

マウントラバーによる船外機 BF4/5/6 の振動低減技術

Vibration Reduction Technology with Mount Rubber for Outboard Motors BF4/5/6

小 橋 保 方*
Yasukata KOHASHI

岡 田 毅*
Takeshi OKADA

原 田 義 弘*
Yoshihiro HARADA

要 旨

船外機 BF5 のモデルチェンジにあわせて、バランスレスエンジンやフレームの基本骨格を変えずに、エンジン高回転化と高圧縮比で出力を 20% 上げたモデルを追加設定した。この開発では、商品力向上として、ハンドル振動低減とアイドリング時に発生するヨーイング低減をおこなった。振動低減においては船外機の推力伝達と振動吸収を担う重要部品であり仕様変更可能なマウントラバーに着目し検討した。マウントラバー特性変更の結果、高出力化にも関わらず、ハンドル振動は最大回転域で同等レベルを維持し、同時にアイドリング時のヨーイングを半減させた。

ABSTRACT

When the BF5 outboard motor underwent a model change recently, a model was added with 20% more output, with faster engine speed and a higher compression ratio, even as it kept the same balancerless engine and the same basic frame structure. The development discussed in this paper enhanced the customer appeal of the outboard motor by reducing handle vibration and yawing while idling. The mount rubber is a critical component for reducing vibration, as it transmits the thrust of the outboard motor and absorbs vibration. The specs of the mount rubber can also be changed. As such, the mount rubber became the focus of this study. Changing the characteristics of the mount rubber resulted in maintaining about the same level of handle vibration at the greatest speed, with only half as much yawing while idling, even though the new outboard motor had greater output.

1. ま え が き

船外機 BF5 (5 馬力) を 30 年ぶりにモデルチェンジした。このモデルチェンジでは、ラインナップ拡充をおこない、5 馬力単一モデルから、4/5/6 の 3 種類の馬力を持つシリーズ化をおこなった。これに伴い、最大馬力モデルとなる BF6 は、127 cm³ の単気筒エンジンおよびフレームの基本骨格を変えず、従来モデルに対して 20% の出力向上をおこなった。エンジンの基本諸元を Table 1 に示す。

このクラスの船外機の主要な使われ方としては、小型の釣り船、大型船に付属する移動用小型船や大型船の補機があげられる。船外機は船体後端に取り付けられ、操舵とエンジン回転調節をおこなうためのティラーハンドルを握っ

てユーザは操船する。よって商品性を向上させるにはハンドル振動は小さい方がよい。従来モデルである BF5 では、他社を含む同出力帯の商品で唯一マウントラバーを有し、Fig. 1 に示すようにクラストップの低ハンドル振動であった。一方でこのマウントラバーの影響により、アイドリング時に船外機の見目の揺動 (以下ヨーイングと記す) が大きかった。

このモデルチェンジでは、従来モデルの特徴であるマウントラバーの形状を新設計することによってマウント特性を変更し、ハンドル振動とヨーイングの低減を図った。

本稿では、この振動低減手法について紹介するとともに、マウントラバーのもう一つの機能である推力を受けた船外機を保持する機能を両立させた手法について述べる。

*パワープロダクツ R&D センター

Table 1 Engine specifications

	BF5 (previous)	BF6 (new)	BF4/5 (new)
Engine type	Single cylinder, 4-stroke		
Displacement (cm ³)	127		
Bore × Stroke (mm)	60 × 45		
Compression ratio	8.7:1	9.8:1	
Mass of reciprocating parts (g)	209.5	215.8	
Inertia force – 1st order (N)	646	958	805
Full throttle speed (r/min)	5000	6000	5500

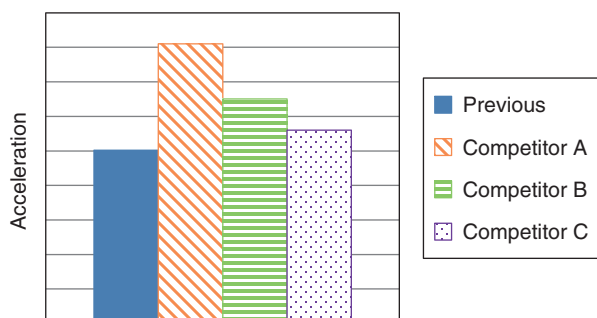


Fig. 1 Tiller handle grip vibration

2. 開発のねらいと目標

全体の骨格を Fig. 2 に示す。メインフレームは、縦置き単気筒バルンサレスエンジンとプロペラを動かすギヤケース部を連結する。マウントラバーはメインフレームと Fig. 2 の青色で示した懸架系と呼ばれる船体結合部品の間に与圧なく配置し、メインフレームを支持する。また、ティラーハンドルは懸架系に締結される。

本研究では、5点で構成されるマウントラバー特性の適正化により、ハンドル振動の低減、ヨーイングの低減および、マウントラバーの耐久性の確保を図った。

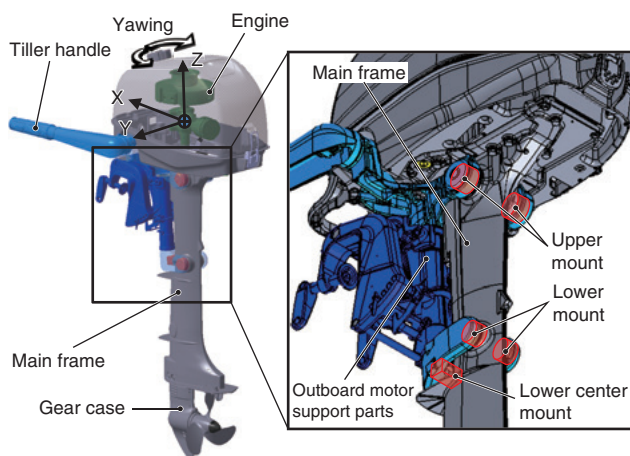


Fig. 2 Frame structure and mount rubber

最大馬力である6馬力モデルを設定するにあたり、従来モデルに対して、圧縮比の変更と、エンジンの上限回転数の変更をおこなった (Table 1)。圧縮比変更に伴う筒内圧上昇への対応として、主運動系部品の肉厚を上げるなどの変更をした。これに伴い、主運動系往復部質量が増加した。また、上限回転数は、従来モデルに対して1000 r/min 上げた。この結果、慣性起振力は従来モデルに対して、約1.5倍となった。その分振動が増加するためハンドル振動の低減が必須である。

次に、先述のように、マウントラバーを採用していることで、アイドル回転においてクランク軸の駆動トルク変動によって Fig. 2 に示すヨーイングが大きくなるという性質があった。このヨーイングについては、商品性の観点からより小さい方が好まれる。実機での検証の結果、従来モデルに対しヨーイングの振幅を半減させることで商品性が向上することを確認できたので、ヨーイングについても低減を図ることを開発のねらいとした。

さらに、出力向上によりプロペラが発生する推力が増加し、最大推力が560 N から700 N へ1.25倍となる。この推力は前述のマウントラバーを介して船体へと伝わり船の推進力となる。つまり、マウントラバーにかかる荷重が増加し変位量が増えることを意味する。そのため、マウントラバーの耐久性の低下と、マウントラバーで支持されるフレームの構造部材の接触についても検証する必要がある。

以上のように、起振力増加、アイドル回転時のヨーイング、マウントラバーの耐久性に対して、新6馬力モデルの開発目標として以下を設定した。

- ・ 6000 r/minでのハンドル振動は、従来モデル 5000 r/minのそれと同等レベルを維持する。
- ・ アイドル時のヨーイングは従来モデル比で振幅を半分とする。
- ・ マウント耐久性は、従来モデルに対し1.25倍の入力荷重でも破損や変形による機能損失なし。

3. マウントラバーの検討

本開発において、従来モデルの基本骨格を踏襲するため、マウントラバーの大きさや取付位置は現行同様とし、マウントラバーの形状変更を主として検討をおこなう。

マウントラバーの剛性変化とそれによって得られる効果を Fig. 3 に整理する。振動に対しては低剛性の方が優れ、最大変位量や耐久性の面からは高剛性の方が優れる。新モデルではその両方を実現する必要がある。弊社の船外機では過去に BF9.9 において、マウントラバー形状を工夫することでばね定数の非線形性を高め低振動化を成し遂げた⁽¹⁾。本開発もマウントラバーのばね定数を非線形化して振動と耐久性の両立を図る。低荷重では低剛性で、高荷重で高剛性となる非線形ばね特性のイメージを Fig. 4 に示

す。この非線形ばね特性を採用したことで得られる効果予測について、CAE を用いた検討結果と最終的に決定したマウントラバー形状について本稿で紹介する。

3.1. マウントラバーへの要求値

はじめに高回転域におけるハンドル振動要因の解析をおこなった。ティラーハンドルとメインフレームアッパマウント近傍の振動計測結果を Fig. 5 に示す。5000 r/min から 6000 r/min にかけて、メインフレームの左右の加速度が急激に上昇するのに伴い、ティラーハンドルの前後方向の振動が上昇する。つまり、メインフレームの左右振動により高回転時のハンドル振動が増大している。従ってハンドル振動を低減させるには、左右方向の振動を減衰させる必要がある。

そこでマウントラバーのばね定数とハンドル振動の関係を CAE 解析を用いて検討した⁽²⁾。CAE 解析のモデルの概念図を Fig. 6 に示す。船外機フレームおよびティラーハンドルを 1D 要素でモデル化し、アッパとローワーのマウントラバーをばね要素とした。エンジンのクランク軸に発生する各種起振力を与えてティラーハンドルの応答を評価した。

このモデルを用いて左右方向の振動を低減させるために、従来モデルのマウントラバーに対し左右方向のばね定数を小さくして検討をおこなった。CAE 解析結果を Fig. 7 に示す。左右方向のばね定数を従来モデルに対し 50% に下げると 6000 r/min でも従来モデルの 5000 r/min のハンドル振

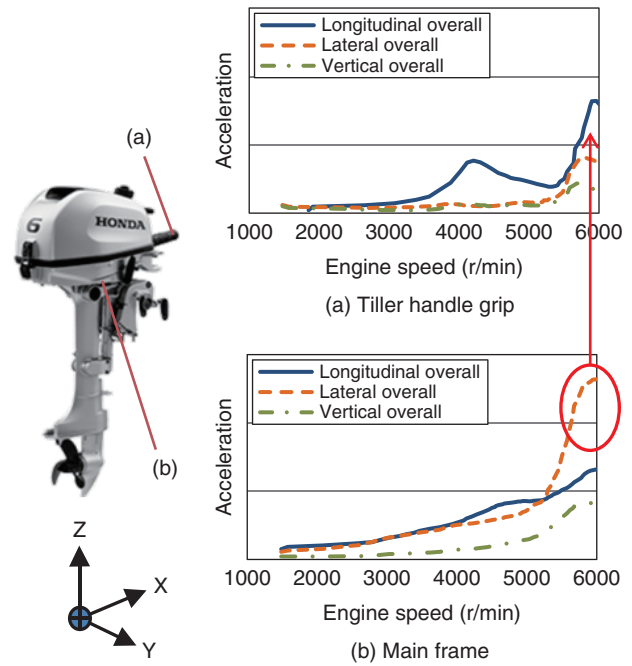


Fig. 5 Tiller handle and main frame vibrations

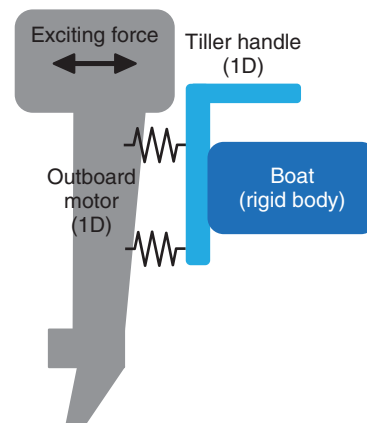


Fig. 6 CAE model

	Increase spring rate (increase resonance)	Decrease spring rate (decrease resonance)
Transfer function	Response Common use revolution Frequency	Response Common use revolution Frequency
Yawing	Good	Good
Tiller handle vibration	Poor	Good
Maximum displacement	Good	Poor
Durability	Good	Poor

Fig. 3 Effect of rubber from spring rate

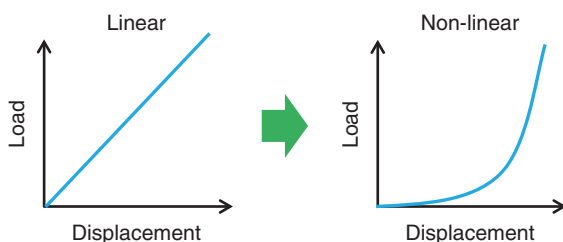


Fig. 4 Spring rate of mount rubber

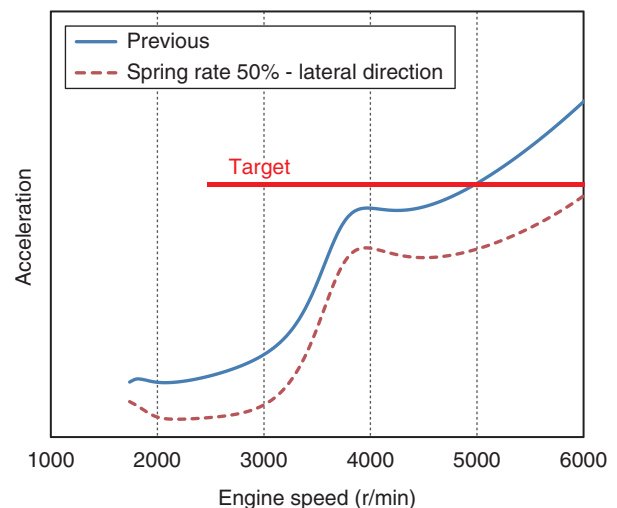


Fig. 7 Tiller handle vibration, by CAE

動より小さい結果となり目標値を満足する見通しを得た。

次にアイドリング時のヨーイングの検討をおこなった。目標は従来モデルに対し半分である。前述の CAE モデルを用いてマウントラバーのばね定数変更の効果を確認した。その結果を Fig. 8 に示す。従来モデルはマウントラバーの共振によってアイドリング回転域でヨーイングが大きくなっている。まず、ハンドル振動の検討結果から前後左右方向のばね定数を従来モデルに対し 50% としたところ、ヨーイングは目標値に対し 1500 r/min を下回る範囲で未達だった。そこでばね定数をさらに小さくしたところ 33% まで低減することで、ヨーイングが全アイドリング回転域でも半分となり目標達成の見通しを得た。

従ってハンドル振動とヨーイングの目標値達成のため、ばね定数は従来モデルに対し 33% 以下を要求値とする。

次に許容最大変位の検討について述べる。プロペラからの推力によりマウントラバーが変形する。その際 Fig. 9 に示すメインフレームと懸架系部品のクリアランスが小さい位置で接触が発生しないようにマウントラバーの変形量を制限する必要がある。各部位が接触しないようにするためのクリアランスの値からマウントラバーに許される最大変位量を決定した。その検討結果を Fig. 10 に示す。マウントラバーのばね定数を下げるため可能な限り変位量を大きく

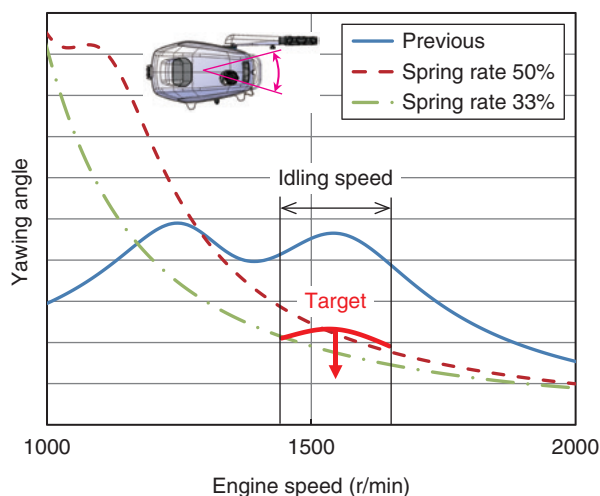


Fig. 8 Yawing while idling, by CAE

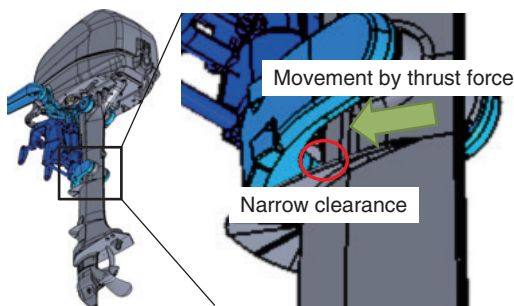


Fig. 9 Clearance between main frame and support parts

Table 2 Design targets for new mount rubber

Items	Direction	Upper	Lower
Spring rate at low load (comparison to previous)	Longitudinal	33% or under	
	Lateral		
Maximum displacement (mm)	Longitudinal	11.5 or under	4.5 or under
	Lateral	3.5 or under	2.0 or under
Strain	Longitudinal	Previous value or under	
	Lateral		

したいが、前後方向についてはアッパマウント、ロワーマウント共に従来モデルの 1.5 倍以内に抑える必要があることがわかった。よって前後方向の変位量を大幅に増加させることはできない。

最後にマウントの耐久性を左右する最大ひずみ量は CAE 解析にて確認をおこない、従来モデルのマウントの最大ひずみ値以内を要求値とする。

ここまでのマウントラバーの設計指針となる要求性能を Table 2 にまとめる。

3.2. 新形状マウントラバー

前述の要求性能を前提条件として検討した従来モデルと新モデルのマウントラバー形状を Fig. 11 に示す。

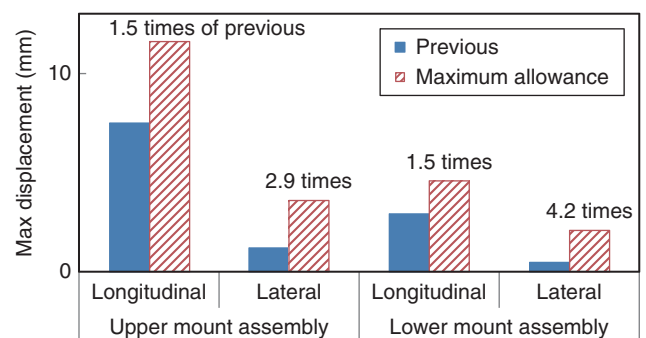


Fig. 10 Maximum displacement allowance to keep clearance

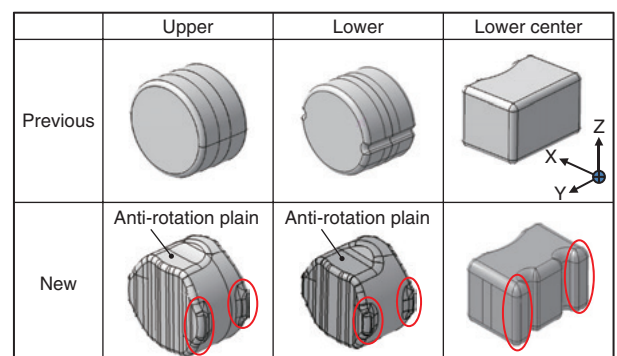


Fig. 11 Mount rubber shape

前後および左右方向に、赤丸で示す突起を設けることで低荷重域での剛性を大幅に低減した。また、アップおよびローのマウントラバーについては前後および上下方向に方向性を持つため円周方向に平面を設定し回転を規制した。

マウントラバーのばね特性を CAE にて確認した。アップマウントの前後方向ばね特性を Fig. 12 に、左右方向ばね特性を Fig. 13 に示す。低荷重域においては図中円弧で示したマウントラバーの突起部分が当たるように設定した。荷重が高くなるにつれて突起部分をつぶし、マウントラバー全体で荷重を受けるような構造としたことで、ねらい通りの非線形ばね特性を得た。また、許容最大変位は高出力化で増加した荷重においても要求値以下に収めた。

ローマウントのばね特性を Fig. 14, 15 に示す。アップマウントと同様に低荷重時に低剛性としながら、高荷重時の最大変位も要求値を満足させた。

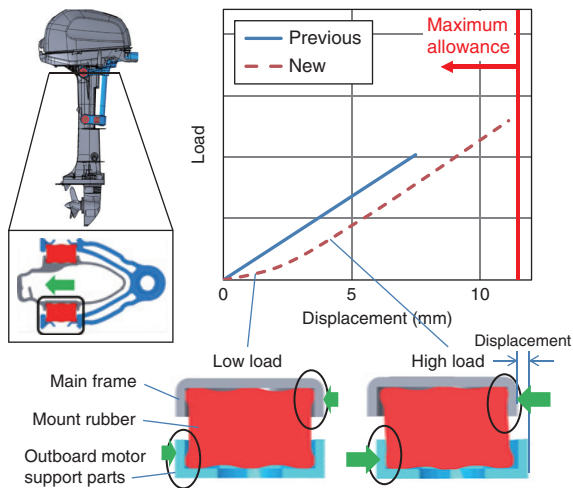


Fig. 12 Non-linear characteristic and deformation of new mount rubber (upper mount assembly, longitudinal)

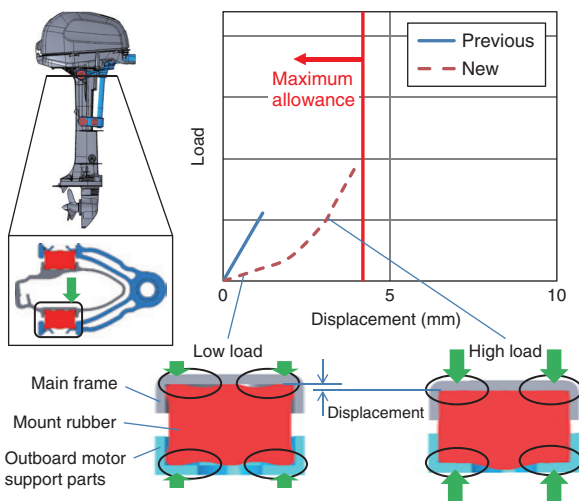


Fig. 13 Non-linear characteristic and deformation of new mount rubber (upper mount assembly, lateral)

また、耐久性を満足させるために、各荷重方向におけるマウントラバーのひずみ量を CAE 解析した。その結果を Fig. 16 に示す。新形状マウントラバーのひずみ量は最大変位が増えたにもかかわらず従来モデル以下に抑えた。

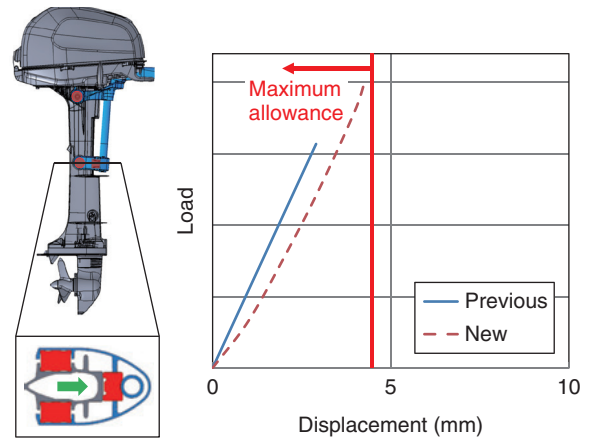


Fig. 14 Non-linear characteristic of new mount rubber (lower mount assembly, longitudinal)

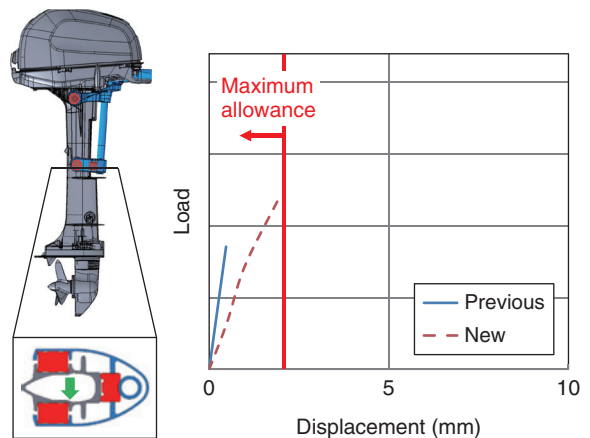


Fig. 15 Non-linear characteristic of new mount rubber (lower mount assembly, lateral)

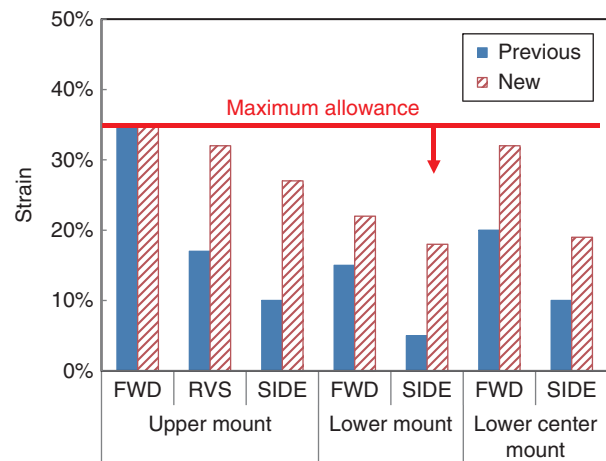


Fig. 16 Strain value, by CAE (each part and load direction)

4. テスト結果

Fig. 11 で示した新形状マウントラバーを組み込んで実機の振動テストをおこなった。

ハンドル振動のテスト結果を Fig. 17 に示す。新モデルの 6000 r/min の加速度は、目標に掲げた従来モデルの 5000 r/min と同等を実現した。また、低回転域から高回転域まで全域でティラーハンドル振動を大きく低減させた。同一回転数で比較すると加速度は最大 50% 低減した。

次に、アイドル回転時のヨーイングのテスト結果を Fig. 18 に示す。新モデルのヨーイングは、従来モデルに対し最大 75% 低減し目標を達成した。

最後に耐久性の確認結果を述べる。開発中の各種耐久テストや強度テストにてマウントラバーに破損やクラックの発生はなかった。マウントラバーに突起をつけ低剛性域を設定しても、最大ひずみ量を要求値内に収めることで耐久性を満足することを確認した。

以上の結果は、マウントラバーの特性を非線形化し低荷重では低剛性で、高荷重で高剛性となる非線形ばね特性による効果である。

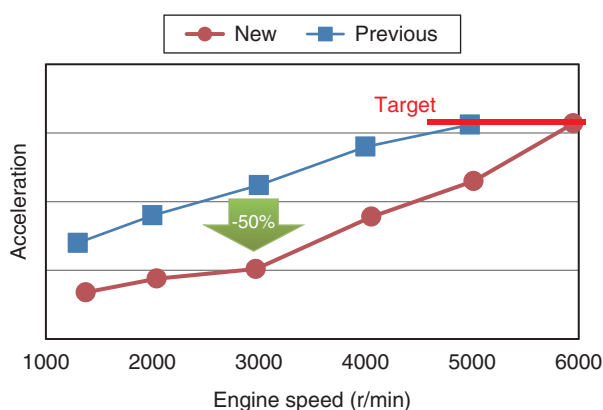


Fig. 17 Tiller handle vibration (experiment)

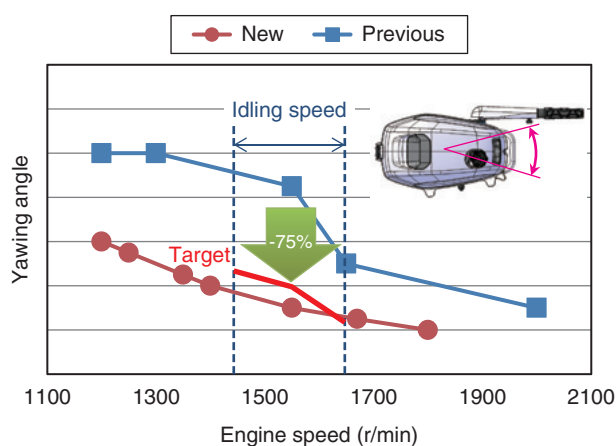


Fig. 18 Yawing (experiment)

5. まとめ

目標とする船外機の振動性能を満足させるために、テストと CAE によりマウントラバー単体の要求性能を明確化した。その性能を具現化するために、振動に対する低剛性と荷重に対する高剛性、相反する特性を併せ持つ非線形性の高いマウントラバー形状を新設計した。

その結果、高出力化、高回転化にも関わらず、目標とする振動性能を達成した。具体的にはハンドル振動は同一回転数で最大 50% 低減させ、最大回転数において従来モデルと同等とした。また、アイドリング時のヨーイングは従来モデルに対して振幅を最大 75% 低減させ、商品性の向上に大きく貢献した。

参考文献

- (1) Shiomi, K., Okada, T., Ohkawa, M., Ikeno, T.: Reducing vibration of a 2-cylinder outboard motor by the pendulum motion mount method, SETC Technical Paper 2001-01-1870
- (2) Okada, T., Shiomi, K., Ikeno, T., Tomatsu, T., Okuma, M.: Engine Mount Characteristics Identification of Large Outboard Motor Using Experimental Modal Analysis, SETC Technical Paper 2006-32-0083

■ 著 者 ■



小橋 保方



岡田 毅



原田 義弘