OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Assessment of mathematical model for manoeuvring motion of wide-beam ships fitted with twin-rudder systems
Author(s)	Sahbi, Khanfir
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59216
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【31】

氏　　名	Sahbi Khanfir（サハビ　カンフィル）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学位記番号	第　２４９４７　号
学位授与年月日	平成 23 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科地球総合工学専攻
学位論文名	Assessment of mathematical model for manoeuvring motion of wide-beam ships fitted with twin-rudder systems （ツインラダーシステムを装備した幅広船の操縦運動数学モデルの評価）
論文審査委員	（主査） 教　授　長谷川和彦 （副査） 准教授　梅田　直哉　　教　授　柏木　　正　　教　授　戸田　保幸

論文内容の要旨

MMG model is well known as a mathematical model for ship manoeuvrability. Although it is originally designated for single-propeller single-rudder ships, some researchers have attempted and succeeded to expand it for other types of ships. However, it is still very hard to estimate the hydrodynamic coefficients, especially interaction coefficients, without conducting model experiments. Therefore, there is a need to treat research on establishing more accurate and/or general mathematical model for ship manoeuvrability for wide range of ship types including various types of ships, various combinations of propeller(s) and rudder(s). In this thesis, the following aspects are investigated:

a) The manoeuvring characteristics of twin-rudder ships are firstly reviewed in details. A method for estimating the coefficients was proposed in order to identify the mathematical model for a given twin-rudder system ship type without conducting any model experiments and referring to the manoeuvring study of other multi-propeller multi-rudder model ships developed earlier by other researchers.

b) The effect of drift angle at cruising speed on the rudder forces and some peculiar phenomena concerning rudder normal force for twin rudder ships are evaluated. Additionally, the mathematical model of the twin-rudder ships is investigated and validated with different ship types.

Captive model tests (oblique towing and C.M.T.) as well as free running tests with a single-propeller twin-rudder ship and a twin-propeller twin-rudder ship were carried out. The model instrumentation included separate measurements of rudder, propeller and hull forces. The main conclusions of this study are:

1. An approximate mathematical model for an unknown wide-beam twin-propeller twin-rudder ship is totally estimated without conducting any model experiments. A set of combination of hydrodynamic coefficients of similar hull ship type and the estimated coefficients for propeller, rudder and wind model is established.
2. The predicted manoeuvring performance of the above mentioned subject ship was validated and numerical simulation using a regression model under steady wind conditions were also carried out in order to study the influence of wind on the subject ship manoeuvring characteristics.
3. For twin rudder systems, the effective inflow angle could become in the opposite direction to the rudder

angle during turning motions. For single-propeller twin-rudder system, this phenomenon is usually observed for lower range of rudder angle. For twin-propeller twin-rudder system, the phenomenon seems to be more significant and could be observed for the entire operating range of rudder angle.

4. A new method for estimating the hull-rudder interaction coefficients based on free-running experimental results was proposed. This method is based on the hill climbing procedure where the rudder normal forces recorded during free running experiments are used in order to define an error function of which the minimum values are selected with the purpose of determining the optimum values of flow straightening coefficient. The flow straightening coefficient describes the effects of propeller and hull upstream of the rudder which are straightening the flow leading to a recovery or increase in the effective inflow angle to the rudder.
5. The flow-straightening coefficient shows a slight asymmetric behaviour for starboard and port turning for single-propeller single-rudder system. This coefficient is significantly asymmetric in case of single-propeller twin-rudder system, but shows slight asymmetric trend for twin-propeller twin rudder system.
6. The proposed mathematical model for simulating opposite sign of rudder normal force to the turning direction for twin-rudder ships during turning manoeuvres could be validated for different ship types.

The main conclusions of this study are that the manoeuvring characteristics of an unknown ship can be predicted by referring to previous researches and to similar ship types experimental data. The estimation of the flow-straightening coefficient from free running experiments has enough merit to be considered.

論文審査の結果の要旨

船舶の操縦運動を表現する数学モデルとして MMG モデルはよく知られている。しかし、もともと一軸一舵船（プロペラ、舵ともひとつ装備された船）を主体に考案されたモデルであり、二軸二舵船あるいは一軸二舵船に特化したものではない。すでに、一軸一舵船用の MMG モデルを二軸二舵船あるいは一軸二舵船用に拡張したモデルが提案されているが、船体、プロペラと舵、そして、舵相互の流体力学的干渉影響を正確にモデル化されたものはないことを指摘し、新たにそれに適した数学モデルを提案し、その妥当性の検討を行っている。その概要は以下の通りである。

1. 通常、操縦運動数学モデルの係数の同定は拘束模型試験によって行われる。ここでは、そのデータが入手不可能なある二軸二舵船について、まったく実験を行わず、すでに提案された二軸二舵船の数学モデルを使用し、その係数を一軸一舵船用の主要寸法などから簡易的に推定する方法や、すでに得られている別の二軸二舵船の係数を一部使用することにより推定する手順を示している。その結果、右旋回試験については、実船の試運転結果とほぼ一致しているものの、左旋回試験についてはやや違いが残っていることを示している。
2. そこで、別の二軸二舵船の模型実験を行っている。まず、自由航走試験の結果、一軸一舵船では見られない旋回方向とは逆の流体力が舵に発生していること、また、左右の舵でその大きさが違うことを確認している。さらに、その模型船を用いた定常旋回角速度での拘束模型試験（CMT）を行い、特に、舵に働く流体力に関して二軸二舵船の流体力学的干渉を考慮した数学モデルの提案とそのモデルに含まれる係数を同定している。その際、舵に働く流体力を決める係数のうちのふたつを拘束模型試験ではなく、自由航走試験結果から推定する方法を提案している。
3. 新しく提案した数学モデルを一軸二舵船にも適用し、そのモデルの係数を同定することによって、運動のシミュレーションを行い、二軸二舵船、一軸二舵船とも旋回中の特異な舵に働く流体力が表現できているとともに、運動の再現ができることを示している。反対に、1．で述べたような従来の操縦運動数学モデルを若干拡張しただけのモデルでは十分にその操縦運動を推定できないことを示している。

本研究における成果の概要は以下の通りである。

1．二軸二舵船の操縦運動を従来からある操縦運動数学モデルを若干拡張したモデルで、かつ、実験を行わずに、ある程度推定することは可能であるが、十分精度の良い推定は難しい。
2．二軸二舵船または一軸二舵船では、運動の大きさにより、旋回方向とは逆の流体力が舵に働くことがあり、かつ、左右舵でその大きさは違う。
3．二軸二舵船または一軸二舵船のこうした船体、プロペラと舵、そして、舵相互の流体力学的干渉影響を考慮した新しい操縦運動数学モデルを提案し、その係数を拘束模型試験結果より推定するとともに、新たに自由航走試験結果を利用した同定方法も提案している。
4．最後に、提案された操縦運動数学モデルとそのモデルの同定された係数を用いた数値シミュレーションを行い、二軸二舵船と一軸二舵船の模型船について、その自由航走試験結果をよく推定している。

このように、本研究は、二軸二舵船および一軸二舵船の新しい操縦運動数学モデルを提案し、その係数、特に舵に働く流体力の船体やプロペラ、そして、舵どうしの干渉を表現する係数（以下、干渉係数と呼ぶ）を詳細に検討し、新たな知見を示している。

続いて、審査委員から、

1）同定された干渉係数のひとつが物理的に妥当である。しかし、一軸一舵船では一般にそれが物理的に説明できない値になっているのはなぜか？
2）干渉係数の一つが左右舷方向で非対称となる物理的意味があるか？
3）干渉係数の二つを同定する手法を提案しているが、提案された操縦運動数学モデルの全係数を同様の手法で一度に同定することは可能か？
4）拘束模型試験を行った模型船や実験状態の詳細を示すように。

など主に干渉係数の物理的意味や同定手法について、質疑や指摘がなされ、それぞれに的確な回答が得られた。

以上のように、本論文は、今後、船舶がますます大型化する際、航路の水深が制限されていることから増加すると思われる二軸二舵船や一軸二舵船の新しい操縦運動数学モデルを提案し、舵に働く流体力の船体、プロペラおよび舵相互の干渉影響を明らかにする研究として学術的価値があるとともに、二軸二舵船や一軸二舵船のより安全な運航に実用的観点からも寄与する研究と言える。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。