

エアバッグECU振動シミュレーション

ー 三次元CAD/CAEによる設計・開発プロセスの構築 ー

Airbag ECU Vibration Simulation

-Development of Design Process with 3D CAD and CAE-

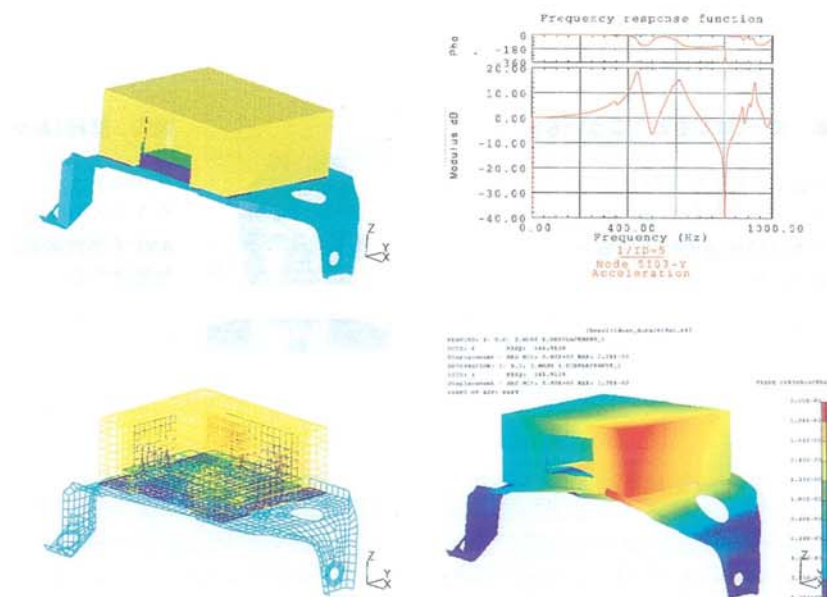
吉川 和男 *Kazuo Yoshikawa*

森田 真児 *Shinji Morita*

高橋 信哉 *Shinya Takahashi*

小西 博之 *Hiroyuki Konishi*

斗納 宏敏 *Hiroto Tono*



要 旨

近年の自動車開発期間短縮に対応するため、当社では製品性能評価をコンピュータを用いた解析で代替することに取り組んでいる。特にエアバッグECUの衝突判定評価をこの方法に置き換えている。本稿では、エアバッグECUの品質向上と開発効率向上を可能にするために開発した三次元CAD/CAE設計プロセスと振動予測法について述べる。

Abstract

We are tackling to replace some experimental product performance tests into a computer analysis at a design stage in order to reduce a product development time, which does follow a shortened automotive development time. Especially, we use Airbag Simulation System to evaluate the airbag ECU performance. This report says the computer aided design process and the method of estimating the vibration response, we developed, which make it possible for us to get better quality and efficient developments of the products.

1. はじめに

近年、自動車産業では、製品の低コスト化に加え、開発部門での効率向上と開発期間の短縮が重要な課題である。このような課題解決のために、三次元CAD/CAM/CAE技術を応用した関連部署同時並行作業方式の設計・開発プロセスの開発が行われている。¹⁾²⁾³⁾

当社ではこれまで二次元CAD構造設計を基準にした製品開発を行ってきた(図-1(a))。この開発プロセスでは、経験に頼った設計・試作とその実験的評価になることが多くなる。また、関連部署間の情報交換はあるものの、実質的には直列作業方式に近く、開発効率に課題を持っていた。そこで、設計初期段階での品質の作り込みを行うために関連部署の同時並行作業とそれを可能にする三次元CADデータの共有および三次元CADデータを基にしたFEM解析の充実を計り、後工程で出そうな問題を予め前工程で検討・解決することで開発効率の向上を可能に

する設計・開発プロセスを開発している。

本稿では、

- ①振動解析と衝突判定のアルゴリズム開発との同時並行作業の必要なエアバッグECUを対象に開発した設計・開発プロセスのコンセプト
- ②本プロセスを可能にした設計支援ツールとしての振動予測法について述べる。

2. 開発プロセスの概要

2.1 エアバッグの作動概要⁴⁾

エアバッグが作動する過程は図-2に示すように、衝突による衝撃はボデー骨格を介してセンサに伝わる。エアバッグECUはGセンサ部分に到達した衝撃を加速度として計測し、ある条件で積分し、その値があらかじめ設定

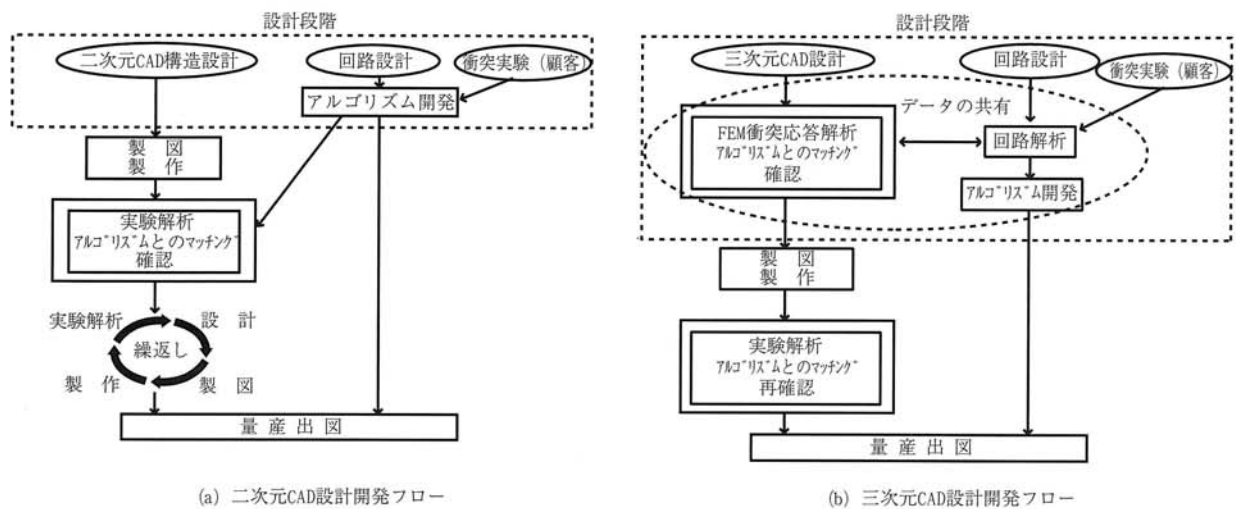


図-1 設計・開発フロー
Fig.1 Design and development flow

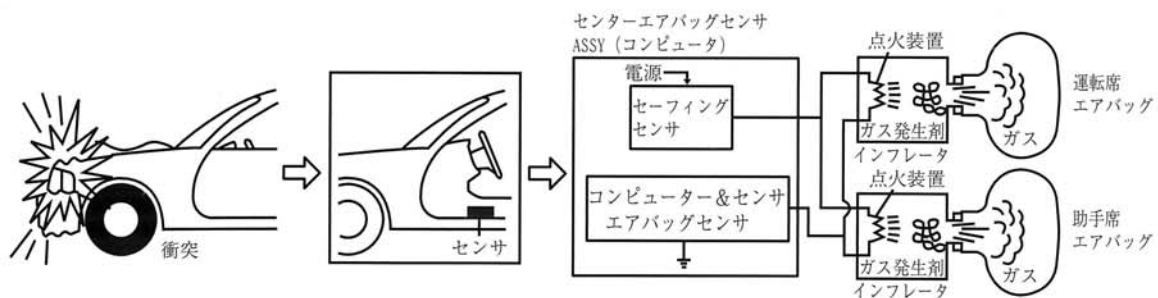


Fig.2 Process of airbag function

しているしきい値を越えた場合、点火装置に点火電流を流す。着火後ガス発生剤が燃焼することによりインフレーターから窒素ガスが発生し瞬時にバッグを膨らませる。車両の衝突を検知してからバッグが膨らみ、しほむまでの作動時間は0.2秒以下である。エアバッグECUは通常ボデーにブラケットを介してボルト結合されている(図-3)。従って加速度センサによる検知に悪影響を与えないよう、ブラケットやボルト締結部を含めたエアバッグECU構造系の振動に関する過渡応答特性の評価が構造設計時には重要になる。さらに、その評価結果を用いた回路解析や衝突解析アルゴリズムの開発を行うことによりエアバッグECUの開発が完了する。

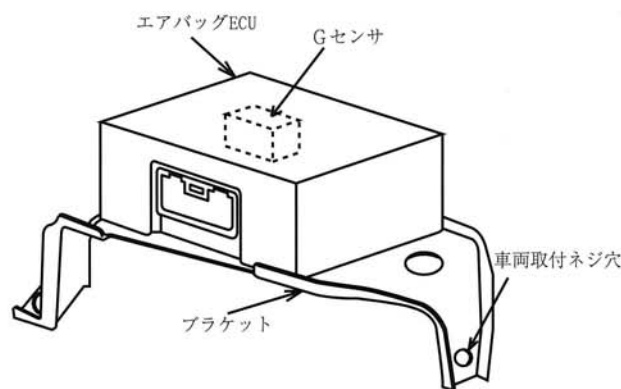


図-3 エアバッグECU構造
Fig.3 Airbag ECU structure

2. 2 開発プロセスの概要と主要要素技術

従来の開発プロセスを図-1(a)に示す。まず、エアバッグECUの設計・試作を行い顧客先で衝突実験を行う。引き続き、その実験結果を用いて回路設計や衝突判定アルゴリズムの開発がスタートする。すなわち、構造設計や回路設計がそれぞれの開発ステップで完了し、試作・性能検討を繰り返さないとアルゴリズムとのマッチングがとれない。よって開発期間が長くなるとともに、試作回数が増え、開発費用が増大する等の問題がある。

これらの問題を解決するために、従来の関係部署間の直列的な業務の流れをデータ共有によるコンカレントな開発体制に変更することにより、開発初期の企画・設計段階での品質の作り込み(フロントローディング: 図-4⁵⁾)を行う。このような業務の流れを開発プロセスとして図-1(b)に示す。本開発プロセスを可能にする主要な要素技術は三次元CADによる設計、CADデータを基にしたFEMモデルの作成およびFEM振動予測法などの設計支援ツール

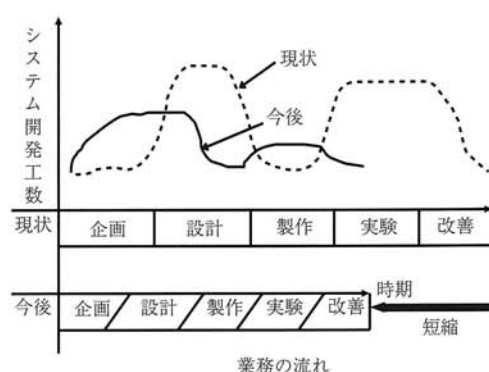


図-4 現状と今後のシステム開発リードタイム図
Fig.4 Lead time of current and future development

である。次に、これらの設計支援ツールとしての要素技術について述べる。

3. 設計支援ツールの開発

今回開発したシステムは、三次元設計データを基に図面作成段階で構造体の周波数応答関数を計算し、構造仕様を満足しているか判定できるので必要な補強等を初版図面から折り込むことが可能である。また衝突振動加速度が加速度センサにどのように伝達されるかを計算することで、衝突判定アルゴリズム開発に利用することが可能である。

3. 1 三次元CAD設計・FEMモデリング

設計者が限られた時間内でFEM解析をこなす事は、現状の二次元設計後FEM用三次元モデルを作るCADシステム(図-5(a))では困難である。また時間が取れたと仮定しても、三次元モデルを作ることは設計者にかなりの負担が掛ってしまう。そこで設計者が違和感無く三次元CADシステム(図-5(b))を活用出来るように三次元CAD機種選定・標準ライブラリの登録・FEMモデルの標準化をした。その内容を下記に示す。

- ①顧客取り付けデータが共通使用できるシステムの選択。
- ②三次元CADのワイヤーフレーム・サーフェスデータが現有FEM解析システムと互換性があるシステムの選択。
- ③二次元ドラフティング作業効率アップのための標準ライブラリ(図面枠、注記、共通部品の登録)の作成。

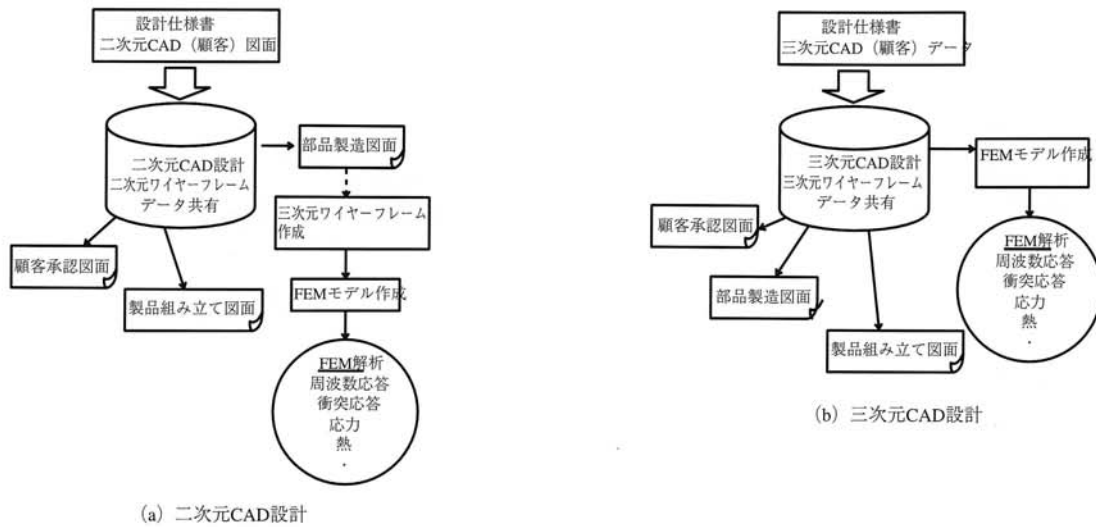


図-5 CAD設計システム
Fig.5 Computer aided design system

④三次元CADデータを半自動にIGESフォーマットに変換しFEM解析ワークステーションに転送するソフトの作成。

⑤部品間結合部をFEMモデルの標準化。

社内のシステム間のデータ互換性のみならず、設計の最上流である顧客から提供して頂けるデータを活用出来るようになった。これは車両への取付基本設計データが含まれており、設計者は必要な補強構造・本体ケースとの組合せのみ考えれば設計が完了する。三次元データが完成すると二次元図面内に形状が自動的にレイアウトでき、詳細寸法等を追加するだけで完成する。即ち現在設計作業で最も時間が掛かっているところを顧客データでカバー出来たことになりFEMモデリング作成時間が捻出された。

3. 2 FEM振動予測法の開発

設計者が安定したFEM解析精度を確保するためにモデル作成の標準化をしなければならない。ここでは、標準化するための検証法・結果について説明する。

3. 2. 1 FEM力学モデル概要

FEM解析ソフトウェアは、等方性材料で部品単体の振動解析では、部品形状に関係無く実用レベルの計算精度が得られるのが現状である。しかし複数部品を組合せた製品単位で解析すると、その適切なモデル化が計算精度を左右する。今回特に注目したのは、板金部品間のスポット溶接部モデル化であった。この溶接部は当初、図-6(a)のように溶接部をソリッド要素、板金部をシェル要素(材料物性値：鉄)でモデル化した。そのFEM解析結果と

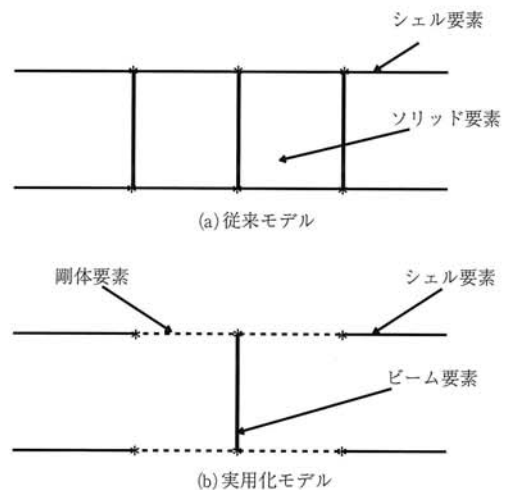
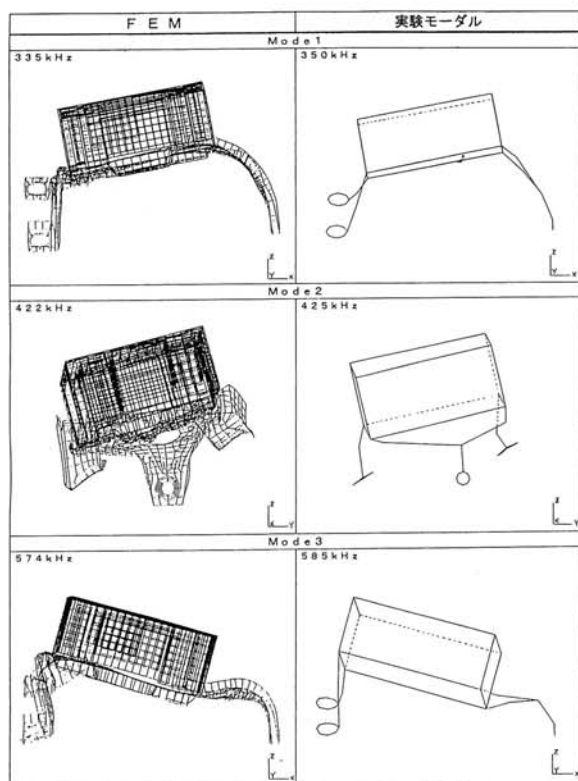


図-6 スポット溶接FEMモデル
Fig.6 Spot welding FEM model

実機実験結果を比較すると1次モードの周波数が低く、かつ2次モード以上になると次数・モードシェイプの関係の順序が逆転する現象が起こった。実験結果より曲げ変形のモードシェイプであることが判った。これは、溶接部を介して回転変位が直接伝達されにくいモデルになっていることが原因と考えられた。そこで溶接部をビーム要素、周囲の板金部を剛体要素で表現するモデル(図-6(b))を採用した。このモデルは、剛体要素の部分の剛性は当然考慮出来ないが、全6自由度の変位の連続性は保たれ、溶接部の剛性も軸・せん断・曲げ・ねじりの全成分が考慮出来るものである。

表-1 エアバッグECUのモードシェイプ



3. 2. 2 FEM計算

完成したFEMモデルを使い振動モード、加速度センサ取り付け部の周波数応答関数を計算する。計算結果はそれぞれ表-1、図-11に示す。表-1はFEMモード解析と実験モデル解析の1～3次モードのモードシェイプとそれぞれの共振周波数である。図-11はFEM応答解析と実験応答解析結果を横軸に周波数0～1kHz、縦軸に加速度応答ゲイン・位相で示したボード線図である。

3. 2. 3 実験検証の役割

実験検証は現実事象を力学的に把握するための重要なプロセスであり、この実験解析データを基にFEMモデル化技術の検証を行い、FEMモデリングにフィードバック出来る。ここでは、実験検証方法について詳しく述べる。

a) インパルスハンマ加振実験解析

図-7に加振実験の状況を示す。ECUを治具に固定し車両取り付け状態を擬似的に再現する。インパルスハンマでECUケースの1点を加振する。インパルスハンマの加振力と測定ポイントの応答加速度を測定することで、それぞれの測定ポイントの周波数応答関数を得ることが出来る。ECUの共振周波数とそのモードシェイプはモデルパラメータ法を使うことで確定出来る。図-8に周波数

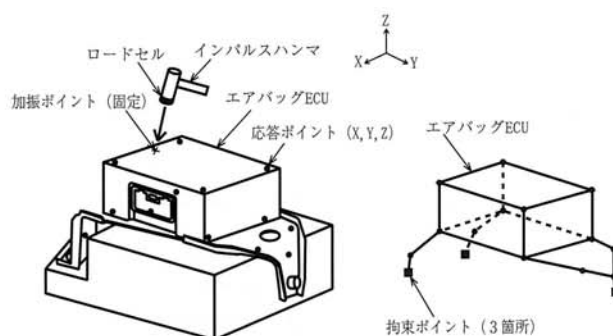


図-7 インパルス加振実験

Fig.7 Configuration of the impulse excitation test

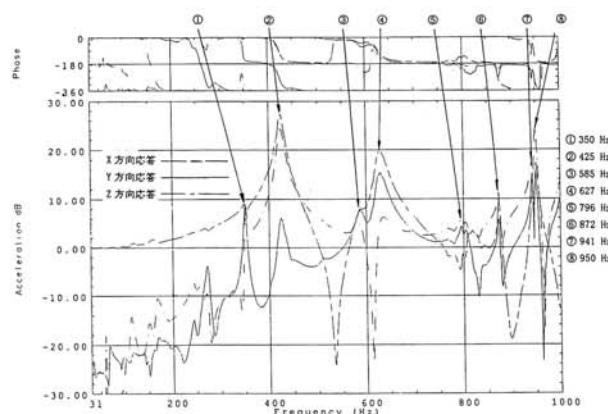


図-8 周波数応答関数

Fig.8 Measured frequency response function

応答関数の一例を示す。この関数のピークと位相からこのECUは共振振動モードを8個持つことを示している。共振周波数、モードシェイプの詳細を前掲の表-1に記す(4次以上のモードはケース内部振動のため、今回の測定ポイントでは正確に表現出来ないので省略する)。

b) サインスイープ加振実験

図-9に加振実験の状況を示す。インパルスハンマ加振実験と同様にECUを治具に固定する。この治具を加振テーブルに固定しサイン波形を入力信号として10～1kHz迄周波数スイープ加振を行う。治具に取付けた加速度センサと測定ポイントの応答加速度を測定することで、それぞれの測定ポイントの周波数応答関数を得ることが出来る。図-10に治具からGセンサ取り付け部の周波数応答関数を示す。各共振周波数のゲインを決定する減衰比は、この周波数応答関数にカーブフィットをかけることで求めることが出来る。

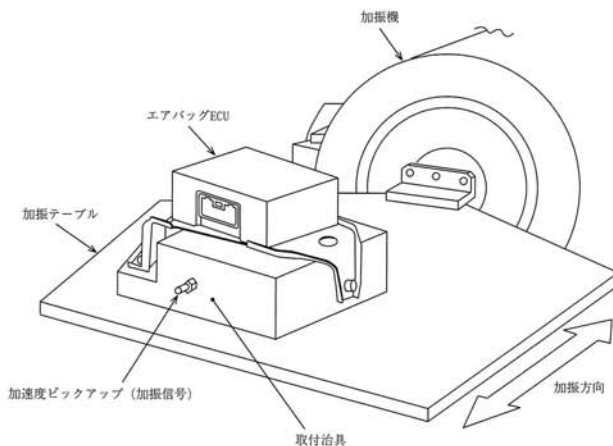


図-9 サインスイープ加振実験

Fig.9 Configuration of the sine sweep excitation test

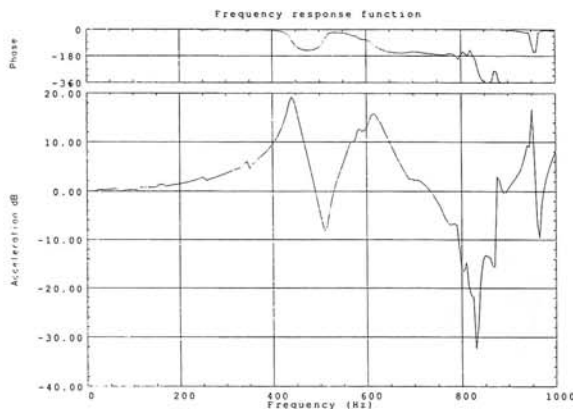


図-10 Gセンサー部周波数応答関数

Fig.10 Measured frequency response function at acceleration sensor

3. 2. 4 FEM解析能力の検証

FEM解析と実験解析で求めたモードシェイプ・共振周波数、周波数応答関数を比較してモデルの完成度を確認する。以下に示すFEM解析値は完成したモデルの結果である。

a) モードシェイプ・共振周波数比較

前掲の表-1にFEM解析と実験解析で求めたモードシェイプ・共振周波数を示す。これらの結果を比較すると、FEM解析でこのECUの振動現象を極めて高いレベルで予測することが出来る。

b) 周波数応答関数比較

FEM解析と実験解析で求めた周波数応答関数を前記の図-11に示す。各共振周波数の加速度のゲイン、反共振部の加速度ゲインまで計算出来ていることがよく分かる。

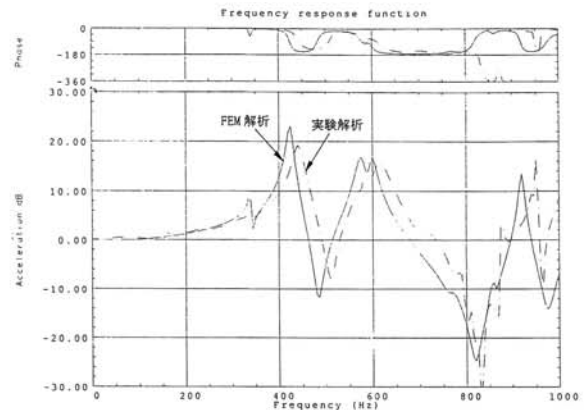


図-11 エアバッグECUの周波数応答関数

Fig.11 Frequency response function of airbag ECU

4. 開発プロセスの評価

エアバッグECUを例として予想効果を述べる。

4. 1 品質の早期安定（開発期間の短縮）・開発費削減

試作段階から三次元モデルで開発を進めることは、シミュレーションを行うことにより理論上最適な形状を導き、製図、試作品製作、試作品実験確認回数を1度で終えることが可能になる。これで図-1(a)の後戻りの仕事を繰り返すために必要な日数を約80%削減できる。また試作品を製作するのに必要な簡易金型費・加工費を約50%削減することが可能となる。

4. 2 今後の展開

以上の結果得られた設計・開発プロセスを活用し性能評価をタイムリーに行い、量産構造設計に役立てる。

4. 2. 1 量産設計（サイドエアバッグECU）への導入

顧客データを受け取るルールも確立されたので現在開発が進んでいるサイドエアバッグECUより適用を開始した。実際量産設計で今回開発したプロセスを運用し、更なる操作性改善を加えてゆく。

4. 2. 2 技術蓄積の継続

今回のFEM解析技術開発において、顧客の構造仕様をクリア出来ているか判断することが出来るまで解析精度が向上したので、新規ECUから実施し解析の信頼性を当面確認する。また衝突応答波形を直接アルゴリズム開発に活用するには、今より高い振動モード次数まで解析精度を維持しなければならないことが分かった。具体的にはプリント基板振動が関係するモードを精度よく計算する必要がある。これを実現するには、①実験モールドデータをFEM解析に組み込んだ応答計算②複合材料のモデル化、のいずれかを検討することが考えられる。前者は

現在あるシステムを活用することで可能であることが分かったのでこの技術を応用し解析精度が向上するか確認して行く。

5. まとめ

今回の開発でエアバッグシミュレータの全ての機能がほぼ当初の目標レベルまで確立できたと考える。すなわち以下の成果が得られた。

- 図面作成段階で構造体の周波数応答関数の予測。
- 衝突応答波形のアルゴリズム開発への応用。
- 三次元CADシステムの環境整備とFEM解析システムとの連携。

参考文献

- 1) 勝又一郎：航空機エンジンの国際共同開発とCADデータの交換
日本機械学会誌、Vol.94、No.868、pp.236-241(1991-3)
- 2) 田島映久、藤田敏文、平原誠：B777開発におけるコンカレント・エンジニアリング
'94 第32回飛行機シンポジウム講演論文集、日本航空宇宙学会、pp.181-184(1994)
- 3) 松本司：777設計でのCADシステムの適用について
第31回飛行機シンポジウム講演論文集、日本航空宇宙学会、pp.138-181(1993)
- 4) 高橋浩幸：エアバッグの現状と将来
TOYOTA Technical Review, Vol.46 No.2 Nov.pp.32-37(1996)
- 5) 内藤正、森田光昭、大友政人、延時正明、脇山春通：
部品工場における製造の生産準備支援システムの開発
自動車技術、Vol.51 No.2、pp.76図-5 (1997)

筆者紹介

吉川 和男(よしかわ かずお)



1964年株式会社トヨタ中央研究所入社。以来自動車用エンジン・駆動系の振動に関する研究に従事。工学博士現在機械力学研究室に在籍。

森田 真児(もりた しんじ)



1985年入社。車載用ECUの量産構造設計担当後、FEM構造解析に従事。現在モータロニクス本部開発部第二開発課在籍。

高橋 信哉(たかはし しんや)



1994年入社。以来Gセンサ、エアバッグ開発に従事。現在モータロニクス本部開発部制御実験課在籍。

小西 博之(こにし ひろゆき)



1980年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在、モータロニクス本部第二技術部第22技術課在籍。

斗納 宏敏(とのお ひろとし)



1979年入社。以来自動車用電子制御機器の開発に従事。現在モータロニクス本部開発部第三開発課長。