

# ダクト効果を有する非対称断面ツイン舵船型の開発

(第6報 ゲートラダーの船型設計への応用)

正会員	栗林 定友* <sup>1</sup>	松坂 武彦* <sup>1</sup>
	浅海 宣博* <sup>2</sup>	武田 俊文* <sup>2</sup>
	黒河 保* <sup>2</sup>	
正会員	深澤 正樹* <sup>3</sup>	柳泉 博之* <sup>3</sup>
正会員	矢澤 真樹* <sup>3</sup>	
	河野 高樹* <sup>4</sup>	野中 孝夫* <sup>4</sup>
正会員	佐々木紀幸* <sup>5</sup>	

## The New Hull Form with Twin Rudders Utilizing Duct Effects (6th Report)

by Sadatomo Kuribayashi, *Member* Takehiko Matsuzaka  
Nobuhiro Asaumi Toshifumi Takeda  
Tamotsu Kurokawa  
Masaki Fukazawa, *Member* Hiroyuki Yanaizumi  
Takaki Kawano Takao Nonaka  
Masaki Yazawa, *Member*  
Noriyuki Sasaki, *Member*

**Key Words:** Twin Rudder, Gate Rudder, Duct Effect, Ship Design

### 1. 緒 言

これまで第1報から第5報において、新型舵の推進性能・操縦性能・耐航性能、設計法およびプロペラキャビテーションへの影響について論じてきたが、本舵は、プロペラの横に配置されるため、従来の舵本体や操舵機が占めていたスペースが不要となり、船の基本設計に好影響を与える。例えば、従来の舵位置にプロペラを移動すれば、主機室の後方にある隔壁はもちろん、主機室全体も容易に船尾側へ移動できるため、貨物室の容積を大きくとれる利点がある。

また、単純に、不要になった従来の舵や操舵機のスペースを無くすことで、船の長さを短縮することもでき、港湾制限のある場合などは他船よりも貨物容積をもった船が設計可能となる。もちろん、船の長さを維持したままで、より推進性能の優れた船型も考えられるので、設計の自由度は大きく広がる。

本報告では、高速RO/RO船への適用と、考えられる幾つかの新船型について、ゲートラダーの適用性を検討する。

### 2. ゲートラダーの特徴

#### 2.1 省エネ効果と操船性

一般に、推進および操縦性に関わる流体機器においては、省エネ効果と操船性の向上は相関が少ないか、逆の相関になることが多い。例えば、大型のタンカーなどで針路安定性のために大型の舵を装備したり、内航船などで、離着岸性能向上のために高揚力舵を装備することなどは、省エネの観点からはマイナスになる例となろう。

ゲートラダーは、2つの舵を装備することになるが、2つの舵板がプロペラの横に配置されるため、そこで発生するダクト効果が、舵に推力を発生させることができ、省エネ効果に寄与する。

一方、港湾などにおいては、2つの舵板が連動して一つの大型舵として作用するため、非常に大きな横推力を得ることができる。例えば小型コンテナ船などで要求の多いスターンスラストの代用も可能である。スターンスラストは、コスト的にも無視できないが、主機室の配置などに工夫が必要で常に設計者の悩みのたねであった。その代案としてのゲートラダーの採用は十分に検討に値する。

#### 2.2 振動・騒音の軽減効果

第5報で述べたように、通常舵は、プロペラ面は無視できない排除流を生じ、伴流の起伏をたけまることでキャビテーションによる振動や騒音を助長する。一方ゲートラダーは、このような排除流をつくらず、逆にプロペラ面を加速し流れを均一化する効果があるため、振動や騒音を軽減する。Fig. 1およびFig. 2は、2017年9月末から稼働するニューキャッスル大学の Emerson Cavitation Tunnel とそこで実施予定のゲートラダーのキャビテーション試験のセットアップを示す。



Fig.1 New Emerson Cavitation Tunnel

\*1 栗林商船株式会社

\*2 山中造船株式会社

\*3 かもめプロペラ株式会社

\*4 東京計器株式会社

\*5 Newcastle University, Newcastle Upon Tyne, UK

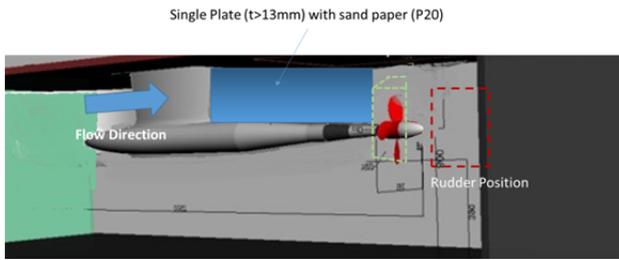


Fig.2 Propeller and Rudders Set up in the Tunnel

試験は、通常舵とゲートラダーの比較試験である。Fig. 3に推定値を示す。推定値は第5報で示した伴流の起伏と船体・プロペラ形状を入力とするプロペラ変動水圧予測の簡易計算法である。

Table 1 Propeller Dimensions

Diameter (m)	0.250
Pitch Ratio (0.7r)	0.800
Boss Ratio	0.278
Exp. Area Ratio	0.560
Number of Blades	4

Table 2 Rudders Dimensions

	Conv. Rudder	Gate Rudder
Rudder Height (m)	0.340	0.246
Mean Chord Length	0.250	0.110
Rudder Area (m <sup>2</sup> )	0.085	0.067

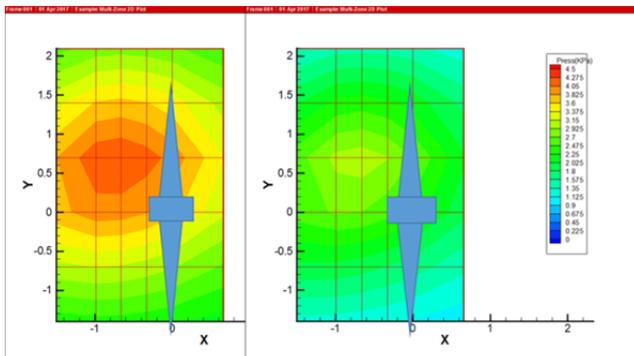


Fig.3 Predicted Propeller Pressure Pulses

(left: conventional Rudder right: Gate Rudder)

実験は、舵角を取った場合のキャビテーションについても調査する予定である。通常舵の場合の舵角は右舵と左舵についてそれぞれ表現できるが、ゲートラダーの場合は、それに前方操舵と後方操舵が加わる。

### 2.3 配置上の利点

通常舵位置にプロペラを移動し、その横にゲート舵を配置すると、船の垂線間長は変わらないのでさまざまな規則にも大きな変更点無く対応できると同時に、プロペラの直前にあった主機室後方の隔壁を、ほぼプロペラの移動分だけ後方に移動することができる。これは設計上のメリットが大きく、さまざまな恩恵が得られる。例えば、Fig. 4 の下段はゲートラダー装備による配置変更を示しているが、左はプロペラアパーチャーの大きさをその

ままにして、貨物容積を増加させた場合、右は、プロペラアパーチャーをやや大きくし、国が推進するスーパーエコシップへの対応をやりやすくした場合である。このように、従来の舵位置にプロペラを移動できるということは、設計上、さまざまなアイデアが実現可能となる。

最近では、プロペラの回転流による損失を回収するため、PBCFを始めとするさまざまな省エネ装置が開発され装備されているが、これらの装置の効果は、従来舵によってかなりの部分が損なわれていることは、模型実験などで良く経験する事実である。ゲートラダーは、そのような省エネ装置にとっても好ましい舵であるとも言える。実際に設計に応用した例として、大型高速RO/RO船に採用した場合を4章で述べる。

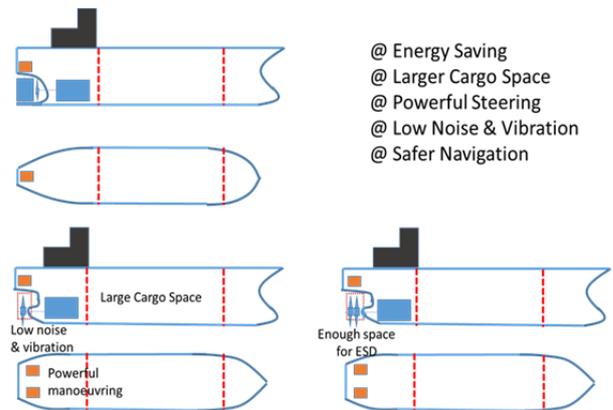


Fig. 4 Application of Gate Rudder to Conventional Ships

## 3 ゲートラダー設計ツール

2.2で述べたように、ゲートラダーとプロペラの相互干渉は、通常舵のそれと大きく異なるため、ゲートラダー用の干渉計算プログラムを開発し、設計に利用するのが好ましい。CFDを利用した設計もあるが、計画段階においては時間をかけずに、十分な精度で計算が可能な設計ツールがあると効率的である。そのような観点から、渦格子法に基づく舵モデルと山崎一中武らによって開発された簡易プロペラ理論を利用した「ゲートラダーとプロペラの干渉計算プログラム」を開発した。

Fig. 5 に開発したプログラムの流れを示す。

本報告では船型設計への適用が主たる課題であるため、ここでは詳細については別な機会でご報告することとし、簡単な説明に留める。まず、船体の伴流分布を舵面とプロペラ面で求め、それを入力値として舵流体力とプロペラ流体力を求める。

次に、渦格子法によって求めた舵面の渦分布からBio-Savartの法則に基づき、プロペラ面への誘導速度を求めて新しくプロペラの流体力を計算する。これを数回繰り返すことで収束値が得られる。実際には3回の繰返し計算で打ち切った。3回の繰返し計算で得られた舵からプロペラ面への誘導速度は、プロペラ面全体を加速すると同時に、舵に近いほどやや大きい誘導速度となっていることが分かった。

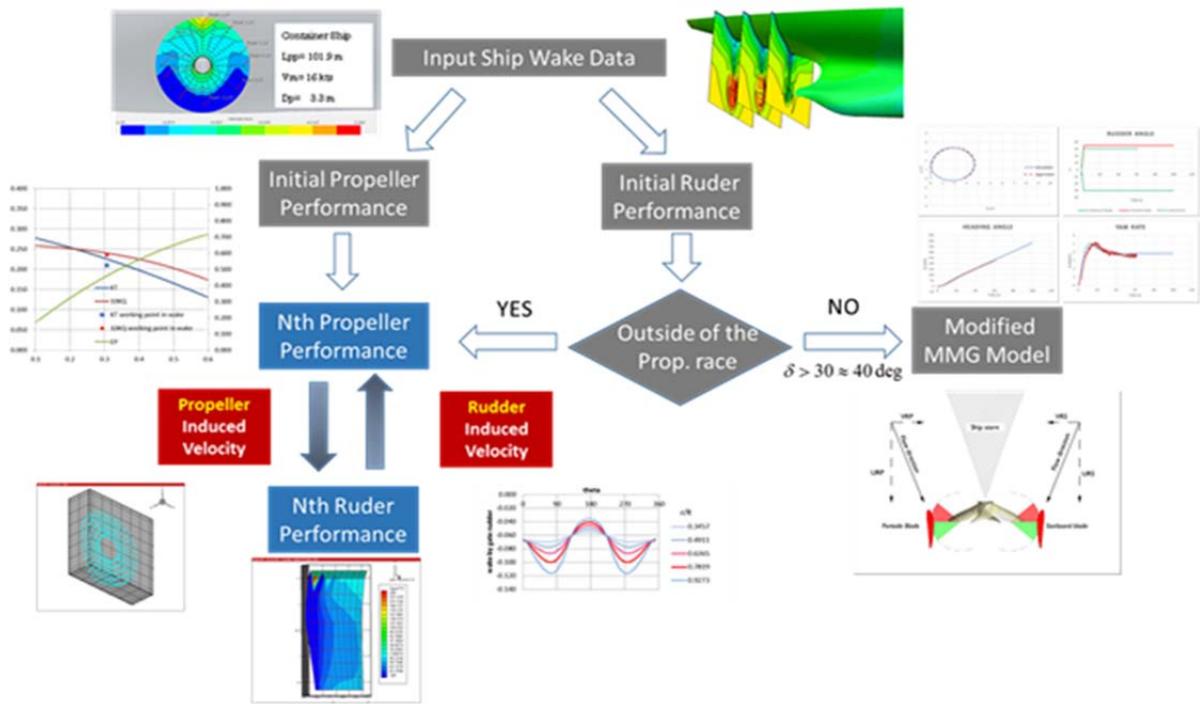


Fig. 5 Computation Flow of a Design Program of Gate Rudder

#### 4 内航大型高速 RO/RO 船への適用

##### 4.1 ゲートラダーのコストインパクト

内航の高速 RO/RO 船は、大型化の傾向にあるが、港湾制限のある中、限られた主要寸法の中で出来るだけ多くの貨物や重量物を積載できることが要望される。さらには港湾の中での荷役も自力で着岸や離岸をしなければならず、また、その場合でもスピーディでかつ安全な離着岸性能が要求される。場合によってはパウスラスタのみならずスターンスラスタを要求される場合すらあるのが実態である。

ゲートラダーは、このような場合に非常に有効であり、要求性能を満たす選択肢の中で最もコストパフォーマンスに優れるものの一つと考える。

Table 3 にスターンスラスタを装備した場合とのコスト比較を示す。本船の場合、10 トンのスターンスラスタ 2 台が装備されており、電動機および始動機、さらには、発電機も 1 台増えることから、その費用も含めると一億円近い金額となり、かなりの費用増となる。さらにスターンス

ラスタには、主機室の配置制限など多くの課題があり、コスト以上のデメリットもあることから、実際のコスト対効果はさらに広がる傾向にあると考えられる。

一方、ゲートラダーは、既存の舵および操舵機の替わりに、やや小型の二組の舵と操舵機を必要とする。現在は試作機の段階であり、コストの見積もりが難しいが、将来的に従来舵と同様な単価ベースの見積もりが可能とすると追加費用として、舵本体、操舵機、操舵システムトータルでスターンスラスタと比べてコストは大幅に低減が可能と考える。

唯一、考慮すべき点は舵機室スペースであるが、幸いに RO/RO 船は復原性の要求から船尾に十分な床面積があり、比較的、容易に 2 基の操舵機が搭載できる。



Fig. 6 High speed large RO/RO vessel

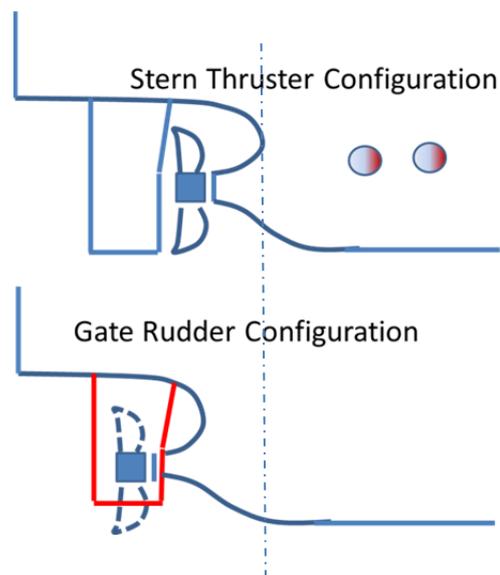


Fig.7 Stern Thrusters replaced by Gate Rudder

Table 3 Cost Impact of Gate Rudder on Existing Design..

	<b>Stern Thruster</b>	<b>Gate Rudder</b>
<b>Required Machinery</b>	Stern thruster 639kW * 2 sets	One Steering Gear One Rudder Blade
<b>Others</b>	Generator 1400 kW	Steering System
<b>Cost Up</b>	Abt. MY100	——
<b>Energy Save</b>	Slightly Worse	4-5% better
<b>Occupied Area</b>	Very Large	Limited



Fig.8 NMRI Large Cavitation Tunnel

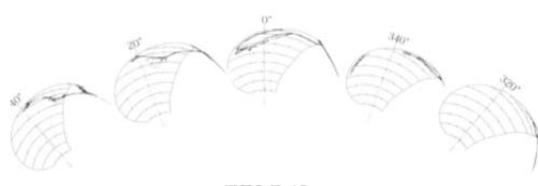


Fig.9 Observed Cavitation Pattern (abt.23kts)

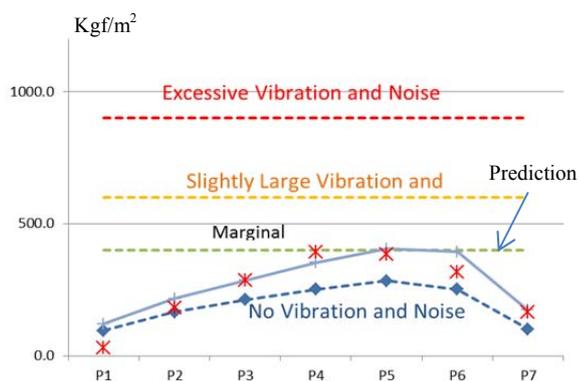


Fig. 10 Effect of Gate Rudder on Propeller Pulses (23kts)

#### 4.2 振動騒音への影響

また、RO/RO 船一般の特徴として伴流ピークが高く船尾におけるプロペラ変動圧が一般の船型に比べて増加しやすい傾向がある。本船も、最大限に注意を払った船型とは言え、推定されるプロペラ変動圧やや高い傾向にある。

Fig. 8 に示す NMRI が所有する大型キャビテーション水槽において本船のプロペラ模型を用い、模擬された伴流の中でキャビテーションにより増幅されるプロペラ変動水圧を計測した。Fig. 9 は、その時のキャビテーションパターンのスケッチ、Fig. 10 は変動水圧の計測結果である。Fig. 10 には、3 種類の変動水圧が示されているが、X が実験値、実線がそれに対応した推定値、破線がゲートラダーを採用した場合に予想される変動水圧値である。推定計算は、いずれも第 5 報で示した佐々木らの方法を用いている。なお、変動圧の計測はプロペラの直上、左舷側プロペラ直径の 35%、右舷側プロペラ直径の 50% の範囲を計測した。実験値と推定計算との一致は、ほぼ良好と言えよう。本船にゲートラダーを採用した場合、約 30% の軽減効果が期待でき、振動レベルを完全な安全圏に留めることができると予測される。

#### 5. 他船型への適用

ゲートラダーの適用船型としては、さまざまな船型が挙げられる。例えば、幅広浅喫水船型に対しては省エネ効果に加え、安全な操縦性能が期待でき、河川などで効果を発揮すると思われる。さらに、電気式のポッドを利用する客船などにおいては、港湾での操船性を損なうことなく安価でかつ省エネ効果の大きい船型への転換が可能であると予想される。また、探査目的で装備されるソナーなどへの音響機器に対してもプロペラからの放射雑音を低減できるため、海洋調査船や、静粛性や冗長性が重視される艦艇への適用も可能と考える。

Table 4 Advantages of Gate Rudder for Special Vessels..

	Shallow & Beamy Ships	Ro/Ro vessel	Cruise Ship	Vessels with Sonar etc.
Energy saving	XX	X	X	X
Easy berthing	X	X	X	X
Large Payload	X	X	-	-
Noise & Vibration	X	X	X	XX
Cost Down	-	XX	XX	X

#### 6. 結論

第 1 報から第 5 報までの報告の内容も含め、ゲートラダーの船型設計への応用について整理した。結論として、ゲートラダーは、タンカーやバルクキャリアなどの一般船型を始めとして、さまざまな船型への展開が可能と考えられるが、特に港湾内での操船性を重視する大型 RO/RO 船やクルーズ船、それにプロペラからの放射雑音の低減が必要な海洋調査船や艦艇へ適用した場合には、性能面のみならず大幅なコスト低減が図れると期待できる。例えば、スターズラスターの必要高速 Ro/Ro 船の場合には従来船と比べると、スターズラストにかかるコストは約 1/7 に削減できることが分かった。

#### 参考文献

栗林定友 他、ダクト効果を有する非対称断面ツイン舵船型の開発、第 1~5 報 JASNAOE 講演会 第 22, 23, 24, 26, 27 号, 2014-2017