

CVTと自動MTが燃費に与える影響の解析と 燃費向上予測

Analysis of the Influence on Fuel Economy about CVT and Automated MT, and the Estimation of Fuel Economy Improvement

山本和久* 青木 隆*
Kazuhisa YAMAMOTO Takashi AOKI

要 旨

車両諸元とエンジン諸元を同一とした上で CVT と自動 MT とでのトランスミッション形式違いによるモード燃費への影響をシミュレーションにより検討した。

トランスミッションのレシオレンジやフリクション等を変化させたときのモード燃費への影響を検討した結果、CVT 搭載車の場合に燃費を向上させるためには、車速域が比較的高く発進停止が少ない走行ではレシオレンジの拡大が有効であり、車速域が比較的低く発進停止を繰り返す走行ではフリクション低減が有効であることを確認した。

一方、自動 MT 搭載車の場合、車速域が比較的高く発進停止が少ない走行では CVT と同様レシオレンジの拡大が有効であり、車速域が比較的低く発進停止を繰り返す走行ではレシオレンジの拡大や変速段の増加あるいはレシオの割り振り方を組み合わせることによりパワープラント全体で効率の高い運転を実現することが必要になることを確認した。

ABSTRACT

Effect on mode fuel economy by different type of transmission, CVT and Automated Manual Transmission, was investigated on the basis of the same vehicle and engine specifications. Results of study for the effect on mode fuel economy by variation of transmission ratio range, friction, and such are as follows. In the case of CVT, it was confirmed that wider transmission ratio range is effective when driving at relatively high speed with less stop-and-goes, and friction reduction is effective when driving at relatively low speed with frequent stop-and-goes. On the other hand, in the case of Automated Manual Transmission, it was confirmed that wider transmission ratio range is effective when driving at relatively high speed with less stop-and-goes, the same as CVT, and that combination of wider transmission ratio range, increase of shift steps, and appropriate distribution of transmission ratios, which leads to highly efficient operation of total power plant system, is necessary.

1. まえがき

燃費向上のための新技術開発として、トランスミッション技術分野においては伝達効率の向上はもちろんのこと、多段化によるレシオレンジの拡大が行われてきた。これらを背景にレシオレンジを比較的に広くとることができ、エンジンを熱効率の高い運転領域で運転することができるといわれている CVT が大衆車クラスから小型車クラスまで相次いで採用されるようになった。一方、マニュアルトランスミッション(MT)と機構をほぼ同じくし、クラッチ操作と変速操作を自動で行う自動 MT(AMT)は小型バスやトラックでは普及していたものの乗用車では発進時や変速時の違和感からほとんど普及していなかったが、その伝達効率の高さが燃費に対して優位性を持つことから再び注目されるようになってきた。

また、従来から燃費の更なる向上に適したトランスミッション形式や諸元を求めるためにシミュレーションを用いた検討も行われてきた。

しかし、従来のシミュレーションでは車体やエンジンの諸元をそろえてもトランスミッションレシオ(以下レシオ)とシフトスケジュールを同一の手法で設定できなかったため、CVT と自動 MT とでの機構違いによる燃費への影響の比較は困難であった。一方、筆者らはエンジンと CVT を含むパワープラントの燃料消費最小運転点での運転を実現する制御システムと燃料消費最小運転を実現するエンジンと CVT の運転点を計算する演算アルゴリズム(Gf ボトム演算)を提案している^{(1)~(3)}。そこで、さらにこの演算アルゴリズムを自動 MT に適用し、レシオとシフトスケジュールを設定することで比較条件をそろえた燃費シミュレーションが可能となった。

*栃木研究所

本稿の目的は、車体やエンジンの諸元のみならずレシオやシフトスケジュールを同一手法で設定し、効率は劣るもののレシオレンジが広く取れしかも無段変速である CVT と、効率は高いものの CVT と比べレシオレンジが狭く有段変速である自動 MT の燃費ポテンシャルを明らかにすること、さらに両者の機構上の特徴を生かして燃費をより向上させるための提案を行うことである。

2. シミュレーション

2.1. 従来のアプローチ

従来から車両の燃費向上に最適なトランスミッション形式とトランスミッション諸元を決定するためにシミュレーションを使った比較検討が行われている。しかしながら従来は異なるトランスミッション形式での比較検討に際して、燃費に大きな影響を与えるシフトスケジュールとレシオの組み合わせは試行錯誤により決定されていたため、決定されたシフトスケジュールとレシオの組み合わせによる燃費が最良となっているかは確認できなかった。したがってシフトスケジュールの条件がそろえられているとはいえず、比較条件をそろえた検討が行えなかった。

2.2. 今回のアプローチ

CVT の場合、筆者らが提案した演算アルゴリズムによる最良燃費を実現するシフトスケジュール決定手法が存在するが、有段トランスミッションへの適用については言及していなかった⁽¹⁾。また自動 MT の場合、有段であるがゆえ最良燃費の実現にはシフトスケジュールのみならずレシオの組み合わせを決定することが必要である。そこで、今回新たに上記 CVT のシフトスケジュール決定手法を拡張し、燃費最良となる自動 MT のシフトスケジュールとレシオ組み合わせの決定を可能とした。

このように同一アルゴリズムを使いシフトスケジュールとレシオの組み合わせを決定することで、CVT 搭載車、自動 MT 搭載車共に燃費消費量を最小にするという評価軸で条件をそろえた比較が行えるようになった。

2.2.1. シフトスケジュール

CVT の最良燃費シフトスケジュールを求める演算アルゴリズムは以下に示す考えをベースとしている。

つまり、ある車速(V)、ある駆動力(F)における走行時の燃料消費量(Gfuel)は、エンジン正味燃料消費率(BSFC)とエンジン出力(Pse)、時間(Hr)の積算値で表され、Pseはある車速、ある駆動力での走行に必要なタイヤ端駆動出力(Psp)と駆動系損失仕事(Psf)の和で表されることから(1)式と表される。

$$\Sigma Gfuel = \Sigma \{ BSFC \times (Psp + Psf) \times Hr \} \quad (1)$$

ここで(1)式左辺の Gfuel を評価関数と考え、これを最

小とするような BSFC と Psf の組み合わせを決定すればよい、という考えである。

また、BSFCは同一エンジン出力を保ちながらスロットル開度やレシオにより、Psfはレシオやエンジン回転数などにより変化させることができ、したがってスロットル開度とレシオを適切に選ぶことで(1)式左辺を最小にすることができる。

この演算をもとに車両運転点すべての V と F においてレシオを決定すれば、それが燃料消費最小運転点を実現するシフトスケジュールとなる。

今回自動 MT への適用にあたり Fig.1 に示すようにレシオ(図中 R-AMT)を選択することで、有段トランスミッションへの適用を可能とした。

このアルゴリズムにより決定したシフトスケジュールにしたがってエンジンの運転点とトランスミッションの運転点を制御することができていれば、常に燃料消費量が最小となる運転が実現される。

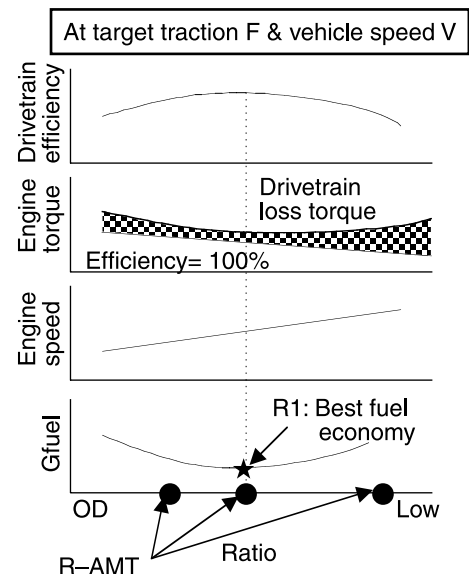


Fig.1 Gf-Bottom calculation for AMT

2.2.2. レシオ組み合わせ

自動 MT のレシオを下記条件によって設定した。

- ・レシオの決定方法は「2.2.1. シフトスケジュール」で計算したシフトスケジュールをもとにモード燃費が最良になるレシオの組み合わせをモードごとに求めた。
- ・Low レシオは Low オーバーオールレシオが CVT 搭載車のそれと同一となるよう設定した。

これは自動 MT 搭載車の Low レシオでの駆動力の確保を目的としている。従来、車両の発進装置として AT ではトルクコンバータが、CVTでは湿式多板クラッチ、トルクコンバータ、電磁クラッチなどが用いられている。発進装置としてトルクコンバータが用いられている場合には、その

トルク増幅作用により発進時のトルクが増大されることからLowオーバーオールレシオは比較的小さくできる。一方、発進クラッチなどを用いる場合には、トルク増幅作用がないため十分な発進駆動力を確保することができるようLowオーバーオールレシオを比較的大きくする必要がある。MT搭載車の発進装置は乾式クラッチであり、発進時の駆動力の発生は運転者のクラッチ操作により異なる。すなわち、エンジン空吹かし状態からの急激なクラッチ締結を行えば瞬時大きな駆動力の発生が可能であるが、自動MTの発進は自動クラッチ操作となるので通常のMTと同じレシオの場合Lowレシオでの駆動力が不足する可能性がある。このため今回の検討では自動MTのLowレシオをCVTのLowオーバーオールレシオと同じにすることで、発進駆動力を確保した。なお、Lowオーバーオールレシオはファイナルレシオを調整することでCVTのそれと同一となるよう設定した。

2.3. 燃費シミュレーションモデル

モデルはモード走行時の車速から車両に要求される駆動力を算出し、トランスミッションの伝達効率、トランスミッションレシオ、エンジン補機駆動仕事等を考慮した後、エンジン回転速度とエンジン出力トルクを決定することで燃料消費量を算出する。Fig.2 にモデルのブロック図を示す。

2.4. 燃費シミュレーションモデル精度の検討

ここではモード走行時の実車での実測データとシミュレーション結果との比較を行い、モデル精度の検証を行う。

検証にはCVT搭載車モデルを用い、Table 1 と Table 2 に記載した車両の諸元を使用した。このCVTモデルと同一諸元の実車による走行において計測したデータとシミュレーション結果とを比較することでモデル精度の検証を行った。

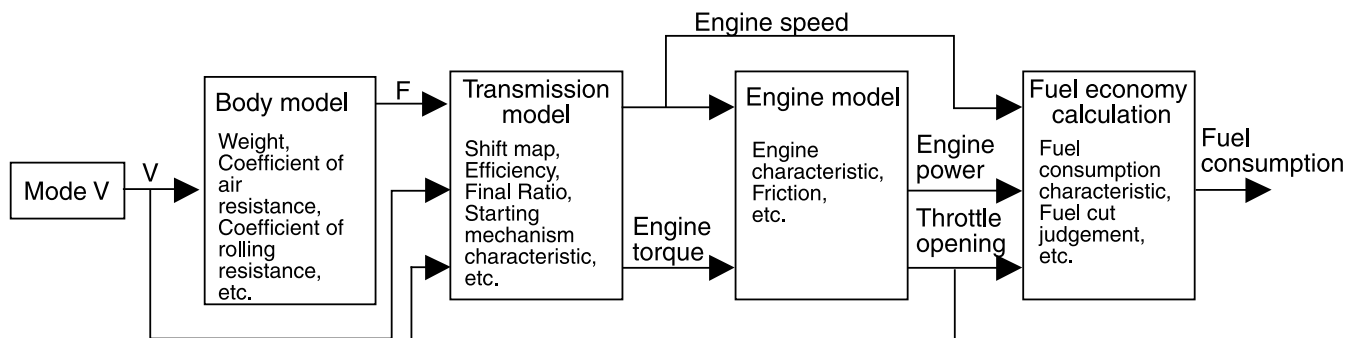


Fig.2 Simulation model structure

Table 1 Conditions of verification

Mode		US		J	
Engine	Type	1.6L 1CAM-VTEC		1.5L 1CAM-VTEC-3	
	Displacement (cc)	1 590		1 493	
	Horse power (kW/rpm)	85/6 300		96/7 000	
	Torque (Nm/rpm)	140/5 400		139/5 300	
Transmission	Type	Metal V-belt type CVT	Automated manual transmission	Metal V-belt type CVT	Automated manual transmission
	Starting mechanism	Wet-type multiple disc clutch	Automated clutch	Wet-type multiple disc clutch	Automated clutch
Body	Weight (kg)	1 247.4	1 190.7	1 250	
	Tires	185/65R14		185/65R14	

Table 2 Conditions of simulation (Overall ratio)

Mode		US		J	
Transmission type		Metal V-belt type CVT	Automated manual transmission	Metal V-belt type CVT	Automated manual transmission
Overall ratio	Low	14.323	14.323	14.323	14.323
	2nd		8.382		10.145
	3rd		5.297		6.178
	4th		3.975		3.975
	5th		3.094		3.094
	Final	5.808	4.407	5.808	4.407

ここで、Table 1, Table 2は今後の検討に用いるCVTと自動 MT の諸元をまとめたものであり、自動 MT 搭載車の車重はMT搭載車のそれと同じとした。理由としてはMTと自動 MT とでは機構的には変速を自動で行うアクチュエータの有無以外の大きな違いがないことによる。Tableに記載した諸元以外の条件は次のとおりである。

自動 MT において、

- ・トランスミッションのフリクションは動力伝達系の機構が通常の MT と大差ないことより 5MT と同じとした。
- ・一回の変速に必要なエネルギーをアクチュエータの駆動仕事としてエンジン仕事に上乗せした。

Fig.3 にその比較検証の結果の一例を示す。Fig.3 は LA4 - CITY モードの一部であり、図は上から順にエンジン回転速度、エンジン発生トルク、トランスミッションレシオ、燃料消費量であり、赤実線は実測データ、青実線はシミュレーションデータである。

減速時においてエンジン発生トルクが実測データとシミュレーションデータとで違いが発生しているのは、シミュレーションで使用しているエンジンデータの負側トルクデータの精度が低いためであるが、この領域はフェル

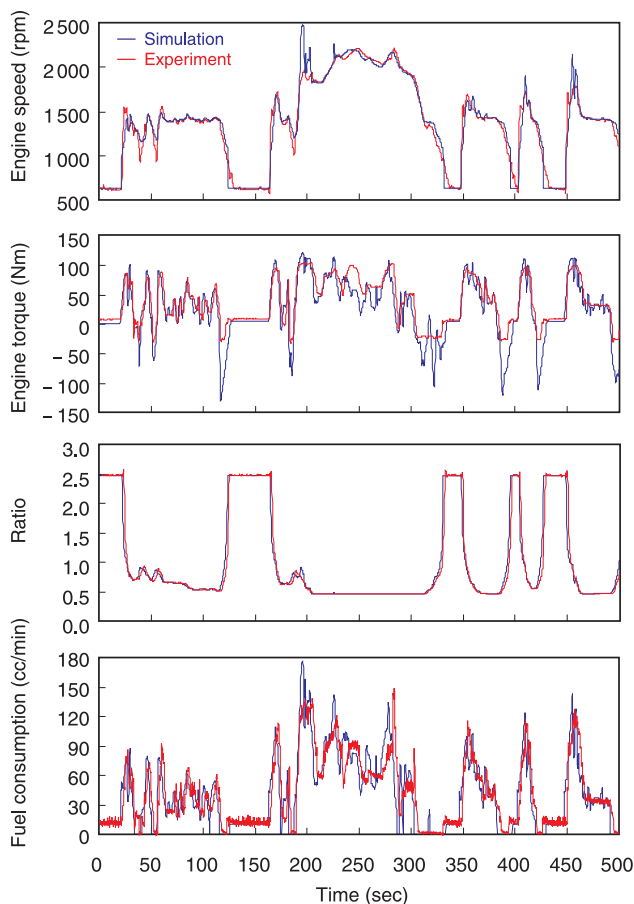


Fig.3 Result of verification
(Difference between simulation and experiment)

カット(F/C)領域であるためエンジンデータの精度の低さは燃費計算上ほとんど影響がない。この点を除けば、モード中における実測データとシミュレーションデータとは十分な相関が認められると考える。

また、Fig.4はそのときのモード燃費を表し、実測データとシミュレーションデータの違いは2%以内となっている。以上のことより、このシミュレーションモデルは以後の燃費に関する比較検討に用いるにあたって十分な精度を有すると判断した。

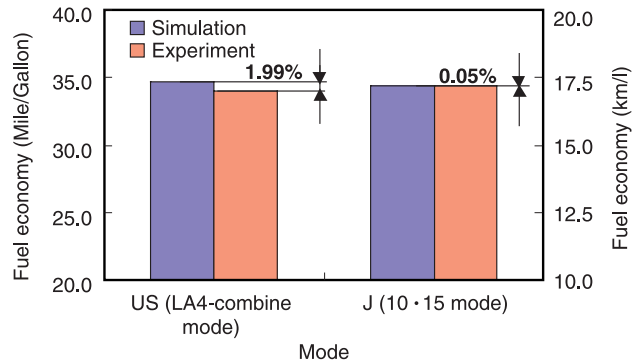


Fig.4 Mode fuel economy
(Difference between simulation and experiment)

3. CVT と自動 MT との燃費比較

ここでは CVT 搭載車と自動 MT 搭載車の燃費を比較し、両者の燃費性能を明らかにする。また、一般的にエンジン効率の高い運転ができる CVT と伝達効率の高い自動 MT といわれているが、どのような要因が燃費向上に対して影響を及ぼしているのかを検討する。

3.1. 比較車両の諸元

車両のトランスミッションレシオ以外の各種諸元は Table 1, トランスミッションレシオは Table 2 に記載の値を用いた。

3.2. モード燃費比較

CVT 搭載車と自動 MT 搭載車とでのモード燃費比較シミュレーションを10・15モード、LA4・COMBINE(以下LA4・COMB)モードについて実施した。

シミュレーション結果をFig.5に示す。現状の諸元でモード燃費を比較すると CVT よりも自動 MT の方の燃費が良くなることがわかる。

Fig.6 は 10・15 モードにおいて加速走行と定速走行時の Pse の平均値(Ave. Pse)と BSFC の平均値(Ave. BSFC)を見たもので、Ave. Pse は自動 MT の方が少なく Ave. BSFC は CVT の方が小さい。つまり、Pse が少ない自動 MT は P_{sf} が小さく伝達効率の高い運転を、BSFC が少ない CVT

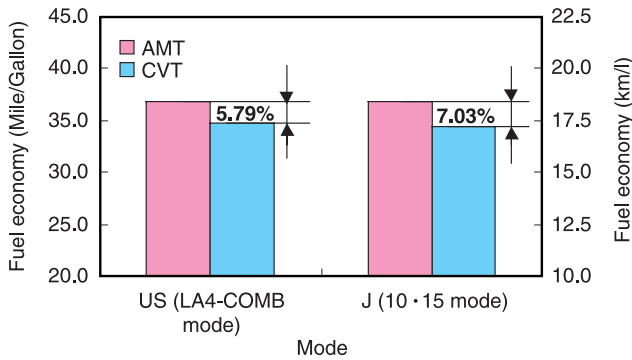


Fig.5 Fuel economy
(Difference between AMT and CVT)

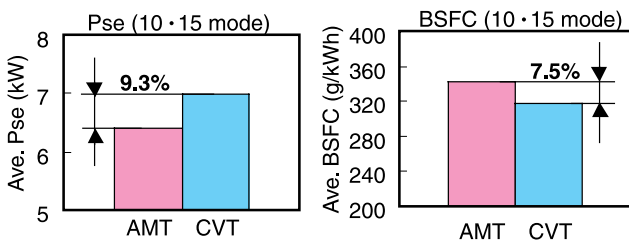


Fig.6 Average of Pse & average of BSFC
(Difference between AMT and CVT)

はエンジン熱効率の高い運転を行っているといえる。また、CVTと自動MTのAve. BSFCの差よりもCVTと自動MTのAve. Pseの差が大きくなっていることから、これがCVTよりも自動MTの燃費が良くなっていることの一因と考えられる。

さらに、10・15モードにおいて加速走行と定速走行時の車速に対するエンジン回転数の関係をグラフにしたものがFig.7である。

車両の運転点にはフェエルカットの実行やサージングの発生を回避するために使用できない領域が低回転領域に存在するが、CVTではその領域を避けながらできるだけ低い回転数を選択しているのがわかる。また、自動MTでは20, 40, 50(km/h)での定速走行でできるだけ低い回転数となるレシオを選択していることが分かる。CVTと自動MTとでの大きな違いとしては、CVTの場合レシオは連続可変であ

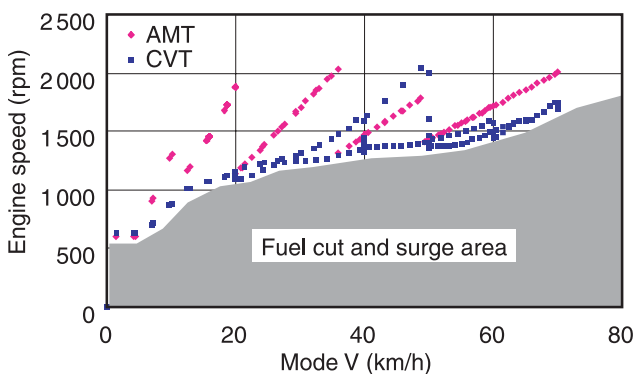


Fig.7 Comparison of engine speed
(Difference between AMT and CVT)

るため全体的に低回転高負荷運転が可能となるが、有段変速である自動MTの場合は、あるレシオでとりうる最低回転数はある車速に限られ、車速が高くなり次のレシオに切り替わるまではエンジン回転数も上昇するしかなく、結果的にその部分では高回転低負荷運転となっている。

3.3. Low レシオ化の影響とレシオ組み合わせ最適化の効果

本論文では条件をそろえるために、自動MTのLowオーバーオールレシオがCVTのそれと同一となるようにファイナルレシオで調整したので、MTと比べレシオ全体の値が大きくなっている。したがって、自動MTはもともとのMTに比べ燃費に対して不利なレシオとなっている。参考として、ファイナルレシオ変更とレシオ組み合わせ最適化による燃費への影響を明らかにしておく。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

- a : 量産 MT レシオ
- b : ファイナルレシオ変更
- c : ファイナルレシオ変更 + レシオ組み合わせ最適化 (Table 2 と同一レシオ)

Table 3 に各条件でのオーバーオールレシオを、Fig.8 に検討結果を示す。LA4-COMBモードにはLA4-HIWAY (以下LA4-HWY)モードも含まれるのでレシオの組み合わせ方による燃費向上効果が現れにくく、ファイナルレシオ変更によるOD側のレシオが大きくなったことによる影響が現れている。

Table 3 Overall ratio
(Difference of final ratio & ratio combination)

Mode	US			J		
Conditions	a	b	c	a	b	c
Low	12.097	14.323	14.323	13.189	14.323	14.323
2nd	6.633	7.853	8.382	7.747	8.413	10.145
3rd	4.362	5.165	5.297	5.073	5.509	6.178
4th	3.383	4.006	3.975	3.689	4.006	3.975
5th	2.613	3.094	3.094	2.849	3.094	3.094
Final	3.722	4.407	4.407	4.058	4.407	4.407

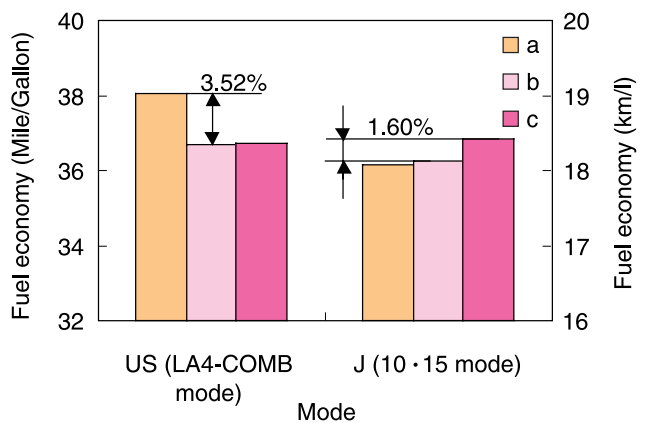


Fig.8 Fuel economy
(Difference of final ratio & ratio combination)

4. トランスミッション要素が燃費に与える影響の解析

ここでは各トランスミッションにおいて、トランスミッション要素がモード燃費に与える影響を解析する。ここで検討したトランスミッション要素とはフリクション、レシオレンジ、変速段数であり、同一モードで比較した場合、CVT と自動 MT でそれぞれの要素がモード燃費にどのように寄与するのかを明らかにする。また、モード燃費により比較を行うのは、10・15 モードや LA4-CITY モードにより使用する車速域が比較的低く発進停止を繰り返すモードを代表させ、LA4-HWY モードにより車速域が比較的高く発進停止が少ないモードを代表させることで、走行負荷や平均車速の異なる走行パターンでの解析が可能になると考えたからである。

4.1. CVT の場合

4.1.1. レシオレンジが燃費に与える影響

レシオレンジを広げることでLowレシオ以外のレシオをより小さくし、エンジン運転点を低回転高負荷とすることによるエンジン熱効率の向上と各種フリクションの低減が燃費向上に及ぼす影響を検討する。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

レシオレンジ：5.0, 5.5, 6.0, 6.5

(Low レシオ固定, OD 側レシオを拡大することでレシオレンジを変更)

Fig.9 はレシオレンジ 5.5 (量産 CVT 車両のレシオレンジ)をベースとしたときのレシオレンジに対する燃費変化率を表している。

LA4-HWY モードではレシオレンジを 1.0 拡大したときの燃費変化率は約5.0 %と大きい、それ以外のモードでは1.0 %以下となっている。(LA4-COMBモードはLA4-HWY モードの影響を受けて約2.5 %と比較的大きな値となっている。)

CVTの場合、各モードにおいてレシオレンジが拡大すれば燃費も向上していることがわかる。

次に、走行パターンの異なるモードを走行する際のレシ

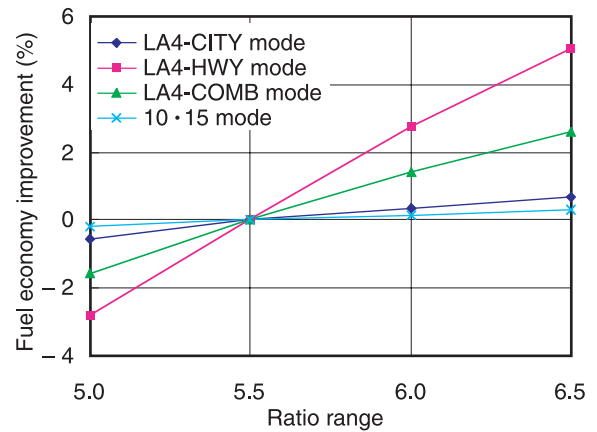


Fig.9 Fuel economy improvement of CVT (Difference of ratio range)

オレンジ拡大による低回転高負荷走行が燃費に対してどのように影響を与えているのかを解析するため、10・15 モードと LA4-HWY モードを用い、モード走行時の使用レシオ頻度、トランスミッション平均効率、Ave. BSFC の比較を行った。なお、比較にはモード走行時の加速走行と定速走行を行っているときのデータを用いている。

Fig.10 はモード走行時のレシオ使用領域をレシオレンジ 5.5 の場合の OD レシオである 2.608 以下、2.608 ~ 2.9, 2.9以上の領域に分け、それぞれの領域での頻度を比較したグラフである。Fig.10 左側の 10・15 モードでは 2.9 以上の領域を使用する頻度が圧倒的に多く、2.608以下の領域を使用する頻度、つまりレシオレンジ拡大による OD レシオ側の拡大領域を使用する頻度がモードに占める割合は約 13.6 %である。これに対し Fig.10 右側の LA4-HWY モードでは2.608以下の領域を使用する頻度が圧倒的に多く、レシオレンジ 5.5 の場合レシオ 2.608 を使っている割合が 45.1 %であるのに対し、レシオレンジ 6.0 の場合、2.608 以下のレシオを使用する割合は全体の 91.2 %を占めている。このことから、10・15 モードよりも LA4-HWY モードの方が拡大された OD 側レシオ領域を使用する頻度は大きく、結果として LA4-HWY モードではレシオレンジの拡大によりエンジンの低回転高負荷運転の頻度が大きくなる。

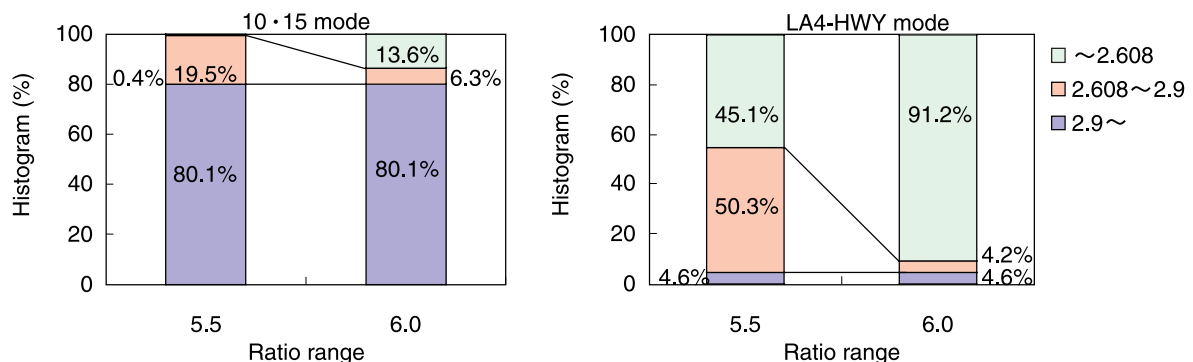


Fig.10 Ratio histogram

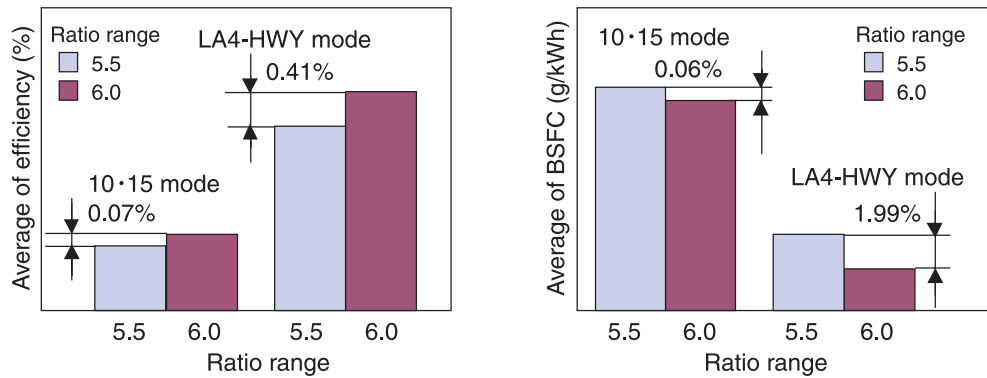


Fig.11 Average transmission efficiency & average BSFC

Fig.11 はトランスミッション平均効率および Ave. BSFC を 10・15 モードと LA4-HWY モードそれぞれについて比較したグラフであり、レシオレンジ 5.5 からレシオレンジ 6.0 への変化を表したものである。

ここでトランスミッション平均効率の向上について考えてみると、レシオレンジを拡大することでレシオはより小さい領域を使う頻度が大きくなり、金属ベルトのフリクション特性として OD 側、Low 側のフリクションが大きいことによるトランスミッション効率の低下を入力回転数の低下による効率向上が上回ることによりトランスミッション平均効率はわずかながら向上したと考えられる。また、レシオレンジの拡大により低回転高負荷運転の頻度が大きくなることにより Ave. BSFC は小さくなる。

以上をまとめると、10・15 モードではエンジンの低回転高負荷運転の頻度が小さいため、モード走行時のトランスミッション平均効率の向上と Ave. BSFC の減少による燃費向上は少なく、LA4-HWY モードではエンジンの低回転高負荷運転の頻度が大きい場合 Ave. BSFC の減少による燃費向上が大きくなり、これがモードによる燃費向上度合いの差となっている。

4.1.2. フリクション変化が燃費に与える影響

フリクションを低減することによるエンジン発生仕事の低減が燃費向上に及ぼす影響を検討する。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

対象 : ベルト, オイルポンプ, ベルト+オイルポンプ
低減率: 0 → 100 %

ここで、フリクション要素としてベルトとオイルポンプを選んだ理由としては、Fig.12 に示すように CVT のフリクションの大半を占めているのがこれら二つの要素であることによる。

Fig.13 はフリクション低減率 0 % をベースとしたときのフリクション低減率に対する燃費変化率を表している。

モードにより多少の違いはあるが燃費を 0.5 % 向上させるためにフリクションではベルト+オイルポンプで 5 % 程度の低減が必要となる。このことは、先ほどのセクションで

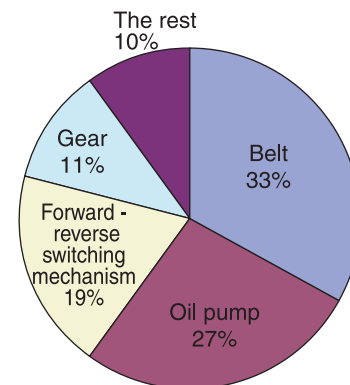


Fig.12 Power loss rate of CVT (at 40 km/h cruise)

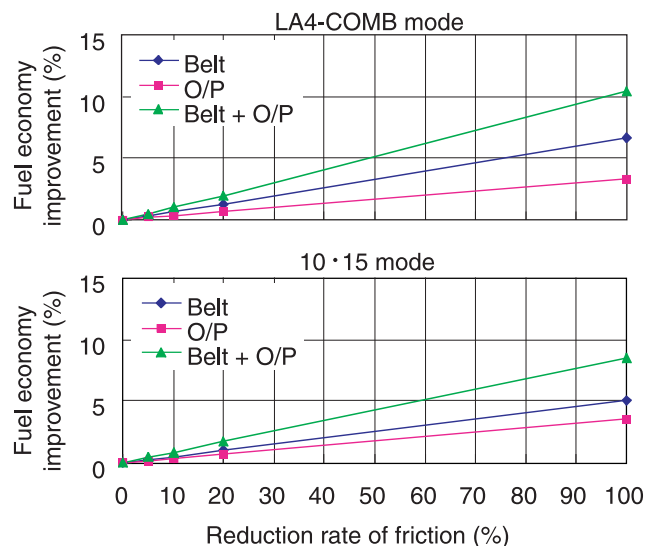


Fig.13 Fuel economy improvement of CVT (Difference of friction)

述べたレシオレンジ拡大では燃費を 0.5 % 向上させるために 0.5 ~ 1.0 (LA4-HWY では 0.1) の拡大が必要となることを考えると、CVT の燃費向上手段としてはフリクション低減が有効であり、さらに車速域が比較的高く発進停止が少ないモードにおいてはレシオレンジの拡大が有効であるといえる。

4.2. 自動 MT の場合

4.2.1. レシオレンジを変化させた場合の燃費への影響

CVTの場合と同様にレシオレンジを広げることでLowレシオ以外のレシオをより小さくし、エンジン運転点を低回転高負荷とすることによるエンジン熱効率の向上とトランスミッション、各種フリクションの低減が燃費向上に及ぼす影響を検討する。

ただし、CVTのレシオは連続可変であり単にレシオレンジを拡大すれば良いのに対し、自動MTではレシオレンジ変更によるレシオの割り振りの設定が必要であり、この設定を行った上で検討を行った。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

レシオレンジ：4.6，5.0，5.5，6.0

(Lowレシオ固定，OD側レシオを拡大することでレシオレンジを変更)

変速段数：5

Fig.14 はレシオレンジ 4.6 (量産 MT 車両のレシオレンジ)をベースとしたときのレシオレンジに対する燃費変化率を表している。

自動MTの場合，LA4-HWYモードではレシオレンジが拡大すれば燃費も向上しているが，その他のモードではレシオレンジが拡大しても必ずしも燃費が向上するわけではないことを示している。

Fig.15(左)は，LA4-CITYモードにおいてLowレシオの設定をCVTのLowオーバーオールレシオ，Fig.15(右)はLowレシオの設定を量産MTのLowオーバーオールレシオと同じにしたときにレシオレンジを変化させた場合の，モード中におけるAve. BSFC，Ave. Pse，モード燃費の関係を表したものである。

Fig.15(左)において：

レシオレンジが4.6の場合，エンジン発生仕事を表すAve. Pse は最も小さいもののエンジン熱効率を表す Ave. BSFC

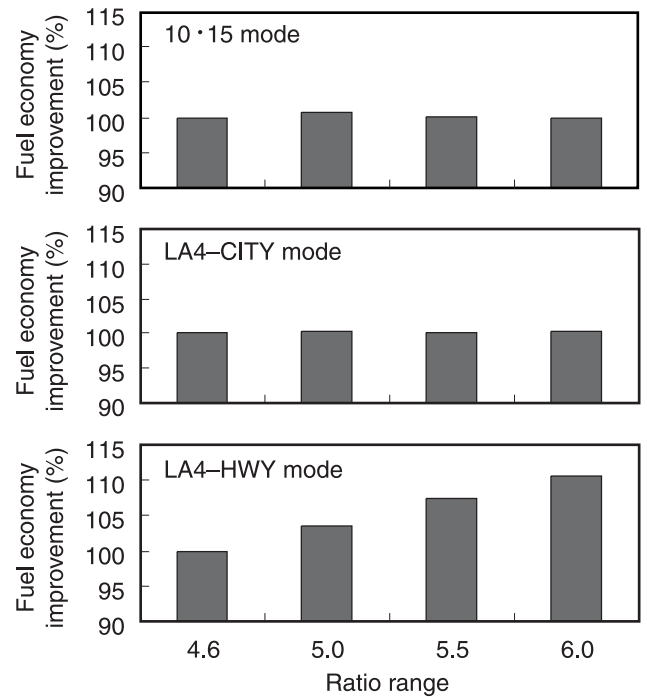


Fig.14 Fuel economy improvement of AMT (Difference of ratio range)

が大きいため，結果として燃費は悪い。

レシオレンジ5.0，5.5，6.0の場合，Ave. Pseには大差ないもののレシオレンジ5.5の場合にAve. BSFCが最も小さくなるため，結果として燃費は最良となっている。

Fig.15(右)において：

レシオレンジ5.5の場合にAve. BSFCは最も小さくなるがAve. Pseが大きいため，結果として燃費は悪い。レシオレンジ5.0の場合にAve. BSFCは大きいものの最もAve. Pseが小さくなることから燃費は最良となっている。

以上のことはエンジン熱効率が高い運転点のみを追求しても燃費が必ずしも向上するとは限らないことを示している。

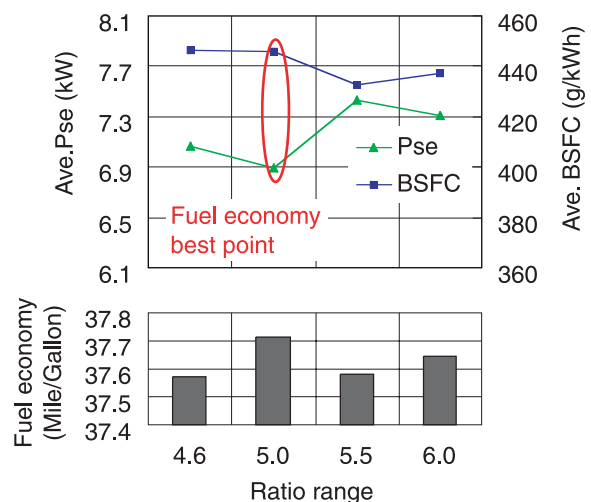
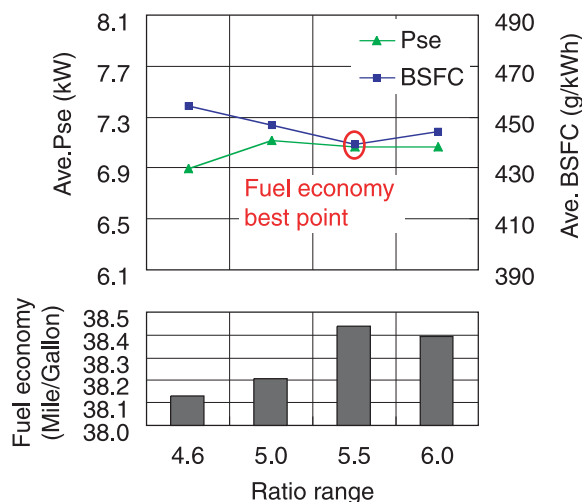


Fig.15 Relation of Pse, BSFC & fuel economy

エンジン発生仕事は、モード走行に必要な仕事と各種損失仕事からなり、各種損失仕事の大小は動力伝達機構の伝達効率によって決まる。

このことから、「エンジン熱効率の向上」と「伝達効率の向上」の二要素を合わせて考えたときに燃費向上が最大となるような運転点を実現するレシオとシフトスケジュールの選択が重要となることがわかる。

4.2.2. フリクション変化が燃費に与える影響

CVTと同様に、フリクションを低減することによるエンジン発生仕事の低減が燃費向上に及ぼす影響を検討する。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

低減率 : 0 → 100%

レシオレンジ : 5.5

Fig.16 はフリクション低減率0%をベースとしたときのフリクション低減率に対する燃費変化率を表している。

フリクション変化率に対する燃費変化率は LA4 - HWY, LA4 - COMB, LA4 - CITY, 10・15 の順に大きくなっており、燃費を0.5%向上させるためにはフリクションを各モードにおいて 20 %程度削減する必要がある。

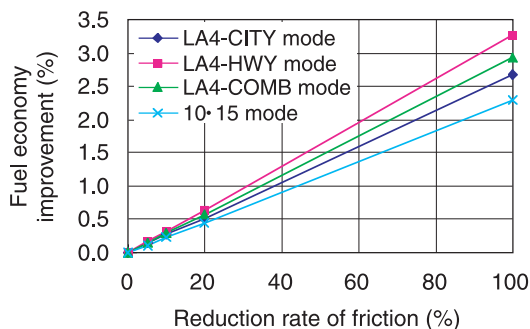


Fig.16 Fuel economy improvement of AMT (Difference of friction)

4.2.3. 変速段数が燃費に与える影響

変速段数を増やすことでエンジン運転点の自由度を増やし、よりエンジン熱効率の高い運転点の選択が燃費向上に及ぼす影響を検討する。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

変速段 : 4, 5, 6

レシオレンジ : 4.6, 5.0, 5.5, 6.0

Fig.17 は5段をベースとしたときの変速段数に対する燃費変化率を表している。

5段から6段へ変速段数を増やすことにより燃費は 0.5 ~ 1.0 %の程度向上する。燃費向上率はレシオレンジ6.0を超えたあたりで頭打ちとなる傾向にある。

4.3. 燃費検討まとめ

以上の検討をまとめると、CVTの場合、燃費向上にはフリクション削減が有効であり、さらに、LA4 - HWY に代表

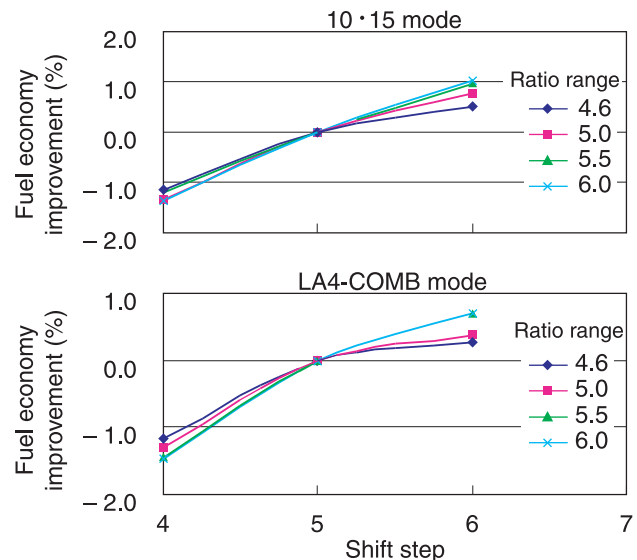


Fig.17 Fuel economy improvement of AMT (Difference between 4-speed and 6-speed)

される高車速走行においてはレシオレンジを拡大することでも有効である。一方、自動 MT ではもともと高い伝達効率を有するためフリクション低減による効果は少ないが、高車速走行に対してはCVTと同様レシオレンジの拡大が有効であることがわかる。

次に、以上の検討を踏まえ、燃費向上予測として、CVTと自動 MT それぞれで今後実現可能と思われる条件での燃費変化を確認した。

検討に際しての条件は下記のとおりである。

a : 現状仕様

b : レシオレンジ拡大仕様

c : レシオレンジ拡大+燃費向上手法

燃費向上手法についてはレシオレンジ拡大を基本とし、さらに CVT ではフリクション低減を、自動 MT ではフリクション低減が燃費向上にあまり寄与しないことから変速段数増加を考えた。条件を Table 4 にまとめる。

Table 4 Conditions of simulation

	Transmission type	
	CVT	AMT
a	Ratio range 5.5	Ratio range 4.6
b	Ratio range 6.0	Ratio range 5.0
c	b + Friction -20%	b + 6Speed

Fig.18 は Table 4 にまとめた条件により、条件 a をベースとしたときの燃費変化をグラフにしたものである。

CVT, 自動 MT ともに条件 a, b, c でほぼ同じ燃費向上率となっており、CVT よりも自動 MT の方が良い燃費となる傾向には変わりがないことが確認できた。

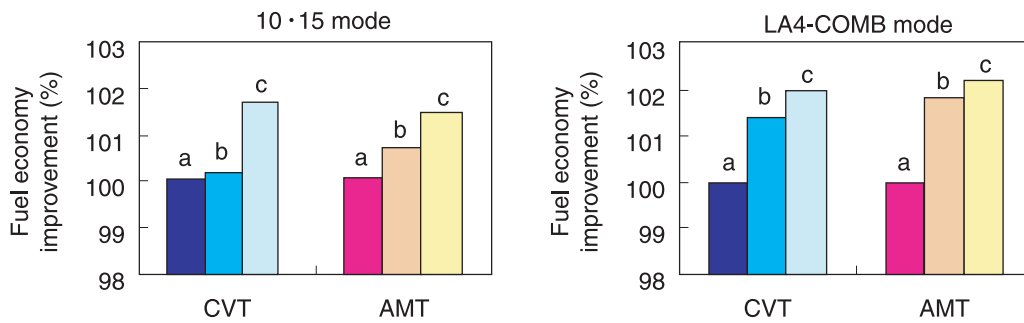


Fig.18 Simulation results under conditions of table 4

5. まとめ

CVT と自動 MT の燃費ポテンシャル把握のため、最良燃費となるシフトスケジュールで両者を比較できるシミュレーションモデルを確立した。また CVT と自動 MT のシフトスケジュール設定方法に同一手法を取り入れることにより、トランスミッション違いでの燃費比較を従来と比べてより条件をそろえて行うことができた。

これらのことから以下の知見が得られた。

- (1) 自動MTは CVT に比べ燃費に対して優位であることが判明した。
さらに燃費を向上するために
- (2) CVTではオイルポンプやベルトのフリクション低減が有効であり、LA4・HWY に代表される高車速走行に対してはレシオレンジの拡大も有効であることを確認した。
- (3) 自動MTではもともと高い伝達効率を有するためフリクション低減による効果は少なく、LA4・HWY に代表される高車速走行に対しては CVT と同様にレシオレンジの拡大も有効であることを確認した。
- (4) CVT, 自動MTともに実現可能と思われる条件でトランスミッション要素を変化させた場合、燃費はほぼ同じ向上率となり、燃費について自動 MT が CVT に対して優位である傾向に変わりがないことを確認した。

謝 辞

本研究にあたり、各種データの提供や貴重な助言を頂いた方々に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 山本ほか：エンジン・CVT 統合制御システムの開発，HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.93-100 (1999)
- (2) Sakaguchi, S., et al. : Development of an Engine-CVT

Integrated Control System, SAE Paper 1999-01-0754, (1999)

- (3) 阪口ほか：エンジン・CVT 統合制御システムの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.74-98, p.13-16 (1998)

■ 著 者 ■



山本 和久



青木 隆