

小型船用電動船外機の実証実験

Demonstration Experiment of Electric Outboard Motor for Small Boat

竹 重 隆 正¹

Takamasa TAKESHIGE

加 藤 健 太¹

Kenta KATO

日向野 正 麻¹

Shohma HIGANO

要 旨

島根県松江市のお堀を小船で巡る観光遊覧「堀川めぐり」をユースケースに、電動二輪車のパワーユニットとスワップابلバッテリーを活用した小型電動船外機システムの実証実験をおこなった。

プロペラ回転方向の切り替えスイッチと、極低速までコントロール可能な速度調整機能により着岸時の制動距離を30%低減した。操作性については船頭の使い方を検証し、スロットル開度と遊覧船の船速の関係を電動船外機用にチューニングした。また、スワップابلバッテリーの採用により、船上での短時間のバッテリー交換を可能とした。以上の結果から ICE 船外機以上の性能および、フィーリングが得られた。

ABSTRACT

The authors conducted a demonstration experiment of a small electric outboard motor system that utilizes an electric scooter power unit and swappable batteries. As the use case, the experiment took place on the “Horikawa Meguri” sightseeing tour in Matsue City, Shimane Prefecture, in which a small boat is used to tour a moat.

The braking distance when berthing was reduced by 30% by using a switch that changes propeller rotation direction and a speed adjustment function that enables control even at very low speeds. In terms of operability, the authors verified how operators used the equipment and tuned the relationship between the throttle position and tour boat speed for an electric outboard motor. Furthermore, the use of swappable batteries enabled quick battery replacement on board. As a result, the performance and feeling of the outboard motor were better than those of internal combustion engine outboard motors.

1. ま え が き

アメリカ、欧州の一部の地域において、19 kW 以下の小型船外機に対するゼロエミッション規制が検討され始めている⁽¹⁾。電動の水上モビリティメーカーとしては、欧州を中心に世界へ展開している Torqeedo 社が挙げられる⁽²⁾。日本国内においては、2020 年 8 月よりヤマハ発動機株式会社がクルーズ船に電動推進ユニットとステアリングシステムなどを統合した新しい操船システムである HARMO (ハルモ)の実証運航を開始している⁽³⁾。

Honda は 2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、次世代のクリーンな船外機の提案として 2021 年 11 月に Fig. 1 に示す小型電動船外機のプロトタイプモデルを発表した⁽⁴⁾。

この発表に対し、島根県の松江市観光振興公社から Honda の小型電動船外機を観光遊覧船に搭載したいとの問合せがあった。

松江市は 2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、CO₂ 排出実質ゼロを長期的な目標に掲げていることを表明している。松江市観光振興公社はこの目標達成に向けた取り組み



Fig. 1 Concept model of electric outboard motor for small boat

¹ ソリューションシステム開発センター

E-mail: takamasa_takeshige@jp.honda

組みの一つとして、市内で運営している観光遊覧船に搭載されている Honda の内燃機関船外機 (ICE 船外機) を電動船外機へ載せ替えることで CO₂ を削減したいと考えていた⁽⁵⁾。

Honda としても電動船外機の量産開発に向けて、バッテリーのエネルギー密度や冷却性観点から内燃機関船外機 (ICE 船外機) 同等の長時間、高負荷運転の実現が難しい中、電動船外機による提供価値、適正な売価や要件、運用方法を実際のお客様の声を聞きながら明確にしたいと考えていた。

こうした状況から、小型電動船外機のパイロット機を既存のリソースを最大限活用し、短期間で仕立て、松江で運用するという事業実証プロジェクトがスタートした。

「堀川めぐり」は松江の城下町にある堀を小船でゆっくりと景色を楽しみながら巡る観光ツアーである。Fig. 2 のようにコースの全長は約 3.7 km で、約 50 分かけて既定のコースを周る。繁忙期にはコース上に 20 艇以上同時に運航することもあり、その時期には 1 日最大 8 周する船も出てくる。船の全長は 23 Ft (≒ 7 m) ほどで、最大乗員数は 13 名である。雨天でも通常運航しており、年中無休で運営されている。

コース近隣には民家が立ち並ぶ箇所も存在する。その区間は“静音区間”に設定され、通過時には ICE 船外機の回転数を抑えて航行する必要がある⁽⁶⁾。

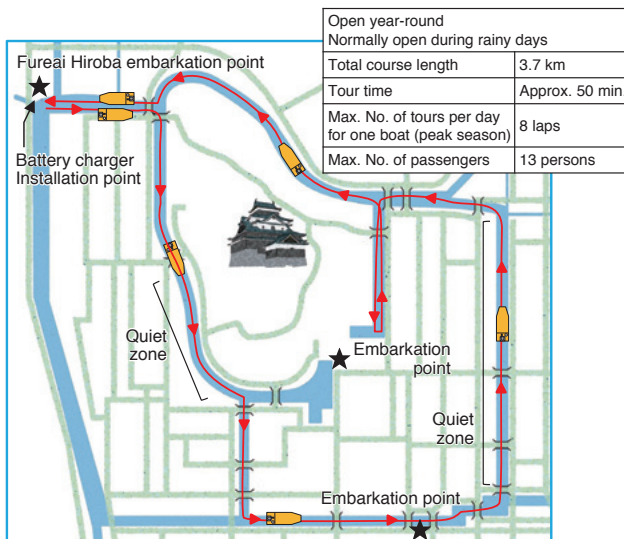


Fig. 2 Tour course overview

2. 仕様検討と目標性能

2.1. 動力性能への要求

ツアー中、船はおよそ時速 4 から 6 km で巡航する。遊覧船へ搭載する船外機の所要性能を把握するため、ツアー 1 周における負荷を確認した。

Fig. 3 より、ツアーで使われるパワーユニットには巡航時には約 1.0 kW、乗船場への着桟等の減速、及び停止時には一時的に最大 3.5 kW の出力が要求され、1 周当たりのエネルギー消費量は 1.2 kWh であることが分かった。

2.2. 電動船外機のパワーユニットと動力用電源検討

この動力を出せるパワーユニットを検討するにあたって、当時法人向けに販売していた Fig. 4 に示すビジネス用電動二輪車 BENLY e: に着目した。BENLY e: は排気量 110 cc クラスの BENLY をベースに Fig. 5 のスワップルバッテリーである Mobile Power Pack e: (MPP) を動力用電源として採用した電動二輪車である。

現在遊覧船に搭載されている ICE 船外機 BF9.9 の最大出力は 7.3 kW である。これは低回転数で静粛に船を動かすためであった。Fig. 6 に示す通り、ツアーで使用されている出力領域は BENLY e: のパワーユニットで出力可能であり、低回転域から高いトルクを出せる電動モータの出力特性を生かせるユースケースと判断した。

2.3. 電動船外機としての目標性能設定

「堀川めぐり」において、ICE 船外機同等以上の使い勝手、電動ならではの新価値を提供するため、ユースケース

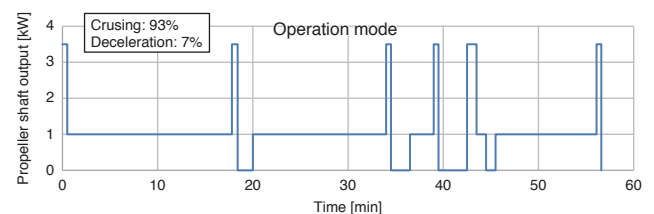


Fig. 3 Mode of used power during one tour lap



Fig. 4 BENLY e:

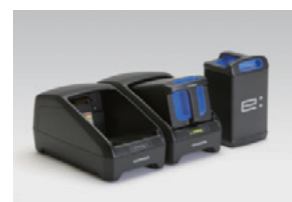


Fig. 5 Mobile Power Pack e: (MPP)

に基づいて動力性能及び商品性について以下の目標性能を設定した。

- (1) 船を着棧できる制動性能と操作系レイアウトであること
- (2) 速度調整機能のスロットルグリップは、握り直しなく極低速から最高速までの調整を自然におこなえること
- (3) 雨天時に観光遊覧船が運航している中でバッテリー交換がおこなえること

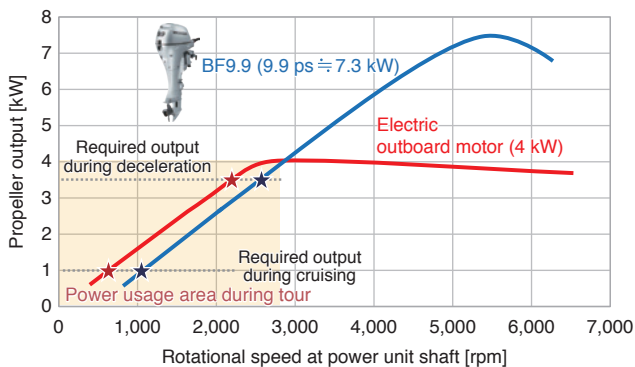


Fig. 6 Comparison of output characteristics between ICE outboard motor and electric motor

3. 電動船外機システムの仕様構築

3.1. 概要

今回構築した電動船外機システムは Fig. 7 に示す通り、船外機本体、バッテリー BOX、各種配線のコネクタと MPP2 本を直列で使用するためのデバイス、ヒューズ類を収納した電装デバイス BOX の三つのコンポーネントにより構成される。Fig. 8 のように、バッテリー BOX は使い勝手を考慮し船上へ、電装デバイス BOX は燃料タンクを収納していた空間に搭載することで占有スペースを有効活用した^{(8),(9)}。

3.2. 制動性能と操作系レイアウトの仕様構築

Fig. 9 に示す従来の ICE 船外機では、エンジンと直結するドライブシャフトは常に一定方向にしか回転することができず、プロペラの回転方向を変えるにはクラッチと正転用、逆転用それぞれのギアの噛み合いを切り替える必要がある。切り替えの操作は Fig. 10 に示すように、一方の手はスロットルグリップを操作し、もう一方の手を使い、物理的なレバー操作にてクラッチを動かす。Fig. 11 に示す電動船外機では、モータを使用することによりドライブシャフトの回転方向を制御スイッチ操作で切り替えることが可能となるため、クラッチや逆転用ギア、操作するシフトレバーを廃止することができる。既存 ICE 船外機用ギアケー

スを基にリバース用ギアやクラッチの廃止をおこなったが、従来は一定方向に回転していたギアが正逆転することになるため、歯当たりの調整等の見直しが必要となった。

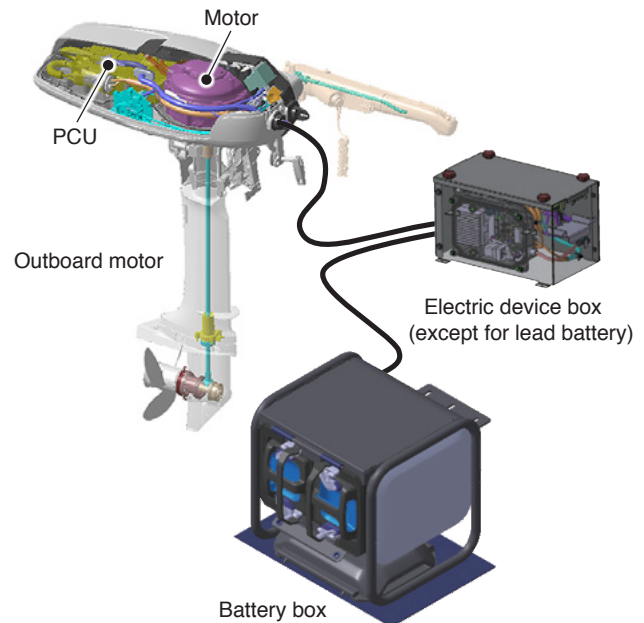


Fig. 7 Configuration of electric outboard motor system

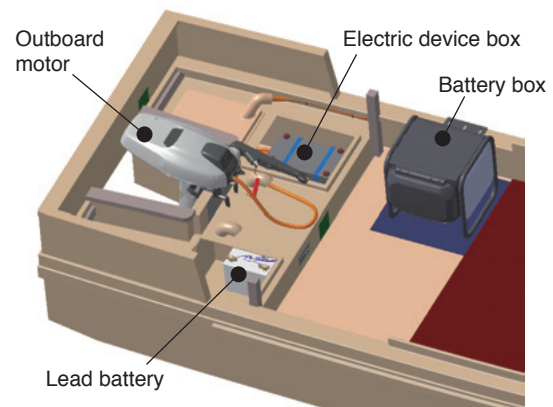


Fig. 8 Image of electric outboard motor system mounted on boat

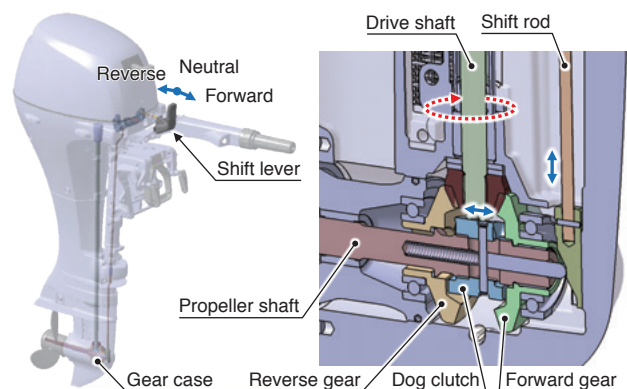


Fig. 9 Internal structure of gear case of ICE outboard motor (BF9.9)

Fig. 12 の電動船外機のギアケース開発はトーハツ株式会社が担当した。

電動化による制御スイッチの設定については、Fig. 11 のようにスロットルグリップの先端部にオルタネイト式スイッチを設けた。このスイッチは、スロットルグリップを握った際に親指付近に来るよう配置される。これにより、ICE 船外機で必要だった両手操作から片手で容易に操作できるようにした。着桟時にスロットルが開いた状態でスイッチが押されると、パワーコントロールユニット (PCU) は出力トルクの値にマイナスをかけたものを指示値として出力し、モータ回転数を速やかに減速、停止させ、逆転へとスムーズに素早く切り替えることが可能である。

この操作系により停船操作がより簡単になり、時速 5 km 航行時からの制動距離を ICE 船外機に比べ 30% 短縮させ

ることができ、容易に着桟することが可能となった⁽¹⁰⁾。

3.3. 速度調整機能のコントロール性

速度調整はスロットルグリップの開閉でおこなう。Fig. 13 に示すようにスロットル操作にあたっては、BENLY e: と同様にスロットルグリップを回すことでケーブルを介してアクセルポジションセンサ (APS) を回す構造をとっている。なお、スロットルグリップの全開時の角度は ICE 船外機同等の 100 度とした。BENLY e: のパワーユニット流用にあたって、二輪車と船では受ける抵抗や推進力のメカニズムが異なることからスロットル開度に対する出力のマップは船用にチューニングする必要がある。また ICE 船外機ではアイドル回転数以下でプロペラを回すことができなかったが、電動モータは極低回転でプロペラを回せ、かつ低回転時にも高いトルクを発生させることが可能となり、極低速域からの操船が実現できる。チューニングされたスロットル開度に対する遊覧船の船速の関係図を Fig. 14 に示す。操作性の構築にあたっては実際の船頭の使い方を検証し、下記項目を考慮した。

- (A) グリップ操作時の手首への負担を考慮し、スロットル開度 40 度を超えない範囲で実用上使う船速域をコントロールできる
- (B) 巡航時に使う速度域 (時速 4 から 6 km) は手首をあまりひねらずに調整できる
- (C) 繊細な操船時に必要となる極低速域は広い角度域で操作できる



Fig. 10 Conventional method of shift switching



Fig. 11 New method of shifting by alternating switch

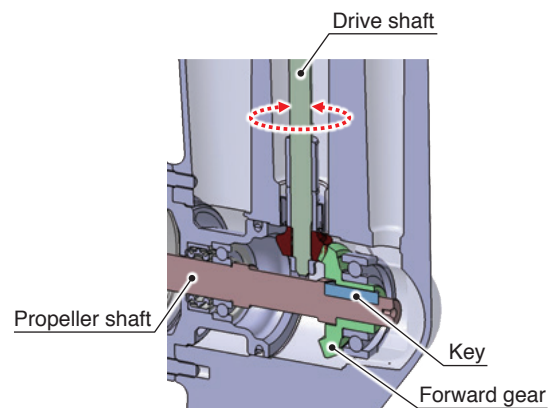


Fig. 12 Internal structure of gear case of electric outboard motor



Fig. 13 APS position in electric outboard motor

3.4. スワップابلバッテリーの観光遊覧船への適合

エネルギー源となるバッテリーには容易に着脱、交換、運搬が可能なMPPを採用した。

同出力帯以上の他社電動船外機は大容量バッテリーを船内に固定設置している例が多い。1日のユースケースを満足できる大容量のバッテリーを搭載し、使用しない夜間等に長時間かけ、桟橋等の陸上設備に専用に設置された陸上電源から充電する運用方式である⁽⁷⁾。今回は既存船からの大幅な改修を必要とせず、かつ設置コストの高い陸上電源を必要としないMPPを採用した。

船の場合、屋外の降水環境下でMPPを交換する必要がある、屋内や軒下のMPP交換を想定した電動二輪車との大きな違いとなる。前述のように、最多で1日8周航行、MPP交換作業は4回必要となり、交換時は乗客の乗降の間の数分と限られている。また、遊覧船ならではの要望として、操船席、客席からの視界を妨げない形状と設置レイアウトとすることも挙げられた。

容易な交換と船上の設置レイアウトを配慮したBOX形状、運転時、交換時の耐水性能等ユースケース上考慮すべき点が多い。

具体的な対応策としては、Fig. 15に示すようにMPPの抜き差し方向を水平として雨水等の被水対応し、また、

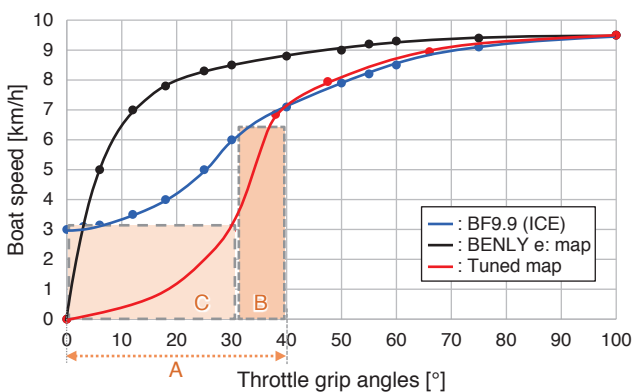


Fig. 14 Boat behavior at each throttle position



Fig. 15 Battery box shape

バッテリー本体高さを120 mm以上に設定することによって雨水等が船内に溜まることによるMPP BOX内への浸水防止と、作業性の確保をおこなった。設置場所は交換作業と操船をおこなう船頭が扱いやすい操船席前方のデッキ上とした。

以上の推進により、既存の観光航行のユースケースや船体に適合したバッテリーシステムを構築することができた。

なお、MPPでの運用をおこなった場合、ツアー2周ごとに1回のバッテリー交換が必要となる。この運用をおこなうにあたっては、バッテリー充電器をFig. 2内の「ふれあい広場乗船場」の整備小屋内に設置させてもらい、乗客の乗降時にバッテリー交換を実施してもらうこととした。

4. 実証実験結果

以上の新操作系と出力マップを実装した電動船外機を遊覧船へ搭載し、船頭に操船していただきフィーリング評価をおこなった。Fig. 16のように、加速感、応答性については、モータの出力特性によってICE船外機以上の性能を得られ、スロットル操作性、制動性については今回の仕様構築によってICE船外機以上の評価を得られた。

電動化による新価値として、以下2点が挙げられる。

遊覧船の船頭の見線ではプロペラへの異物絡み付きの検知と除去のしやすさが挙げられる。

「堀川めぐり」の航路には夏季に藻が発生する。定期的に藻刈りをを行っているものの全ては刈りつくせないため、Fig. 17のようにプロペラに絡み動力性能の低下やエネルギー消費の増加に影響を及ぼす。電動船外機は、手腕振動が小さくなったため、藻が絡んだ際のプロペラのアンバランスにより発生するわずかな手腕振動の変化を感じ取れ、それによって藻の絡みを察知し、迅速かつ容易にプロペラ回転方向を逆転することで藻を取り除くことが可能となった。

遊覧船に乗る人全体で見線を広げると、音に関しより高い価値があることが分かった。

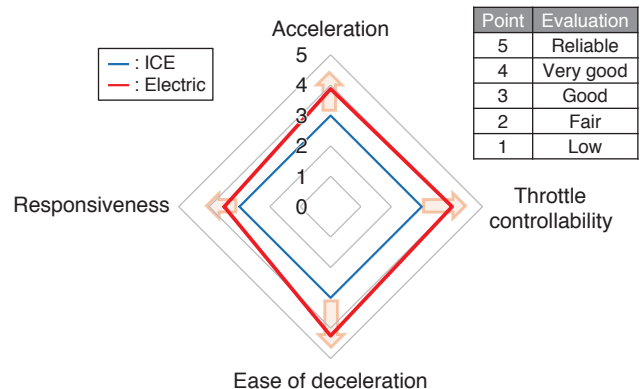


Fig. 16 Comparison of drivability between ICE onboard motor and electric motor

遊覧コースに静音区間が設定されている背景から、エンジンからモータに変わることによって音による周囲環境への影響を低減できると考えていた。遊覧中の船内では、船頭からお客へのガイド、お客様から船頭への質問、といった相互にコミュニケーションを必要とする場面がある。船頭はICE 船外機の音によって、お客様からの質問が聞き取れず、エンジン回転数を落として聞き返さなければならないといったやり取りが発生することがあった。

音の低減によって船頭のガイドもよく聞き取れ、船頭とのコミュニケーションも円滑に取れることで、「より一層遊覧船が楽しめた」といった遊覧船ならではの提供価値が得られた。



Fig. 17 Tangled algae around propeller

5. まとめ

以下により、ICE 船外機よりも容易に操作でき、既存の観光航行のユースケースや船体に適合した船外機システムを構築した。

- (1) プロペラ回転方向を簡単に切り替えられる操作系により停船操作が容易になった結果、時速 5 km 時の制動距離を従来操作系と比較し 30% 短縮した。
- (2) 速度調整機能のチューニングは実際に操船する船頭の使い方を反映することで、極低速・巡航速度で操作しやすい設定とした。
- (3) 運航頻度が高く耐水性が求められる観光遊覧船に対して、動力用電源に MPP を用いバッテリー BOX 形状の適正化によって、短時間での交換と雨水等の被水対応を両立し、ユースケースを満足する性能を得られた。

あとがき

既に「堀川めぐり」の船頭による操船で一般のお客様を乗せた試乗会を実施しており、多くの船頭、お客様からは「鳥のさえずり、航行中に水面をかき分ける水の音や、鳥や虫の鳴き声がよく聞こえるようになって、堀川めぐりがいつもより楽しく感じられる」といった静粛性への評価や、すべての操作を片手で完結できるとの評価をいただいている。

このような現場の声を間近で聞き、松江市の皆様と一緒に開発できたことは Honda のエンジニアとしても感慨深いものがある。

引き続き、長期的な電動化の価値の検証を行っていくとともに、今回の遊覧船以外のお客様に対する提供価値の検討も進めていきたいと考えている。

参考文献

- (1) <https://ww2.arb.ca.gov/news/carb-approves-updated-regulations-requiring-most-new-small-road-engines-be-zero-emission-2024>, (参照 2024/07/17)
- (2) <https://www.torqueedo.com/en/>, (参照 2024/08/09)
- (3) <https://global.yamaha-motor.com/jp/news/2020/0731/harmo.html>, (参照 2024/08/09)
- (4) <https://www.honda.co.jp/marine/prototype-matsue/04/>, (参照 2024/09/10)
- (5) <https://www.honda.co.jp/marine/prototype-matsue/01/>, (参照 2024/12/05)
- (6) <https://www.matsue-horikawameguri.jp/language/en/course.html>, (参照 2024/12/05)
- (7) <https://www.torqueedo.com/en/news-and-press/blog/blog-2021-10-15.html>, (参照 2024/12/05)
- (8) US20240317377A1
- (9) US20240317078A1
- (10) 特開 2024-49740

■ 著 者 ■



竹重 隆正



加藤 健太



日向野 正麻