

## 電気モータ推進システムにおけるプロペラ周囲気泡による負荷変動のセンシングと動特性評価

著者	大出 剛
学位名	博士(工学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2018
学位授与番号	12614博乙第34号
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00001622/">http://id.nii.ac.jp/1342/00001622/</a>

博士学位論文内容要旨  
Abstract

専攻 Major	応用環境システム学専攻	氏名 Name	大出 剛 (Ode, Tsuyoshi)
論文題目 Title	電気モータ推進システムにおけるプロペラ周囲気泡による負荷変動のセンシングと動特性評価		

船舶の船体動揺や海面の波動はプロペラ周辺の気泡吸い込み (Propeller ventilation)、キャビテーション (Cavitation) やプロペラの一部あるいは全部を波面より露出させプロペラ空転を引き起すプロペラレーシング (Propeller racing) などを引き起こし、これらによって発生するプロペラの空転現象はプロペラのスラスト、ひいては船舶の推進効率を大きく低減させるだけではなく、トルクやスラスト等に著しい変動を生じさせ、騒音と振動を発生して機関や推進器にダメージを与える。しかしながら、空気吸い込み現象は複雑な現象で、気吸い込みによる推進損失などが半経験的手法を用いて説明されているが、そのメカニズムや変動負荷の理論的解明が未だなされていないのが現状である。内燃機関船すなわちディーゼル直接駆動船では、機関の回転速度が設定から増減した時、ガバナ (Speed governor) すなわち调速機により、燃料油の供給量を加減して所要の回転速度を維持させている。また、機関が空転、急回転を起こしたとき直ちに燃料油を遮断して内燃機関の安全を図っている。さらに、船舶の効率的な運航、エンジンの保全を目指すために軸馬力計を付加する必要があるが、これを制御に用いるには計測精度に制約があり、加えて時定数が長く応答性にも課題がある。また、内燃機関自体においても、スロットル開度からマニホールド圧までの応答遅れに加えて、シリンダー内に空気と燃料を吸入し、それを圧縮し燃焼させてピストンを押し下げるまでの間デッドタイムが存在するなど、トルクの応答はガソリン機関でも数百 ms を要し高速で高精度な制御が難しいと言える。

一方、ディーゼルエレクトリック船 (Diesel-electric transmission ship) や小型船舶で普及し始めている電池推進船 (Battery-powered electric boat) などで用いられる電気モータ推進システムは、高い推進効率・操船性・快適性・環境性のためにその数を急速に増やしている。これらプロペラ推進系とモータドライブシステムで構成する電気モータ推進システムにおいて、使用される交流モータドライブシステムは、パワーエレクトロニクスの進歩により、高トルク、高トルク応答性 (トルク指令から電流が立ち上げるまでの電氣的応答遅れのみ数 ms)、ベクトル制御による高精度制御、高精度の状態出力 (電流、電圧、トルク、回転速度) など高い性能と、トルク制御モード、回転速度制御モードなどの運転機能を準備している。しかしながら、電気モータ推進システムが従来の内燃機関と同様に使われその持っている機能、性能が有効に活用されていない。著者は 2010 年から研究開発してきている急速充電対応型電池推進船「らいちょう」3 隻において、交流モータドライブシステムとアジマスドライブ、ウォータジェットドライブ、アウトドライブなどの推進器と組み合わせた電気モータ推進システムを研究してきた。これらを背景に本研究では次に示す実験と解析を行った。

実験では、電気モータ推進システムを、空気の吸い込みが発生しやすい条件 (プロペラ没水深さ、流速、トルク、回転速度など) で設置・設定し、プロペラ周囲に気泡を発生させる環境にて、トルク一定制御方式と速度一定制御方式で動作させた。初めにモータドライブからのトルクモニター信号、回転速度モニター信号と高速度ビデオ画像解析によるプロペラ周囲気泡挙動を、回流水槽内で同時計測し、モータドライブからの状態信号 (トルク、回転速度) の解析により、気泡発生及びその量 (プロペラ周囲の平均相対輝度)、スラスト減少とそのピークの大きさを正確にセンシングできることを世界で初めて確認した。この確認できたセンシングデータを用いれば、特別なセンサーを要さず、モータドライブからの状態信号により、プロペラ周囲の気泡の状態やそれに起因するスラストの変動などがプロペラ特性式で表せると仮定し、実験結果より検証を行い以下に示す結果を得た。

プロペラ周囲の平均相対輝度が気泡発生量 (ボイド率) と線形であると仮定すると、トルク一定制御方式ではプロペラ特性式より実験で得られた回転速度と平均相対輝度の相関を良く説明でき、プロペラ特性式よりスラストとスラスト係数の相関を良く整理できる。実験から得られたスラスト係数は、平均相対輝度が増すと減少する。すなわち気泡の発生により回転速度は上昇するがスラストは減少することを示した。また回転速度一定制御方式においても、プロペラ特性式より実験で得られたモータドライブからの計測値と平均相対輝度の相関を良く説明でき、プロペラ特性式よりスラストとスラスト係数とトルクの相関を良く整理できる。また、プロペラ周囲気泡によりスラストは、スラスト係数とトルクの乗算に比例して変動することを示した。さらに、回転速度一定制御方式とトルク一定制御方式において、プロペラ周囲気泡によるモータ出力変動とスラスト変動の挙動の違いを、モータドライブから得たモニター信号と理論式を用い検証し次の結果を得た。i) 回転速度一定制御方式では、気泡の発生に従いモータ出力は、平均相対輝度に比例して出力減に変動する。トルク一定制御方式では、平均相対輝度の平方根に反比例して出力増に変動する。同じ出力の運転において、モータ出力変動量は、気泡が一定範囲内において、平均相対輝度の平方根に反比例するトルク一定制御の方が少ない。ii) スラスト変動において、回転速度一定制御方式では、スラスト係数とトルクの乗算に比例し、トルク一定制御方式は、スラスト係数に比例する。同じ平均相対輝度によるスラストへの影響は、トルクの減少を伴う回転速度一定制御方式の方が大きい。すなわちトルク一定制御方式のほうがプロペラ周囲気泡によるモータ出力変動、スラスト変動に対しロバストである。以上これらのことをモータドライブからのモニター信号とプロペラ理論式から説明できることを示した。すなわち、モータドライブのモニター信号は、その制御方式によらずモータ出力変動及びスラスト変動を制御するために用いるセンシング信号として期待できる。