

## 電動操船システム「新型 HARMO」の開発

Development of the “New HARMO” Electric Boat Maneuvering System

前島 将樹 松井 隆浩 武田 謙太郎 郷家 孝之 梶原 天翔 池ヶ谷 祐次



## Abstract

At Yamaha Motor Co., Ltd. (hereafter, “the Company”), initiatives toward carbon neutrality are advancing through electrification. In the marine field, one of the major challenges for electrification is cruising range, as both the weight and size of onboard batteries pose limitations.

To address this, the Company began developing products dedicated to low-speed applications, maximizing the inherent advantages of electric power—low-rpm, high-torque performance—while minimizing battery weight and size.

In 2021, Yamaha launched in Europe the first-generation “HARMO,” an electric boat maneuvering system specialized for low speeds. It offers an unprecedented experience in which passengers can still hear the sounds of water and wind, feeling a sense of harmony with nature. Now, aiming for broader adoption of this technology, the Company has developed an evolved version—the new “HARMO.”

## 1 はじめに

現在「ヤマハ発動機(以下当社)」において、カーボンニュートラルの実現に向けた電動化の取り組みが進められている。マリン分野における電動化の大きな課題は航続距離であり、船舶に搭載するバッテリーの重量およびサイズに課題がある。そこで、電動の強みである低回転・高トルクを最大限に生かし、同時にバッテリーの重量とサイズを最小限に抑えるべく、低速用途に限定した製品開発を開始した。2021年には、“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られる”という、今まで体感したことがない価値提供が可能となる低速に特化した電動操船システム「HARMO」(以下初代 HARMO)を欧州で販売を開始した。今回、この「HARMO」のさらなる普及を目指し、進化させた「新型 HARMO」の開発を行った。

## 2 開発の狙い

「初代 HARMO」の“低速を究める”の基本コンセプトを踏襲し、低速時の“圧倒的な静粛性”、“高効率”、“高推力”、“小回り・

回頭性能”を高めるために、モータはリムドライブ方式とし、ステアリングは大舵角を可能とする一体型電動ステアリングを採用した。「新型 HARMO」として更なる進化として、「トータルチルト機能」「HELM MASTER EX」の定点保持やオートパイロットなどの快適操船機能、そしてマリン初となるジョイスティックのみシステムやジョイスティックホールド機能により付加価値を高めた製品を目指した。ターゲット市場は運河や河川などの低速遊覧(図1)であり、市場導入に先立ち、国内外での実証運航や試乗会を通じて開発仕様の妥当性の検証を行った。



図1 ターゲット市場(低速用途)

### 3 商品の特徴

#### 3-1. 基本諸元

表1に電動推進機本体の主要諸元を示す。電動推進機ユニットの駆動モータは48V バッテリーを使用し、システム駆動には12V バッテリーを採用している。

表1 主要諸元

モデル名	H3.1B
最大出力	3.1kW
最大スラスト	F9.9船外機同等
舵角	左右70deg
ステアリングシステム	デジタルステアリング
重量	58kg
トランサム高さ	L (20inch) X (25inch)
カラー	シルバー、グレー

#### 3-2. 電動推進機本体

「新型 HARMO」では、従来船外機と同じブラケットクランプ取り付け構造とし、幅広いプレジャーボートへの搭載が可能となった。(図2)。本体カラーは、北米市場向けに人気のグレー色、欧州および国内市場向けには「HARMO」のイメージカラーであるシルバー色を設定した。

また、推進機の構成部品のモジュール化を行い、推進機本体のコンパクト化を図った。

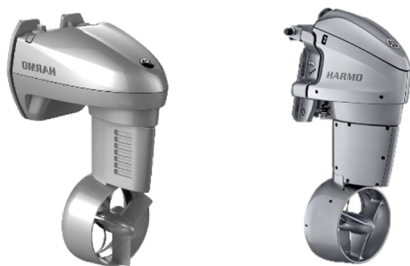


図2 初代 HARMO (左)と新型 HARMO (右)

#### 3-3. 電動システム

電動推進機本体の内部構造を図3、4に示す。電動推進モータの基本構造は「初代 HARMO」から変更なく、インペラの外周部にステータおよびロータを配置したリムドライブ方式により高トルクと高静粛性を実現している。「新型 HARMO」では、このリムドライブモータの普及拡大に備えた設計改良と生産性改善をいくつか織り込んでいる。

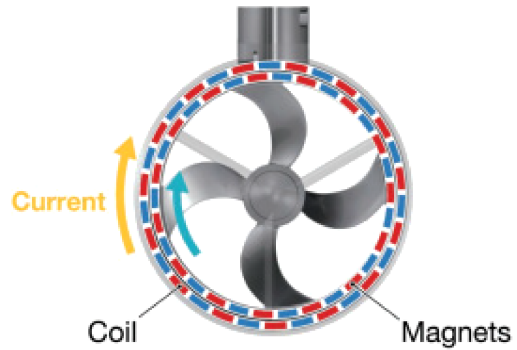


図3 リムドライブ方式

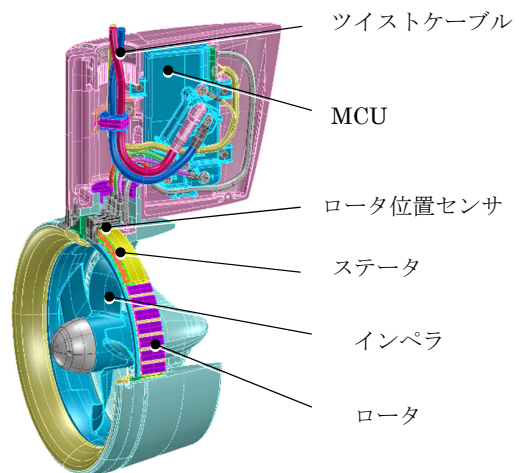


図4 リムドライブモータ、MCU の配置図

図5に示す通り、「初代 HARMO」ではステータのコイル間を接続するボードコネクションと呼ばれる部品がリング状の形状であり、材料歩留まりの悪さや曲げ加工の多さが原価増の要因となっていた。一方、新モデルではモータの直並列パターンおよび巻き線仕様を見直すことで、対象部品の小型化を実現した。また、新モデルでは、メカ式電源リレーを FET (Field Effect Transistor) に変更し、MCU (Motor Control Unit) に内蔵した。

また、「新型 HARMO」では、ロータ位置検知ホールセンサがアルミ部材から受けるセンシング誤差を MCU 制御パラメータ補正により影響を抑えることでモータ効率を最大化した。そして、ツイストケーブルの採用により、転舵部の配線たるみスペースを廃止し、コンパクトなシルエットを実現した。また、水中で使用されるモータを樹脂で封止するインサート成形の量産性を高めるべく、有害な気泡の混入やガス焼けのない成形品質を目指した。図5に示すとおり、形状が複雑で微小な隙間が存在し、繊細な構成部品を有しているため、樹脂を隅々まで充填しつつ、射出成形圧による部品の変形を極限まで抑えることが品質確保上の最重要点だった。新モデルでは、成形サプライヤと当社の生産技術部門が協働し、熟練の技術と知識を最大限に

活用し、先端の樹脂流動解析を実際の成形射出圧力および金型温度と同定しながら実施し、最適な金型仕様と成形条件を決定し、これを成し遂げた。

また、ステータとロータのギャップ間への異物侵入に対する耐摩耗性を向上させるために、ステータの内円筒面およびロータの外円筒面にコーティングを施し、耐摩耗性を向上させた。コーティング材の選定にあたっては、社内採用品に限定せず、航空宇宙分野や建築構造物に採用されている材料まで視野を広げた。最終的に、樹脂への密着力と硬度に極めて優れるセラミックコーティングを採用した。

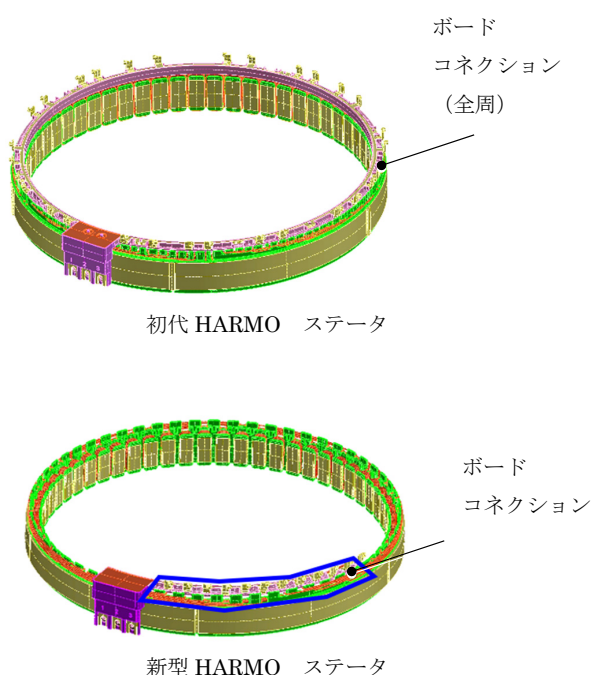


図5 ステータ構造の比較

### 3-4. 電動ステアリングシステム

#### ・電動ステアリングシステム

本モデルでは、システムの基本構成および±70degの大舵角は「初代 HARMO」を踏襲しつつ、静粛性ならびに整備性の向上を図った(図6)。

まず、操船システムの信号を受けたステアリングコントロールユニット(SCU)が、ステアリングモーターと減速機構を介して、リムドライブモーター部と一体化されたシャフトを回転させて舵切する点は初代同様である。一方、内部の減速機構をギヤボックス化し、舵切時の動き始めおよび停止時のモーター動作をチューニングすることで、ギア音の低減を図った。さらに、定期メンテナンス用のグリスニップル位置の変更や、「初代 HARMO」には搭載されていなかった「YDIS(YAMAHA DIAGNOSTIC SYSTEM2)」を追加し、整備性を高めた。

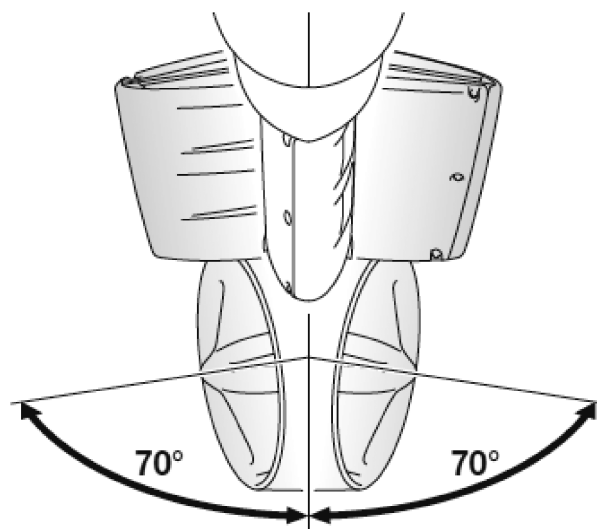


図6 電動ステアリング舵角度範囲

#### ・トータルチルト機能

大型船外機モデルのトータルチルト機能を「HARMO」向けに最適化した上で採用した。本機能を有効にすると、パワーチルトスイッチを素早く2回押すことで、スイッチを押し続けることなく、「HARMO」のチルトアップ/ダウン操作を自動で実行できる。本機能は作動時に周囲へ通知するためブザー音を鳴らす、「HARMO」本来の静かな印象やパワーチルト動作の俊敏な印象を損なわないよう、ブザーの吹鳴パターンを変更している。また、艇体との干渉を防止するチルトリミッター機能も他モデル同様に採用しており、YDISにより設定可能である。

### 3-5. 操船システム

「新型 HARMO」では、マリン分野で初となるジョイスティックのみの操船システムを開発した。これにより、「初代 HARMO」で搭載が必須であったリモコンスロットルレバーやハンドルが不要となり、操船席周辺レイアウトをすっきりと構成することが可能となった(図7)。

#### RIGGING ACCESSORIES

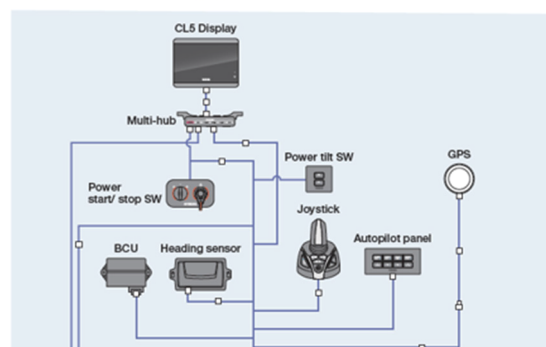


図7 ジョイスティックのみシステム構成



さらに、「HELM MASTER EX」の定点保持機能やオートパイロットなどの操船支援機能を追加し、より快適な操船性を実現した(図8)。また、ジョイスティックホールド機能については、「初代 HARMO」ではプレジャーボートを前進させる際にジョイスティックを前方に倒し続ける必要があったが、「新型 HARMO」では自動車のオートクルーズ機能のように、設定したプロペラ回転数で航走することが可能となった。

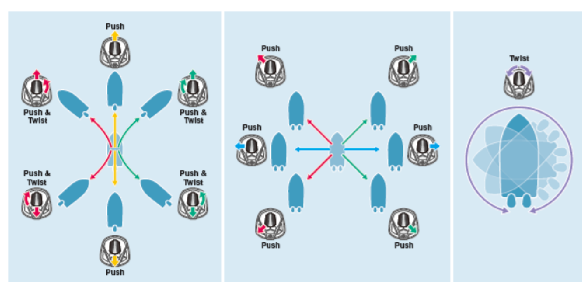


図8 ジョイスティック操作と船挙動

### 3-6. デザイン

“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”とともに、名称「HARMO」の由来であるヒト・環境・ボートとの調和“HARMONY”を意識した。これにより、クリーンかつエレガントなボートテールシルエットを通じて、ヤマハらしい上質さ“PREMIUM”を表現している(図9)。



図9 スタイリングプロポーション

### 3-7. 実証運航

開発試作機を用いて小樽運河や徳島ひょうたん島クルーズでの市場投入前の開発品質検証を実施した(図10)。実証運航終了品の分解調査し、開発仕様へフィードバックすることで、実使用環境に基づいた品質で、仕様を開発者一同が自信をもって開発を遂行することができた。



図10 小樽運河クルーズ実証運航

## 4 おわりに

「初代 HARMO」からのさらなる商品性向上と量産対応を目指し、関係部門が連携して開発に取り組んだ。設計・生産・評価の各工程において技術課題を乗り越え、実証運航による検証を経て製品完成度を高めることができた。その結果、「新型 HARMO」は生産立ち上げを達成し、マリン電動化の新たな価値を具現化する製品として結実した。“水上での静けさと快適さ”という体験価値をお客さまに届けるべく、今後も技術の深化に取り組んでいく。

### ■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



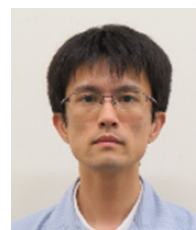
松井 隆浩  
Takahiro Matsui  
マリン事業本部  
開発統括部  
PJT 設計部



武田 謙太郎  
Kentaro Takeda  
マリン事業本部  
開発統括部  
先行開発部



郷家 孝之  
Takayuki Gouke  
マリン事業本部  
開発統括部  
先行開発部



梶原 天翔  
Tensho Kajihara  
YEC  
システム開発部



池ヶ谷 祐次  
Yuji Ikegaya  
マリン事業本部  
開発統括部  
先行開発部