

自動車におけるマルチドメインシミュレーションとその応用

長崎大学大学院生産科学研究科
辻 公壽

要旨

第1章では、マルチドメインシミュレーション技術を自動車の開発に応用する研究を行うに至る社会を取り巻く環境を述べ、次に本研究の目的として、CO2問題、エネルギー問題、効率良く開発するための開発プロセス改革に対しシミュレーション技術が有効である事を述べた。

一方、シミュレーションを行うツールとしてのシミュレーションソフトやそれに付随するシミュレーションモデルは、車などを全体で議論する為にはマルチドメイン（複数の技術領域）を議論する必要があるが、得意なドメイン（領域）ごとのソフトベンダーの提供する個別ソフトに依存するケースが多く、全体での議論が難しい状況である。また、Math Works社のMATLAB SIMULINKなどで代表される個別ソフトベンダーのモデル言語には互換性が乏しく全体を議論する有効な手段とはなり得ない。また、大きな枠組みで連携する為のモデルの互換性や、ノウハウ保護の内部秘匿などの機能がない。以上、従来の手法では車全体や上記開発の仕組みを議論するためにはマルチドメインの概念が無い、ベンダーの提供するソフトは営利目的の為、互換性が薄い。産業の仕組みの中での大きな連携といった観点が無いなどの課題があった。

そこで2章では、IEEE及びIECなどの標準（世界標準）に準拠したモデル言語により車両及び車両部品モデルを共有化・互換性確保するためのモデル化技術の要件を示しこれに基づくシミュレーション技術と応用を本研究の目的とし、その検証結果により有効性の実証を行う事を述べた。

3章では車両のモデル化について、どのような機能が必要か、どのような構成にすべきかを述べた。また、車体、エンジン、トランスミッション、ブレーキ、タイヤ、オルタネータ、バッテリー等の基本となる主要構成部品についてのモデル化に手法に関する技術的検討及びモデル化を実施した。

4章では、ベース車両として従来の車両とハイブリッド車両におけるシミュレーションと実験結果の検証を実施した。ベース車両の燃費ではシミュレーション10.19km/Lと実車10.3km/Lの誤差1.1%と良好な結果を得た。車両内部の各要素として、エンジン水温、エンジン油温、トランスミッション油温、スロットル開度、瞬時の燃料噴射量、エンジン回転数、変速シフトギア段、減速時のフューエルカットタイミング等の特性も車両モデルに実車の走行車速のみの入力精度良く導出出来た。また、ハイブリッド車両においても同様の評価を行い、実測燃費21.7km/L、シミュレーション22.0km/L（誤差1.1%）であった。ベース車両同様、エンジン回転数やエンジン水温、瞬時燃料噴射量の他に、ハイブリッドとして電気特性のバッテリーS.O.C.(state of charge)充電状態なども実ユニットと良いシミュレーション結果を得た。

5章では、4章で説明した車両モデルにより車両のパワーマネージメントを実施した。

5-2節の電源では、車両の12V電源を使う場合、大電力を使う場合なぜマネージメントが必要かを示し、そのマネージメントの為にマルチドメインシミュレーションがマネージすべき電源電圧や電流を十分表現できる事を示した。

5-3節では、機械的な反力を活用した停止位置制御と燃焼の力を応用した着火併用始動により機械と燃焼、電気の力を活用して合理的なエンジンの再始動を実現した。

5-4節では、車そのものが走る際のパワーを電気のモータの持つ応答の速い優れたトルク特性による力とエンジンの機械の力をマネージメントすることにより必要な時に大きなパワーを得る事可能である事を示した。また、動的性能の予測も車両動力性能の一つの指標である0-100km/hの到達時間では、シミュレーションが11.8秒、実測値は11.9秒と誤差1.2%の精度で導いた。

以上のように電源電圧など設計上のクライテリアの明確化と、着火併用システムなどのように他のドメインの力をマネージメントすることで電気などあるドメインのパワーの抑制・軽減効果の明確化、及びハイブリッドなど機械的ドメインのパワーを電気ドメインのパワーを一時的にアシストする事で、本来の機械領域で実現できる性能を大幅に拡大できる事を示した。

6章では、先の章で述べた車両モデルを応用して、車両のエネルギーマネージメントに関する部分について述べた。有限のエネルギーを如何に効率的に使うかマネージメントするかが重要となり本研究の一つの目的である、CO₂削減に直結するエネルギーマネージメントについて述べた。先ず、6-2節でエンジンからのエネルギーフローを示すと同時に、燃料から動力への効率を示し、このなかでエンジンの効率は20%程度であり如何にエネルギーマネージメントによる向上が重要かを6-3節で示した。

この中でガソリンエンジンは特に軽負荷運転時の効率が悪く、例えばECモードを走行する場合、低車速パターンのUDCと高速パターンのEUDCとの2つのパターンで構成されるが、低速パターンを回生エネルギーと効率の良い部分で発電した電力でEV走行することにより15.5%の燃費向上。アイドルストップで4.5%の燃費向上になる事を導いた。

6-4節では力行・回生装置の付いたハイブリッド車両での回生とEV走行を中心とした運動エネルギーのエネルギーマネージメントと、排気熱回収による暖機及び暖房エネルギー削減による燃費向上検討結果を示した。実にこの回収によるマネージメントで暖機時に10.3%の燃費向上が図れる事を示した。

6-5節では、ベース車両でのエネルギーマネージメントについて示した。ハイブリッド車両のように積極的な回生・力行装置の無い車両でのエネルギーマネージメントによる燃料削減としては、先ずエンジン停止区間の拡大である。具体的にはアイドル運転の停止、減速中の燃料カット区間の拡大等があげられる。

また、車両での電気の利用に伴い、オルタネータで発電を行っているがこの仕事量はエネルギーフローでは駆動軸に出てきた仕事の約4%程度（モードや車両で異なる）でそれほど大きくないが、この部分の電力エネルギーを減速中の運動エネルギーで賄う事が出来れば、燃料の消費が軽減できる。その例として日本の10-15モードを例に試算を行った。オルタ回生に伴いブレーキの摩擦エネルギーは532kJから372kJへと減少し、燃費は18.4km/Lから19.2km/Lへと4.3%の向上結果を示した。

以上のように本論文は、マルチドメインシミュレーション技術の有効性を示すと同時に、マルチオーガニゼーションによる大規模連携に関してもモデルの構築と検証によって実証した。本論文の成果により、マルチドメインシミュレーションを用いることで、企画段階での性能予測と性能向上に向けた方針が描ける事を導いた。