

大型船外機用ギヤケースの開発

Development of Gear Case for Large Outboard Motor

井手 真一*

Shinichi IDE

片桐 信近*

Nobuchika KATAGIRI

吉ヶ崎 剛*

Tsuyoshi YOSHIGASAKI

清水 真吾*

Shingo SHIMIZU

要 旨

Honda 大型フラッグシップ船外機 BF250 の開発に伴い、現行機以上の高信頼性と動力性能を確保するため、大型船外機用のギヤケースを開発した。

軸受支持構造の見直しによるギヤ歯当たりの改善や、ギヤ材料・熱処理の見直しによる耐ピッチング性の向上をおこなった。また、高負荷耐久性を実現するギヤ諸元を採用すると共に、剛性・製造ばらつきを加味し歯当たりを有限要素法解析 (FEM 解析) 上で最適化し、製造ばらつきを低減するため歯研仕上げを採用した。

これらにより、クラストップの動力性能を満足しながら、目標とする耐久性能を実現するギヤケースに仕上げた。

ABSTRACT

As part of the development process for its flagship large outboard motor, the BF250, Honda has developed a gear case for large outboard motors in order to realize increased reliability and power performance against existing models.

Enhanced tooth contact has been achieved through redesign of the structure of the bearing mountings, and pitting resistance has been increased by modifying the gear materials and heat treatment. In addition, gear specifications making it possible to realize high durability under high loads have been employed, and the optimization of tooth contact via finite element model (FEM) analysis with consideration of stiffness and manufacturing variations has assisted in the realization of a tooth grinding process that reduces manufacturing variations.

These innovations have resulted in the realization of a gear case that achieves class-topping power performance while satisfying targets for durability performance.

1. まえがき

近年、主に北米や欧州で製造されているオフショア艇と呼ばれる沖合航行可能な艇体は搭載馬力が大型化する傾向にある。またこれらの船外機は長時間高負荷の環境下で使用するプロユースの艇体への搭載比率が高く、高い耐久信頼性が求められる。

これらの要求を踏まえ BF250⁽²⁾ の開発に伴い、大型船外機用ギヤケースに採用された技術について紹介する。Fig. 1 に外観を示す。



Fig. 1 External view of gear case

2. 大型船外機における駆動系の要求と開発のねらい

大型船外機の搭載艇は一般的なレジャーユースに対し、コマーシャルやガバメントといったプロユースが約 30% と他の馬力帯に対し比率が高い (Fig. 2)。

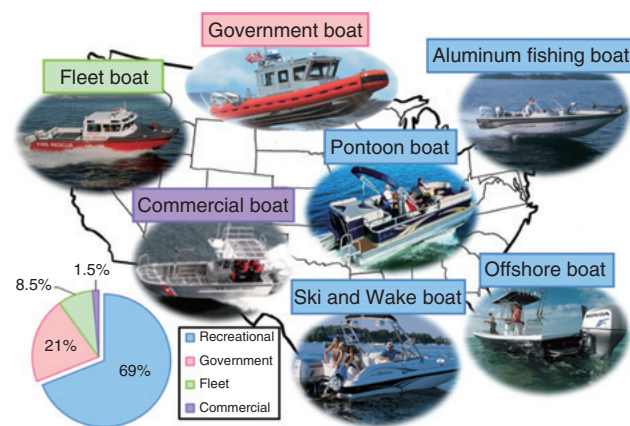


Fig. 2 Variety and percentage of large boats in the market

* 汎用 R&D センター

また、プロユースでは長時間、高負荷の過酷な条件での使用が多く、高い耐久信頼性が重要となる。

従来プロユースにおける高負荷領域 (3850 rpm-WOT) での使用時間は 30% 以内と考えられていたのに対し、Boat taxi (観光船) では二倍の 60% を占めている (Fig. 3)。

このように高負荷長時間使用される例として、Boat taxi および沿岸警備などに使用されている艇体を Fig. 4 に示す。

また、水没環境下にあるギヤケースは航行時の抵抗となるため、動力性能を満足しつつ耐久性を向上する必要がある。

以上を踏まえ本開発は、下記項目をねらいとした。

- (1) クラストップの動力性能
(最高速性能と加速性能の両立)
- (2) 高負荷長時間使用に対応した耐久性能
(単体耐久試験における従来比二倍以上の耐久性)

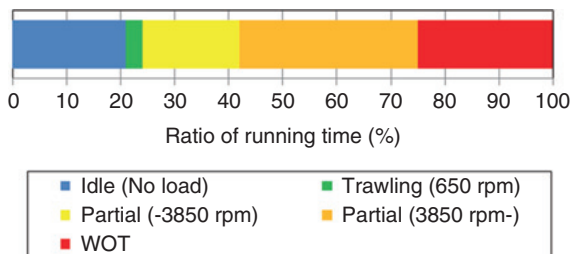


Fig. 3 Ratio of running time represented by different loads for boat taxi



Fig. 4 Boat taxi and coastal patrol boat

3. 船外機ギヤケースの基本構成

船外機ギヤケースの基本構成は、エンジン軸からの動力を、ピニオンギヤ、ベベルギヤを介して直交変換し、プ

ロペラ軸へ伝達する構成となっており、プロペラ推力の支持、水中抵抗の最小化、水密性の確保も考慮されている。この基本構成を Fig. 5 に示す。

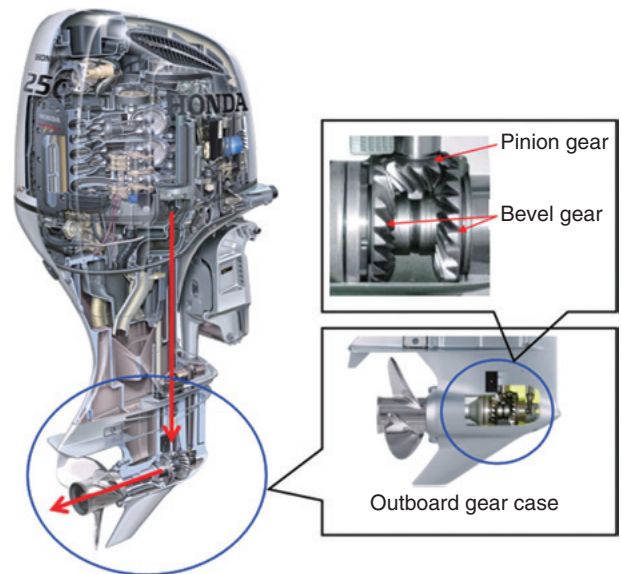


Fig. 5 Standard outboard gear case

4. 主要技術

以下に各要素技術の詳細について解説する。

4.1. ギヤケース諸元

ギヤケースの設計において、初めに減速比の設定が重要である。四輪、二輪と異なり船外機では、最終動力伝達物がプロペラであり、プロペラ直径により推進効率が異なる。本開発ではプロユースを代表する速度レンジにおいて、最も効率が良くなるプロペラ直径と減速比を選定した。従来機種との比較を含め、それぞれの関係を Fig. 6 に示す。

また、ギヤケースの減速比変更と共に耐久性向上の観点でベベルギヤ直径を従来機種比で 10% アップした。そのため、水中抵抗値は従来比 2.4% 増加したが、コンピュータ流体解析 (CFD) による表面圧力解析を活用し、最適形状とすることで、Cd 値では 5% 低減した。

CFD によるギヤケース表面圧力解析結果を Fig. 7 に示す。

4.2. 軸受配置

4.2.1. 基本軸受構造

基本軸受構造の説明の前に、大型船外機における搭載方法について説明する。一般に船外機のプロペラは、後ろから見て時計方向に回転する。この仕様をスタンダードローテーション仕様という。これに対し、Fig. 8 に示すように船によっては二機搭載して使用される場合がある。この場

合、プロペラの回転方向が同じであると、プロペラのトルク反力が大きく船の直進安定性が損なわれることから、左右のプロペラ回転を逆にすることにより、お互いのトルク反力を打ち消しあって、直進安定性を維持する方法が採用される。このプロペラが後ろから見て反時計方向に回転する仕様をカウンタローテーション仕様⁽¹⁾という。

次に現状の基本軸受構造についてみると、エンジン回転の方向は同じでもスタンダードローテーション仕様、カウンタローテーション仕様のプロペラ回転方向が異なる

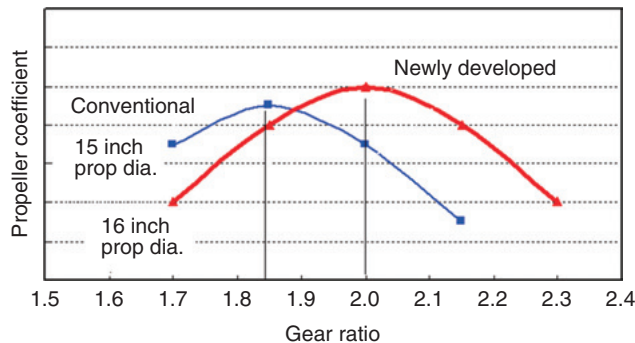


Fig. 6 Gear ratio and propeller coefficient

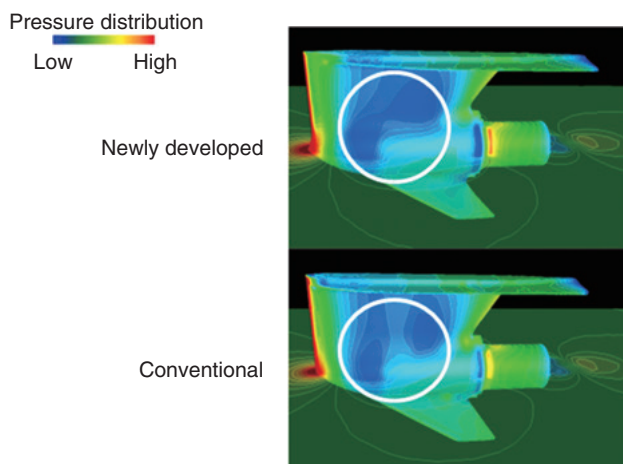


Fig. 7 Pressure distribution

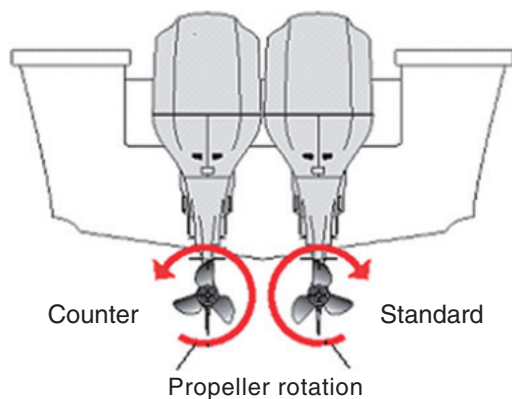


Fig. 8 Twin outboard motors

ことから、フォワードギヤの位置を前後で入れ替える必要がある。このため、軸受構造が両仕様で異なる。現状では使用頻度の高いフォワードギヤ側にスラスト荷重に対する耐力のあるテーパベアリング、使用頻度の低いリバースギヤ側にボールベアリングを使用している。

この構造の違いを Fig. 9 に示す。

4.2.2. カウンタローテーション仕様の軸受構造変更

Fig. 9 のテーパベアリングの向きに着目すると、スタンダードローテーション、カウンタローテーション両仕様とも、同じ向きであるのが見てとれる。

ここでスタンダード仕様の場合は、ギヤスラスト荷重と推力が同じ方向であり、両荷重をテーパベアリングの外輪で受けることができ、推力に拠らず歯当たりが安定する。これに対し、カウンタローテーション仕様では、ギヤスラスト荷重と推力が逆方向のため、推力がギヤスラスト荷重より大きくならないと、テーパベアリングの外輪で荷重を受けることができず、ギヤの歯当たりも安定しないという特徴を有していた。これに対し、本開発ではギヤにより分離された荷重を一つのベアリングで保持するのではなく、それぞれの荷重を受けるベアリングを設定することとし、ラジアル荷重はニードルベアリング、スラスト荷重についてはスラストベアリングで受ける構造とした。これにより、ギヤの歯当たりを常に安定させ、耐久性向上に繋げた。その構造を Fig. 10 に示す。

4.3. ギヤ材料、熱処理

ギヤの硬度については、耐ピッチング性の確保を目的とした設定をおこなった。本機では、歯研による歯型調整がおこなわれることから、その取り代分を考慮したうえで、表面起点・内部起点双方のピッチングに対する耐性を確保するためには、表面から深さ 0.3 mm 程度までの領域にお

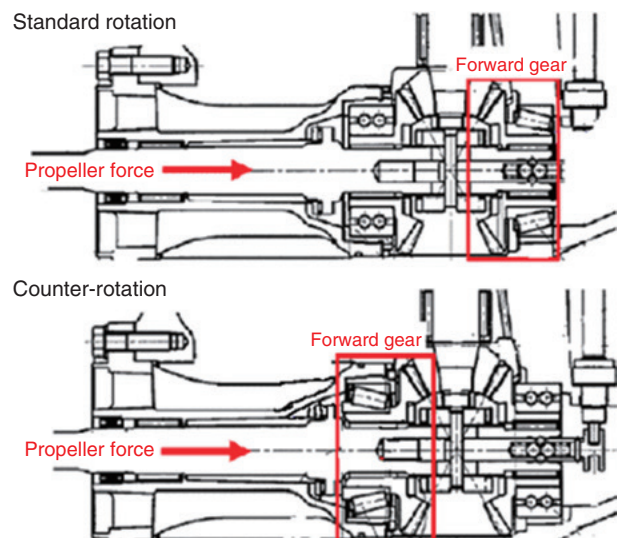


Fig. 9 Structure of gear case

いて、従来仕様と比較して高い値を維持した硬度分布が必要である。

そのために新たな熱処理条件を設定し、材料はNi 2%, Mo 0.75% 等、合金成分の多い鋼種を採用することで、ギヤに必要なじん性を確保しつつ、ねらいの硬度分布を実現した (Fig. 11)。

これらの効果を確認するためにおこなった、ローラピッチング疲労試験の結果を Fig. 12 に示す。試験体は、歯研に

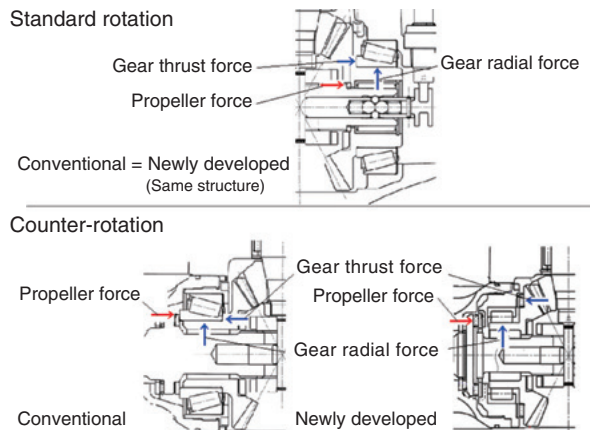


Fig. 10 Detail of gear case

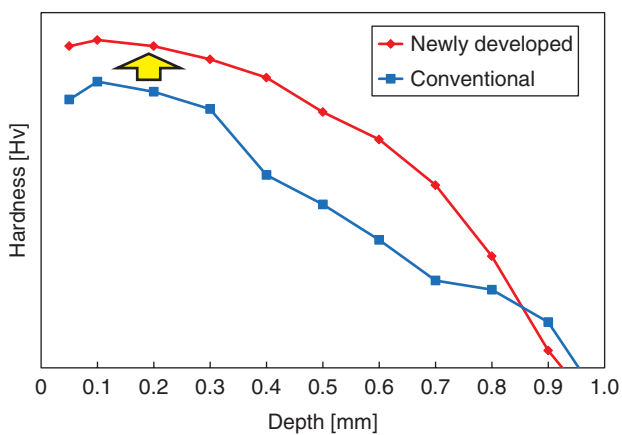


Fig. 11 Hardness distribution

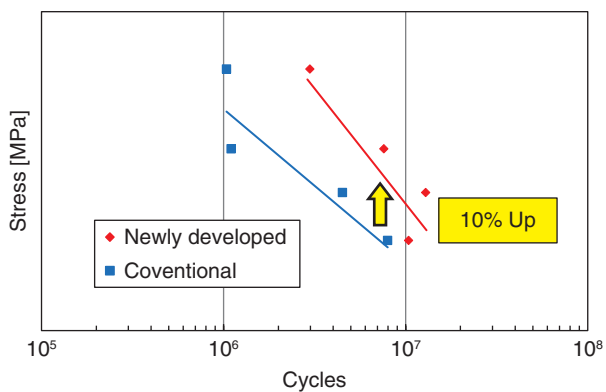


Fig. 12 Results of fatigue test for pitting

よる表面除去を含め、実際のギヤ製造工程を可能な限り模して作製した。

開発仕様は、従来仕様と比較して約 10% の耐ピッチング強度向上を達成している。

4.4. ギヤ諸元, 歯形

大型船外機用ギヤに求められる特性として、高負荷長時間運転にも耐えうることが必要である。そこで本開発では歯面圧、歯元応力、剛性を両立させるため、FEM 解析を活用しながら、ギヤモジュールを最適化した。Fig. 13 に従来と本開発のギヤ形状差を示す。

大型船外機用ギヤは、高負荷で使用されることからギヤケースの変形、軸受のクリアランスから歯当たり移動量が大きく、ギヤの移動量の計測や FEM 解析を活用し歯形修正を実施し、歯当たりの適正化を実施した。また、製造時の歯形ばらつきを極力排除することを目的に歯研仕上げを採用し、歯当たりの再現性を図った。Fig. 14 に FEM 解析実施例を示す。

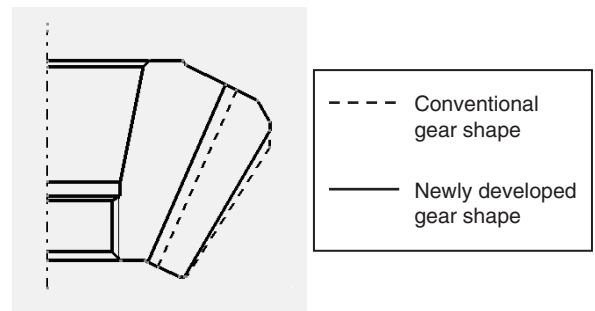


Fig. 13 Comparison of pinion gear shape

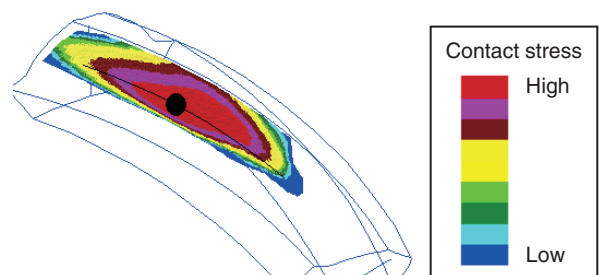


Fig. 14 Example of FEM

5. 耐久性能と動力性能

5.1. 耐久性能

ギヤケース単体耐久試験において新開発品は、従来設計品に対し、目標二倍を超える三倍の耐久時間を示した (Fig. 15)。

5.2. 動力性能

耐久性を向上させつつ、ギヤレシオの最適化およびギヤケースの水中抵抗低減で、最高速性能と加速性能を両立させたクラストップレベルの動力性能を実現した (Fig. 16).

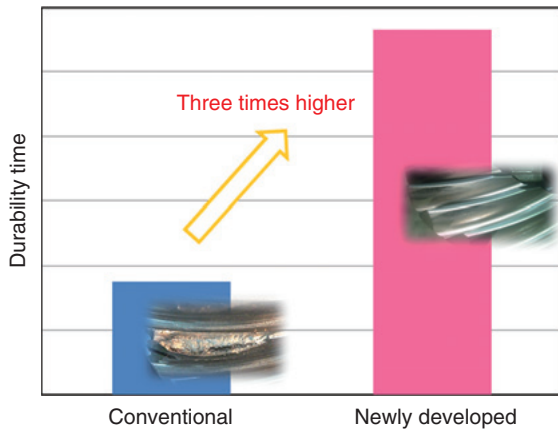


Fig.15 Durability

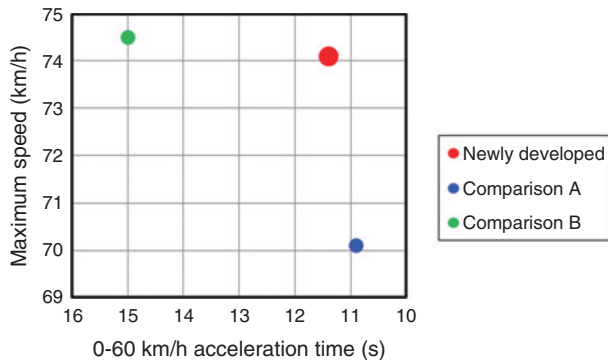


Fig. 16 Maximum speed and 0-60 km/h acceleration time

6. まとめ

大型船外機用ギヤケースを開発し、

- ・クラストップレベルの動力性能を確保
- ・単体耐久試験において耐久性が三倍に向上を達成した。手法は以下のとおり。

- (1) 減速比と推進効率の関係から、最適諸元を選定、またギヤケースの水中抵抗低減をおこなった。
- (2) カウンタローテーションの軸受構造の見直しにより、運転条件によらず安定的に歯当たりを確保した。
- (3) 材料、熱処理の見直しにより、最表面および表層を高硬度分布とし、耐ピッチング強度性能を約 10% 向上した。
- (4) 高負荷領域での耐久性を考慮し、ギヤのモジュールを最適化した。また剛性・製造ばらつきを加味し FEM 解析を活用し歯当たりを適正化すると共に、歯研仕上げを採用した。

参考文献

- (1) 角田正樹, 設楽貞文, 島崎弥, 林崎正一: 大型 4 ストローク船外機「BF115/130」の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.15-22
- (2) 原田義弘, 石坂和弘, 田中豪, 石塚邦彦, 磯野史弥: 大型フラッグシップ船外機 BF250 の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.24, No.2, p.40-46

■著 者■



井手 真一



吉ヶ崎 剛



片桐 信近



清水 真吾