

ISIMギヤトレインのアイデア創出経緯

How Came up with the Idea for ISIM Gear Train

岡本 壮史*

Takefumi Okamoto

要 旨

2023年にフルモデルチェンジした新型エルフには、自動変速機にISIMを新たに採用した。その技術概要については既にいすゞ技報135号にて紹介済みである。本稿では、ISIMに採用した9速DCTであるMYRトランスミッションの特徴的なギヤトレイン構造に着目し、そのアイデアが創出されるに至った経緯について紹介する。

Abstract

New ELF, which underwent a full model change in 2023, newly adopted ISIM for AMT. The outline of this technology has already been introduced in Isuzu Technical Journal No. 135. This paper focuses on the characteristic gear train structure of MYR transmission, which is a nine-speed DCT adopted in ISIM, and introduces the process that led to the creation of the idea.

1 はじめに

いすゞではトラックの環境性能及びイージードライブ性能向上のニーズに応えるため、自動変速機(AMT: Automated Manual Transmission)の進化に取り組んできた。近年、世界的な脱炭素社会実現に向けた動きが加速している一方で、物流業界では電子商取引(eコマース)の普及による物流量の増加に加え2024年問題による深刻なドライバー不足に直面し、輸送能力の低下が課題となっている。

それらの要求に応えるため自動変速機は更なる進化が必要と考え、蓄積した技術を活かし、従前のマニュアルトランスミッションをベースに自動化したスーマーExから、自動変速機専用のDCT(Dual Clutch Transmission)の開発に着手した。

本稿では、23年式エルフにISIM(アイシム: Isuzu Smooth Intelligent TransMission)の製品名で採用された9速DCTであるMYRトランスミッション(図1)のギヤトレイン構造について紹介する。

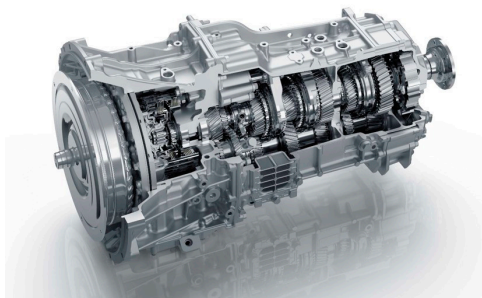


図1 MYRトランスミッションカットモデル

2 開発の狙い

狙いの一つは従前の6速トランスミッションからギヤ段数を増やし、多段化することである。最高ギヤ段による走行時にエンジン回転数を抑制し燃費を改善するためには、トランスミッションのギヤレシオをワイドレンジ化する必要がある。しかし、同じギヤ段数のままワイドレンジ化すると各ギヤレシオ間の段間差が広がり、変速時の駆動力のつながりが悪化する。よって多段化によるワイドレンジ化を図った。

次に変速時のトルク抜けの解消である。変速するにはクラッチを一度切り離し、ギヤを入れ替えたあとに再度クラッチを締結するが、この間エンジンの駆動力がタイヤに伝わらない。従前のスーマーExではこれらの操作が自動で行なわれるため、ドライバーが意図しないタイミングで変速すると違和感を覚えることがあった。それを嫌う状況においてはマニュアルモードを選択することで対応しており、自動変速機のメリットが一部損なわれていた。したがって、イージードライブ性能の向上には変速時のトルク抜け解消が不可欠であり、DCTを採用することで解決を図った。

DCTの変速手順を図2に示す。DCTは奇数ギヤ段用と偶数ギヤ段用、二つのクラッチを備えている。奇数ギヤ段用クラッチを締結し走行している間に、次に使用する偶数ギヤ段をあらかじめ準備(プレシフト)する。変速は二つのクラッチを架け替えることで行う。この動作を奇数ギヤ段と偶数ギヤ段とで交互に繰り返すことによりトルク抜けの発生を抑制でき、加速時の頻繁に変速が行われる状況においてもトルク抜けのないスムーズな加速が可能となる(図3)。

* シヤシ設計第一部～駆動商品企画・設計部

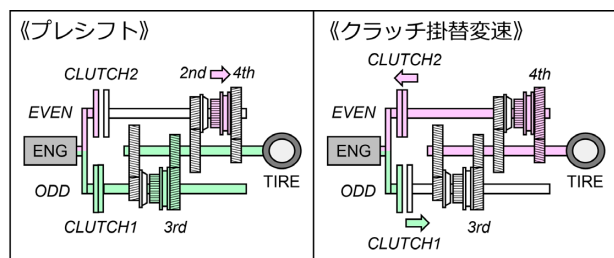


図2 DCT変速手順

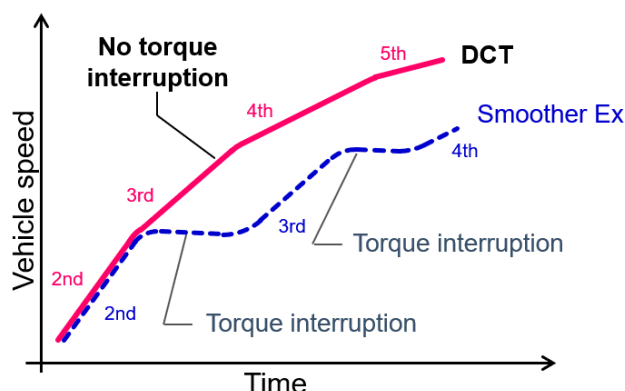


図3 加速性能の比較

3 ギヤトレイン構造への要求

トラックにおいては積載量を確保することが肝要であり、トランスミッションのサイズ抑制は重要な課題である。多段化するためには単純に考えればギヤセット数が増加する。また、DCTでは奇数ギヤ段用と偶数ギヤ段用の互いに独立したギヤトレイン構造が必要であり、実質的には2台のトランスミッションを有するようなものである。性能向上の要求を満たしつつ、トランスミッションのサイズを抑制するためには新たなギヤトレイン構造が必要であった。

4 ギヤトレイン構造のアイデア

トランスミッションは基本的にギヤセットとギヤ切替機構を軸方向に積み重ねて構成されるため、これらの個数がサイズに影響する。従前のスモーサーExに搭載されているMYTトランスミッションのギヤトレインを図4に示す。丸内の数字はギヤセット数、四角内の数字はギヤ切替機構の個数を表す。MYTトランスミッションの場合、ギヤセット数:7組、切替機構数:4個で構成されており、この構成が比較のベースとなる。

五角形内の数字は使用しているギヤ段を示す。ギヤレシオはインプットシャフトからカウンタシャフトへの1段目のギヤセットと、カウンタシャフトからメインシャフトへの2段目のギヤセット、この二つのギヤセットの組み合わせにより決まる。MYTトランスミッションにおける各ギヤ段の組み合わせを表1に示す。

1段目のギヤセット①は各ギヤ段で共用し、2段目のギヤセットを選択することでギヤ段を切り替える。この方式はインプットリダクション方式といい、反対に1段目のギヤセットを選択し、2段目のギヤセットを共用する方式をアウトプットリダクション方式という。

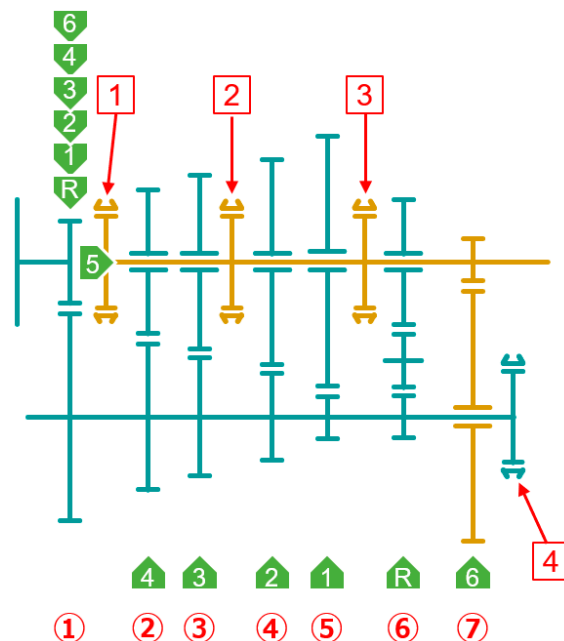


図4 MYTスケルトン図

表1 MYT ギヤセットの組み合わせ

ギヤレシオ		Counter→Outputギヤ列					
		② 0.76	③ 1.13	④ 1.90	⑤ 3.31	⑥ 3.15	⑦ 0.39
Input→ Counter ギヤ列	① 1.81	4th 1.379	3rd 2.040	2nd 3.434	1st 5.979	Rev 5.701	6th 0.708

4.1 DCT2ギヤトレイン

多段DCTの研究は、いすゞ中央研究所で先行して行われており、ギヤトレイン構造は既に提案されていた。本ギヤトレイン構造はDCT2と称する。ギヤトレインを図5に、ギヤセットの組み合わせを表2に示す。

DCT2は1st～4th及び5th～8thで2段目のギヤセットを共用するアウトプットリダクション方式である。8速に多段化しているが、ギヤセット数は6組とMYTトランスミッションに対し1組少ない。一方、ギヤ切替機構は5個と1個多いが要素数の合計としては同一である。

ただし、アウトプットリダクション方式では、1段目のギヤセットで各ギヤ段に応じたトルクに変換され、2段目のギヤセットには広範なトルクが入力される。その結果、ギヤ強度を確保するために歯幅の拡大と支持剛性の強化が求められ、全長が拡大する傾向である。

また、ギヤ切替機構を操作するためには、シフトアーム、シフトロッド及び油圧用ピストンが必要であり、

これらをギヤの外周に配置する関係からトランスミッションサイズに影響を及ぼす。更に油圧ピストンに供給する油圧回路も複雑化するためギヤ切替機構数の増加は課題である。

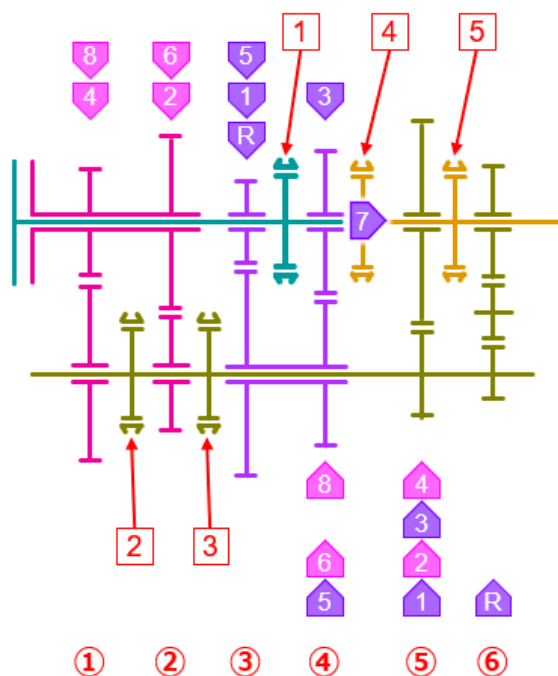


図5 DCT2 スケルトン図

表2 DCT2 ギヤセットの組み合わせ

ギヤレシオ		Counter→Outputギヤ列	
		④	⑤
Input→Counterギヤ列	① 1.46	6th 1.341	2nd 4.364
	② 0.79	8th 0.723	4th 2.353
	③ 1.96	5th 1.840	1st 5.983
	④ 1.07	7th 1.000	3rd 3.252

4.2 DCT8ギヤトレイン

別案としてインプットリダクション方式のDCTを検討した。これをDCT8と呼称する。ギヤトレインを図6に、ギヤセットの組み合わせを表3に示す。

奇数ギヤ段及び偶数ギヤ段において、個別に1段目のギヤセットを共用する。ギヤセット数は8組であり、MYTトランスミッションに対し1組多くなる一方、ギヤ切替機構は4個で同一である。8速に多段化しているもののギヤセットが1組増加することは課題である。ギヤセット数を削減するために、④ギヤセットを4thに、⑤ギヤセットを6thにて共用することも可能であるが、その場合プレシフトができず、一部の变速においてトルク抜けが生じることが課題となる。

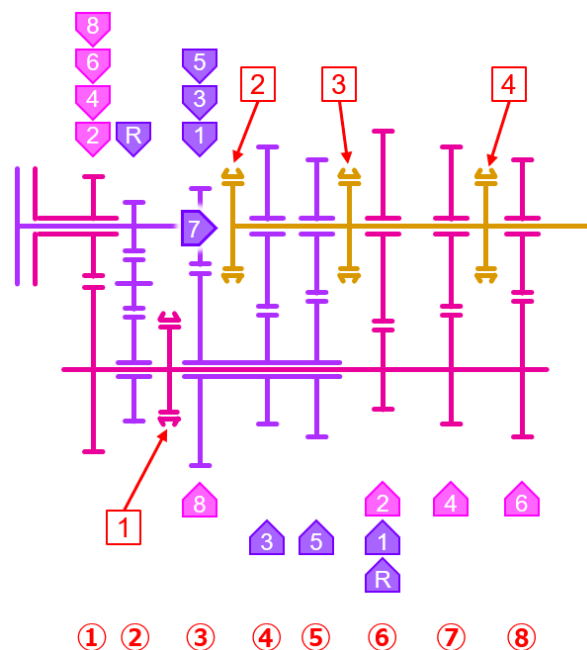


図6 DCT8 スケルトン図

表3 DCT8 ギヤセットの組み合わせ

ギヤレシオ		Counter→Outputギヤ列					
		③ 0.56	④ 1.63	⑤ 0.94	⑥ 3.31	⑦ 1.63	⑧ 0.94
Input→Counterギヤ列	① 1.31	8th 0.737			2nd 4.334	4th 2.140	6th 1.235
	③ 1.78	7th 1.000	3rd 2.903	5th 1.676	1st 5.880		

4.3 MYRギヤトレイン

4.3.1 アイデアの着想

アウトプットリダクション方式のDCT2とインプットリダクション方式のDCT8のどちらを採用するか、それぞれに利点と課題があり方針を決められずにいた。そうした中、「DCT8はリバース用ギヤセットの配置のみアウトプットリダクション方式である」との見解が述べられた。DCT8はインプットリダクション方式を基本としているが、ギヤ切替機構の数を削減するためにリバース用のギヤセットは1段目に配置している。この点においてはアウトプットリダクション方式と同様の構成であった。この何気ない一言が、「DCTは奇数ギヤ段用と偶数ギヤ段用の二つのトランスミッションを有するようなものであり、両者が必ずしも同じ方式である必要はない」という発想に至った。この着想がMYRトランスミッションのギヤトレイン構造のアイデア創出につながった。ギヤトレインを図7に、ギヤセットの組み合わせを表4に示す。

リバース及び偶数ギヤ段はDCT8と同様のインプットリダクション方式のギヤ配置で構成している。奇数ギヤ段は、2ndと共用している1stの2段目のギヤセットを除き、DCT2同様の3組のギヤセットで構成している。奇数ギヤ段の中央のギヤセットは1段目と2段目の

両方の役割を担い、このギヤを介してインプットシャフトとアウトプットシャフトとを連結して直結段(7th)を構築することもDCT2の考え方である。この組み合わせにより9速への多段化を実現しつつ、ギヤセット数は7組、ギヤ切替機構は4個とMYTトランスミッションと同一の要素数に抑えることができた。

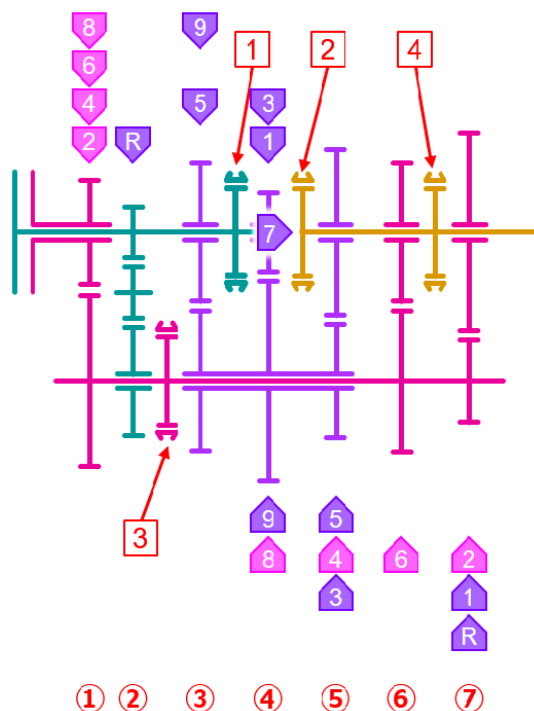


図7 MYR スケルトン図

表4 MYR ギヤセットの組み合わせ

ギヤレシオ		Counter→Outputギヤ列			
		④	⑤	⑥	⑦
Input→Counterギヤ列	①	8th	4th	6th	2nd
	③	9th	5th		
	④	7th	3rd		1st

4.3.2 構成要素数の削減

二つの方式を組み合わせることでDCT8に対してはギヤセットを1組削減し、DCT2に対してはギヤ切替機構を1個削減でき、それぞれの課題を解決した。

DCT8では中間ギヤ段(3rd～6th)の2段目のギヤセットが各ギヤ段専用であったが、本案では4thにおいて奇数ギヤ段の2段目(3rd及び5th)と共用することで削減した(⑤ギヤセット)。

DCT2では少ないギヤセット数でトルク抜けのない変速を実現するために、ギヤ切替機構が5個必要であった。ギヤ切替機構は1個で前後に配置された2組のギヤセットを選択可能であるが、DCT2では片側のみを

使用している例が見受けられた。本案ではギヤセットを1組追加し、全てのギヤ切替機構を両方向で使用するようにギヤセットの配置を工夫した結果、ギヤ切替機構を4個とすることができた。その工夫の一つがDCT8と同様のリバース用ギヤセットの配置である。

4.3.3 ギヤ段数の追加

DCT8では、奇数ギヤ段の1段目で使用しているギヤセットを偶数ギヤ段の2段目のギヤセットとして共用することで8thを構築し、ギヤセット数を増やすことなくギヤ段を1段追加している。本案では奇数ギヤ段の1段目として使用している④ギヤセットを同じ奇数ギヤ段の2段目として使用することで、更にギヤ段数を1段追加し、9thを構築している。

これは単にギヤ段数を追加できただけでなく、オーバードライブギヤが2段となったことでファイナルギヤレシオを設定する上でも利点となった。各ギヤトレインのレシオカバレッジを図8に示す。



図8 各ギヤトレインのレシオカバレッジ

トラックは発進時に通常2ndギヤを使用する。各DCTギヤトレイン案は2nd～最高ギヤ段までのレシオカバレッジを拡大できているが、最高ギヤ段のレシオはDCT2、DCT8ともにMYTトランスミッションと同等である。エンジン回転数を抑えて燃費を改善するためにはファイナルギヤレシオを浅くする必要があった。しかし、エルフで使用しているファイナルギヤレシオは既に浅い仕様が設定されており、従前のバリエーション展開ではワイドレシオ化の効果を十分に活かすことができなかった。それに対し本案では、オーバードライブギヤが2段となり最高ギヤ段のレシオ自体が浅くなっているため、ファイナルギヤレシオを変更せずとも燃費改善が見込める。発進性を確保するためにファイナルギヤレシオは深くする必要があったが既存のバリエーションで対応可能であった。

4.3.4 プレシフトの成立性

更なるギヤセットの削減方法として⑥ギヤセットの削減を検討した。⑥ギヤセットは6thでのみ使用しており、③ギヤセットを2段目のギヤセットとして使用すれば同一のギヤレシオとなるため、ギヤ段の構築だけを考えれば削減は可能であった。しかし、③ギヤセットは5thでも使用しているため、5th走行中に6thのプレシフトができず、トルク抜けが発生する。したがって、⑥ギヤセットは必要不可欠であり、削減することはできなかった。

本案は全てのギヤ段でDCTに必要なプレシフトが可能である。これはギヤセット及びギヤ切替機構の要素数と配置を工夫することで、必要最小限の構成要素数で実現した。表5に各ギヤ段でのプレシフト手順を示す。

表5 MYRプレシフト手順

●：動力伝達中 ○：非伝達

走行ギヤ	プレシフト	クラッチ		Slv&Hub 1			Slv&Hub 3			Slv&Hub 2			Slv&Hub 4		
		Odd	Ev	Ft	N	Rr	Ft	N	Rr	Ft	N	Rr	Ft	N	Rr
Rev	2nd	接	—			○	●				○				●
1st	2nd	接	—			●			●		○				●
2nd	1st	—	接			○			○		○				●
	3rd					○			○		○				●
3rd	2nd	接	—			●			○		●				○
	4th					●			○		●				○
4th	3rd	—	接	○	○	○			●		●			○	○
	5th			○	○	○			●		●			○	○
5th	4th	接	—	●					○		●			○	○
	6th			●					○		●			○	○
6th	5th	—	接	○	○	○			○		○			○	○
	7th			○	○	○			○		○			○	○
7th	6th	接	—			●			○		●			○	○
	8th					●			○		●			○	○
8th	7th	—	接	○	○	○			●		●			○	○
	9th			○	○	○			●		●			○	○
9th	8th	接	—	●					○		●			○	○

4.3.5 課題

一つのギヤセットが1段目と2段目の両方の役割を担っていることに起因する新たな課題も確認された。図9に6thで走行中に7th→5thへのプレシフトを行う際の各部の回転数のイメージを示す。

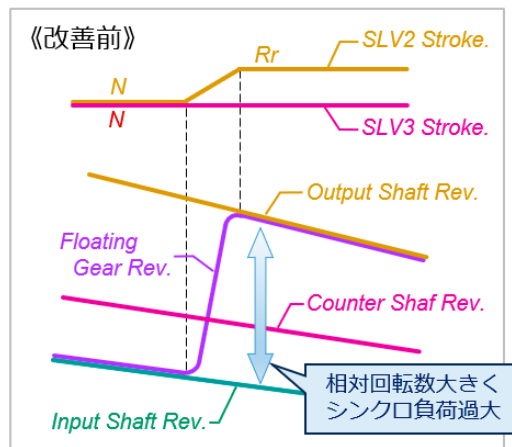


図9 7th→5thプレシフトイメージ(改善前)

⑤ギヤセット(図中ではフローティングギヤ)は、7th→5thへのプレシフト時にインプットシャフト相当の低回転からアウトプットシャフト相当の高回転まで回転数を引き上げる必要がある。そのため、エンジン回転数が高い状況でプレシフトを行うとギヤ切替機構内のシンクロ負荷が大きくなり、耐久性が確保できないという課題が確認された。本課題についてはプレシフト手順を工夫することにより解決した。ギヤ切替手順の改善方策を表6に、回転数変化のイメージを図10に示す。

表6 5th⇔7thプレシフト改善方策

●：動力伝達中 ○：非伝達

走行ギヤ	プレシフト	クラッチ		Slv&Hub 1			Slv&Hub 3			Slv&Hub 2			Slv&Hub 4		
		Odd	Ev	Ft	N	Rr	Ft	N	Rr	Ft	N	Rr	Ft	N	Rr
6th	5th			○			○				○				●
	N	—	接	○			○				○				○
	7th			○			○				○				○

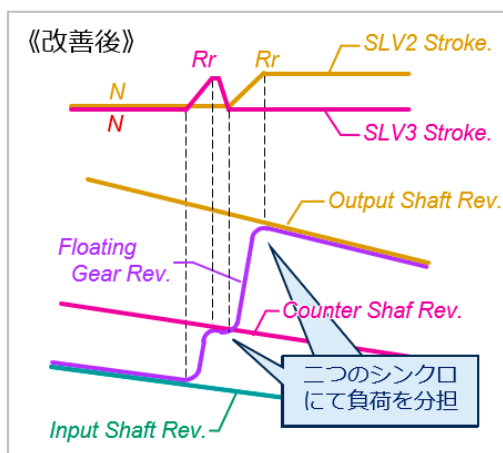


図10 7th→5thプレシフトイメージ(改善後)

5th及び7thの動力伝達経路の構築には本来不要なギヤ切替機構3を使用し、⑤ギヤセットの回転数をカウンタシャフト相当まで引き上げたあと、本来必要なギヤ切替機構2をシフトすることでシンクロへの負荷を二つのシンクロで分担した。シンクロへの負荷が大きくなる状況を判別し、その際のプレシフトには本方策を適用した。

5 クロスレシオ化の効果

MYRトランスミッションは6→9速への多段化を実現しているが、追加した3段分すべてをレシオカバレッジの拡大に充当しているわけではなく、拡大は1段分程度にとどめている。3段分の大幅なレシオカバレッジ拡大は不要であり、残り2段分は低ギヤ段のクロスレシオ化に充てている。MYTトランスミッションとのギヤレシオ及び段間比の比較を図11に示す。

本案では、一つのギヤセットを複数のギヤ段で使用するため、各ギヤ段のレシオは個別に自由に設定することができない。高ギヤ段の段間比はMYTトランスミッション同等以下に設定する必要がある、これに伴い低ギヤ段も段間比が小さくなり、クロスレシオとなる。低ギヤ段におけるクロスレシオ化はプレシフト及びクラッチの掛け替えが間に合わず、エンジン回転数が高止まりして、かえって燃費悪化につながる懸念があった。この課題に対しては車両加速度に基づき早期に変速を実施するとともに、発進時には路面勾配を判定し、平地路であれば3rdギヤからの発進を選択して変速回数を減らす等の制御を導入することで、遅れのない適切なタイミングでの変速を実現した。

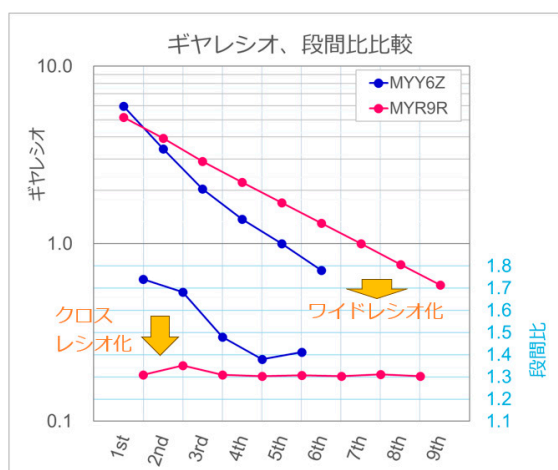


図11 ギヤレシオ、段間比比較

低ギヤ段のクロスレシオ化により、発進加速時の変速においてエンジン回転数の上昇を抑えることができる。この効果は燃費改善のみならず、騒音低減に寄与しドライバーの疲労軽減にも貢献する。

また、トルク抜けのない変速及び低ギヤ段を含むク

ロスレシオ化により駆動力のつながりに優れ、ドライバーが要求する駆動力を速やかに提供できることで、運転のしやすさが飛躍的に向上した。これはISIMの最大のメリットである。図12にドライバビリティ向上のイメージを示す。

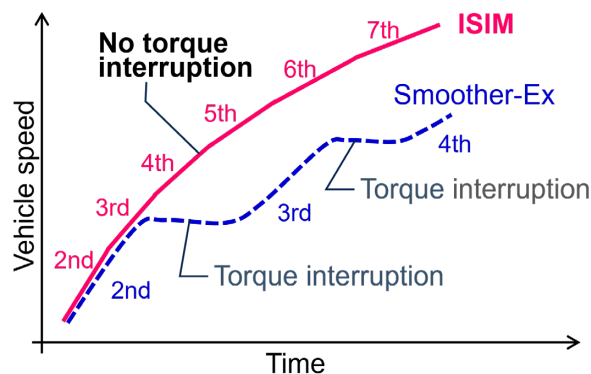


図12 加速性能の比較

6 おわりに

まとめとして各ギヤトレインの比較表を表7に示す。

表7 ギヤトレインの比較表

	MYT	DCT2	DCT8	MYR
ギヤ段数	6段	8段	8段	9段
オーバードライブ数	OD1	OD1	OD1	OD2
ギヤセット数	7組	6組	8組	7組
ギヤ切替機構数	4個	5個	4個	4個
レシオカバレッジ	1st~	8.47	8.28	7.98
	2nd~	4.86	6.04	5.88

本稿ではMYRトランスミッションのギヤトレイン構造に焦点を当てて紹介した。特徴的な構造が9速DCTを実現していることを述べたが、このアイデアは一朝一夕に生まれたものではなく、今回紹介した以外にもさまざまなアイデアを関係者で出し合い、熟考を重ねた末にたどり着いたものである。

ISIMの優れた商品性はギヤトレイン構造のみで成立するものではなく、そのほかの要素や9速DCTというデバイスを有効活用するための制御が不可欠である。更にはこの複雑な構造を内製で生産する技術があつて初めて実現するものである。ISIMを世に送り出すにあたりご尽力いただいた関係者の皆様に深く感謝するとともに、そのご努力に敬意を表する。

参考文献

- (1) 明石浩平 ほか：新型elfのトランスミッション「ISIM」について、いすゞ技報135号，(2023)，P22-27