

自動車開発のための仮想製品概念と運用 (機械力学, 計測, 自動制御)

角田, 鎮男 / HIRAMATSU, Shigeki / SUMIDA, Shizuo /
NAGAMATSU, Akio / 平松, 繁喜 / 長松, 昭男

(出版者 / Publisher)
社団法人日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)
日本機械学会論文集. C編

(号 / Number)
678

(開始ページ / Start Page)
356

(終了ページ / End Page)
363

(発行年 / Year)
2003-02-25

自動車開発のための仮想製品の概念と運用*

長松昭男*¹, 角田鎮男*², 平松繁喜*³

Concept and Use of Virtual Product for Automobile Development

Akio NAGAMATU*⁴, Shizuo SUMIDA and Shigeki HIRAMATU*⁴Department of Mechanical Engineering, Hosei University,
3 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8584 Japan

Concept and use of virtual product are presented for next age fully computer integrated development of automobile. Functional model based on a new modeling approach proposed by the authors is presented for constructing virtual product. Obstruction factors against computer integration of automobile development are mentioned. A concept of virtual product is introduced as means for eliminating them. Structural content and construction method of virtual product is explained. As an application example, 10・15 modes virtual running test is illustrated using virtual product proposed by the authors.

Key Words: Modeling, CAE, Automobile Development, Virtual Product, Functional Model

1. まえがき

近年の自動車業界では、グローバル情報化を背景にした熾烈を極める世界規模の生存競争に勝ち残るために、自動車の開発を、製品、技術、業務を含めて丸ごとコンピュータ内に再現する仮想開発⁽¹⁾を構築し、それを核にして開発活動を同時並行的かつ組織横断的に進める動きがある⁽²⁾。

仮想開発を実現するためには、まず製品を仮想化する必要がある。製品の仮想化には、企画段階での顧客満足度の予測と検討、設計段階での機能・構造の解析と最適化、試作段階での開発目標検証と性能調整を、コンピュータ上で統一的に実行できる、製品モデルが必要になる。この要求を満足するモデル化手法は、著者らの知る限りでは現存しない。

著者らは、これを実現するためのモデル化に関する研究を進めてきた。すなわち、新しいモデル化手法とそれを具体化した機能モデルを提案し⁽³⁾、それを展開・統合する方法⁽⁴⁾と非線形系のモデル化方法⁽⁵⁾を示し、クラッチとブレーキ⁽⁶⁾および遊星歯車⁽⁷⁾の機能表現に適用し、パワートレインの機能を展開し⁽⁸⁾、それに基づいてエンジン⁽⁹⁾と駆動伝達系⁽¹⁰⁾の機能モデルを作成した。

著者らは、これらの研究に基づく仮想製品を構築

し、自動車メーカーの開発現場に展開しつつある。その過程で、仮想製品をうまく現場に導入し実用成果を上げるためには、基礎となるモデル化手法のみでなくシステムの構成と運用に関しても新しい概念が必要であることが、次第に明らかになった。そこで本論文ではそれらを紹介する。まず、製品開発に必要なモデル化手法の要点を挙げ、従来手法の問題点を示し、著者らが提案したモデル化手法でそれを解決できることを述べる。次に、現在の自動車開発に対する阻害要因を示し、それを解決する手段として仮想製品が必要であることを述べる。そして、仮想製品の概念・構成・運用方法を提示し、それを実現するための開発のあり方を論ずる。続いて、現場への適用事例として、10・15モード走行の仮想試験を示す。

2. 製品開発のためのモデル化

2・1 製品のモデル化への要求事項 製品開発に必要なモデル化の事項を述べる。

- (1) 各専門分野の法則や理論を共通化できる原理、規則、表現方法で製品をモデル化できること。例えば、エネルギーが熱、流体、電気、運動、ひずみ等の形態間を縦横に変化し移動するエンジンを統合してモデル化できること。
- (2) 開発現場が有し製品・部品に適用されている理論・技術・ノウハウ・データを体系化して組み込めること。例えば、様々な非線形系を共通の手法でモデル化でき、かつ実験式・特性線図などをモデルに導入できること。
- (3) 製品の部品構成に沿ってモデルの展開と統合がで

* 原稿受付 2002年1月28日。

¹ 正員、法政大学工学部(☎184-8584 小金井市梶野町3-7-2)。² 正員、キャテック(株)(☎111-0053 東京都台東区浅草橋5-16-3)。³ 正員、マツダ(株)(☎730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1)。

E-mail: nagamatu@k.hosei.ac.jp

き、かつモデル上で他部品の機能に影響を与えない方法で部品交換ができること。

(4) 構造や形状が明らかでない製品・部品を、その要求機能に沿ってモデル化できること。例えば、企画段階で顧客要求機能を実体の構造・形状・寸法に囚われないでモデル化できること。

2・2 従来手法の問題点 これらの要求事項に対し、構造モデル、CAD モデル、FEM モデル、機構モデルなどの従来のモデル化手法には、次のような難点がある。

(1) 全部品の構造・形状・寸法が決まって初めて製品全体のモデル化ができ、機能・性能の解析・検討が可能になるので、要求される機能・性能を構造・形状・寸法に具体化していくにつれて、全体から部分へ、製品から部品へと詳細化が進む設計開発の進行とは、逆行する。

(2) 機械、電気、熱、流体などの専門分野毎にモデル化手法が異なるので、分野を超えた統一のモデル化が困難である。

(3) 基本的には線形理論に基づいており、現場で扱う非線形問題、統計データ、回帰式、実験式、特性線図などとはかい離している。

2・3 機能モデルの提案 著者らは、これらの問題を解決するための新しいモデル化手法を提唱し、それを具体化する機能モデルを提案した。その詳細説明は本論文の主目的ではないので文献⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾に譲り、上記に対応する点だけを述べる。

機能モデルは、実機構成に対応する階層を形成し、上位から下位への機能分解、同水準での機能展開、下位から上位への機能統合ができる。また各水準に位置する部品モデルは、他部品に影響を与えることなく入子式で交換できる。

まず流用部品を除いて形状・寸法が決まらない企画段階では、類似部品のモデル変更や未定部品の推定特性を挿入して製品のモデルを作り、要求機能を上位から下位に割り付ける。次に設計段階では、下位部品に与えられた機能を実現するための構造・形状・寸法を、CAD や FEM など従来のモデル化手法を用いて具体化する。下位部品の形状・寸法が決まれば、それから算出した該当部品の特性で推定特性を置き換えて部品機能モデルを作り変え、上位へ統合することによって、製品全体の機能を再現する。下位部品において与えられた機能を満足する形状・寸法が決まらなければ、機能割付をやり直す。これをモデル上で繰り返すことによって、全部品の形状・寸法を具体化しながら、最適な機能構成を決定する。

機能モデルは、専門分野を超えて共通化された状態量と特性の定義を採用し、また入出力が標準化されているから、異なる専門のモデルを容易に結合し統合できる。そして、異分野間のエネルギーの変換・移動、状態量の推移、特性の機能を統合して表現できる。

機能モデルは、エネルギーの変換と流れを表現する全体部分と、それを構成する特性や係数の中身を表現する局部分に分かれる。前者は、線形系を基本とし、エネルギー原理で分野間を共通化するダイナミクスで筋を通す。後者は、前者に内在する各種非線形現象、各専門分野特有の法則とメカニズムに基づく現象、現場データを元にした特性線図、実験式などからなる。後者は、一旦前者とは独立にモデル化され、その後前者に入子式で挿入される形でモデルが構成される。したがって、全体のモデル構成を変えることなく、状態量や環境に依存する特性値の導入や入替が容易にできる。

上記の問題は、従来モデルを破棄し機能モデルに置き換える形ではなく、従来モデルを機能モデルに組み込む形で併用し、両者を使い分け相互補完することによって初めて解決でき、仮想製品の構築が可能になる。

3. 開発の阻害要因と解決方法

3・1 阻害要因 自動車は、企画・設計・試作・量産試作の過程で、幾重にも渡る解析・試験・検討・評価による顧客満足度の検証が行われる。これらの拠所となる、開発プロセス全体にわたる目標や妥当性は、図1に示す品質機能展開(QFD)⁽¹⁾⁽¹²⁾などを中心に展開されている。

同図において、左上が抽象化された最上位の目標であり、その実現手段が次の目標になりさらにそれが次の手段を決める形で、右下に向かって展開される。この展開の各段階から、左下に向かってコスト・工数・期間などの経営資源上の内容と問題が、また右上に向かって性

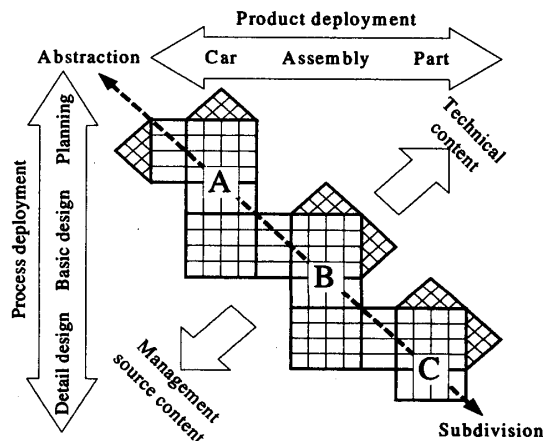


Fig.1 Concept of quality functional deployment (QFD)

能・信頼性・構造・形状などの技術的内容と問題が明らかにされ、検討の対象になる。

次世代 CAE に不可欠な開発の仮想化を視野に入れるとき、この QFD による開発の展開には以下の限界が浮上してくる。

まず QFD では、これまでの設計・試験で得られた事実とデータを元にした経験則に基づき、人の英知と勘に頼って製品の全体から部分までを推定しながら、開発プロセスを統計的手段によって展開している。このように、QFD は過去を拠所としているので、新製品開発への適用には自ずと限界がある。

次に開発プロセス全体は、経営面で一貫性と網羅性を取ることを主目的として管理されている。そして技術的内容は、課題毎にまた専門分野別に QFD の中に脈絡無しにばらばらに組み込まれて寸断されている。このように QFD では、経営的内容と技術的内容を未整理のまま混在させており、工学・技術面から見た製品全体の筋

通しがなされていない。

これら QFD の問題を図 1 とは視点を変えて表現したのが、図 2 の上・中部である。すなわち、専門分野毎に異なる法則・理論に基づく工学・技術をばらばらなまま、図 2 中部の左から右の開発業務に直接持ち込んでいる。同時に、図 2 上部に中部左の工学を未整理のまま混入させ、経営情報と不規則に混在させたままで QFD とし、これを唯一の統合ツールとして製品を開発している。この現状のまま開発を仮想化することは、いかに進んだ CAD・CAE システムを用いても困難である。

3・2 解決方法 これを解決するには、まず技術情報を個別に脈絡なく経営情報と開発業務の中に混入させることを避ける必要がある。すなわち、図 2 中部横方向の矢印と中部から上部への矢印を廃する(×印)。こうすれば、技術情報が経営資源や製品原価などから切り分けられる形で、図 2 上部から一旦消える。次に、中部左のばらばらな工学を見直して整理し、物理単位系を超えて共通化したダイナミクスによって統合する(図 2 下部)。そしてこれに基づいて、自動車開発に必要な製品のモデル化を行い、仮想製品とする。このように経営情報で筋を通した製品展開から技術情報を一旦独立させた上で仮想製品を構築して、再び図 2 上部左の QFD に連結し、同時に仮想製品を核にして図 2 中部右の開発業務を整理する。

図 3 は、このようにして作成した仮想製品の開発プロセスにおける位置付けを示す。図 3 において、左が図 1 の QFD、中央が製品から部品に展開された階層型仮想製品、右が同じく製品から部品に展開された実製品である。まだ実体が存在しない企画・設計段階では、QFD と仮想製品を関係付けることにより仮想試験を実施して、展開の水準毎に目標の妥当性・整合性・実現性を企画検証し、ネック技術を洗い出して解決方法を検討する。一方試作試験段階では、統合の水準毎に実機と仮想製品を関係付けながら半仮想で試験を実施し、モデルを同定し実体検証しながら、製品目標検証、性能調整、不具合対策の実行と効果確認を行う。

企画と設計の段階ではまだ実体が存在しないから、従来は QFD による製品から部品への演繹展開しかできなかった。一方試作試験の段階では、実体の積上げによる部品から製品への帰納統合が可能である。従来はこのような思考過程が異なる両者を目標別にばらばらに結び付けて物を作っていた。すなわち、過去に基づく予測しかできない QFD を用いて企画・設計し、試作後に初めて試験し検証していた。このように実体を試作して初めて経営効率や性能の目標未達を明らかにできる検

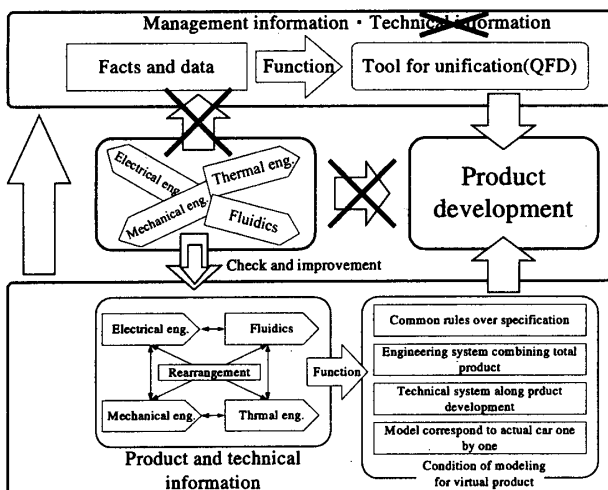


Fig.2 Relation between product development and engineering

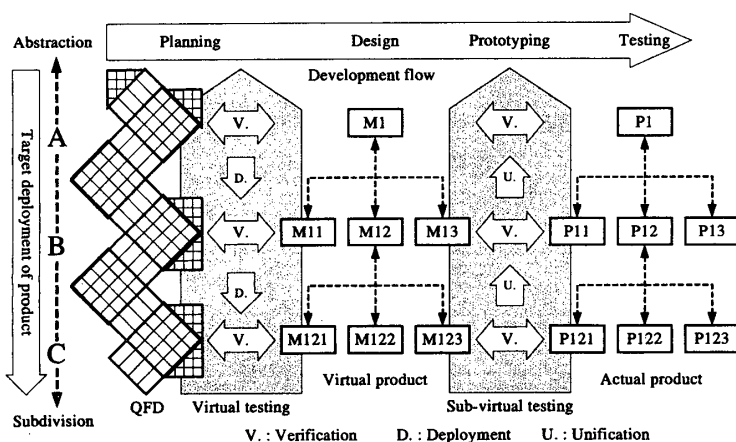


Fig.3 Relation between virtual product and testing

証方法では、個々の目標毎に予測・検証・対策の循環を多重かつ無相関に繰り返さざるを得ない。また、相反する技術的問題間の調整、経営面と技術面の同時最適化、目標の実現度などを、物が無い企画段階から定量化して詰めることが困難であった。図3のように、演繹展開と帰納統合が同時に実行できる仮想製品を中央に置き、これを介して左のQFDと右の実体を関連付けることにより、この問題を解決する可能性が生まれる。

4. 仮想製品による開発

4-1 機能部品と車種の開発 自動車は、エンジン・駆動系・足回り・操舵系などの機能部品と車体フレームから成るプラットフォーム、およびアッパーボディに大別できる。両者は、技術的な難易度と重要度、開発の期間と頻度、開発費と投入工数、共通化、参画企業の種類や数などの相違から、開発方法が異なる。まず前者は、ライフサイクルが長い代りに開発に膨大な費用と長期間を必要とするから、共通化により費用を削減し既開発部品を組み込むことにより期間を短縮する。一方後者は、多様な市場要求に即応し短いライフサイクルに適応するために、多車種化における開発費削減と期間短縮が中心課題となる。ここでは、前者を機能部品開発、後者を車種開発と呼ぶ。

4-2 開発の方法 このように性格が異なる部分が混在する自動車の仮想開発実現のためには、図4のように両者をうまく関連付ける必要がある。図4の左が機能部品開発、右が車種開発であり、両者共に上部が実体、下部が仮想である。

図4に示す開発方法は、以下の通りである。まず仮想製品を使って機能部品を開発しながら、その仮想部品自体の質を向上させておく。全機能部品を開発し終わると、それらを組み合わせて仮想プラットフォームを作成する。これと並行して、車種開発で必要となる試験装置と

評価手法をモデル化し、工学的検証と試作品による同定を行っておく。また、車種開発で問題を起こしそうな懸念点を洗い出し、それへの対応に留意して機能部品をモデル化しておく。例えば、クラッチジャダーや変速ショックが起きそうであれば、その関連部品に対する現象解析用の詳細モデルを作っておく。

次に車種開発段階では、設計の流れに沿って次第に具体化していく車両特性を導入した仮想試験装置に、機能部品開発で得られた仮想プラットフォームを組み込んだ状態で仮想試験を行う。これにより、エンジン・変速機などの制御系・構造・機構を、車種毎の要求仕様に沿って更新する際に必要な性能調整の許容範囲、諸特性の変動範囲、感度などを明らかにし、代表的な1車種についてのみ、実試作車を用いて結果の妥当性を検証しておく。派生車群については、これによりモデルは検証済みとして、仮想試験で実機試験を代行しながら、車種開発を進める。

車種開発終了時に、得られたデータ・技術・ノウハウを仮想製品に組み込むことによって、モデルを整備・更新し、次の開発に展開していく。従来は、開発時に得られた知見を次期開発に活用できる形で蓄積する方法があまりなく、多くは死蔵されるか捨てられていた。仮想製品の導入によってこの問題が解決でき、QS9000の要求事項である継続的改善のループが機能して、開発業務の進行に伴い自動的に技術蓄積と技術力向上が図れる。

4-3 開発の手順 機能部品開発の手順は以下のようなになる。

- (1) 企画したベース車や機能部品の新機能を洗い出し、その機能モデルを作成し、既存の仮想製品に付加する。工学理論に沿ってモデル化できない場合には、従来部品のデータによる回帰モデルなどを組み込む。
- (2) 機能モデルの妥当性を定性的に検証する。理論検討できる部分については工学的な裏付けを与える。そうでない部分は、パラメータを振って求めた感度を用いて、妥当な結果が得られる範囲を調べる。
- (3) 既存の類似機能部品を用いた同定と機能再現性の定量的検討を行うことによって、既存品に対するモデルの妥当性を検証する。
- (4) 定性的に検証した開発対象機能部品の特性や係数について、最終試作品の機能・性能を仮想製品上で定量的に検討する。
- (5) 最終試作品を作成し、その性能と特性の妥当性を確認する。もしその性能が不十分であれば、実機を対策すると共に問題の原因を明らかにし、それに基づいてモデル側も対策しておく。

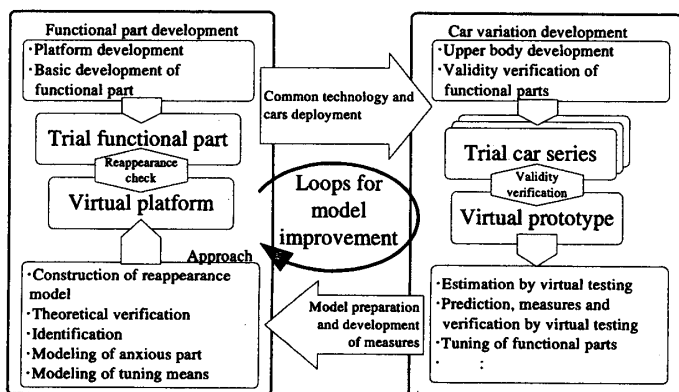


Fig.4 Connection of functional part development with car variation development

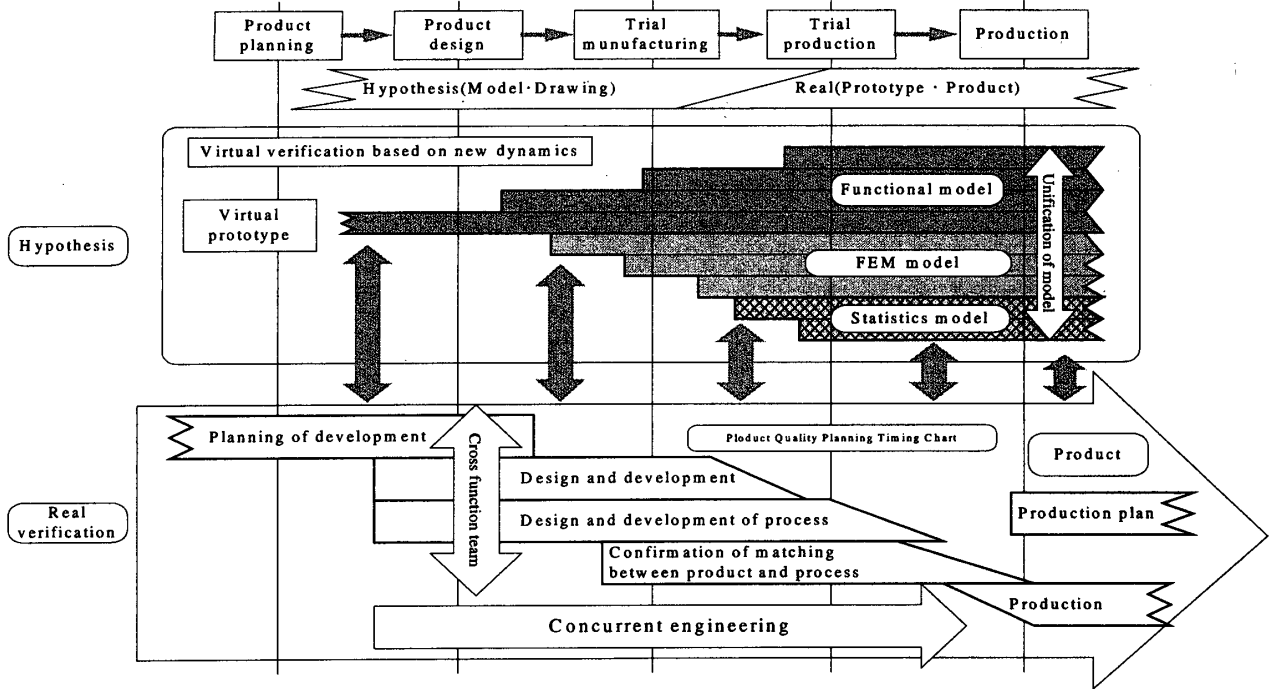


Fig.5 Outline of car variation development according to QS9000

図5は QS9000 の要求に沿った車種開発の概要である。図5上段は企画から量産開始までの基本プロセスであり、下段はその進め方の詳細を示す。下段から明らかのように QS9000 では、自動車の開発、生産、サービスなどを同時並行かつ組織横断で行うように規定されている。これを現状より効果的に実現するためには仮想製品が必要であり、そのモデル展開構成を中段に示す。

車種開発の手順は以下ようになる。

- (1) 企画段階では、機能部品開発で得られた仮想製品の上位階層に、市場から要求される品質・性能などの製品目標を組み込み、目標モデルとする。
- (2) 設計段階では、目標モデルから割り付けられた対象部品の品質・性能を実現するための設計の内容と結果をモデル化して、仮想製品の低位階層に組み込む。そして、プラットフォームが共通である車種シリーズのうち代表的な1車種について、設計結果が目標モデルを満足するまでモデル上で機能部品の調整を行った後に、それを試作し、実機試験でモデルを検証しておく。そうすれば、他のすべての派生車種に対する設計目標は、このモデルを用いて仮想で検証できる。このようにこの仮想製品は、実機試験と同一条件で行う仮想試験によって、設計目標の実現手段を再現し検証できる設計モデルとなる。なお設計段階で対象となる構造については、形状・寸法が決まった段階で、有限要素法などの従来の構造解析モデルを仮想製品に組み込んでいく。
- (3) 実験評価段階では、試作車または試作部品が製品目標・設計目標を満たすか否かについて、性能はシミュ

レーションで、機能・特性は同定で確認する。ただし耐久性・信頼性・官能に関しては、評価判定値と物理特性を関連付ける方法がまだ不明確なので、仮想試験が困難であり、検証は実機試験によらざるを得ない。

- (4) 設計や実験評価の過程で発見される不具合に対しては、原因部品の詳細モデルを設計モデルに組み込み、対策の効果と製品全体への影響を検討する。詳細モデルが組み込まれたこの仮想機能部品を、流用する全派生車に展開すれば、不具合現象の再現と対策効果の確認が全車種に対して行え、再発を防止できる。

5. 仮想製品の構築と運用

5-1 仮想製品のモデル構成

図6に仮想製品のモデル構成を示す。仮想製品の中核は、エネルギーの全体的な流れと変換を表わし、線形を基本とし、工学の各分野を共通化する規則で表現される、機能モデルである。機能モデルを構成する特性や係数の多くは、機

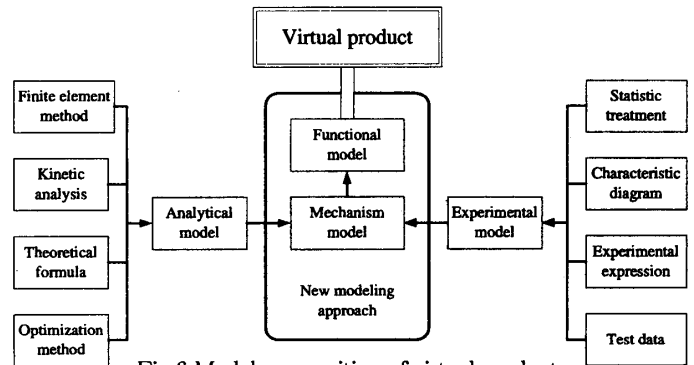


Fig.6 Model composition of virtual product

能モデル内の状態量や環境条件に依存し、時々刻々変化する非線形系である。これらは、各専門分野特有の法則と現象に支配されるので、機構モデルとして機能モデルから一旦切り離してモデル化した後に、入子式に機能モデルに挿入する。機構モデルは、分野毎の支配法則が明らかな場合、既存の工学が適用可能な場合、設計段階で対象の構造や形状が決まっている場合には、有限要素法、機構解析法、理論式、最適化法などを用いた解析モデルになる。一方、支配法則が明らかでない場合、企画段階で構造や形状が未定の場合、試作段階で事実に基づく同定が可能な場合、信頼できる過去の蓄積データが存在する場合などには、統計処理、特性曲線、実験式、試験データなどを用いた実験モデルになる。図6のように、機構モデルを使い分け組み替える構成により、同一の仮想製品を企画、設計、試作の全開発段階を通して用いることが可能になる。

図6中央の太線内が、本論文で提案する仮想製品の中核部分である。従来はこの部分が存在しなかったために、仮想製品として技術の筋を通すことができず、専門分野毎に異なる様々な理論、技術、手法、蓄積データを、図2中部の左から右への矢印のように、個別の課題毎にばらばらなままで、開発業務に脈絡なく直接持ち込まざるをえなかった。

5・2 仮想製品の構築 仮想製品は、実機開発に先んじて完成される従来の解析モデルとは異なり、図7のように、機能部品開発における実機の作込みと一体となって構築され、車種開発で実用されながら改善されていく。まず図7左は上から機能モデルを構築していく過程であり、上記機能部品開発手順の(1)～(3)と同一である。これが終了した段階では、機能モデル自体は完成しているが、目的とする車との対応がまだ付いていない。次に図7右は、下から機能モデルを仮想試験として実用しながら改善し、目的車固有の仮想

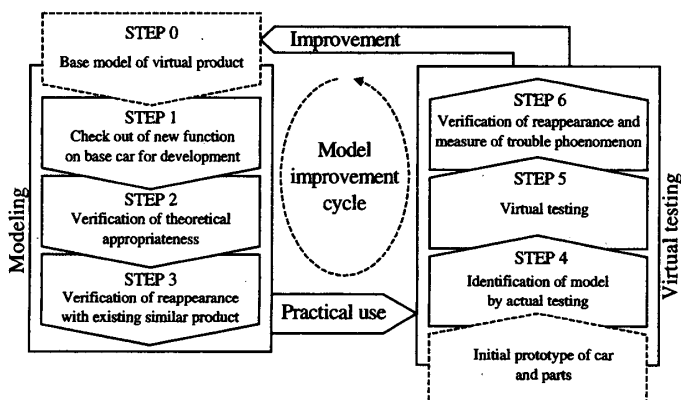


Fig.7 Process for construction and improvement of virtual product

製品に仕上げていく過程であり、上記車種開発の手順をモデル側から見たものである。

5・3 仮想製品の運用 仮想製品(図3中央の柱)の特徴は、図8のように、同一モデルを開発の各段階で異なる目的に使い分けできることにある。これは、仮想製品の中核となる機能モデルが2.3節のような特徴を有することに起因する。ただし、機能モデルの下部に包含される機構モデルは、図6のように、開発の段階や目的によって組み替えられる。

図8左の企画段階では製品の目標展開を行う。このとき用いる仮想製品は、QFD(図3右の柱)と協調させることにより、工学・技術を経営面に反映させて生かす目標モデルである。したがって、機構モデルの多くは過去の蓄積データに基づく統計モデル、目標特性、推定特性からなる。このときの目標検証は、当然図3左の仮想試験で行う。

図8中央の設計段階では、企画で展開した目標の実現手段を具体化し最適化する。このときの仮想製品は、設計の妥当性を検証するために用いられる。そして機構モデルは、機能・性能の定量的検討ができるように詳細化されると共に、企画段階の統計モデルから、次第に明らかになる構造の有限要素モデルなどの工学モデルへと置き換えられていく。このときの試験も原則として仮想(図3左)であるが、ネック部品や開発注力部品については、事前試作品や他機種の類似部品を用いて、実機試験による検証を行っておく。

図8右の試作段階では、設計で具体化した目標の達成度を検証する。このときの仮想製品は、性能調整や不具合対策に用いられる。そして機構モデルはさらに詳細化され、理論的な合せ込みが難しい細部については、再び試作品を元にした統計モデルや実験式などを追加することにより、実機との対応を確実にしていく。このときの試験は、図3右のように仮想と実体(図3右の柱)を混

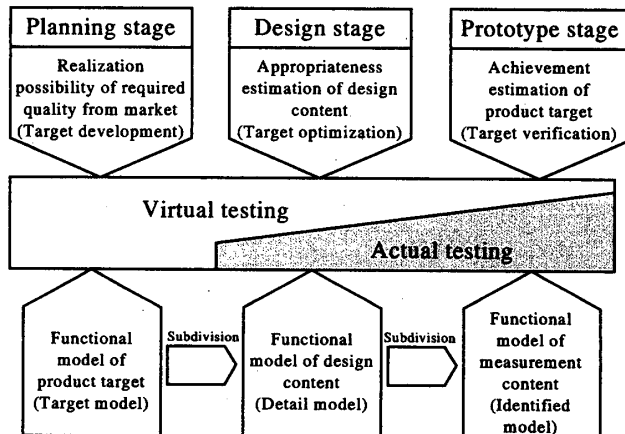


Fig.8 Testing with virtual product in development stages

在させる半仮想になる。

6. 仮想10・15モード走行試験

国内規格に基づく小型AT車の10・15モード走行試験(10モード3回+15モード1回)を、仮想製品を用いて行った事例を示す。仮想試験において出力する評価データは、機能モデル側で113チャンネル、制御モデル側で1260チャンネルである。試験時間は、実機試験で13分、パーソナルコンピュータによる仮想試験で5分弱である。仮想試験の燃費精度は、実機試験からの誤差2%未満である。

図9は、使用した仮想製品のモデル構成であり、水準4としてはトルクコンバータ、自動変速機、ブレーキモデル、タイヤモデルを用いた。ドライバーモデルは、目標車速に沿って行う実ドライバーの運転操作を仮想ドライバーで行うモデルである。ドライバーモデルには、実際にドライバーが運転した操作データでモデルを操作する方法と、目標車速などの運転規格以外はすべてドライバーモデルで自立的に操作する方法の、2種類に分けられる。前者は、仮想試験結果が対象ドライバーの実車運転試験結果と一致し、ドライバーの個人差がすべて再現できる反面、実機が必要なため、実験段階以後でないと実行できない。後者は、仮想のドライバーが運転するから、実車運転試験とは細部に違いが生じるが、走行燃費などの全体的な性能は、局所的な相違が相殺し合って精度にあまり影響しない。後者が本当の意味の仮想試験であり、企画から試作までの全開発段階で実行できる。実験段階では、まず前者で仮想試験して、燃費改善などに関して問題の有無を調べ、問題があれば主な原因を究明する。次に後者で仮想試験し、原因を詳細に調べて対策する。本論文は後者の結果である。

図10は、使用した車両機能モデルの概略図である。

図11と12は仮想試験結果の例である。これらの結果は10モード試験の後半と15モード試験を続いて実行したものである。また、図12下段を除いては、規格(目標車速)、実車試験結果、仮想試験結果の3本の線を重ね書きしてある。

図11上段は車速であり、仮想試験では規格目標速度に沿って忠実に走行した例である。また実機データは、規格許容誤差の2%以内に入るように走行している。図11中段はアクセル開度である。変速開始点は、実機データと仮想試験でアクセル操作と車速のわずかな差による影響を受けている。この違いは、ドライバーがモードパターンに対する車の挙動を予測しながら運転操作を行っているためである。実機データのアクセルワークは、全体的

に急激な操作を控えて滑らかな操作をしている。これに対して仮想試験では、モードに忠実に沿わせるため、機敏なアクセル操作を行っている。仮想試験をドライバーのアクセル操作に沿わせることは、モード規格の誤差範囲とドライバーの反応(応答)を調整すれば可能である。図11下段は2進数表示のギヤー位置である。

図12上段はエンジン回転数、中段はタービン回転数、下段は燃料消費量である。

7. まとめ

自動車の開発に用いる仮想製品の概念・構成・運用に関して、著者らの実用経験を通して、以下の事項が明らかになった。

1. 従来のモデル化手法は製品開発に必要な事項を満たしておらず、これを用いて製品を仮想化することは困難である。
2. 著者らが提案した機能モデルを用いれば、従来モデルの問題点が解決でき、製品の仮想化が可能になる。
3. 製品の仮想化にはまず、従来のように経営面からだけでなく技術面からも、開発を筋通しする必要がある。
4. 仮想製品の中核に機能モデルを置き、それに機構モデル付随させることにより、FEMなどの解析モデルと統計手法などの実験モデルを区別なく仮想製品に融合できる。
5. 仮想製品を用いる自動車開発は、方法と手順が従来とは変わってくる。
6. 機構モデルを入れ替えることによって、企画、設計、試作を通して、同一の仮想製品を目的に応じて使い分け、運用できる。

仮想製品の実用事例として、仮想10・15モード走行試験を紹介した。

参考文献

- (1) Advanced product quality planning team member, quality system requirements, AIAG, 1998.
- (2) D.E.Carter・B.S.Baker,メンタグラフィックジャパン,コンカレントエンジニアリング,日本能率協会マネジメントセンター,1994.
- (3) 長松(昌)・角田・長松(昭),機論,64-622,C(1998),1997-2004.
- (4) 長松(昭)・角田・長松(昌),機論,64-627,C(1998),4216-4223.
- (5) 角田・長松(昌)・長松(昭),機論,65-632,C(1999),1403-1410.

- (6) 角田・平松・長松(昌)・長松(昭),機論,65-635, C(1999),2601-2608.
- (7) 平松・角田・長松(昌)・長松(昭),機論,65-638, C(1999),3926-3933.
- (8) 平松・角田・長松(昭),機論, 65-671,C(2002), 2074-2081.
- (9) 平松・角田・長松(昭), 65-671,C(2002), 2082-2089.
- (10)平松・角田・長松(昭),機論,65-671,C(2002), 2090-2097.
- (11)赤尾・吉澤・新藤,実践的 QFD の活用, 日科技連,1998.
- (12)Don.Clausing,TQD(品質・速度両立の 製品開発),日経 BP 社,1996.

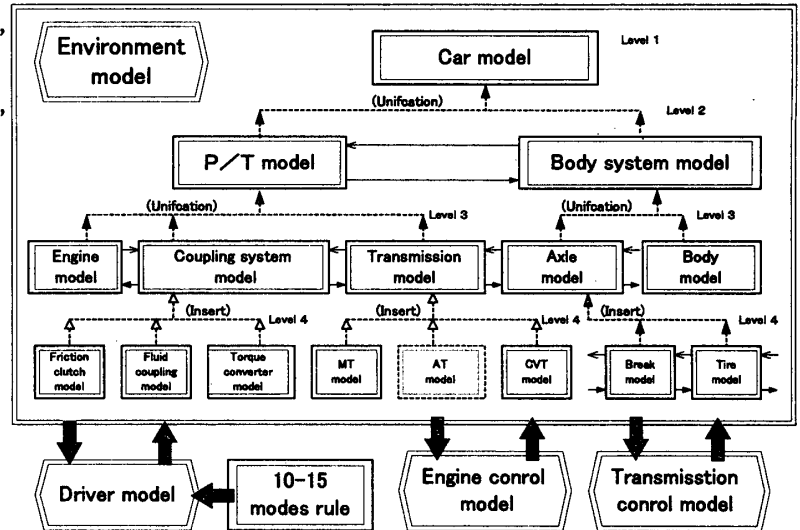


Fig.9 Model composition of virtual product for 10-15 modes virtual running test

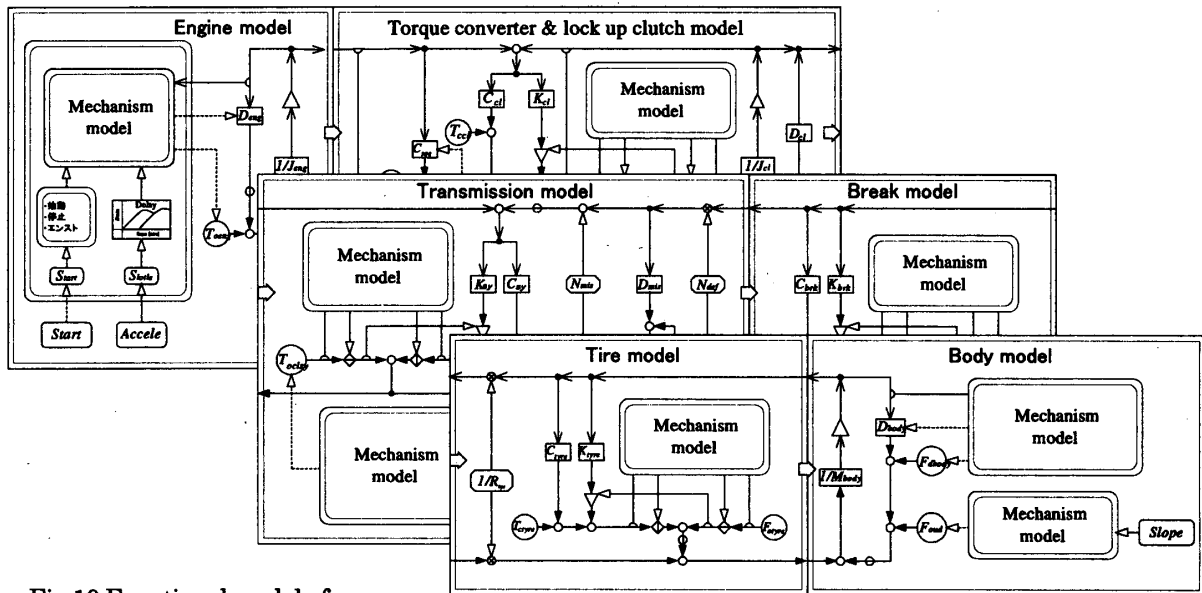


Fig.10 Functional model of car

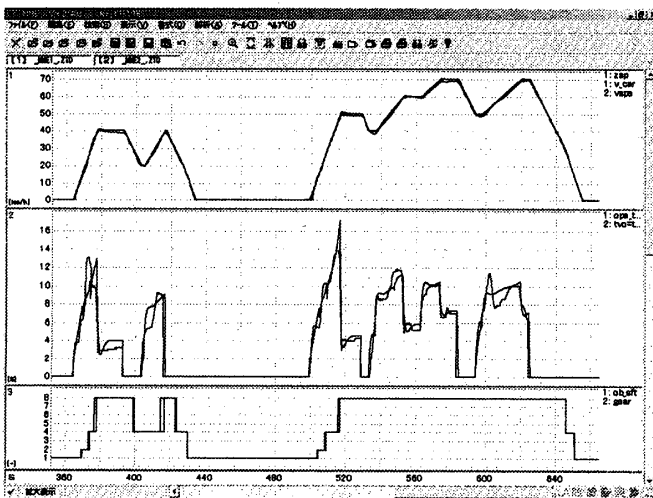


Fig.11 Result of 10 · 15 mode virtual running test 1

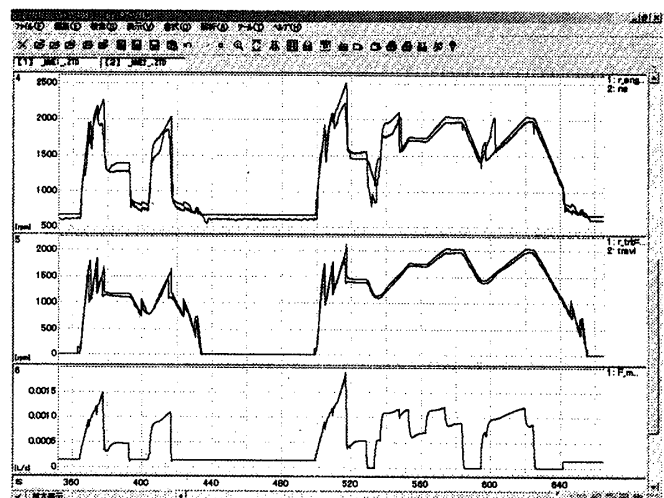


Fig.12 Result of 10 · 15 mode virtual running test 2