

FMM設計要素展開と予測ツールによる設計精度の向上

アイシン精機株式会社

○ 山崎 洋明¹⁾

花村 和男²⁾

1. はじめに

近年の車両開発動向は、市場ニーズを喚起するために新製品開発が活発に展開され、開発期間短縮、品質や信頼性の確保が重要な課題になっている。実際の開発活動においては、開発期間短縮、およびこれに伴う試作型レスにより、やり直しのチャンスが少なく、一発合格（性能達成）が要求されている。従って、開発の初期段階にて設計品質目標を達成できる構造の提案が必要となる。

本報は、自動車のドアフレームの開発において、目標剛性を満足する構造（設計要素）を選定し、簡易予測ツールを開発し、実業務での開発初期段階の設計精度向上をはかった事例である。方法論としては、新たにFMM（故障モードメカニズム：Failure Mode Mechanism）^{*1, *2)}の視点に立った設計要素展開による主要要因の選定方法を見出し、これに基づき重回帰分析を活用した最適な構造を提案できる簡易予測ツールを開発したので報告する。

2. 背景

自動車産業（含む部品事業）は規模事業であり、早い時期に良い商品を出し、シェアを確保した企業が収益を上げられる。しかし、市場のトレンドは、市場ニーズの多様化、製品ライフサイクルの短縮化であり、新製品を短期間に立ち上げ市場投入しなければ売れない。

そこで、1997年以降、開発着手から量産開始までの、いわゆる、開発期間を短縮する活動が進められている。この活動としては、計画および図面の質向上、型製作期間の短縮、開発費の削減、設備投資の削減、品質の革新などをねらいに、開発プロセスの革新、コンカレント開発体制の実現などが展開されている。

これまでの開発・生産準備の実態は、設計・試作・生産準備の各ステップで問題を摘出・解決し、円滑な立ち上げをはかっている。これは、開発・設計上のトラブルが後のステップで発生しても挽回できる、開発のやり直し体質とも言える。

従って、短期間に良い製品を早く開発し市場に出すためには、開発のやり直し体質をなくすこと、言い換えれば、開発の初期段階から品質をつくり込み、トラブルの未然防止を図ることが求められ、事前解析ツールの確立による設計精度の向上が必要となっている。（図1）

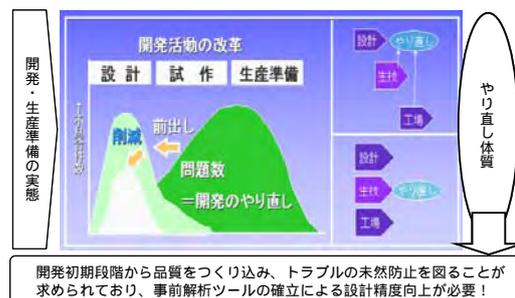


図1 開発期間短縮の課題

1) アイシン精機（株） 技術開発部門 車体系技術部 外装グループ 主任 山崎洋明
〒448-8650 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 TEL. 0566-24-9658 FAX. 0566-24-9094

2) アイシン精機（株） 経営管理部門 TQM・PM推進室 主査 花村和男
〒448-8650 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 TEL. 0566-24-8474 FAX. 0566-24-8816

3. 研究テーマとねらい

自動車のドアフレームは、自動車のサイドドアの上半分を指すドアガラス枠である。ドアフレームの主な機能は、ガラス昇降ガイド、意匠性、シール機能であり、開発初期段階では、シール機能の確保に非常に高難度な設計技術を必要とする。

このシール機能の確保とは、走行時に吸い出されによるW/S（ウインド・シールド）のシールアウトを防止できるフレーム剛性の確保である。また、ドアフレーム設計技術のポイントは、フレーム剛性と、品質・コスト・生産性とのバランスの取り方にあり、設計者の経験および固有技術に依存している。（図2）

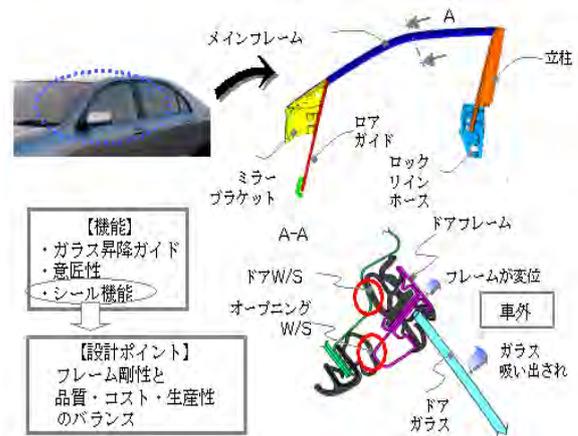


図2 ドアフレームの概要と機能と設計ポイント

開発期間を短縮する方法として、ドアフレームのように前モデルと類似した製品を開発する場合には、試作回数を低減する試作レス活動が展開されている。そのため、やり直しのチャンスが少なく、一発合格（性能達成）が要求されており、開発の初期段階においてフレーム剛性を達成できる構造の提案が必要である。

そこで、自動車のドアフレームの開発において、実業務での開発初期段階の設計精度向上をねらいに、「フレーム剛性簡易予測ツールの開発」の研究を行った。

4. 研究の指針とアプローチ

4.1 研究の指針

今回取り上げたような類似製品の開発において、従来は試作で発生していた問題を潰し込んでいたものを、試作を行わずに予測し潰し込んでいくためには、過去の開発で得られたノウハウ（既存の設計資料、および既存のデータ）を十分活用することが不可欠である。これについては、幸いにも研究対象では収集できていたので活用した。

また、開発の初期段階から品質をつくり込み、トラブルの未然防止をはかるためには、トラブルの事前解析に使われる手法の有効活用が必要である。ここでは、主要要因の選定において、鄭、飯塚らにより提案されたFMEAの再構築としてのFMMの研究結果を反映した。また、予測モデル式の算出において、重回帰分析を活用した。

4.2 アプローチ

前述の指針のように、ノウハウ、およびトラブルの事前解析に使われるツールの有効活用を基本に、つぎの2項目を重点に研究を進めた。

- (1) 既存の設計資料の徹底的活用と新たにFMM（故障モードメカニズム）の視点に立った設計要素展開による主要要因の選定
- (2) 既存データの最大限活用とし重回帰分析を活用した簡易予測式の確立と確認

図3に研究のアプローチを示す。

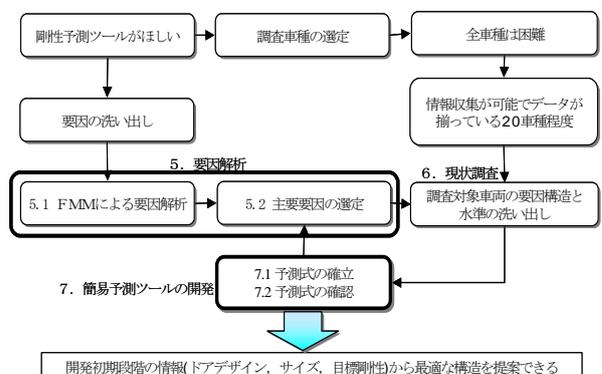


図3 研究のアプローチ

5. 要因解析

「フレーム剛性簡易予測ツールの開発」においては、フレーム剛性に関する抜け落ちのない設計要素展開により主要要因を選定しなければならない。そのためには、フレーム剛性に関する故障モードの予測が必要である。

鄭、飯塚らによれば、故障に関する知識には、一般的知識（特性、制約、故障モード）とその他の知識（個人・組織の技術ノウハウ、直感など）のモデルが考えられる。また、予測の際に起こる抜け落ちの原因は、一般的知識に属する①対象の把握・理解不十分、②制約の考慮不足、③故障発生メカニズムの不明確な場合に生ずると報告している。

今回のケースでは、対象および制約については、既存の設計資料に裏付けられた個人・組織の技術ノウハウが存在する。しかし、故障するまでのメカニズムが明らかにされておらず、それを整理していない。

そこで、鄭、飯塚らにより提案されたFMM図（図4）を参考に、FMMの視点に立った設計要素展開による主要要因の選定を行った。

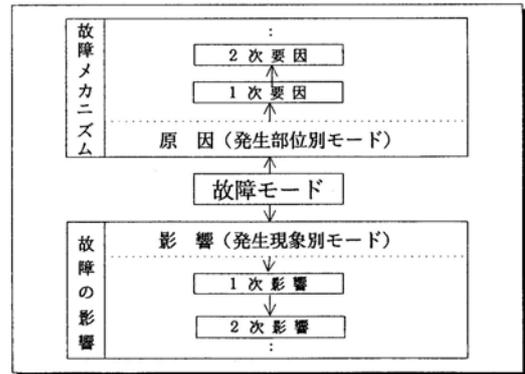


図4 FMM図の形式

5.1 FMMによる要因解析

図4に示すように、FMM図は、故障モードを中心に要因系と結果系に分け、その連鎖を階層的に表している。要因系は故障メカニズム（発生部位別モード）を、結果系は故障の影響（発現現象別モード）を連鎖的に追跡している。

今回のケースでは、故障モードをフレーム剛性不足として展開する。しかし、この図を作成した場合に、結果系に対する原因系（ここでは設計要素）を連鎖することができなかった。

そこで、FMM的考え方で、マトリックス図法を活用した設計要素展開を試みた。（図5左側）

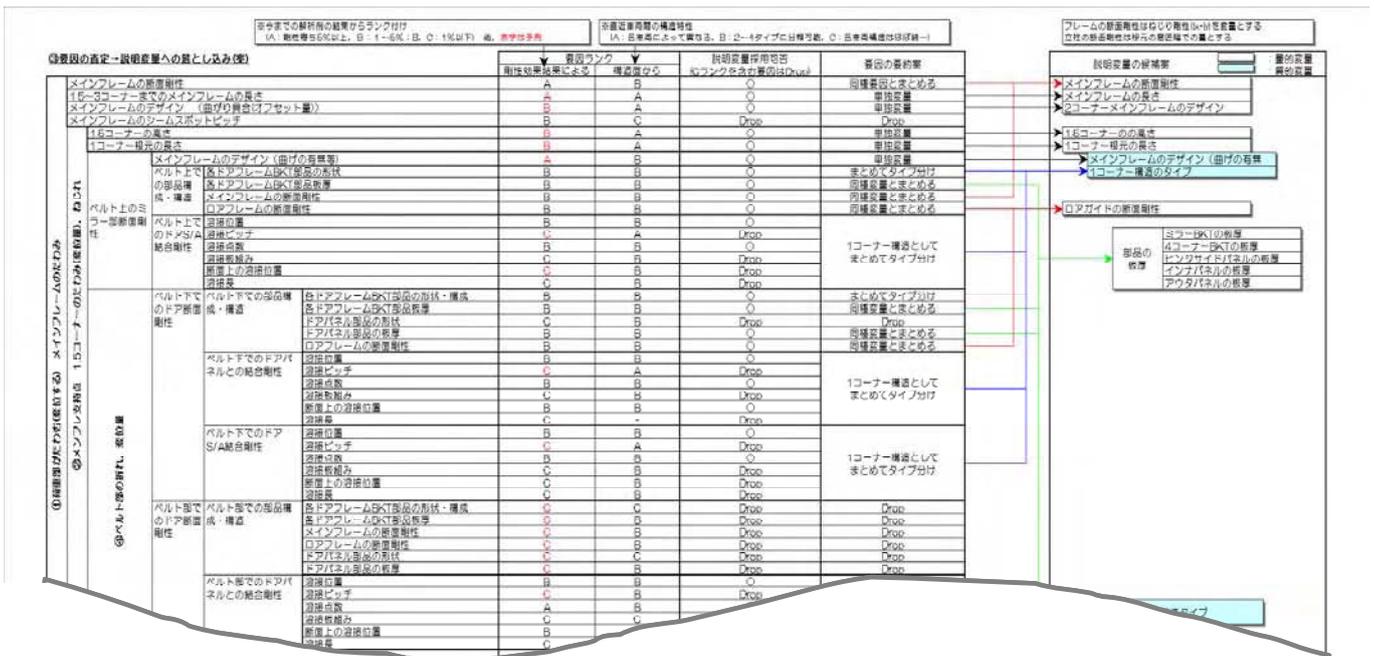


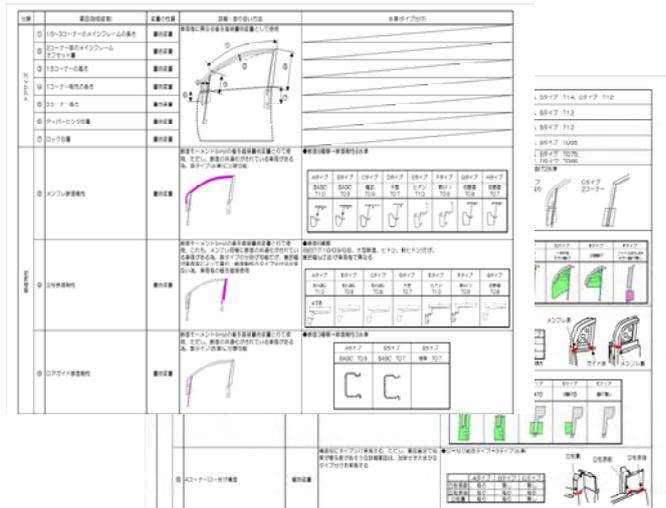
図5 FMM図の形式

5.2 主要要因の選定

主要要因の選定においては、つぎのように要因を査定し、説明変量への落とし込みをした。

- (1) 今までの解析例の結果から要因のランク付け
- (2) 説明変量の採用可否決定
- (3) 要因の要約案の整理
- (4) 説明変量（因子）の候補案の選定

その結果、全 20 因子を抽出することができた。（図5右側）

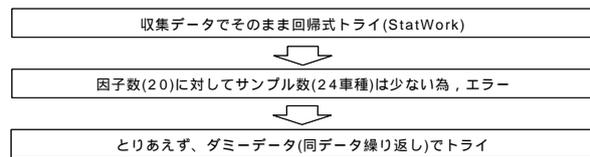


6. 現状調査

主要要因の選定により絞り込んだ因子に対し、調査車両の要因構造と水準（タイプ）分けをし、24 車種のデータを収集した。

（図6）

図6 要因構造と水準（タイプ）分け



7. 簡易予測ツールの開発

前述の収集データを基に、重回帰分析による予測式を確立し、最適な構造を提案できる簡易予測ツールの開発を試みた。

7.1 予測式の確立

(1) 重回帰分析トライ／生データ

収集したデータそのまま重回帰分析をトライした結果、自由度調整済寄与率は 98% と高いが、設計の勘所である構造因子を加味できないことや、明らかにおかしい係数が確認できた。

これはデータ解析上での問題（多重共線性、変数の非線形性および非正規性）であると判断した。（図7）

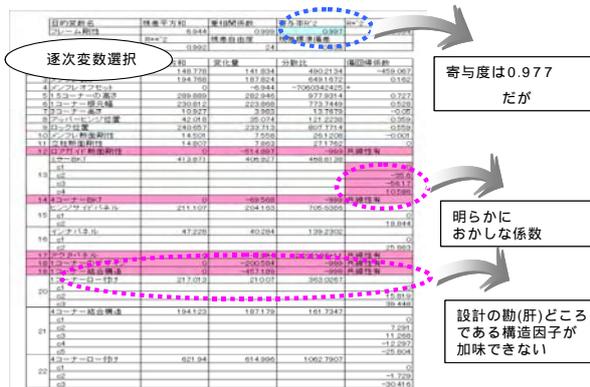


図7 重回帰分析トライ／生データ

共線性を引き起こす相関の強い因子同士の統合
既存の評価結果を再度見直し、寄与度の小さい因子をドロップ
断面因子の水準が多い
断面水準の増加の要因である、旧車両サンプルをドロップ

(2) 重回帰分析トライ／因子・水準のスリム化

そこで、データチェック（多変量連関図、および相関係数行列）を行い、多重共線性を引き起こす相関の強い因子同士の統合、寄与度の小さい要因の削除、特定因子の水準数の縮小化を行った。

結果、全 14 因子、サンプル数 18 にスリム化した。（図8）



図8 重回帰分析トライ／因子・水準のスリム化

(3) 重回帰分析トライ／サンプル数の補充

スリム化しても生データでのトライ結果と同様な現象となったため、サンプル数を 15 補強し 33 とした。(図9)

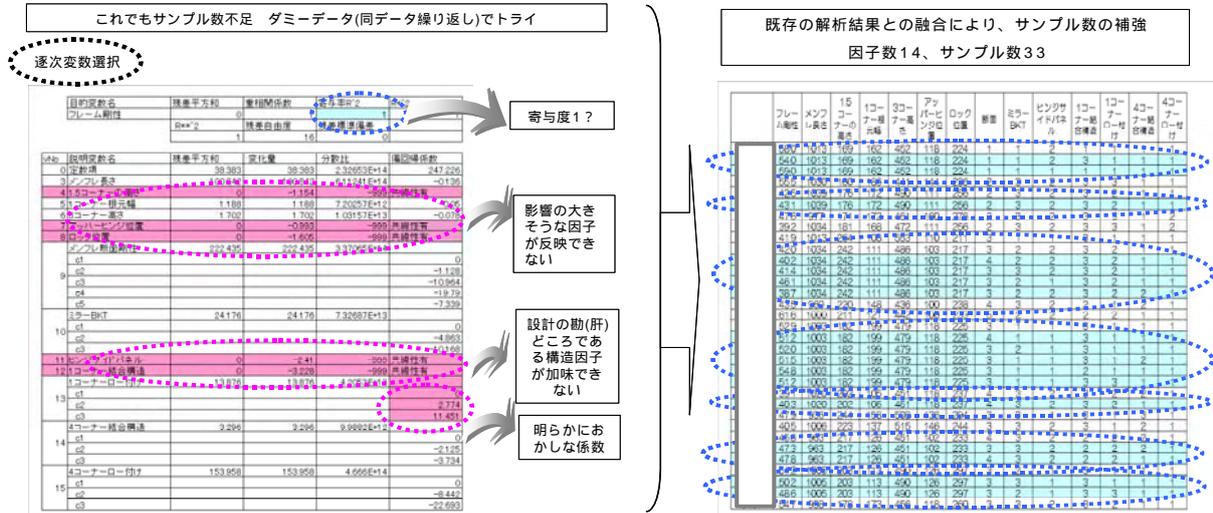


図9 重回帰分析トライ／サンプル数の補充

(4) 重回帰分析トライ／変数変換

さらに、フレーム剛性の力学式を参考に、変数変換を実施し、全13因子とした。(図10)

(5) 重回帰分析トライ／予測式の確立

変数変換後のトライ結果、2因子は明らかにおかしい係数で改善されないため削除した。(図11左側)

最終的に全11因子、サンプル数33で重回帰分析の結果、自由度調整済寄与率96%の予測式を得ることができた。(図11右側)

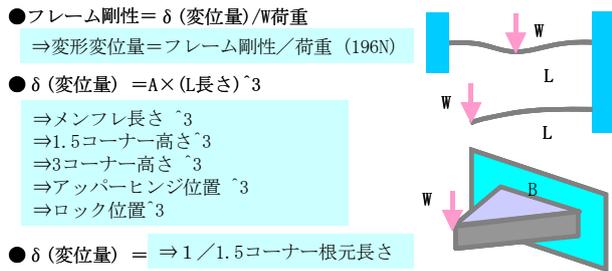


図10 重回帰分析トライ／変数変換



図11 重回帰分析トライ／予測式の確立

7.2 予測式の確認

予測式を基に、新車種で確認した結果、95%信区間内には合致していると考えられる成果が得られた。(図12)

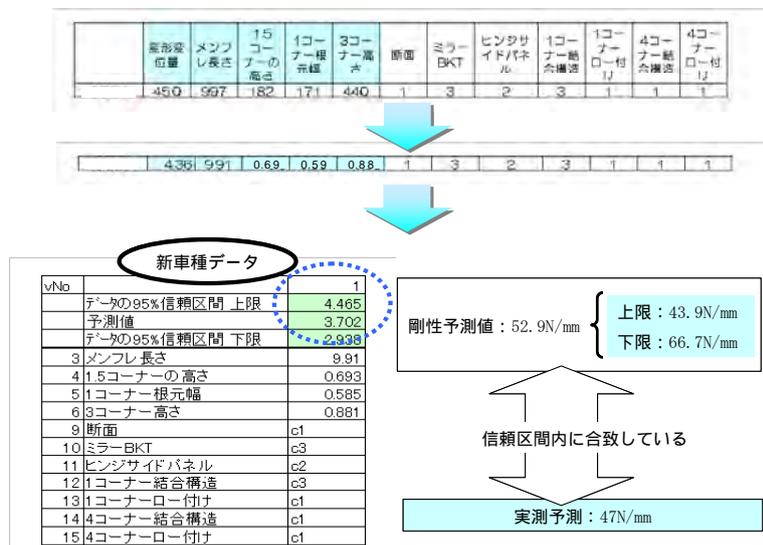


図12 予測式の確認

8. まとめ

- (1) 主要要因を抽出する方法として、既存の設計資料を徹底的に活用し、その際FMMに関する研究成果を反映した結果、故障モードに対して結果系と原因系を連鎖するマトリクス図によるきめ細かい設計要素展開の方法を見出せた。
- (2) 既存のデータおよび重回帰分析のやり方を駆使し、初期設計段階における構造選定水準を入力項目としたフレーム剛性簡易予測ツールを確立できた。
- (3) 今後は、随時開発車両データの吸い上げ、データベースの充実による予測式精度向上（信頼区間の幅を縮小化）をはかる。

【参考文献】

- 1) 鄭敬勳、飯塚悦功：「連想」および「階層」概念の導入による効果的な故障モード予測，品質，Vol. 26. No. 4
- 2) 鄭敬勳、飯塚悦功：FMM図の作成による故障モードの効果的な原因および影響解析，品質，Vol. 27. No. 4

掲載されている著作物の著作権については，制作した当事者に帰属します。

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず，本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は，公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>