

MBD を用いたパワーウィンドウのシステム開発

MBD to Power Window System Development

徳光 文広*¹

Fumihiro Tokumitsu

田中 松広*²

Matsuhiko Tanaka

要約

開発期間短縮と更なる品質向上を両立するため、開発の初期段階から性能検証や適正化などを実現する技術革新とプロセス革新に各社が取り組んでいる。その中で、パワーウィンドウのシステム開発に、機構と制御の連成解析を活用したモデルベース開発を適用し、性能開発を早期化した事例を紹介する。

Summary

In order to shorten development period and to maintain at high quality level, every car manufacturer challenges to develop technology and process which can be realized the adequate architecture and verifications in an early development phase. Mechanism and control were used for the development of power window system. And the method is an instance of Model Based Development (MBD).

1. はじめに

市場のニーズは、多様化を増し、嗜好が変化する速度は加速しているため、より早くよりもめやすい価格で市場が要求する製品を提供することが競合力を得る必須課題となっている。しかし実際には、最終的に車両として組み上がった段階で相反性能などの関連性能間の干渉や不整合があり、対策が必要となり開発期間の短縮を困難にしている。これらに対し整然とした開発を実現するために、開発の初期段階から相反性能などの関連性能間の整合取りに注目し多くの技術を展開している。その手段としての一例が、モデルベース開発 (MBD) である。

本稿では、パワーウィンドウのシステム開発へモデルベース開発 (MBD) を適用することで、確実にウィンドウガラスが昇降する商品性と、挟み込みを検知しウィンドウガラスの上昇を停止し反転する安全性を、実機が存在しない開発の初期段階から確実に検証し、目標性能を満足する仕様を短期開発の中で決定することができた事例を紹介する。

2. モデルベース開発 (MBD) の必要性

市場 (ユーザ) からのパワーウィンドウへの要求機能は、ユーザ意図 (スイッチ操作) に沿って確実に昇降する商品

性と、頭部や手などの挟み込みを確実に検知し上昇を反転する安全性に大別される。この中で、国民生活センターからは、近年、安全機構の装着率拡大や挟み込みを検知する荷重を低くすること等が望まれている。

その一方で、環境への関心の高まりからアイドリングストップや減速時のエネルギー回生などの燃費向上技術を実用化している。これらの技術は急激な電圧変動を伴うため、電気が動力源となる電子制御を行うパワーウィンドウのシステムが悪影響を受けない工夫が必要となっている。この要求に対応するため、パワーウィンドウのシステム開発工数は増加傾向にある。加えて、パワーウィンドウのシステムは、モータやギヤ等の機械系、消費電流や制御等の電気系、負荷に伴う発熱によるモータ出力トルク低下等の熱力系など、扱わなければならない分野が多岐にわたるため、技術的な難易度が高い。よって、製品製作後から性能検証を開始していたのでは、開発期間短縮の中で全ての性能検証を完結することは困難である。ましてや課題が発見された場合、課題対策期間と費用が必要となる。

以上のことから、市場が要求する製品をより早くよりもめやすい価格で提供するためには、市場が要求する機能や性能を満足した上で開発期間を短縮することが必須であり、これらの課題を解決する必要がある。この解決手段として、

*1, 2 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

パワーウィンドウのシステム開発にモデルベース開発 (MBD) を適用した。

3. モデル構成

モデル化の対象となるシステム構成を Fig.1 に示す。

このシステムを納入部品単位で分割し、設計諸元とモデルパラメータの一致を厳守することで、納入部品単位の出力特性を対象に、モデルと製品の開発プロセスと管理の整合性を堅持した。しかし、同一の設計諸元を用いても、納入部品単位で分割したモデルごとの粗密によって解析精度に差異が発生すると適正な機能配分が困難である。

分野の壁を越えて適正に機能配分を行いたい領域を明らかにし、演繹的推論と帰納的推論の双方から無理矛盾なく必要とする解析精度を導出可能な、詳細化レベルと範囲を明示することが重要であり、相応の試行錯誤が必須である。この試行錯誤を、モデル作成過程で実施することは膨大な時間を要し、非効率であり現実性に欠ける。そこで、モデル作成前に、特性、状態、エネルギー流れを視覚的に表現するブロック線図⁽¹⁾を用いて、納入部品単位で分割したモデル間の入出力の整合取りを含めて論理展開の妥当性検証を完了し、モデルの設計図とした。このモデルの設計図に沿って詳細設計へと展開することで、分野の壁を越えて関連性能を適正に機能配分可能とするモデルを開発した。

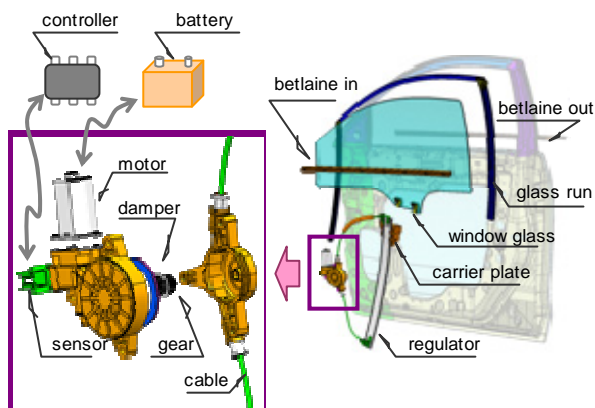


Fig.1 Power Window System Organization

4. モデル開発期間と演算時間の短縮

実機が存在しない開発の初期段階から性能検証を行い、目標性能を満足する仕様を短期開発の中で決定するには、モデル開発の早期化に加えて、予測精度は維持した上で短時間に解析が完了できるモデルとする技術が必要となる。しかし、三次元曲面を持つウィンドウガラスが弾性特性を有したガイドレール内を昇降する際の接触力分布を求め抵抗として扱おうとした場合、数学モデルだけで全ての現象を再現することは困難である。また、経験的な統計モデルだけで再現することも信憑性に欠ける。このたびの開発では、ウィンドウガラスがモータから駆動力を受け取るキャリアプレートまでのパワーフローを数学モデルで再現し、

三次元形状に依存する領域は大規模シミュレーションを用いた機構解析モデルにて再現し、ウィンドウガラスの加速度をコントロールモデルが受け取る構成とした (Fig.2)。これにより、ウィンドウガラス昇降時の挙動を詳細に再現する機構と制御の練成解析モデルの開発期間を、過去の経験をもとに、三次元形状に依存する領域までを数学モデルで構成した場合、80 時間程度必要であったが、本開発方法では 12 時間に短縮できた。解析時間を短縮する手段として、大規模シミュレーションの離散化が挙げられるが、演算ステップごとの運動エネルギーの急激な変化を伴い、モデルが不安定となり演算が発散する課題がある。この対応策として、演算ステップを細かくして運動エネルギーの急激な変化を緩和しモデルの安定化を図った。更に、数学モデル側で、大規模シミュレーションが受け取る駆動力と大規模シミュレーションから出力される加速度を正規化し、モデル全体を安定させることで、実機では 10 秒の現象の演算時間が 18,000 秒から 100 秒に短縮できた。

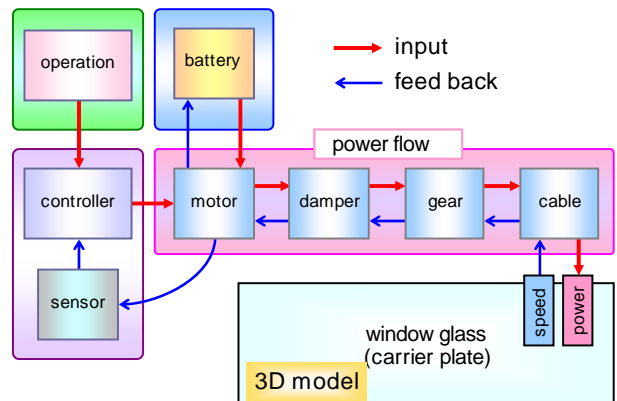


Fig.2 Model Building Image



Fig.3 Experimental Environment

5. 妥当性検証

このモデルの解析精度を確認するため、既存の量産車両を用いて予実検証を行った。実機計測状況を Fig.3 に示す。

Fig.4 は、ステップ入力に対する過渡応答の検証結果を示す。ウィンドウガラス上昇途中に、頭部 (剛体) などの挟み込みを想定した評価モードである。モータの最大出力

となるロック状態に向けて、モータ回転速度が減速する状態の予実差は約3%以内であり精度よく再現できている。

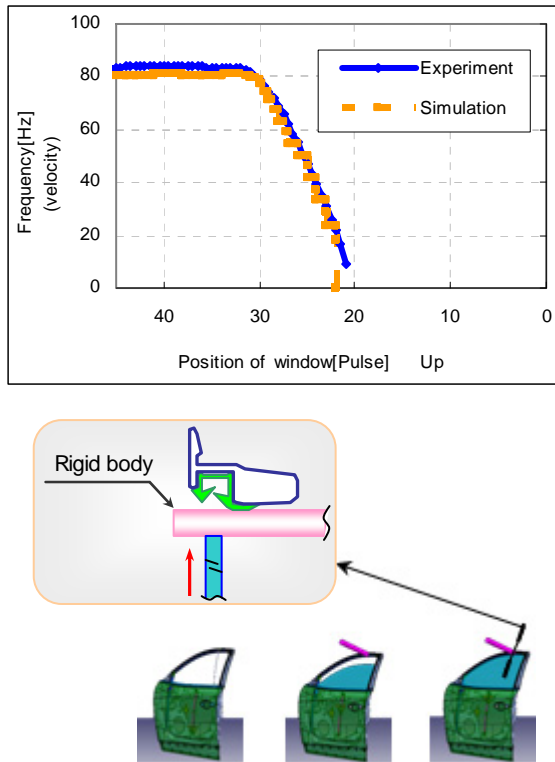


Fig.4 Rigid Body Caught In Window Glass While Moving Up

Fig.5 は、ランプ入力に対する過渡応答の検証結果を示す。ウインドウガラス上昇途中に、手や足（弾性体）などの挟み込みを想定した評価モードである。接触力が上昇する状態の予実差は約3%以内であり精度よく再現できている。

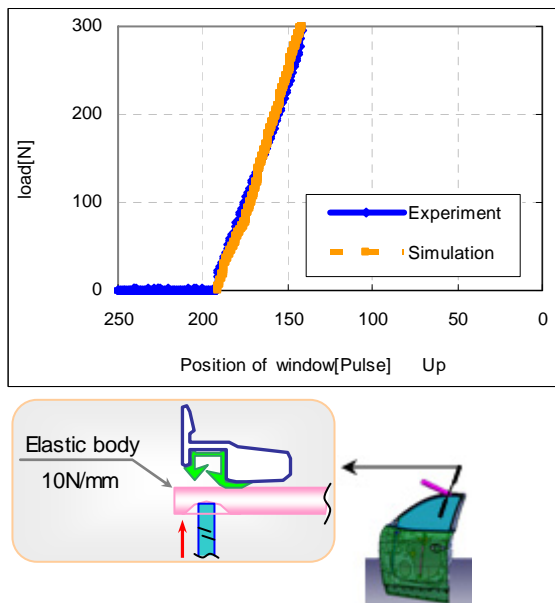


Fig.5 Elastic Body Caught in Window Glass While Moving Up

Fig.6 は、矩形波入力に対する過渡応答の検証結果を示す。アイドルストップや減速時のエネルギー回生による急激な電圧変動を想定した評価モードである。モータ回転速度が変動する状態の予実差は約3%以内であり、オーバシュートやアンダシュートなく精度よく再現できている。

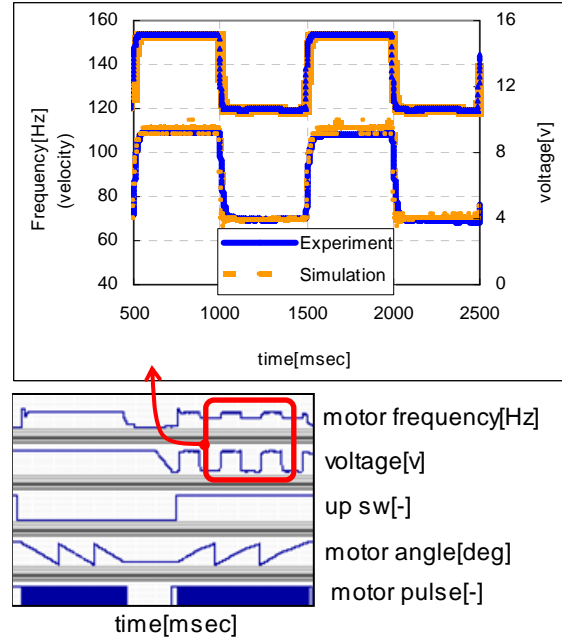


Fig.6 Voltage Changing in A Rectangular Wave Form While Moving Up

Fig.7 は、複合条件入力に対する過渡応答の検証結果を示す。ウインドウガラス全閉の評価モードである。ウインドウガラス上端がサッシ開口部に接触を開始し (x), サッシ内にもぐり込み (y), 底突きする (z) 過程のモータ回転速度が減速する状態の予実差は約3%以内であり精度よく再現できている。

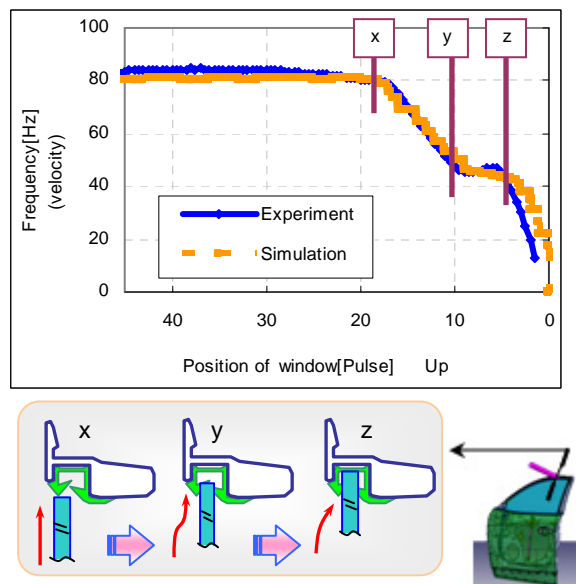


Fig.7 Behavior at Near-Top Dead Point

いずれも、剛体の有無，弾性体の有無，電圧変動の有無だけが異なるだけの，全く同一のモデルパラメータを用いたモデルの演算結果である。評価条件を変えても解析精度が維持されたので，分野の壁を越えて適正に機能配分可能なモデルとして実証が得られた。

予実検証の過程でモデルの不備が認められた場合，整然としたモデル開発が困難となるため，最も効率的な検証手順としたいものである。今回の事例では，まずステップ入力による過渡応答にて，高負荷領域のシステム全体としての無駄時間と時定数と最大出力の整合取りを完了させ，次にランプ入力による過渡応答にて，中負荷領域のシステム内の伝達ロスの整合取りを完了させる。更に矩形波入力による過渡応答にて，軽負荷領域のシステム内の無駄時間と時定数の配分確認を完了させる。最後に複合条件入力による過渡応答にて，軽負荷から高負荷までの整合取りの完了を確認する予実検証手順が最も効率的である。

6. 成果

ユーザ意図（スイッチ操作）に沿って確実に昇降する商品性と，頭部や手などの挟み込みを確実に検知し上昇を反転する安全性を両立する制御定数を決定するだけでも，供給電圧変動，製作誤差，昇降繰り返しによる劣化などのクロスチェックが必要であり 2,000 を超える評価パターンを実行する必要がある。更に，必要な性能は維持した上で，コストと重量を適正に機能配分する必要がある。

モータなど対象となる部品数を 3 部品と仮定しても，クロスチェックの繰り返しは 3 回となり，シミュレーションの実行数は 6,000 を超える。1 回のシミュレーション時間を 18,000 秒つまり 5 時間とした場合，30,000 時間が必要となり机上検証段階で全ての評価を完了することは困難である。

このモデルを用いることで，確実にウインドウガラスが昇降する商品性と，挟み込みを検知しウインドウガラスの上昇を停止し反転する安全性を，実機が存在しない開発の初期段階から検証し，目標性能を満足する仕様を短期開発の中で決定することができた (Fig.8)。

これにより，製品製作前に性能検証を完了させる開発スタイルを具体化することができた (Fig.9)。

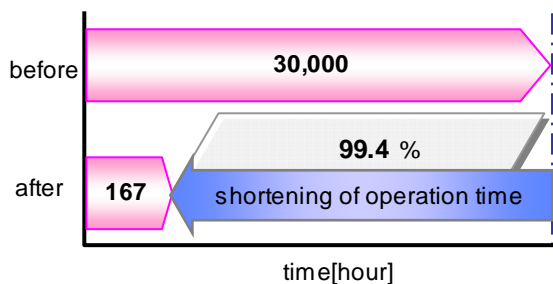


Fig.8 Comparison at Operation Time

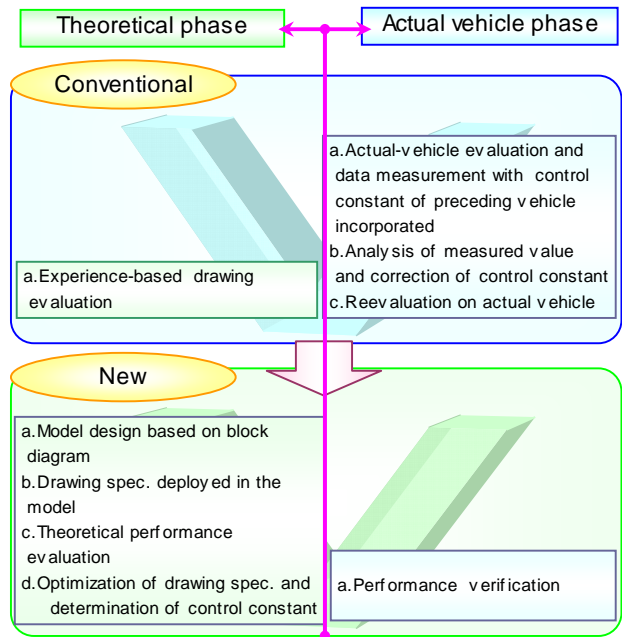


Fig.9 Innovation of Window Glass System Development Process

7. まとめ

本稿で紹介したモデルは，動力源からの駆動力をギヤ，ワイヤなどを經由して対象物を駆動させる機構や，挟み込みを検知して反転する制御など，基本的な構成が酷似していることもあり，三次元形状と部品特性と制御の入れ替えにより，短時間で電動スライドドアのシステム開発へ展開することもできた。更に劣化後の部品特性と入れ替えることで劣化後の挙動も再現でき信頼性領域の机上評価も行った。このように高い汎用性と拡張性を有している。

自動車には同様の基本構成を持つシステムが多く存在するため，この技術を広く展開することで，将来的には車両総合システムとして稼働させて，よりよい製品を，より早くより求めやすい価格で提供していくことに貢献したいと考えている。

参考文献

- (1) 長松晶男ほか:製品開発のための新しいモデル化手法 (機能モデルの基本概念), 日本機械学会論文集 C 編, 64 巻, 622 号, pp.131-138 (1998)

著者



徳光 文広



田中 松広