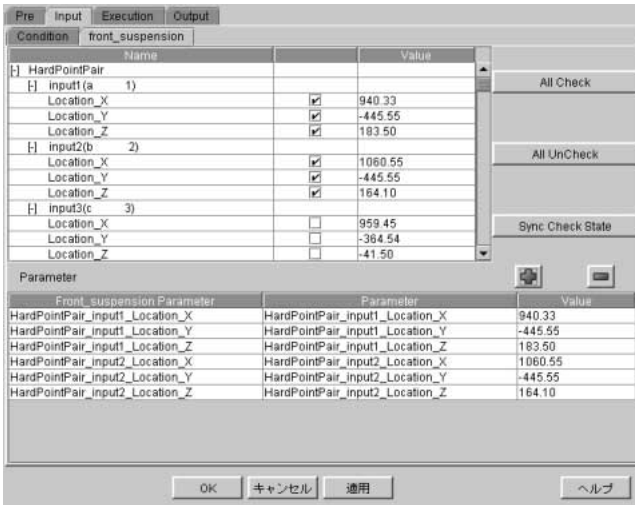


Fig.3 GUI for Choosing the Design Factor

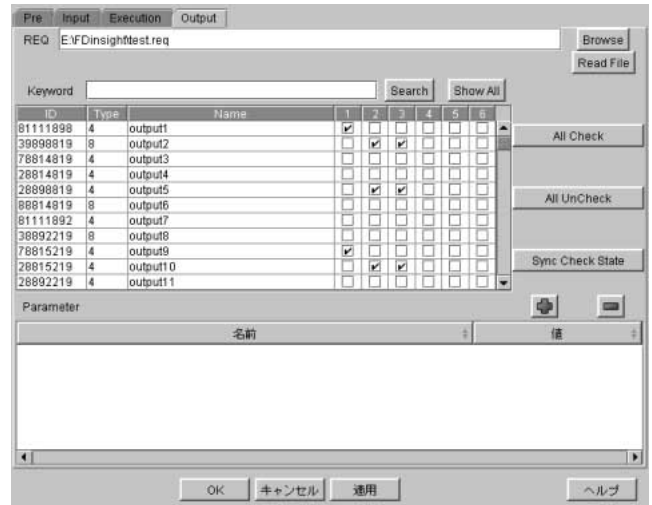


Fig.4 GUI for Choosing the Response

② 解析

このプロセスでは、応答曲面近似モデル作成のために必要な数のデータを得るため、実験計画法 (DOE) に基づいた設計因子のパラメータセットを生成し、そのパラメータに応じた計算・データサンプリングを行っている (Fig.5)

以下はそれぞれのステップで行われている処理の内容である。

1) Rewrite

ADAMSのインプットファイルで定義されている設計因子のパラメータを、実験計画法でサンプリングされた値に書き換え、新たなインプットファイルを生成する。

2) Experiment

Rewriteステップで生成されたインプットファイルで実際にADAMSを実行し、アウトプットファイルを出力する。

3) Gathering

アウトプットファイルからADAMS解析結果のうち応答として設定したパラメータの値を読み取り、データを収集する。

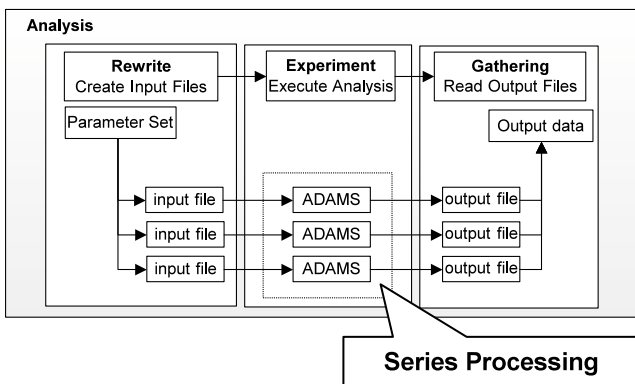


Fig.5 Analysis Process

③ 応答曲面近似モデル作成

このプロセスでは実験計画法によってサンプリングされた点におけるADAMS解析結果から応答曲面近似 (関数化) を行い、モデル化する。ここでは、式(2)で示しているような二次多項式に、設計因子の値と解析結果から得られた応答値を代入している。このような方程式をサンプリング回数分作成し、それらの連立方程式を解くことで、各変数項の係数が求められる。そのため、実験計画法で行うデータサンプリングは、連立方程式を解くために最低限必要な回数分行っておく。更に、生成される応答曲面の近似精度を高めるために、必要数よりも若干多めにデータサンプリングを行うよう工夫した。

ここで作成された近似式を合成すると、Fig.6のような応答曲面が生成される。

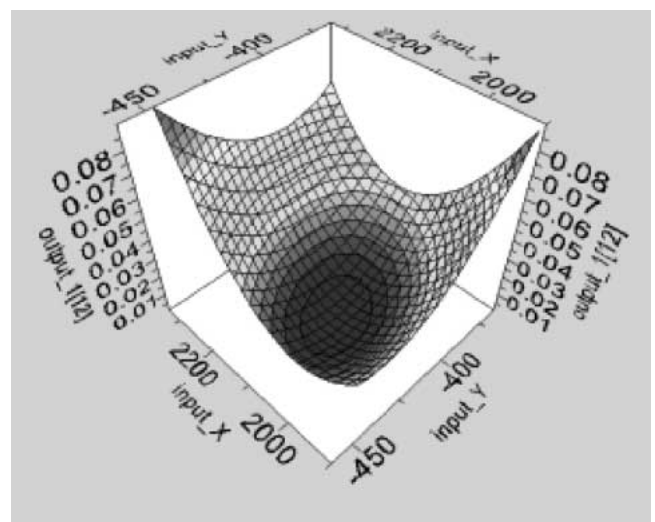


Fig.6 Response Surface Model

(In case the number of Design Factor 2)

$$f(x_1, x_2): \text{Response} \quad x_1, x_2: \text{Design Factor}$$

$$a_n (n=1,2,3,\dots,6): \text{Sensitivity}$$

$$f(x_1, x_2) = a_1 + a_2x_1 + a_3x_2 + a_4x_1x_2 + a_5x_1^2 + a_6x_2^2 \quad (2)$$

④ ポスト処理 (可視化)

以上の3プロセスを行った時点で、設計因子と応答の関係式が生成されているが、方程式によって導かれる値や係数のみでは設計因子の感度を判別し難い。そのため、感度をユーザに把握しやすくするため可視化ツールの開発を行った。

Fig.7上部の画面は、応答曲面の変化を確認するために設計因子のパラメータを選択・変更する箇所である。ここで、設計因子のカーソルを左右にスライドして値を選択することで、前プロセスで算出された近似式にその値が代入され、即座にFig.7下部のようなグラフ (応答曲面近似モデル) を表示することができる。結果、ユーザはカーソルのスライドのみで、応答曲面の変化から容易に各設計因子の感度と特性許容範囲を読み取ることが可能である。

なお、ここで作成されたデータは、Excelファイルとして保存することで、他の設計者と共有することができ、いつでも参照することが可能となっている。

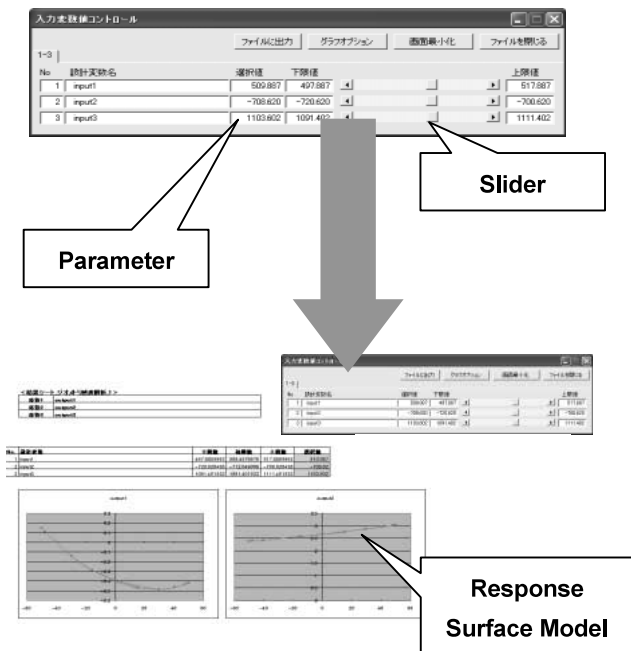


Fig.7 Post Tool

3. グリッドコンピューティング技術の活用

3.1 グリッドコンピューティング技術活用の狙い

感度解析ツールの適用により、設計因子が複雑に影響を及ぼすようなサスペンション形式に対しても、感度解析を行うことが可能になったが、設定条件によっては計算に数

時間~数日要す場合があった。そこで、グリッドコンピューティング技術を活用し、実験計画法によって生成されたサンプリング点でのADAMSによる機構解析を並列分散処理し、期間の短縮を図った。

なお、今回スーパーコンピュータではなくグリッドコンピューティングを感度解析ツールの連携対象として選択した理由は、下記の通りである。

- ・1計算がOA用端末でも対応できるほど小規模であること
 - ・遊休端末の有効利用が可能
- (ここで定義している遊休端末とは、ユーザが退席中等でログオフ状態になっている端末)

3.2 グリッドコンピューティングシステム

グリッドコンピューティングとは、ネットワーク上で関連付けられたコンピュータを、1つの計算資源として活用する仕組みである。そのため、グリッド内の端末のCPUをスーパーコンピュータのように利用することが可能である (Fig.8)

以下、User PCより計算が投入されて出力されるまでの処理について説明する。

① PCグリッドジョブ投入

解析アプリケーションのインプットファイルを準備し、User PCにインストールされているPCグリッドのジョブ投入システムを利用して、PC Grid Serverに転送

② ジョブコントロール

PC Grid Serverは、Client PCの状況を確認し、計算可能な端末 (遊休端末) にインプットファイルを転送

③ ジョブ実行

Client PCにて解析アプリケーションを実行

④ 出力ファイル転送

Client PCでの計算終了後、PC Grid Server内の結果出力フォルダに結果ファイルを転送し、解析の終了を通知

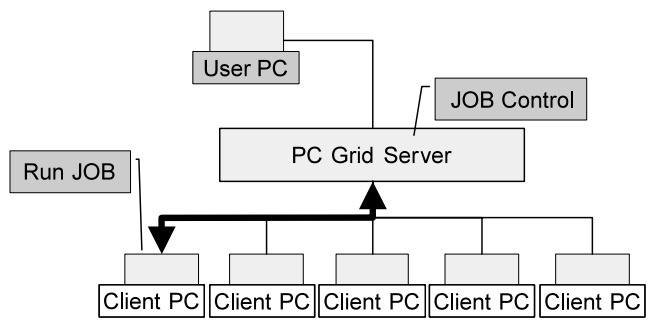


Fig.8 PC Grid Computing

3.3 グリッドコンピューティング連携とその効果

感度解析ツールにおける解析プロセスは、Fig.5で示したようにADAMSの計算をインプットファイル1つごとに実行する必要があるため、直列処理となっている。そのため、解析プロセスExperimentステップをPCグリッドジョブとして複数の遊休端末上で、並列に分散処理ができれば、

大幅な所要時間の短縮が見込める。

そこで、このステップにおいて、PCグリッド環境へ自動的にジョブを投入するシステムを開発し、また、遊休端末で実行された結果ファイルの自動取り込み機能も開発した (Fig.9)。

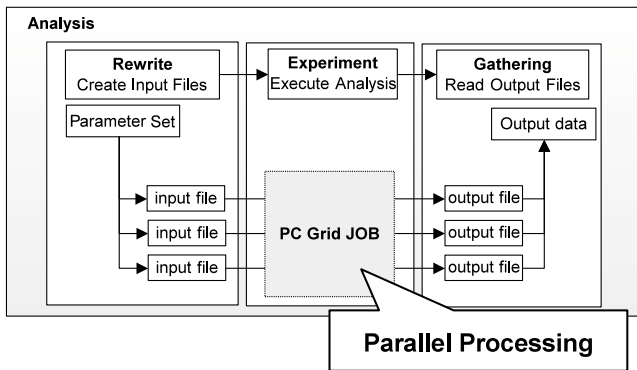


Fig.9 Analysis Process (Collaboration with Grid Computing)

以上のような機能追加を行った結果、実行端末数に比例して計算時間を短縮できており、並列処理が有効に機能することを確認した。また、システム開発のために新たな計算リソースを導入することなく、PCグリッドシステムと感度解析ツールのインタフェース整備のみで容易に実現することができた。このように、高価な計算リソースに頼ることなく、高いパフォーマンスを発揮できる点がグリッドコンピューティングのメリットであり、今回のシステム化の中で大きな効果を生んでいる。

4. 成果と今後の課題

サスペンション設計支援ツールの開発により、複数の設計因子が応答に与える影響を把握することができ、設計因子の最適化、サスペンション品質維持のために必要な特性許容範囲を算出することが可能となった。これらは、サスペンション設計を行う際の指標として設計品質の向上に貢献している。また、ADAMSによる解析やPCグリッドへのジョブ投入を、感度解析ツールのGUIによって統合しているため、ユーザは解析アプリケーションごとの煩雑な改定を行う必要がなく、手軽にツールを利用することが可能となっている。更に、通常、設計因子の感度は、熟練した設計者のノウハウや経験によって推測される領域であったが、この感度解析ツールによって、視覚的に各設計因子の寄与度傾向を明らかにすることが可能となった。そのため、設計初心者や新たなサスペンションモデルの検討を行う際の設計方向性策定を行う手助けになり、ナレッジデータベースのように知識集積という形での活用も可能である。

一方課題は、ツール使用時には計算実行端末のCPU分のADAMS、PCグリッドソフトウェアのライセンスが必要

な点で、並列計算数やユーザ数が増加した場合には、このツールのみで必要以上に大量のライセンスを使用しないようにシステムで制御する必要がある。

5. おわりに

本稿で述べたサスペンション設計支援ツールは、各種ソフトウェアと手法を駆使することで、従来は不可能であった規模の設計検討を実現でき、その結果、設計品質・効率の面で大きな成果をあげることができた。これらの技術がCAEを活用した設計に役立っていくと考えており、今後も本開発で培った知識・技術をもとに、品質の向上に積極的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 宇野高明：車両運動性能とシャシーメカニズム，グランプリ出版，p.76-90 (2001)

著者



鐵本雄一



倉田直樹



武田健二



厚井省吾