

## 学 位 論 文 要 旨

氏 名 羽田野 修一

題 目 電動船外機の開発と教材化

近年、エネルギー資源の高効率利用や再生可能エネルギーの活用、地球温暖化防止への対策が求められている中、海上輸送機器の電動化に関する研究開発が進められている。本研究の目的は、電動船外機の開発、その航行特性の測定、経済性評価の各観点による知見を活かした電動船外機の教材化について検討することである。

まず、船外機のエンジンを取り外し、モータおよびコントローラで置き換えた電動船外機を開発した。電動船外機を全長 27 フィート、船舶総トン数 2.5 トンのプレジャー船に取り付け、航行試験を行った結果、同出力のエンジン船外機を取り付けた場合は最高速度約 8.3 ノットであり、電動船外機船の最高速度は、約 5.6 ノットであった。その理由は電動船外機に使われているモータの出力特性により高回転時のトルクが小さくなるため、エンジン船外機船と比較して航行速度が上がらないものと推測している。航行試験では、航行中の船体は波、潮流および風などの外的要因の影響を大きく受けるため、電動化による省エネルギー効果や CO<sub>2</sub> 排出削減効果を厳密に評価できていない課題が残った。

次に外的要因を受けにくい方法でエンジン船外機と電動船外機の諸特性、および両者を同型船に取り付けた航行状態での諸特性を測定した。その結果、電動船外機はエンジン船外機の概ね 27%から 46%のエネルギー消費量で同じ推力を発生させる性能を有している。また小型船を航行させる場合、発電効率を 60%、送電効率 94%、バッテリー充放電効率 83%の仮定のもとでは、5 ノットにおいては電動船外機船の航行に必要とするエネルギー消費量はエンジン船外機船の場合の約 50%であるが、10 ノット以上になると両者の差は殆ど見られない。さらに騒音レベルの比較では、すべての回転数において電動船外機の方がエンジン船外機と比較して低く、両者の差は最大約 10dB(A)であった。これらの測定結果から、エネルギー消費量に関する電動船外機のエンジン船外機に対する優位性は、エネルギー変換効率の違いによって生じるものである。しかし、実際に小型船を航行させる場合には、優位性は極めて小さくなる。その原因は、航行に必要なエネルギーを蓄えるバッテリーの重量に起因する航行抵抗の増加と、回転数の上昇に従って発生トルクが小さくなるモータの出力特性にあると考えられる。得られた知見から、電動船外機を取り付けた小型船の航行特性を最大限に活かす運用方法としては、総重量の増加に伴う航行抵抗の増加が少ない船体を選び、用途を限定することが有効であることが明らかになった。

さらに量産効果による費用の予測および漁業従事者への意識調査に基づいて開発された電動船外機船を用いた実証試験の測定結果から、経済性の評価を行った。そこで、電動船外機船の製造費用は 2010 年時点でエンジン船外機船の 5.83 倍であったが、リチウムイオンバッテリーの価格低下と電動船外機船の量産効果を考慮すると 2020 年頃には 1.79 倍に低下することが予測された。また 2010 年時点で、電動船外機船のエネルギー経費はエンジン船外機船の 0.27 倍であることや公的補助金の適用、排出権取引について考慮した結果、電動船外機船のエンジン船外機船に対する経済的な優位性を高められることが明らかとなった。これらの成果を教育実践に応用するため、電動船外機の製作と航行特性ならびに経済性の評価を内容とする課題研究を計画した。この課題研究では、開発した製品が経済的に成り立たない状況で、普及させるための様々な方法について学習することを目指している。

電動船外機の開発、その航行特性の測定、経済性評価から得られた知見を活かして、職業系高校の課題研究を年間学習指導計画に沿って実施した。費用の観点から、電気推進機およびエンジン船外機を使用したエネルギー教育を提案した。電気推進機船やエンジン船外機船の航行特性の測定結果から、速度が約 1.2 倍～1.3 倍になると電力消費量やガソリン消費量は約 4 倍となる。この場合速度とエネルギー消費量が比例しない原因は、船舶が密度の大きな水を押しのけて航行するためであると考えられる。ここで熱量換算値を使ったエネルギー消費量の比較では、約 3.3 ノットで航行する場合にエンジン船外機船は電気推進機船に比べて約 4 倍エネルギー消費が見られる。しかし 2015 年度の測定では使用機器の取り扱い、測定条件、解析方法など不明確な点があり、今後これらを改善することでより正確な測定データや解析結果が得られる可能性は高い。また生徒の感想や意識調査などを通して、課題研究の教育効果を検証する中で、難しい知識および分析についての高いレベルの知識が要求される場合、学習内容や教材に対する興味・関心および知識の数値が大きく低下することがわかった。

今後の課題として、風力・太陽光、バイオマスなどの発電施設を備えた浮体施設において、バッテリーの搭載量を減らした電動船外機船の運用に関する研究、ならびにその成果の教材化が挙げられる。