

少気筒エンジン向けJatco CVT-X用トルクコンバータ開発

尾崎 光治*

遠藤 雅亜*

渡邊 聡*

松尾 道憲**

抄 録

少気筒過給エンジンは燃費向上を図れるが、アイドル時の振動や、過給域と未過給域のトルク差が大きく、また低回転域から加速する時のトルク変動が増加してしまう。その為、Jatco CVT-Xでは車内騒音改善対応が必要となった。

騒音振動課題に対応しつつ、燃費性能と動力性能を成立させるため、Jatco CVT-X用トルクコンバータに採用したペンデュラムダンパ適用事例と流体性能特性の改善事例を紹介する。

1. はじめに

近年、燃費の更なる改善を目指して、少気筒過給エンジンが台頭してきた。Jatco CVT-X(以下 CVT-X)も、3気筒過給エンジンへCVTとして初適用する事となった。

少気筒化により、特に低車速領域で、従来のエンジンに対してより大きなトルク変動が発生する。燃費向上の為には、低車速域からのロックアップが有効だが、従来以上の制振が必要となった為、CVT-Xではペンデュラム機構付きダンパで解決を図る事とした。

ペンデュラム機構のダンパは、大きなトルク変動を減衰させようとする、搭載スペースが必要になる。狭いスペースに収める場合、減衰性能低下と耐久性低下が懸念される為、それらを考慮しながら、ペンデュラム機構ダンパのマス、バネ仕様を選定する必要がある。

また、トルクコンバータにはトルク増幅機能がある。発達性能向上に対してはトルク増幅が大きい方が良いが、アイドル時のエンジントルク変動が大きい場合、車体振動を助

長してしまう懸念がある。

そこで、車体振動の抑制に貢献しつつ、動力・燃費性能を満足する流体性能へのチューニングを行った。

本稿では、これらの課題解決事例を紹介する。

2. ペンデュラム機構ダンパの課題と方策

3気筒過給エンジンでは、低回転から大トルクを発生出来るが、トルク変動も増加してしまう(Fig. 1)。

ロックアップ状態での車内騒音を従来並みに抑えるため、従来のダンパに対して燃費要求条件で14dB以上、Wide-Open Throttle(以下 WOT)条件で18dB以上のドライブシャフトトルク変動低減が必要である(Fig. 2)。

上記の目標を達成する為、ペンデュラム機構を付けたダンパを採用した(Fig. 3)。

ペンデュラム機構ダンパは、トルク変動周波数に合わせ、振り子の原理でマスを逆位相に作動させ減衰力を得る構造である。ペンデュラムマスが振れすぎた場合、他部品と干渉が発生する。この現象を振り切れと呼ぶ。

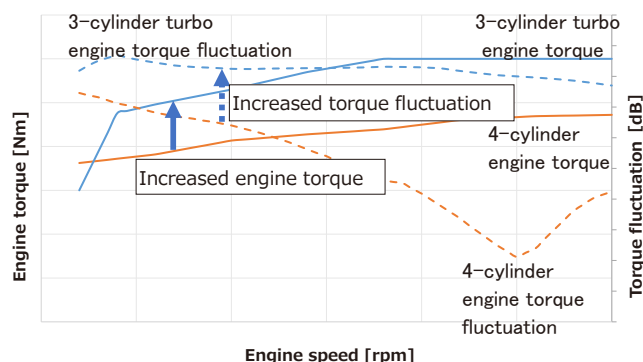


Fig. 1 Engine torque and torque fluctuation

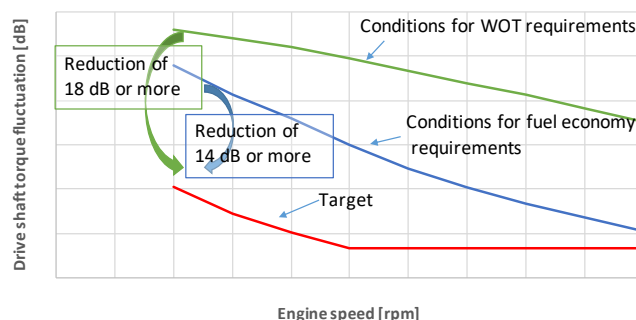


Fig. 2 Targets for reducing drive shaft torque fluctuation

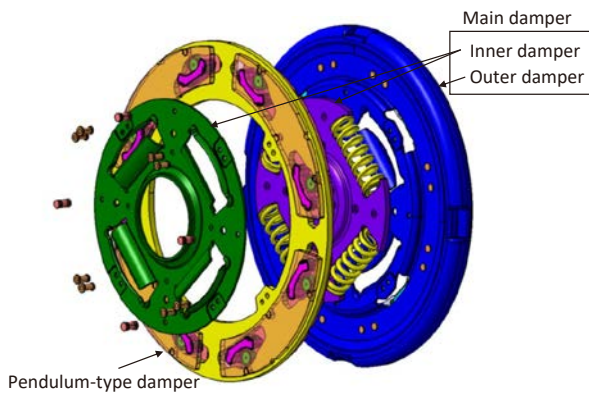


Fig. 3 Structure of pendulum-type damper

ペンデュラムマスの振り切れが発生すると、異音・振動の発生、耐久性の低下が課題となる。

そのため、通常使われる領域では振り切れが発生しない設計が必要となる。

2.1 検討手法

一般的に、大きなトルク変動入力に対し、ペンデュラムマスの振り切れが発生しないように、マストロークを設定すると、大きなマスが必要となり、スペースが必要となる。しかし、レイアウト要求から小型化も必要な為、ダンパの振り剛性、ペンデュラムマスのサイズを設計し、減衰効果とマス振り切れ課題のバランスをとる仕様設定を行った。

ドライブシャフトのトルク変動検討は、Fig. 4のモデルを用いた。ペンデュラムマスのサイズ及び、ダンパのバネ剛性(K1, K2)をパラメータとして、燃費要求条件の成立性検討を行った。また、同時にマスの振り切れ限界領域も確認した。

マスのサイズを大きくすると、トルク変動の低減効果が高い。しかし、搭載要件の制約から上限が決まるため、搭載性からの規制値を軸長の上限值とし、メインダンパ

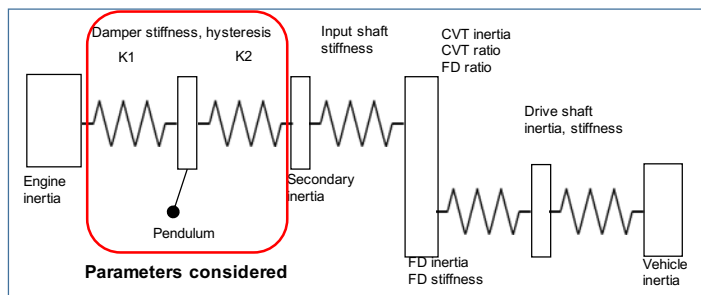


Fig. 4 Analysis model

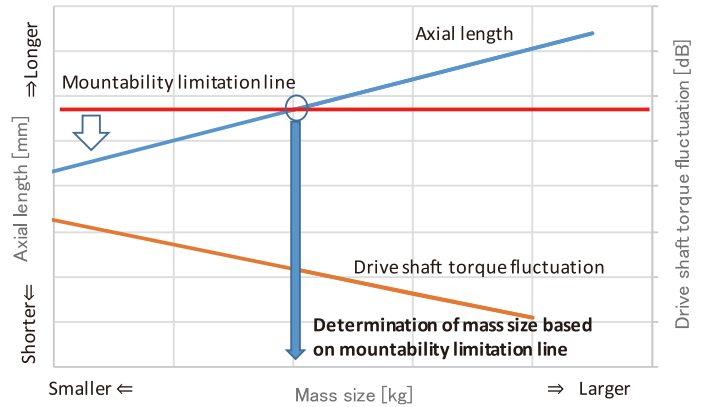


Fig. 5 Sensitivity of axial length and drive shaft torque fluctuation to mass size

の既存スペースを確保した上で、マスのサイズを決定した (Fig. 5)。

一方、メインダンパは、バネ剛性を小さくすると、ペンデュラムの振り切れ回転を小さく出来る。しかし、必要以上に低剛性になると、強度確保のためにバネサイズアップが必要になり、メインダンパが大きくなり制約であるレイアウトを満たさなくなる。

ダンパの既存スペース内でバネ剛性を振り、燃費要求条件のドライブシャフトトルク変動レベルと、WOT条件のペンデュラムマス振り切れ発生回転確認を行い、両立するバネ剛性を決定した。

Fig. 6は、ダンパのバネ剛性を振った時のこもり音検討結果で、バネ剛性は、Aの剛性が高く、Cが低い仕様である。

バネ剛性が低いC(青ライン)のドライブシャフトトルク変動レベルが一番小さいが、高剛性のA(緑ライン)まで燃費目標のドライブシャフトトルク変動値を達成できる。

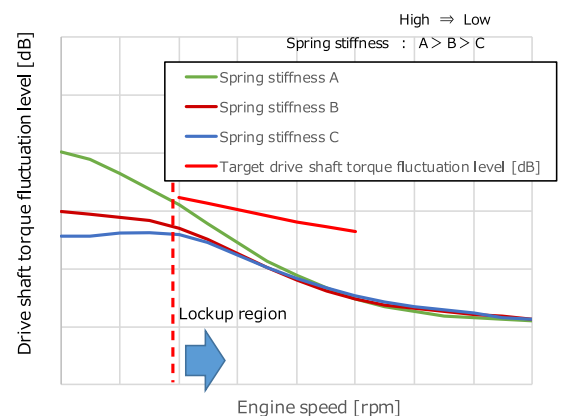


Fig. 6 Booming noise simulation results for various spring stiffness values

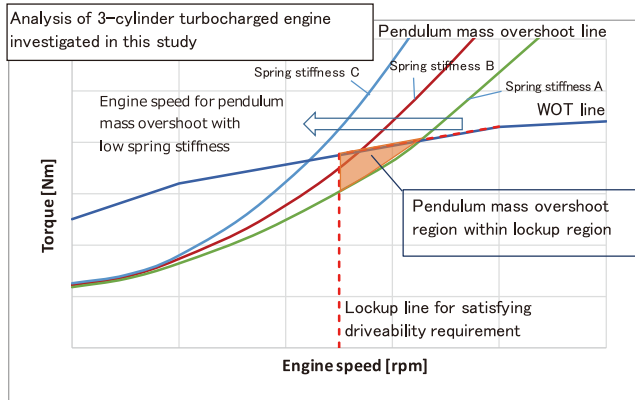


Fig. 7 Engine speed for occurrence of mass overshoot at each stiffness level

Fig. 7は、ダンパのバネ剛性毎に、エンジントルクとそれに発生しているトルク変動を入力した時のペンデュラムマスの振り切れ回転を検討した結果である。

ダンパのバネ剛性を低くすると、マスの振り切れが発生する回転数を低くすることが出来、バネ剛性Cで、運転性を満足する回転数を満足する。

限られたスペースの中で、燃費要求に対するこもり音とWOT条件での振り切れを両立する仕様を決定した。

2.2 達成度

Fig. 8にエンジン回転数とエンジントルクのマップにおけるロックアップ可能領域を示す。

ペンデュラムのマスサイズ、ダンパのバネ剛性、及び、レイアウトのバランスを取ることで、Dレンジで、燃費要求を満足するロックアップ領域を設定出来た。

また、駆動力重視となるWOT条件においても、振り切れなくロックアップできる領域を運転性要求線まで満足した。

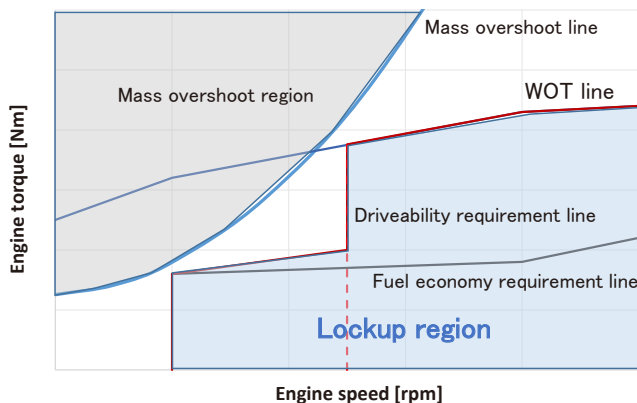


Fig. 8 Lockup region and mass overshoot region

これにより、動力性能と実用燃費に貢献する設定が出来た。

3. 流体性能の課題と方策

次に、Dレンジアイドル時の振動課題を回避しつつ、燃費性能、動力性能を満足する流体性能の改善事例を紹介する。

3気筒過給エンジンは、アイドル時のトルク振動が大きく、車体振動を助長する懸念がある。

振動対策として、ドライブシャフトへの入力トルクを下げる事により改善が見込まれ、トルクコンバータの出力トルクを下げる方策が考えられる。

トルクコンバータの出力トルク(T_o)は、次式で表され、トルク容量係数(τ)、エンジン回転数(N_e)、及び、トルク比(t)に対して、以下関係にある。

$$T_o = \tau \times N_e^2 \times t$$

よって、トルク容量係数とトルク比を下げる事により出力トルクの低減が見込める。

但し、トルクコンバータのトルク容量係数は、全体的に下げてしまうと、加速時にエンジン回転が吹き上がり、運転性、及び、燃費が悪化してしまう。

その為、高速度比側のトルク容量係数は、高いまま維持する必要がある。

そこで、アイドル時に使用されるストールを含む低速度

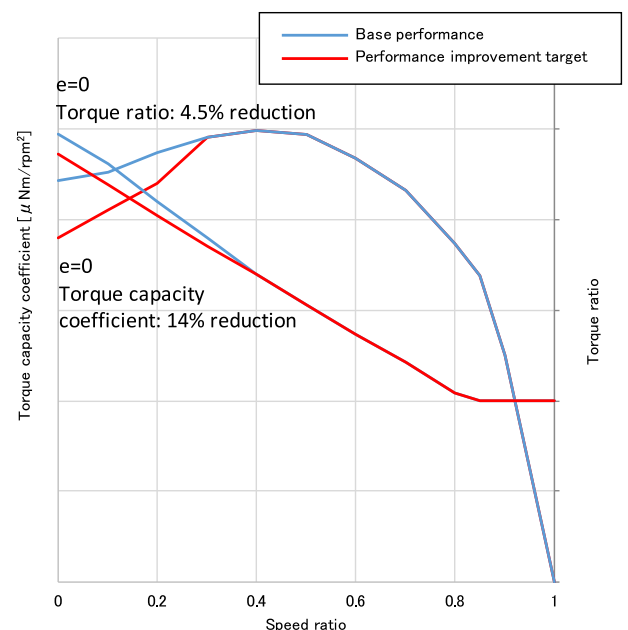


Fig. 9 Targets for improving hydrodynamic performance

比のトルク容量係数とトルク比を下げる事により、アイドル時振動を回避しつつ、燃費性能、動力性能を満足する流体性能の改善を図った。

上記を達成させる流体性能の改善目標は、ベースの性能に対し、低速度比(速度比0.4以下)のトルク容量係数とトルク比を下げ、速度比0.4以上の領域は、維持させる事とした。

Fig. 9は、流体性能の改善目標性能を示す。

3.1 流体性能検討手法

低速度比のトルク容量係数、トルク比を下げるには、ステータの形状で流れの剥離量を増やすのが効果的である。そこで、ステータの先端部の形状振りによる性能感度を取得し、性能チューニングを実施した。

Fig. 10は、解析によるストール時のステータ周辺の流速分布である。

ストール時は、矢印の方向より油が流入し、ステータの翼に当たり、翼の腹側と背側に分流される。

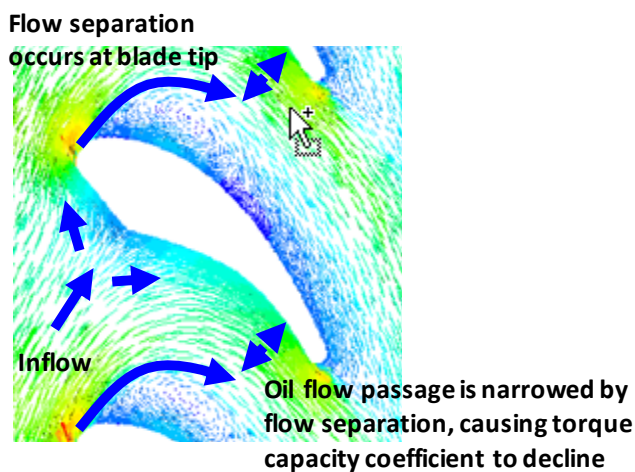


Fig. 10 Flow velocity distribution around the stator

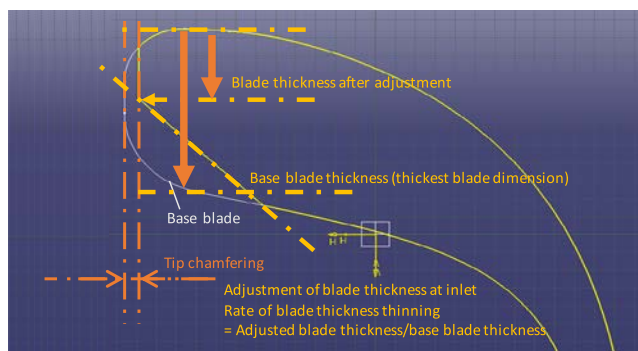


Fig. 11 Cross-sectional view of stator blade: Schematic diagram of tip chamfering

この時、ステータの先端形状により剥離域が決まり、その剥離量を増やす事でトルク容量係数、トルク比を下げる事が出来る。

剥離量を増やす方策としては、流入側であるステータ先端のカット量を変更すること、及び、翼の入口部の板厚を調整することが挙げられる。

ベースのステータに対し、先端のカット量と板厚調整による性能感度を取得し、翼形状を決定した(Fig. 11)。

3.2 性能感度取得結果と達成度

Fig. 12は、ステータの先端カット量によるトルク容量係数の性能変化率のグラフである。

実験的に先端のカット量に対するトルク容量係数感度を取得した結果、カット量に対して低減効果が大いことを確認した(赤ライン)。

しかし、実際には生産性を考慮し、エッジ部にR形状を施す必要があり(Fig. 13)、それを考慮して性能取得した結果、同じカット量で11%から7%程度への低減効果となり、性能低減効果は小さくなることが分かった。

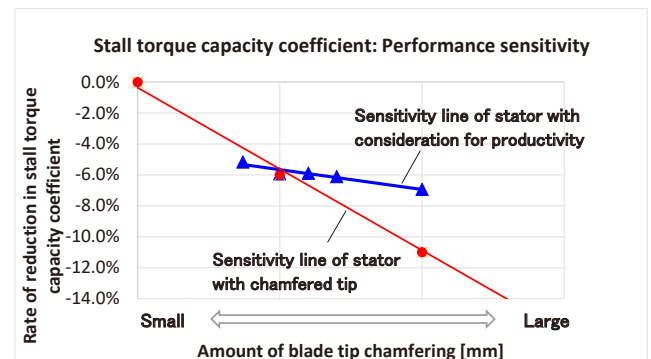


Fig. 12 Stall performance sensitivity to blade tip chamfering

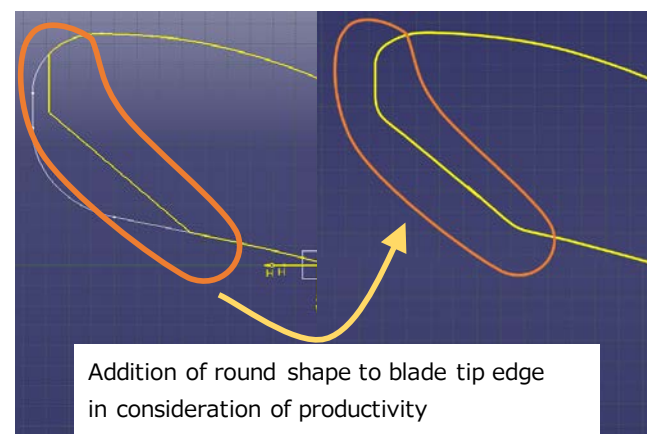


Fig. 13 Stator geometry considering productivity

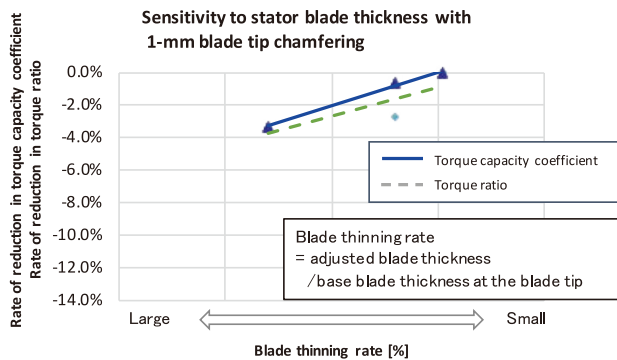


Fig. 14 Sensitivity of torque capacity integer to blade thickness

次に、翼の板厚調整による性能感度を取得した(Fig. 14)。薄翼化する事で、ストールのトルク容量係数及びトルク比低減に効果が有ることを確認した。

先端カット及び薄翼化をすると、低速度比以外の中高速度比のトルク容量係数の低下も伴うため(Fig. 15)、アイドル時の振動対策に対する貢献度、及び、中高速度比側の性能低下による動力・燃費性能への影響を考慮し、仕様を決定した。

達成度は、ストールのトルク容量係数低減目標14%に対し、8.3%低減、トルク比4.5%低減目標に対し、4.5%低減を達成した(Fig. 16)。

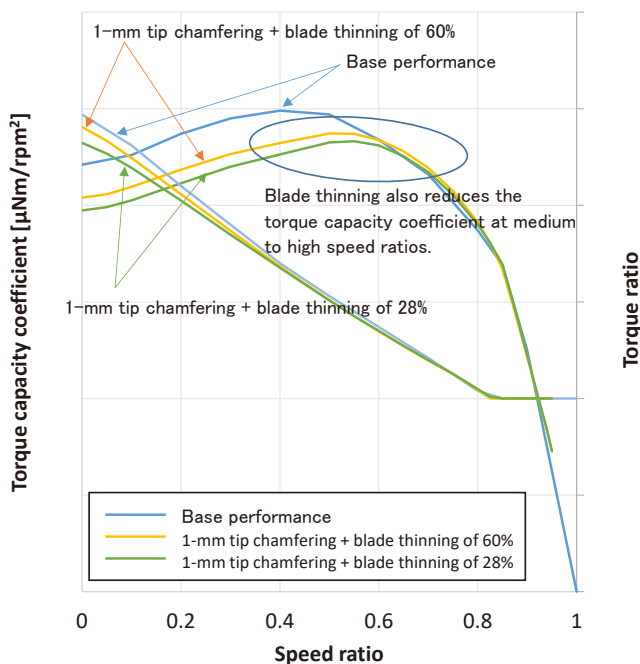


Fig. 15 Overall performance results for blade geometry variation

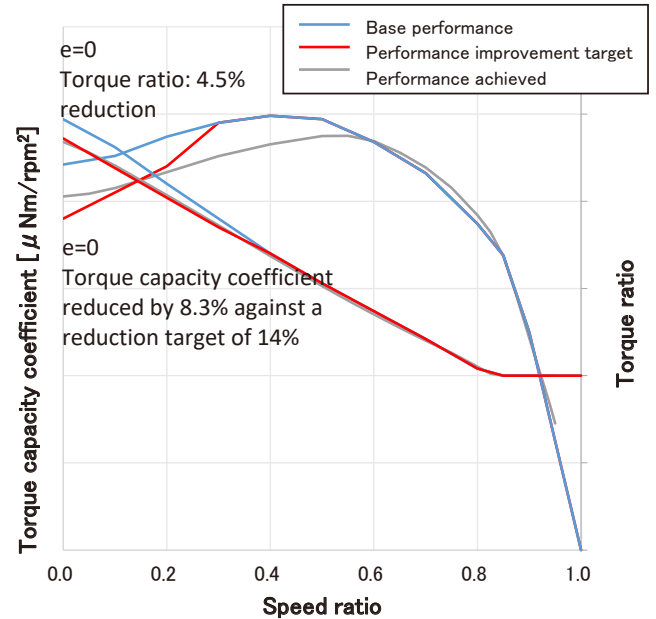


Fig. 16 Level of hydrodynamic performance achieved

速度比0.6以降は、トルク容量係数、トルク比とも、ベース性能を維持し、動力・燃費性能への影響を抑える事が出来た。

4. まとめ

3気筒過給エンジンへの初適用に当たり、限られたスペースの中で、ペンデュラム機構付きダンパのペンデュラムマス振り切れ課題、アイドル時の振動課題、両者を満足する仕様を決める事が出来た。

- (1) 燃費要求を満足するロックアップ領域を達成し、WOT条件に於いては、ダンパのバネ剛性の調整により、ペンデュラムマスの振り切れなく運転性を満足するロックアップできる領域を達成した。
- (2) アイドル時の振動に対しては、トルクコンバータの性能チューニングにより、トルク容量係数を8.3%の低減、トルク比4.5%の低減を達成し、振動対策に貢献しつつ、動力・燃費性能を満足する性能を達成した。

■ 著者 ■



尾崎 光治



遠藤 雅亜



渡邊 聡



松尾 道憲