

基幹モデルプロセスによる運転性開発の効率化

相澤 淳也*

河住 拓郎**

杉山 光史朗***

抄 録

近年、パワートレインユニットの開発期間を短縮することが求められており、ジヤトコでは Model Based Systems Engineering による開発プロセスの革新を進めている。運転性の目標を達成するための開発において、手戻り減少による開発の短縮化が実現され始めているが、Model Based Systems Engineering の効果を最大限に発揮するために、システム及びサブシステムの設計初期段階で精度の高いモデルによる設計を実現することが必要となる。今回、新たなモデル開発プロセスを導入することで運転性開発の効率向上につなげた。本稿ではその事例を報告する。

1. はじめに

昨今では、Model Based Systems Engineering (以下 MBSE) に対する設計者の認知度が向上し、モデルの活用が増えたことで、設計・試作・実験のサイクルの繰り返しを減らしてきた。

モデルの活用範囲は、開発 V プロセス左バンクのシステムやサブシステム階層の設計領域と右バンクの HILS(Hardware In the Loop System) 等の実物を併用した検証領域にまで、開発 V プロセスの幅広い範囲で活用されてきた (Fig. 1)。

開発短縮化の効果を最大限に発揮するために、要求に応じた精度の確保と開発計画に合わせたモデルの構築が必要である。

本報告では、モデル開発プロセスを新規に作り上げ、モデル構築の効率化とモデル精度を向上した取り組みについて示す。

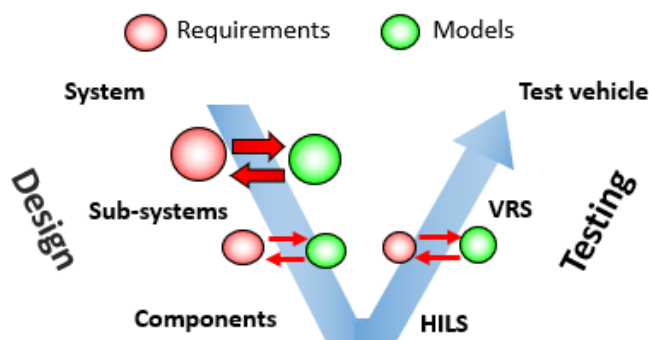


Fig. 1 Model application to V-shaped development process

2. 運転性開発におけるモデル課題

運転性は、車両の加減速や前後進切り替え時においてドライバにとって不快感のない性能を実現するための指標であり、ユニットの商品価値を決める上で重要な設計項目である。

運転性を評価するための運転条件は、車両の走行環境、車速状態、ドライバ操作の組み合わせで多数存在することから、モデルで運転性の設計を実現するためには、高精度で広範囲に検討出来るモデルが設計活用時に必要とされる (Fig. 2)。

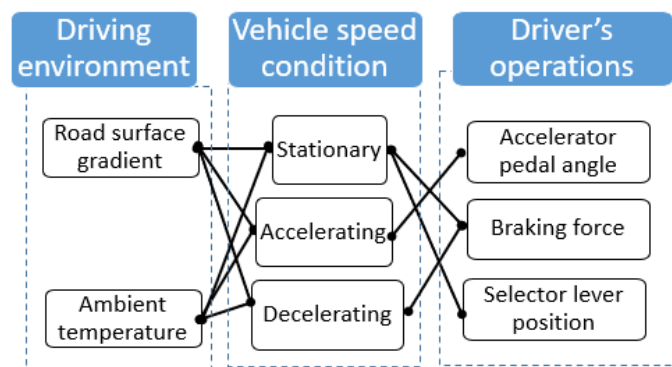


Fig. 2 Combinations of driving conditions

しかし、従来のモデル構築と設計活用では設計精度が十分とは限らず、開発後期で設計の仕様変更が発生していた。

以下にそのモデル構築課題を示す。

2.1 モデル構築工数の増加

これまでのモデル構築は、運転条件ごとに計測した実験結果と同等の精度になることを目指し、各条件に分けてモデル化してきたことから、単一モデルで検討出来る範囲が狭く、性能予測したい運転条件が拡大されるほどモデルの数は増加し続けていた (Table 1)。

Table 1 Modelling according to driving conditions

		Vehicle speed condition		
		Stationary	Accelerating	Decelerating
Accelerator pedal angle	Large	・	Model A	・
	Small	・	Model B	・
Braking force	Strong	Model C	・	Model D
	Weak	・	・	Model E
Selector lever position	D	Model F	・	・
	R	Model G	・	・

モデルを活用した設計検討の過程で部品寸法の変更や機能追加が発生した場合、モデル構成やパラメータの修正が必要となる。

その修正はそれぞれのモデルに発生するため、モデルの増加と共に更新の工数が膨大となっていた。

また、変更情報を共有する際にはモデル構築者と設計者の間で受け渡した情報が個人同士だけの認識にとどまっており社内では共有化されていなかった。

そのため、モデル構築の範囲や設計者が変わるたびにパラメータの変更履歴や詳細内容を人に聞きまわりながら調査し、情報入手先の確認とパラメータの基となる前提条件の認識合わせや回答の待ち時間が発生し、情報の取得に時間がかかっていた。

その結果、モデル構築のための工数が不足し、設計検討時に必要なモデルが十分に確保しきれなかった。

2.2 個別モデル活用による設計精度の低下

モデルの精度を担保するためには、モデルのパラメータ情報を適切に設定しておく必要がある。パラメータは部品の寸法公差や劣化状態、設計要求値と実験値で差が生じ、開発の進行状況で変化する。

ここでも個人間に頼った情報連携により確認の抜け漏れが発生し、検討に適さないパラメータを含む

モデルが存在することで、設計精度の低下につながっていた。

さらに、これまでのモデルはモデル構築者やそれぞれの設計者が個別で作成しており、設計者個々の判断でモデルを選び活用してきた。そのことで検討に適切なモデルの存在が認識出来ず、精度が不足したモデル活用による設計検討となっていた。

以上の課題を解決するために、高精度で効率的なモデル構築のプロセスを導入することとした。

3. 基幹モデルプロセスのコンセプト

ここでモデルのありかたについて考えると、モデルのパラメータや特性が実物の挙動を再現できる範囲の運転条件であれば、モデルを分けずに予測検討が可能である。

しかし、これまでは条件ごとに分けて数多くのモデルを構築しており、ありがたい姿ではなかった。

モデルをシステム全体で定期的に統合し、検討できる範囲を広げながら数を極力減らすことでモデルを更新する工数の低減が狙える。

モデル範囲を広げることにより部品要素が増えるため、これまで検討出来なかった運転条件の拡大につながり、運転性開発全体の設計精度向上になると考え、モデル構築の進むべき方向性とした (Fig. 3)。

このモデルを基幹モデルと位置づけ、運転性の開発全体で活用していくことにした。

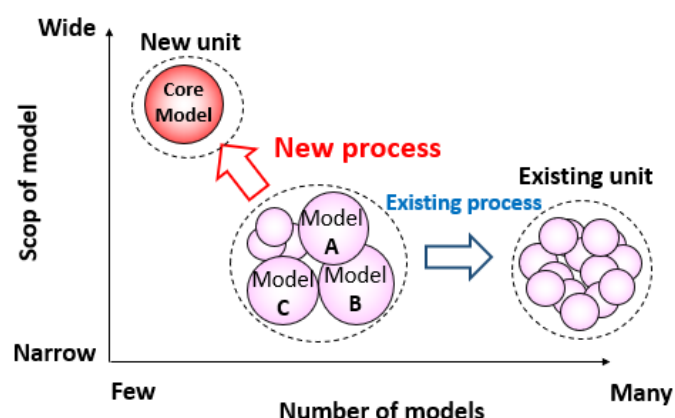


Fig. 3 Direction for model construction

開発の進行に伴って設計の詳細度は高まり、検討条件の変更やパラメータの変化が起こるため、モデル構築者は設計検討後の仕様変更や新たな条件の要求を素早くモデルに反映させ、精度を高めていく必要がある。設計者は更新されたモデルで設計検討し、開発の手戻りを減らしていくことが重要である。

この基幹モデルの活用と更新のサイクルを効率的に行うための新たなプロセスとして基幹モデルプロセスを構築した。

これを実現するための具体的な取り組みを次章に示す。

4. 基幹モデルプロセス実現に向けた方策

4.1 モデルの基準化による精度向上

基幹モデルのコンセプトは、高い精度と広い汎用性を両立するモデルである。

このモデルは設計検討に応じて入出力の応答変化が実物と同等に再現されることが理想であるため、それに必要な要素レベルを定義した (Table 2)。

この定義を基に、統合する個別モデルを選定し、不足している箇所は新たに特性値を取得した。

Table 2 Definitions of model elements

Model scope	LV.1 Linear elements (Map)	LV.2 Nonlinear elements (fundam. eqs.)	LV.3 Nonlinear elements (fundam. eqs. + characteristics)
Hydraulic pressure elements		Pressure Transfer function $P(s)=G(s)\cdot Q(s)$	• Pressure loss in passages • Oil leakage amount • Lack of balance in oil supply volumes
Launch elements		Hydraulic coupling Torque transmission eq. $T=\tau\cdot Ne^2$	• Damping coef. • Volume transient change • Pressure response/balance
Forward/reverse changeover elements		Clutches Torque transmission eq. $T=\mu\cdot R\cdot F$	• Vehicle sensitivity • Pressure response/balance

ドライバの意図に応じて油圧を早く応答させることで、車の変速性能や前後進切り替え時の運転性を向上させることが出来る。

このように、ユニットの運転性全体に大きく寄与するのが油圧要素であり、重点的にモデル改良した。その内容を以下に示す。

油圧システムは、複数のバルブと複雑な形状の油路で構成されている。モデルに考慮すべき非線形要素は、油路の曲がりや絞りによる圧力損失、油路からの油抜け、各部へ供給する油量の収支不足である。

従来は非線形要素を適正にモデル化する明確な基準が定められていなかった。

今回はこれまでの油圧設計と実験による経験則を活かし、圧力損失は基準を超える構造のみモデル化することで、高い精度を保ちながら、不必要な計算負荷を掛けないモデルを構築した (Fig. 4)。

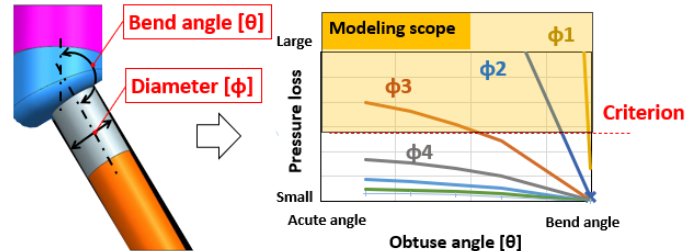


Fig. 4 Standardization of hydraulic pressure model

部品間の隙間による油の抜けや分岐が複数ある油路においては、精度よく予測するために 3D 流体解析を実施し、特性値を正確に導いた (Fig. 5)。

得られた非線形要素の特性値をシステム全体の 1D モデルに反映し精度向上に繋げた。

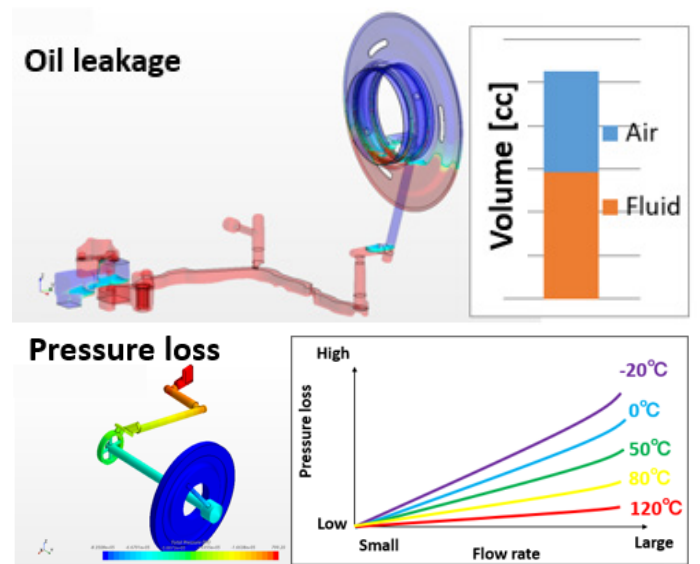


Fig. 5 Characteristics obtained by 3D CFD simulation

4.2 基幹モデルプロセスによるモデル構築工数削減

2.1 章で述べた情報収集時に発生する時間を低減するためには、モデルのパラメータ情報を容易に見付け出す必要がある。そこで基幹モデルに設定されているパラメータ全てをリスト化し、一つの定型フォー

マットを作り上げた。

モデル構築者はこのフォーマットにモデルの構成要素やパラメータ情報を詳細に記述することで、設計者はモデルに必要な情報を認識しやすくなった。

設計者はパラメータの変更があった場合は、その情報を主体的に共有することで、双方の問い合わせと回答の回数を減らし効率的な情報連携を可能とした。

これらの方策がどれも欠けることなく実行するために、モデルに関わる開発者の役割と受け渡すべきドキュメントの内容を明確にした (Fig. 6)。

この基幹モデルを進化させながら継続的に設計精度を向上していくプロセスを開発プロジェクトに適用した。

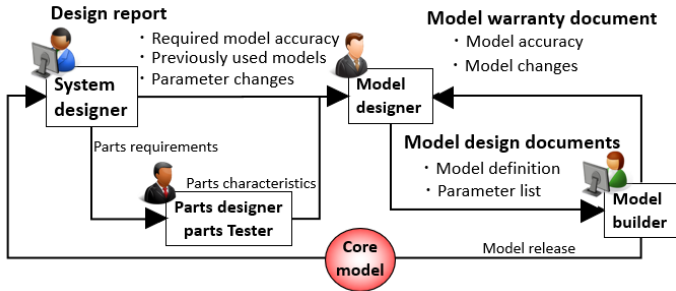


Fig. 6 Core model process

5. 基幹モデルプロセス適用の効果

運転性を実現するためのユニット機能は、クラッチによる前後進の切り替え、加減速に必要なプーリの変速、トルクコンバータのロックアップ等があり、それぞれについて基幹モデルを活用しモデル設計を実施した。

特に従来の開発で後期に設計変更が発生していた前後進切り替え時の性能について、重点的にモデルを活用していくこととし、その事例を以下に示す。

前後進切り替え時の性能は、セレクト操作後からタイヤに駆動力が発生するまでの時間 (以下 ラグ) と、クラッチ締結時におけるトルク変動の二つの指標で評価しており、トレードオフ関係にある双方を同時に低減することが求められている。

その成立性を設計するためには、クラッチの締結と解放機能を持つピストンの移動量と締結時のトル

ク変化を予測する必要がある。

ラグへの寄与が高い要素として油路の穴 (以下 オリフィス) があり、ピストンを移動させるための油の流入量を抑える機能をもつ (Fig. 7)。

クラッチ締結時におけるトルク変動への寄与が高い部品要素として皿バネ (以下 Dish) の剛性があり、ピストンの押し付け力に応じた反作用の力をもつ。

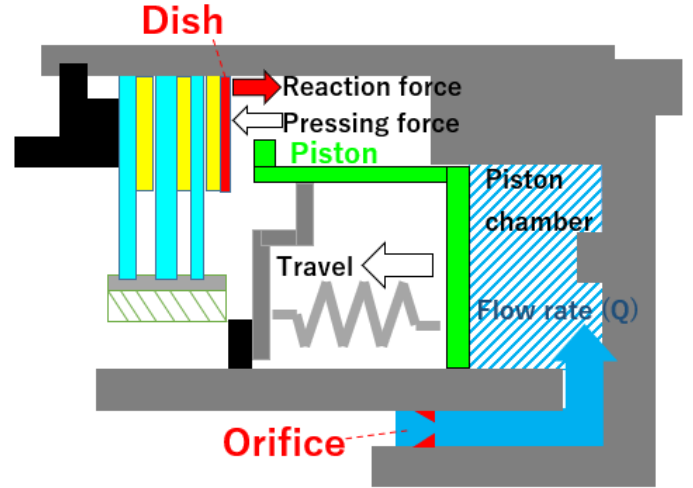


Fig. 7 Configuration of forward/reverse changeover system

従来は、ピストン室に流れる油の流入量とクラッチ締結部品の仕様差が与える性能感度を正確に予測出来ていなかったため、設計と実験による試行錯誤が繰り返されてきた。

今回は、基幹モデルによりオリフィスの径と Dish 剛性の変更によるラグとトルク変動が精度よく予測できるようになったため、前後進の切り替え性能を満足する最適な仕様を基幹モデルで決めることが出来た (Fig. 8)。

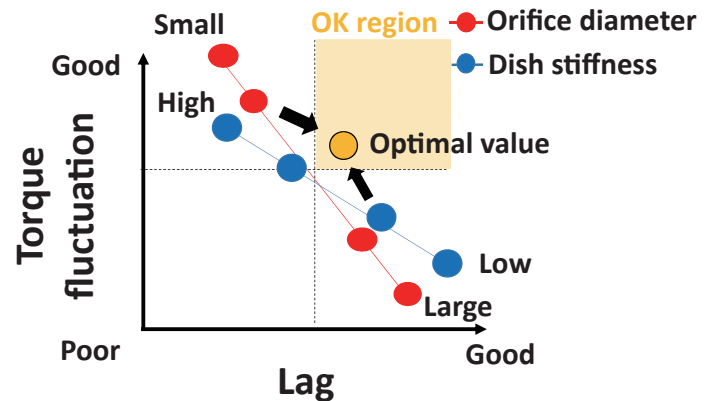


Fig. 8 Optimal design for selector lever performance

後に行った確認実験でモデルと同等の結果が得られ、性能を満足できていたことから、基幹モデルによる設計精度向上の効果が示された。

また、基幹モデルプロセスによるモデル情報収集の工数削減とモデル数の削減により、モデル構築工数は従来に比べ 75% 減となる効果が得られた。

以上のことから、基幹モデルプロセスの導入により、運転性における設計・実験の繰り返しが減少されたため、開発効率化の大きな貢献につながった。

6. まとめ

開発における設計検討は日々行われており、同時にモデルを短期間で開発しタイムリに適用できないことがこれまでの課題であった。

今回導入した基幹モデルプロセスは、開発に関わる多数の関係者が効率的にモデルを構築し活用するための有効的な手法となった。

特に検討精度不足の主要因であった油圧システムのモデル基準を定義しモデル構築したことが、運転性の検討精度向上と手戻りの抑制になり、開発工数削減につながった。

今後は、本プロセスを全ての性能に拡大し、開発全体の効率化を目指していく。

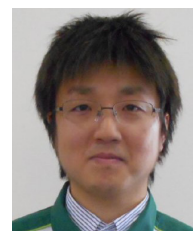
■ 著者 ■



相澤 淳也



河住 拓郎



杉山 光史朗