

電動操船システム「HARMO」の開発

Development of the “HARMO” electric boat maneuvering system

前島 将樹 安川 光 水島 義博



Abstract

On the back of heightened environmental awareness in recent years, a wide range of products have been converted to electric power. Yamaha Motor is no exception. The company has many electrification initiatives underway working toward carbon neutrality by 2050.

About 10 years ago, as the automobile industry saw more vehicles converted to EVs, Yamaha Motor anticipated a similar change in the marine industry and the need to prepare itself for electrification in the future. The big challenge the company had at the time was around cruising ranges, as boats, unlike automobiles, are subject to water resistance. This results in the motor's power consumption being large especially when traveling at high speeds, and the weight and size of the battery installed on the boat are major considerations. Thus, the company began the development of a product designed for low-speed applications, to take full advantage of an electric motor's high torque at low speeds, at the same time as minimizing the weight and size of the battery. Yamaha Motor set Europe as its main target for the region's high environmental awareness, with a use scenario of low-speed tourist cruising in canals such as those in Amsterdam. Feedback from local exhibitions and test-ride events was considered in the value verification process to ensure the right direction of development. Thus, the product development concept was defined to provide unprecedented, brand-new value where “passengers on a low-speed tourist cruising boat can feel a sense of unity with nature while hearing the sounds of the water and wind, or simply find greater enjoyment having conversations with their families and friends”. The “HARMO” is also the embodiment of the company's effort in the “electric” part of the marine CASE strategy.

1 はじめに

近年、環境意識の高まりから様々な製品の電動化が進んでいる。現在ヤマハ発動機においても2050年カーボンニュートラルに向けた電動化の取り組みが進められている。

今から10年ほど前、当時自動車業界のEV化が進む中で、マリン業界においても変化が起きると予想し、将来の電動化に向

けた備えが必要と考えた。当時、大きな課題は航続距離であり、自動車との違いは船の場合は航走時に水中抵抗を受けることである。そのため、特に高速時においてモータ電力消費が大きくなり、船に搭載するバッテリーの重量サイズが課題となる。そこで、電動の強みである低回転高トルクを最大限に活かし、それと同時にバッテリーの重量サイズを最小限にすべく低速用途に限定した開発を開始した。メインターゲットは環境意識が高い

欧州を中心とし、用途はアムステルダム運河などの低速遊覧を想定した。現地での展示会や試乗会を通じて価値検証を行いながら開発の方向性を確認し、「低速遊覧で乗船者が水の音や風の音を聞いて自然との一体感を感じながら家族や友人と会話を楽しむことができる」今までにない全く新しい価値を提供するという開発商品コンセプトを固めた。また、この「HARMO」はマリン版 CASE 戦略における“Electric”分野の結実である。

2 開発の狙い

低速用途に限定し、“低速を究める”コンセプトのもと「圧倒的な静粛性」「高効率」「低速高推力」を実現すべく、電動推進モータはリムドライブ方式を採用した。インペラとダクトは低速で大きな推力を取り出せるように低速に特化した形状の作り込みを行った。ステアリングは小回りや回頭性の向上のために大舵角が実現できる一体型電動ステアリングとした。操船制御システム「HELM MASTER EX」^{[1][2]}の技術を活かしたジョイスティックなどの制御システムを採用し、ただの電動推進機ではなくヤマハの強みの技術を取り入れることで高付加価値となる製品を目指した。

市場導入に先立ち、2020年7月より実証運航を開始した小樽運河クルーズでの「HARMO」の運航の様子を図1に示す。クルーズ所有艇のうち、カナル7号に搭載されている。「モータ音も静かなので、乗りながらより一層水の音や風の音を楽しむことができます」「ジョイスティックのシンプルな操作で直感的なかじ取りができ、(中略)Uターン時、船をより簡単に回転させることができる」^[3]と紹介されている。



図1 小樽運河クルーズの様子

3 商品の特徴

3-1. 基本諸元

上述の通り、「HARMO」は従前の電動推進機と異なり、ガソリンエンジンの置換でない新たな価値を創造する低速専用の電動操船システムとして開発した。表1に電動推進機本体の主要諸元、図2に構成部品を示す。電動推進機ユニットの駆動モータには48V バッテリ、それとは別にシステム駆動用に12V バッテリの組み合わせとなる。

表1 主要諸元

モデル名	HV3.7A
モータ出力	3.7kW/970rpm
定格電圧	48V
重量	55kg
インペラ	「HARMO」専用(交換不可)
ステアリング方式	電動 SBW
舵角	±70deg
チルト方式	電動チルト



図2 電動推進機と操船システムを構築するリギング類

3-2. 電動システム

図2に示される電動推進機構造を実現するために、モータ、モータコントロールユニット(MCU)は「HARMO」専用設計をしている。図3に内部構造を示す。モータはコルトノズル部分にステータコイルを、インペラリム部分にロータを埋め込んでいる。これにより、減速ギアを用いなくても、中心軸から大径プロペラリム部に発生する力から高トルクを生み出し、低速でも高いスラストを発生させることができる。さらに、大径モータによる腕の長さに加えて、多極化(50極 60スロット)も高トルクに貢献している。

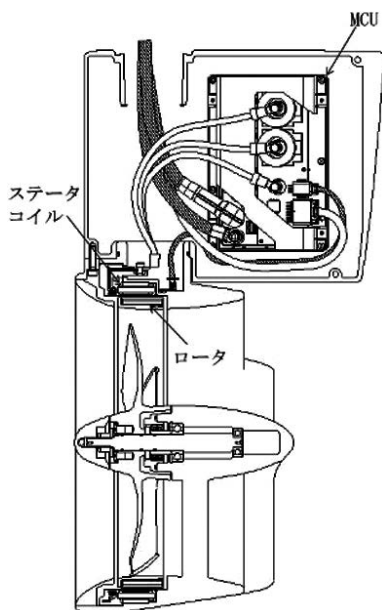


図3 電動推進モータ、MCUの配置図

図4にリムドライブモータの駆動を模式的に示す。

上記構造の背反として、コルトノズルが厚くなり、航走時の推進抵抗が増加することが懸念される。これを防ぐために、ステータコイルは磁気飽和を考慮し薄型かつ、集中巻構造にしている。また、モータは水没下にあるため、モータを樹脂材で封止し水が浸入しないようにしている。ロータとステータコイル間には樹脂が介するが、出力性能が満足できる程度のアエアギャップに抑える必要がある。薄肉でモールドができる樹脂材と製造方法にてこれを実現している。MCUはひれのような部位に内蔵し、当該部位の推進抵抗が極力抑えられるように、ひれ形状に合わせて専用設計をしている。なお、モータは、出力性能向上をさせる場合には、寸法が大きくなることが想定される。モータを中心軸に配置する形態の電動推進機は、インペラ前方に配置されるため、推進効率を低下させる。このリムドライブ方式は、モータが大型化しても、インペラの羽根がリム(ロータ)の内側に配置されているので、電動推進モータの大型化にともなう推進効率の低下を抑制できる。また、同じく出力性能向上時に、MCUが大型化しても、ひれ形状部をインペラ部の回転軸線方向に沿って延びるように形成することにより、水の抵抗が大きくなるのを抑制することができる特徴をもつ(特許第6783243号)。

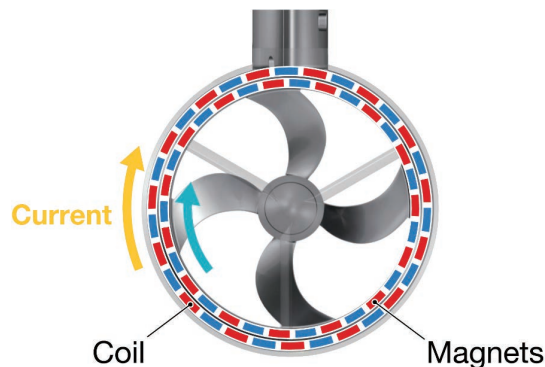


図4 リムドライブ駆動

3-3. 推進システム

「HARMO」の推進システムは図5に示すようにダクト、インペラ、インペラの保持軸を支えるステータフィン(Stator Fin)の3要素で推進システムを構成している。

ダクトは断面が翼形状しており、内側のインペラが回転することでダクト内外の圧力差よりダクト自体が推力を発生させる。その大きさは最も推力の大きい動きだしのシーンでインペラ推力の約7割の大きさとなる。

インペラは低速から大きなトルクを出せるモータの特性に合わせ、大径化し低回転から高スラストを出せるように設計を行った。高回転で使用する船外機プロペラとは設計思想の異なる商船の技術を取り入れている。

ステータフィンは翼形状をしており、インペラから発生する旋回方向の流れを打ち消す方向に角度をつけて設置している。本来の軸を支える機能のみでは抵抗になる部品だが、翼型と迎え角の最適化を行うことでステータフィン自体が推力を発生させ推進効率改善に貢献している(特許出願中)。

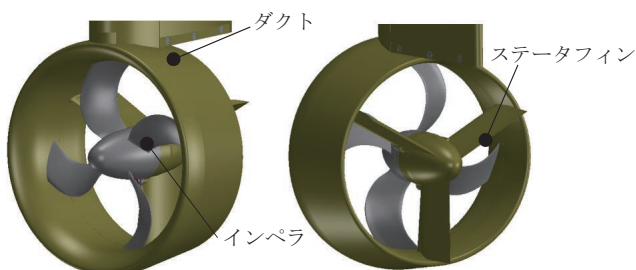


図5 推進システム

3-4. 電動ステアリングシステム

システムは、ステアリングモータと減速機構とステアリングコントロールユニット(SCU)で構成されており、船側に設置されたヘルムユニットからの信号を受けたSCUがステアリングモータをコントロールする。モータの駆動力は減速ギアを介して電

動推進モータ部と一体化されたシャフトを回転させることで、推力方向を変える仕組みである。図6のように従来の船外機の舵角 $\pm 35\text{deg}$ から2倍の $\pm 70\text{deg}$ の大舵角を確保できる構造とした。リムドライブモータが圧倒的な静粛性を持つため、従来の船外機では気にならなかったステアリング減速機構のギア音に対してもギアバックラッシュ調整やギア研磨を行うことで音の低減を図った。



図6 電動ステアリング舵角範囲

3-5. 操船システム

「HELM MASTER EX」を活用し、図7で示すように直感的な操船が可能なジョイスティックや推進機2機掛け時に横移動が可能な操船システムを開発した。図8に操船システムを示す。ヤマハ独自の通信ネットワークにより、推進機システムと操船システムを繋げることで統合制御が可能なシステム構成とした。また、将来の先進システムとも繋がることを想定した次世代電動操船システムのプラットフォームとして開発した。

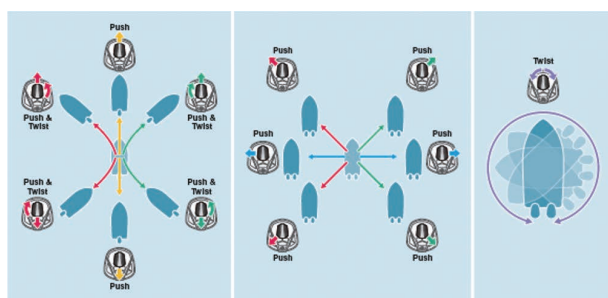


図7 ジョイスティック操作と船挙動



図8 操船システム

3-6. デザイン

図9の“SMART&ELEGANCE”をデザインコンセプトとし、高い環境性能を実現する先進技術 (ADVANCE) と共に、名前「HARMO」の由来であるヒト・環境・ボートとの調和 (HARMONY) を意識して、クリーンかつエレガントなボートテールシルエットによりヤマハらしい上質さ (PREMIUM) を表現した。



図9 デザインコンセプト

3-7. 信頼性

「HARMO」は従来の船外機と同等の信頼性を確保すべく、船外機で行っている評価基準を基に開発を進めた。耐食性は船外機で採用している耐食技術や塗装技術を織り込み、海水環境でも問題無く長い期間使用できる品質を確保している。また、強度に関しても、船外機で考えられた開発品質基準を基に設計し、実機評価をクリアしている。また、図10に示したように停泊時に推進機の腐食や海藻などの付着を防ぐために、推進機を水面から出すことができる電動チルトアップ機能を織り込んだ。定期メンテナンスは、アノード交換と定期グリス充填のみとなっている。

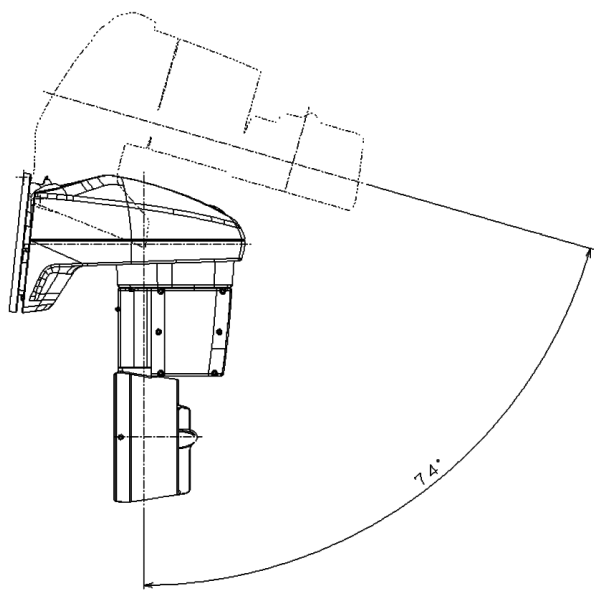
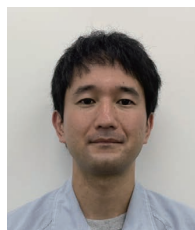


図10 電動チルトアップ可動範囲

■ 著者



前島 将樹
Masaki Maejima
マリン事業本部
開発統括部
先行開発部



安川 光
Hikaru Yasukawa
マリン事業本部
開発統括部
先行開発部



水島 義博
Yoshihiro Mizushima
マリン事業本部
開発統括部
電動システム開発部

4 おわりに

2022年春から欧州向けに「HARMO」の販売を開始しており、市場から「HARMO」の商品性に対し好評な声が届いている。マリン事業部門において電動製品を一から開発することは初であり、また売り先を探しながら、市場を開拓しながらの開発ということもあり、通常の開発とは異なった点が多かったが、失敗を恐れずにチャレンジしてここまで来られたことは大きな自信になった。今後「HARMO」をさらに進化させながら、新しい価値を提供できるようチャレンジを続けていく。

■ 参考文献

- [1] ヤマハ発動機 ホームページ「ヘルムマスターEX- マリン製品」<https://www.yamaha-motor.co.jp/marine/lineup/outboard/helmmasterex/>(アクセス日 2022/7/13)
- [2] 伊藤 誠, 内藤 克俊, 田形 彰大:「新操船システム「Helm Master EX」の開発」, ヤマハ発動機技報 2021-12 No. 56
- [3] 小樽運河クルーズ (otaru.cc) ホームページ「船のご紹介」<https://otaru.cc/canalboats/>(アクセス日 2022/8/10)