

エンジンラバーマウント化による ATV 振動低減

ATV Vibration Reduction by Engine Rubber Mount System

清水 克久 Katsuhisa Shimizu ● MC 事業本部 第 5PM 室

1 はじめに

近年 ATV 市場は全体の約 90% を占める米国の好景気という追風を受けて、毎年 20% 近い伸長を続けている。その中でユーティリティー系 ATV は、かつてのように農作業などの業務用としてよりも、趣味の乗り物としての色合いを強めつつある。その結果、乗り心地への要求は近年急速に高まってきている。

ひとことに乗り心地といってもその現象は多岐に渡るが、今回は特にエンジン振動の低減のため、YFM660FWA NEW GRIZZLY660（図 1）に採用したエンジンラバーマウント化技術について紹介する。



図 1 YFM660FWA NEW GRIZZLY

2 開発の狙い

今回エンジンラバーマウントシステムを搭載した YFM660FWA は、従来 ATV 市場の中でも最大排気量エンジンを搭載しそのパワフルなエンジンで好評を博していた YFM600FWA（図 2）のフルチェンジモデルである。

従来車では 600cm³ の単気筒エンジンをリジッドで搭載していたため、中高速域におけるエンジン振動がやや大きく、近年エンジンをラバーマウントし低振動化を図ってきた他社ライバル車に、体感振動の面でやや遅れをとっている感があった。

NEW MODEL では、車両取りまわし性や運動性能向上のため、排気量アップにともない加振力は増大する中で、車体はむしろ軽量化を押し進める必要があった。そのためエンジンをラ



図 2 YFM660FWA

バーマウント化することにより、車体は軽量化しながらも振動乗り心地は向上させることを開発の狙いとした。

開発目標値としては、現在大排気量 ATV の中で最量販車であり、今回開発した YFM660FWA のライバルとなる PORALIS の SPORTSMAN500 と振動 VGL 値で同等以上とした。具体的にはハンドル、フートレスト、燃料タンク、シートの 4 点の定常回転域 VGL 値で 55 以下、最大値（共振時）でも 60 以下を狙うというものである。

3 エンジンの加振力

今回ラバーマウントするエンジンの諸元を表 1 に、概略の形状を図 3 に示す。エンジンは 1 軸バランス付単気筒エンジンで、主な加振力としては、

- (1) 1 次慣性偶力 (クランク軸まわり)
- (2) トルク変動 (クランク軸まわり)
- (3) トルク変動 (出力軸まわり)

などが挙げられる。

現行の YFM600FWA は中高速域の VGL 値が良くないという評価を受けて、まず 1 次慣性偶力に対して最適な防振支持となるようにマウント設計をすることとした。

表 1 エンジンの諸元比較

	単位	YFM600FWA	YFM660FWA
排気量	cm	595	660
型式		4 ストローク 1 軸 バランス付 単気筒	
圧縮比		8.5 : 1	9.1 : 1
往復質量	g	636.3	651.9
1 次慣性偶力	kgf・mm	0.121 ω^2	0.124 ω^2
最大トルク	N・m	38	50
最大出力	kW	23.5	30.5
車体質量	kg	272	272

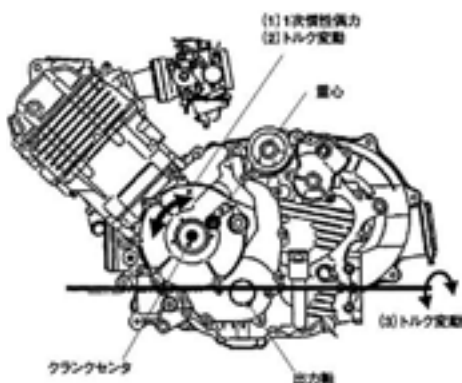


図 3 エンジン外観と主な加振力

トルク変動系の加振力については、中心周波数が回転 0.5 次であるため、これを防振支持するためにはマウント系を相当に柔らかく設定する必要がある。

具体的には、エンジンクランク軸まわりのマウント系共振点を 1,000rpm(17Hz) 程度に設定する必要がある。ATV では YFM400FWA や YFZ350 などラバーマウントの採用例はあるが、いずれも 40 ~ 50Hz 付近に共振ポイントをもたせており、エンジンの変位量やマウントゴムの耐久性の考慮が必要となる。また上記機種ではトルク変動はあまり問題となっていないこともあり、今回は基本設計段階ではトルク変動は考慮しなかった。

4 マウント基本設計 (非連成化)

ラバーマウント化による防振支持の基本は、エンジンを剛体と仮定して、エンジンマウントとエンジン (重心) で形成される 6 自由度共振系の固有振動数を、強制外力の振動数に対して $\sqrt{2}$ 以下とすることである。

しかし、単に固有振動数を下げるためだけにエンジンの支持剛性を下げると、駆動反力や走行外力によりエンジンが動きすぎて、エンジンと他部品との接触や排気系の破損の原因となってしまう。従って、強制外力の働く方向にのみ固有振動数を下げて防振支持とし、それ以外の方向については十分な支持剛性を確保する必要がある。

そうした要求を満足するため、強制外力であるクランク軸回りの 1 次慣性偶力方向に対してはゴムがせん断に働き柔らかく、駆動反力・走行時の上下前後方向の力に対しては、ゴムが圧縮に働き硬くなるようにマウントを傾斜配置した(図 4)。

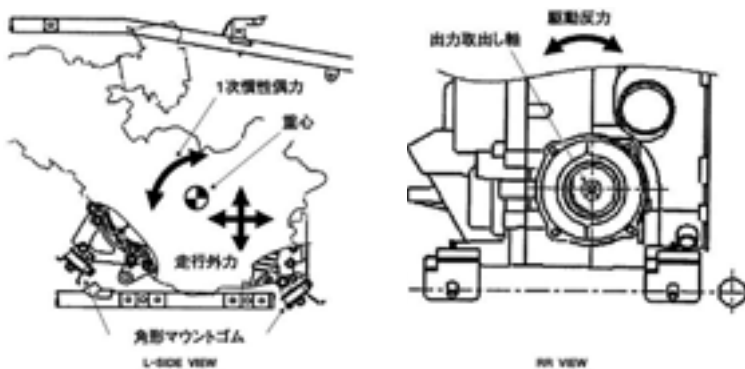


図 4 マウントの配置と主な外力

マウントゴム傾斜配置は、自動車（特に FR 車）などでよく採用されているマウント方式で、傾斜角度とマウントゴムの圧縮・せん断のばね定数比を適切に設定することで、今回でいえばクランク軸まわりの振動モードを非連成化することができる。非連成化することによる利点は次のとおりである。

- (1) 非連成化した自由度の振動が独立となり、振動数および振幅の計算が容易となる
- (2) 防振支持実施後、不具合を生じたときの対策が立てやすい
- (3) 非連成化した自由度の外力に対して起こる共振は 1 回である

つまり傾斜支持による振動の非連成化は、エンジンマウントに要求される防振とエンジン変位量規制を最も高次元で両立させることができる。

5 マウント設計（固有振動数の計算）

前項にて述べた非連成化を実現し、かつ固有振動数を狙いの値にするためには、6 次運動方程式を解く必要がある。今回は、エンジンも新設計であったため、計算で求めたエンジン重心、慣性モーメント、および慣性主軸（慣性乗積）をもとに、技術計算プログラム（エンジンマウント固有値計算・定常応答計算）を主に用いて計算を行なった。

最も重要となるクランク軸回りの回転モードの固有振動数は、アイドル回転数 (1,500rpm) と CVT のクラッチイン回転数 (2,200rpm) の中間である 1,800rpm 狙いとした。

防振支持の面では、自動車のようにアイドル回転数 /1.4 以下に設定することが理想であるが、エンジンの動き量がかかなり大きくなり、自動車等と比較して短い排気系への負担が大きくなることを懸念して上記の設定とした。

計算に際しては、複数の仕様で試行錯誤を繰り返し、最適な仕様を選定した。表 2 に生産設計仕様の固有値・固有モード解析結果を示す。固有モードは、車両基準である。

また、1 次慣性偶力をクランク軸回りにかけた場合の、ピッチング方向回転変位量の定常応答計算結果を

図 5 に示す。

図に示すよう

に共振点は唯一となっており、設計の狙いを達成している。

mode6 との連成がやや見られるが、これはエンジンのクランク軸方向の慣性主軸が図 6 のように 20 度程度傾斜しているため、ピッチングとローリングの連成が発生したと考えられる。

この連成は、弾性主軸とトルクロール軸の傾

きを最適化させることで解消できるはずであるが、フレームの構成が複雑となることや、組立ラインでのエンジン搭載性が劣ることもあり、大きな連成ではないため本仕様を生産仕様として採用した。

表 2 固有値・固有モードの解析結果

	固有振動数 (Hz)	1 次回転数 (rpm)	固有振動モード
mode 1	15.4	924	左右並進
mode 2	27.1	1,625	ヨーイング
mode 3	31.1	1,865	ピッチング
mode 4	41.3	2,477	ローリング・上下並進連成
mode 5	44.0	2,639	前後並進・ローリング連成
mode 6	55.97	3,358	上下並進・ローリング連成

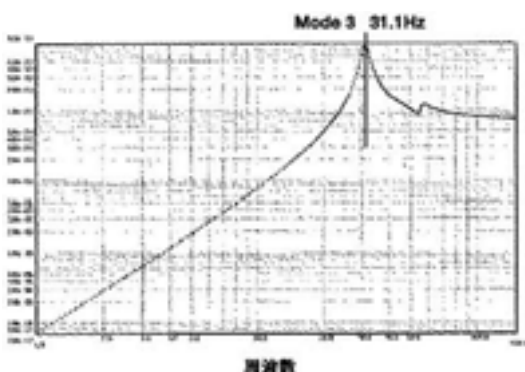


図 5 ピッチング方向回転変位量の計算結果

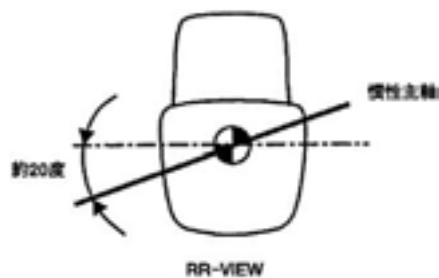


図 6 慣性主軸の傾き

6 ラバーマウント化の効果

ラバーマウントを採用した YFM660FWA と YFM600FWA の振動 VGL 値を図 7 に示す。

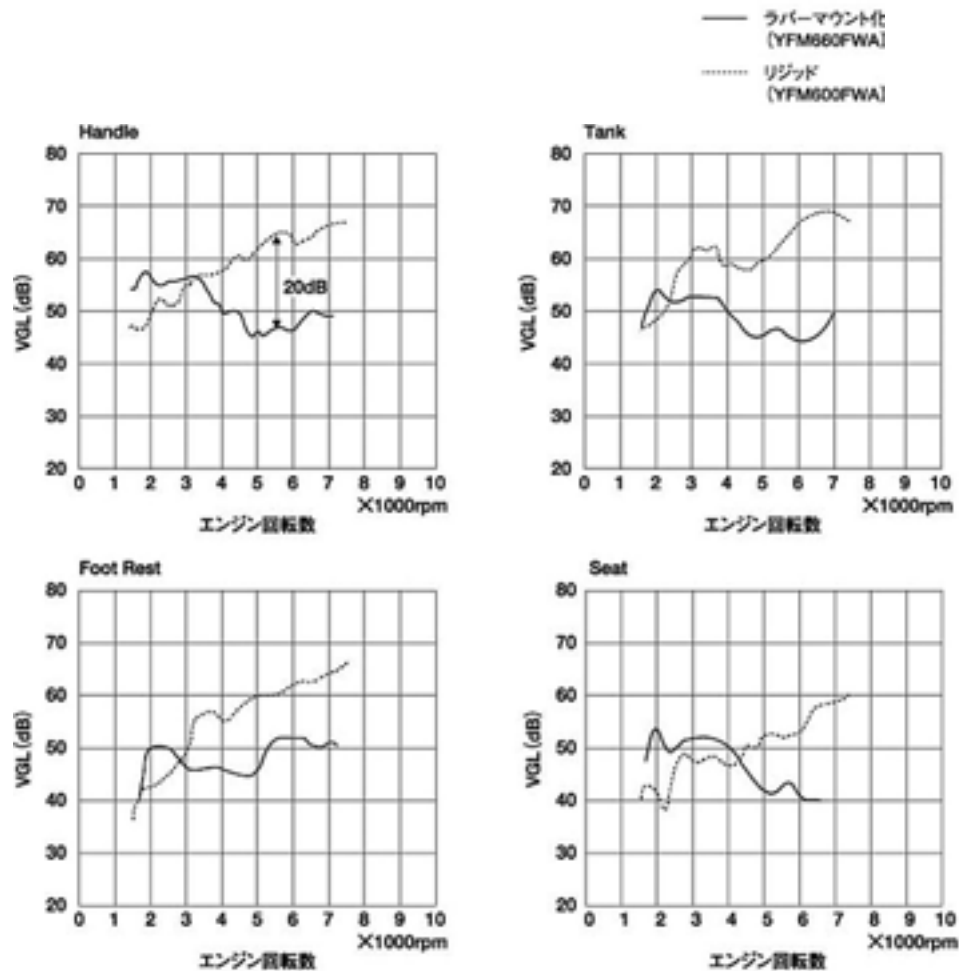


図 7 振動 VGL 値の比較

開発目標値である VGL 値全域 60 以下、定常域 55 以下に対して、ハンドルで若干超えている部分があるがほぼクリアした。

課題であった中高速域での VGL 値については、10dB 以上の大幅な振動低減が図られ、最大排気量 ATV でありながらかつてないほどの低振動化を達成することができた。この結果、今までは開発段階において振動関連の問題点が発生し、対策に迫られるといった場面もあったが、本モデルではほとんど皆無であった。

また、従来グロメットなどでラバーマウントしていたデジタルメータやライトなどの精密部品類は全てリジッド固定することができ、車体の軽量化、信頼性向上、コストダウンとあらゆる面で貢献することができた。

7 今後の課題

大きな効果をあげることができた今回のエンジンラバーマウント化であるが、まだまだ完璧とは言いがたい状況でもある。

図 7 を見てもわかる通り、3,000rpm 周辺においては若干非連成化を達成しきれていない部分がある。また、660cm³ 単気筒エンジンの低回転域でのトルク変動は、無視できるほど小さいものではなく、多少のフィーリング悪化を招いていることは否定出来ない。エンジンの変位規制との両立が大きな課題となるが、トルク変動に対する防振支持については改善の余地がある。

市場の振動乗り心地に対する要求レベルは、年々高まってきており、こうした部分の改良による商品性のさらなる向上が今後の開発の課題と言える。

8 おわりに

YFM660FWA NEW GRIZZLY は KING OF INDUSTRY を合言葉に、ATV 市場最大排気量エンジン、ヤマハ発動機（株）初の 4 輪独立懸架、デフロックスシステム、斬新かつ力強いデザイン等数々のフィーチャーを掲げ、発表以来好評を博している。今後も感動創造企業の名に恥じない、ATV を作り続けて行きたい。

最後に、開発にあたり社内外関係各位の多大なるご支援・ご協力をいただきましたことを、紙面を借りて感謝・御礼申し上げます。