リアルオプションを導入した 船舶のライフサイクル価値向上に関する研究

正会員 稗 方 和 夫^{*1} 正会員 満 行 泰 河^{*2}
 Bryan Moser^{*3, *1} 正会員 大 和 裕 幸^{*4, *5}
 齋 藤 智 輝^{*5} 学生会員 和 中 真之介^{*1}

A Study on Ship Life Cycle Value Maximization with Flexible Design considering Real Option

by Kazuo Hiekata, *Member* Taiga Mitsuyuki, *Member*
 Bryan Moser Hiroyuki Yamato, *Member*
 Tomoki Saito Shinnosuke Wanaka, *Student Member*

Summary

In shipbuilding, typically the design objective is based on technical performance of the system at a given operational profile. This paper proposes a methodology to improve life cycle value of target ships by introducing a real option approach. The proposed methodology can consider options of repairs and retrofits in a dockyard very early, during conceptual ship design. A proposed flexible design is evaluated by using a ship performance simulator and a wide range of market fluctuation scenarios generated by the Monte-Carlo method. This methodology was applied to the case study of Very Large Crude Carrier (VLCC) life cycle value evaluation. The result shows that flexible design including real options can significantly aid in consideration of market fluctuation scenarios in comparison with recent typical design optimization approaches.

1. 緒 言

船舶を運用する際には、船舶のライフサイクル全体での価値を最大化するように運用することが重要であり、設計の段階でライフサイクル全体での価値を評価した上で、最終的な設計案を決定して建造を行う必要がある¹⁾。船舶を運用する際に発生するコストの大部分を占めているのは燃料費である。これらを決定する原油価格や運賃率などの市場に関する指標は常に変動するものであり、不確実性を含む指標と捉えなければならない²⁾。原油価格が高騰している場合には、燃料消費量を抑えるために減速走行によって対応することが考えられる。減速走行を行うことによって燃費が向上し、燃料消費量を抑えることが可能であるが、港から港への船舶の往復回数は減少するため、運搬できる貨物の総量が少なく

なってしまう。また、船舶を設計する段階では船型、エンジン、プロペラなどによって構成される船舶設計案を設計船速に基づいて決定されるが、市場の変動によってライフサイクル全体を最大化する船速は変動するため、搭載されたエンジンにおいて適切な回転数で航行することができず、効率的な航行ができないという問題が生じる。

近年、これらの問題に対応するために、運航モニタリング技術を利用したプロペラの取り換えなどの船舶の運用途中での改修やメンテナンスが行われている³⁾⁴⁾。また、船体の船首バルブ部分を取り換えた事例⁵⁾なども報告されている。これらの事例では運用途中に改修を決定しているが、設計の段階から不確実な状況を想定してその対策をオプションとして保持しておくことで、素早い改修が可能となるなどの対応が可能となり、結果として船舶のライフサイクル全体での価値が向上することがあると考えられる。このような考え方はリアルオプションと呼ばれる。リアルオプションとは、金融派生商品の価値評価手法を応用して、不動産やプロジェクトなどの価値を評価する際に、不確実な状況やリスクを考慮してその対策をあらかじめ対価を支払ってオプションとして保持し、オプションを行使する際の行使価格も含めて評価する手法である。例えば、Page はリアルオプションの考え方を船舶の基本設計の段階から取り入れることで、想定する不確実性に柔軟に対応した基本設計を行うことができるこ

*1 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

*2 東京大学大学院 工学系研究科

*3 Massachusetts Institute of Technology

*4 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

*5 東京大学大学院 新領域創成科学研究科（研究当時）

とを示している⁶⁾。Gasperらは船舶の基本設計の段階で考えるべき不確実性を含むシナリオの重要性について言及している⁷⁾。また、多部田らは、海底熱水鉱床開発事業において、事業の延期や撤退のオプションを考慮することにより、意思決定の柔軟性を考慮した事業性評価が有効であることを示している⁸⁾。しかしながら、船舶を対象に市場変動に対応した改修のオプションを基本設計の段階から考慮するような研究事例は報告されていない。

そこで、本研究では船舶の設計段階から市場変動に対応するためにリアルオプションを導入した船舶設計案、すなわち設計時や建造時に追加コストを伴っても就航後にオペレーションプロファイルにあわせたエンジンディレーティングやプロペラの換装が容易となるような船舶設計案を提案する。また、リアルオプションを導入した船舶設計案のライフサイクル全体での価値を定量的に評価するための手法を提案する。

2. 提案手法

2.1 概要

提案手法の概要を Fig. 1 に示す。本研究では、船舶の構成部品である船型・エンジン・プロペラの組み合わせを船舶設計案と呼び、各構成部品について初期の船舶設計案で選択したものに加えて、エンジンディレーティングやプロペラ換装をオプションとして保持した状態の船舶設計案を、リアルオプションを導入した船舶設計案とする。リアルオプションを導入した船舶設計案を評価するために、原油価格や運賃率などの不確実性を含んだ市場モデルと船舶が就航する航路のモデルを作成する。これらのモデルをもとに、就航中の改修を考慮した運航シミュレータによってリアルオプションを導入した船舶設計案のライフサイクル期間における価値を評価する。

Fig. 1 Overview of proposed methodology.

2.2 リアルオプションを導入した船舶設計案

本研究におけるリアルオプションを導入した船舶設計案のデータ構造を Fig. 2 に示す。

リアルオプションを導入した船舶設計案は、船舶構成部品である船型、エンジン、プロペラからなる初期の船舶設計案の他に、初期設計とは異なる性能を持つ複数の船舶構成部品の組み合わせをオプションとして持つ。オプションを保持するのに必要な投資である初期投資額がオプション毎に決められており、オプションを行使するのに必要な費用として船舶改修費用が定義されている。なお、リアルオプションを導入しない通常の船舶設計案に対しても、オプションの数を0と定義することで表現することが可能である。

Fig. 2 Ship design plan considering real option.

2.2 船舶性能モデル

船舶設計案における船型、エンジン、プロペラの組み合わせによって、船舶性能モデルを構築する。具体的には、船舶性能設計の基本的な理論⁹⁾をもとに、船速(V)に対する各指標の値を算出するためのモデルを作成する。

船型については、軽荷状態と満載状態のそれぞれにおいて船速(V)に対する有効馬力(EHP)を定義することで運航シミュレーションに用いる船型の定義を行う。

エンジンについてはディーゼル機関を想定し、プロペラ回転速度(n)に対する機関出力の制動馬力(BHP)及び燃料消費率(SFOC)を定義する。

プロペラについては、プロペラ固有のパラメータとしてピッチ直径比、展開面積比、プロペラ直径、プロペラ枚数を定義し、Barnitsasらの計算手法¹⁰⁾を用いることで、特定のプロペラ (the Wageningen B-Series Propellers) についてプロペラ前進係数(J)に対するトルク係数(K_Q)及びスラスト係数(K_T)を算出する。なお、プロペラ前進係数(J)は式(1)で定義されるため、プロペラ直径(D)と有効伴流係数(w)をあらかじめ決定しておくことで、トルク係数(K_Q)及びスラスト係数(K_T)は船

速(V)とプロペラ回転速度(n)によって算出することが可能になる。なお、この時点では有効馬力(EHP)以外の指標はプロペラ回転速度(n)に関する関数として定義されているが、エンジンの制動馬力(BHP)から有効馬力(EHP)までの変換を考えることで、推進効率の値を与えればエンジン回転速度(n)と船速(V)の関係を導出することが可能であるため、有効馬力についてもプロペラ回転速度(n)に関する関数として定義することが可能である。

$$J = \frac{(1-w)V}{nD} \quad (1)$$

2.3 市場モデル

市場モデルは燃料費と運賃に関する指標を算出するためのモデルであり、燃料の種類や運賃契約は様々なものが考えられる。本研究では、VLCCにおけるスポット航海用船契約、すなわち1航海で輸送された原油1トンあたりの報酬をもとに運賃を決定する契約形態を対象とし、燃料費及び運賃を算出するための指標として原油価格、対象航路における基準運賃(World Scale Flat, WF)、船主・荷主間の輸送契約で合意する値である運賃率(World Scale Rate, WR)を用いる。

市場価格の予測については多くの手法が研究されているが、本研究では二項格子モデル¹¹⁾で用いられる上昇、下降幅のパラメータである u , d と上昇確率 p からなる確率モデルを採用する。原油価格を例とした市場モデルの例を式(2)に示す。ある時点 t での価格 $OP_{bi}(t)$ に対して、 $t+1$ 時点での価格は確率 p で u 倍になり、確率 $1-p$ で d 倍になるという価格変動を想定したモデルとなっている。市場モデルを構築する際には、 p と u と d を過去データから算出する。

$$OP_{bi}(t) = \begin{cases} u \cdot OP_{bi}(t-1) & (p) \\ d \cdot OP_{bi}(t-1) & (1-p) \end{cases} \quad (2)$$

本研究における原油価格 $OP(t)$ 、基準運賃 $FR(t)$ 、運賃率 $WS(t)$ の予測モデルを式(3)、式(4)、式(5)に示す。市場モデルから運航シミュレータに渡すものは、原油価格、基準運賃、運賃率の各1つずつのシナリオによって構成される市場変動シナリオである。そのため、予測モデルを構築する際には、各指標の過去データだけでなく、指標ごとの相関も考慮する必要がある。基準運賃 $FR(t)$ については前年度の原油価格 $OP(t-1)$ を変数とした回帰分析により、 r^2 決定係数が0.94、また傾きと切片の t 値がそれぞれ14.33と12.68で式(4)の回帰式が導出されたため、式(4)を用いて算出することとした。また、原油価格と運賃率の間にも負の相関が観測された。そのため、運賃率 $WS(t)$ については式(5)に示すように、過去データから構築した市場モデルによって算出される $WR_{bi}(t)$ をそのまま運賃率として採用するのではなく、原油価格の変動を考慮する項を追加して算出するものとした。

$$OP(t) = OP_{bi}(t) \quad (3)$$

$$FR(t) = 0.1652 \cdot OP(t-1) + 7.6885 \quad (4)$$

$$WS(t) = WS_{bi}(t) - \frac{\Delta OP}{OP(t-1)} WS_{bi}(t) \quad (5)$$

原油価格と基準運賃、運賃率に関して、過去データから構築した市場モデルをもとにモンテカルロ法を用いて導出した2015年12月から15年間分の予測シナリオの例をFig. 3, Fig. 4, Fig. 5に示す。縦軸はそれぞれの指標であり、横軸は年月を表す。2015年12月時点より前のデータから市場モデルを構築し、構築した市場モデルからモンテカルロ法により10個の原油価格と基準運賃、運賃率それぞれのシナリオを出力した結果を表している。

市場モデルから生成するのは原油価格シナリオ、基準運賃シナリオ、運賃率シナリオの3つのシナリオによって構成される市場変動シナリオであり、市場変動シナリオを複数生成してそれぞれの市場変動シナリオでリアルオプションを導入した船舶設計案を評価する。

Fig. 3 Predicted 10 scenarios of oil price.

Fig. 4 Predicted 10 scenarios of flat rate.

Fig. 5 Predicted 10 scenarios of world scale.

2.4 運航シミュレータの設定

リアルオプションを導入した船舶設計案を評価するために、どのような条件で評価するかをあらかじめ設定として決定しておく必要がある。本研究では、以下の項目について運航シミュレータの設定としてあらかじめ決定する。

- 航路（距離）
- 対象船舶のライフサイクル期間
- 用船契約形態
- 経年劣化
- 入渠間隔
- 固定費
- 市場モデルから生成するシナリオ数
- 運賃収入における間接費の割合
- 割引率

対象とする航路については、対象船舶のライフサイクル期間中は不変であるとし、港間の距離を設定することで航路を定義する。対象船舶のライフサイクル期間は、運航シミュレータのシミュレーション期間に相当する。用船契約形態は、どのように運賃計算を行うかを決定する設定項目である。VLCCにおけるスポット航海用船契約については、対象とする航路 A-B 間における運賃 F_{AB} は載貨重量 DWT 及び基準運賃 FR と運賃率 WS から式(6)によって求められる。なお、前節で述べた通り、本研究では VLCC におけるスポット航海用船契約のケーススタディのみを実施しているが、他の用船契約を考慮するときには、用船契約に応じた運賃計算を行う必要がある。

$$F_{AB} = DWT \cdot FR \cdot WS \quad (6)$$

経年劣化に関しては、杉村らの研究¹²⁾を参考に、船舶が入渠してから次に入渠するまでの間(Dock-to-Dock)の劣化と、

ライフサイクル全体で蓄積されていく劣化(Age Effect)の 2 つに分けて設定する。また、運航シミュレータにおいて一定期間ごとのドックへの入渠を考慮するために、入渠間隔についても設定する。

また、リアルオプションを導入した船舶設計案を適切に評価するためには、複数の市場変動シナリオによって評価する必要がある。そのため、運航シミュレータの設定として、市場モデルから市場変動シナリオを何個生成するかについてもあらかじめ設定する必要がある。

固定費については、年間のドック使用料、メンテナンス費、人件費、保険料と、1 回あたりの港湾使用料について設定する。また、リアルオプションを導入した船舶設計案の価値を計算するための指標として、運賃収入における間接費の割合と割引率についても設定する。運賃収入における間接費の割合については他の船舶の過去の実績から算出し、割引率についてはリスクプレミアム（期待収益率と安全資産金利の差）を考慮して主観的に決定する必要がある。

2.5 就航中の改修を考慮した運航シミュレータ

構築した運航シミュレータによる処理について説明する。運航シミュレーションが開始されると、その時点における市場状況を考慮した上で 1 航海でのキャッシュフロー全体を最大化する船速を算出する。その後、導出された船速に対して、経年劣化の影響を考慮して実際の船速を導出する。このフローを 1 日単位で繰り返し、航海が終了した段階で運賃収入、燃料費、港湾使用費、人件費などの固定費から収入と支出の計上が行われる。

就航中は、港に到着するたびに軽荷状態と満載状態を変更するものとする。また、船舶の入渠時期については、1 航海が終了した段階の修理後期間によって入渠するかどうかを判断する。入渠時には、経年劣化全体のうち Dock-to-Dock の経年劣化分のみがリセットされ、またその時の状況を考慮してオプションを行使する、すなわち改修を行うかどうかの意思決定を行う。改修を行った場合は、改修を行った部品における経年劣化の Age Effect についてもリセットされる。

以上の処理を、ライフサイクル期間が終了するまで行う。

2.6 船舶設計案の評価

運航シミュレーションの結果に加えて、初期投資費用及び船舶改修費用を考慮することで、DCF(Discounted Cash Flow)法によりリアルオプションを導入した船舶設計案の正味現在価値(Net Present Value, NPV)を算出する。式(4)式(5)式(6)に NPV の算出方法を示す。CF(t)は時期 t におけるキャッシュフローを、ORは運賃収入における間接費の割合を、I(t)は時期 t における運賃収入を表す。C_{fuel}(t)とC_{fix}(t)とC_{port}(t)は、時期 t で発生した燃料消費コスト、固定費、港湾使用料を、r は割引率を表している。なお、運賃収入や固定費、港湾使用料はライフサイクル期間中に連続的に発生

するものではないが、1 航海に発生した費用を 1 航海にかかった期間で割ることで算出する。

$$CF(t) = (1 - OR)I(t) - C_{fuel}(t) - C_{fix}(t) - C_{port}(t) \quad (4)$$

$$PV(t) = CF(t)/(1+r)^t \quad (5)$$

$$NPV = \sum PV(t) \quad (6)$$

3. ケーススタディ

3.1 問題設定

ケーススタディとして、Fig. 6 に示す千葉-アラビア間の航路において運用される VLCC を想定して提案手法を用いて船舶設計案の経済性評価を行った。Fig. 6 に想定した航路図を、Table 1 に運航シミュレーションの設定を示す。ライフサイクル期間を 15 年とし、VLCC におけるスポット航海用船契約を考慮して経済性の評価を行う。Table 2 に経年劣化率の設定を示す。Table 2 では幅を持った値が記入されている箇所があるが、範囲内の数値からランダムに抽出して採用するものとする。

Fig. 6 Assumed route of case study.

Table 1 Simulation setting

	Value	Unit
Distance	6,590	mile
Life cycle time	15	year
Dock-in interval	2	year
Fixed cost	3.68×10^6	USD/year
Number of market scenario	10,000	-
Overhead rate of income	0.05	-
Discount rate	0.01	-

Table 2 Aged deterioration setting

	Dock-to-Dock [/dock-in]	Age Effect [/year]
RPM [rpm]	2.0 - 4.0	0.5 - 2.0
EHP [%]	20 - 60	2.5

また、リアルオプションを導入した船舶設計案の構成として、船型はある一つの船型のみを常に用いるものとし、エンジンに関しては、特性が Web 上で公開されている UE 型ディーゼルエンジンの仕様書をもとに燃料消費率を変化させて作成した 3 つのエンジン(Engine 1 - Engine 3)を対象とする。3 つのエンジンの燃料消費率に関する特性を Fig. 7 に示す。縦軸は燃料消費率を、横軸はエンジンの回転数を表している。プロペラについては、Table 3 に示す 3 つのパラメータを一定の範囲内で変化させて Barnitsas の論文¹⁰⁾ による手法を用いることで合計 847 個のプロペラを生成し、トルク係数(K_Q)及びスラスト係数(K_T)の値の差が大きくなるように 2 種類のプロペラ(Propeller 1, Propeller 2)を抽出した。

Fig. 7 SFOC characteristic curve of each engine.

Table 3 Parameter setting for creating propellers.

	RANGE	STEP SIZE
Diameter [m]	8.8 - 10.0	0.2
Expanded area ratio [-]	0.540 - 0.620	0.008
Pitch / Diameter [-]	0.880 - 1.020	0.014

市場モデルに関しては原油価格、基準運賃、運賃率のそれぞれで 2014 年 1 月からの過去データから市場モデルを作成し、1,000 個の市場変動シナリオを作成した。なお、Fig. 3 から Fig. 5 は作成した 1000 個の市場変動シナリオから 10 個を抽出して表示したものである。これらの 1000 個の市場変動シナリオを用いて船舶設計案の経済性評価を行う。

3.2 特徴的な市場変動シナリオにおける船舶設計案の探索

リアルオプションを導入した船舶設計案のベースとなる設計案を導出するために、まずはリアルオプションを導入しない場合の船舶設計案、すなわち今回のケーススタディではエンジンとプロペラの組み合わせからなる船舶設計案を開発した運航シミュレータによって決定する。具体的には、作成した市場変動シナリオのうち、2015 年 12 月からの変動が少ない市場変動シナリオ(NORMAL)、原油価格の平均が高い

市場変動シナリオ(HIGH), 原油価格の平均が低い市場変動シナリオ(LOW)の 3 つの市場変動シナリオのそれぞれにおいて, リアルオプションを導入しない場合において考えられるすべての船舶設計案の NPV を計算し, 最も NPV の高い船舶設計案を導出する。

NORMAL, HIGH, LOW のそれぞれで, 最も NPV の高かった船舶設計案とその時の NPV の値を Table 4 に示す. Table 4 より, それぞれの市場変動シナリオで最適な船舶設計案が異なっていることが分かる。

Table 4 Optimal ship design plan of each market scenario not including real option.

Scenario	Optimal ship design plan (Engine, Propeller)	NPV [USD]
NORMAL	Design NORMAL (Engine 3, Propeller 1)	4.399×10^8
HIGH	Design HIGH (Engine 3, Propeller 2)	1.696×10^8
LOW	Design LOW (Engine 2, Propeller 2)	4.316×10^8

3.3 リアルオプションを導入した船舶設計の評価

次に, 本研究で提案しているリアルオプションを導入した船舶設計案がどの程度価値があるのかを評価するためのケーススタディを行う。具体的には, リアルオプションを導入しない船舶設計案として Table 4 における「Design NORMAL」と, Fig. 8 で示す初期設計として「Design NORMAL」を持ち, 「Design HIGH」と「Design LOW」へ変更する手段をオプションとして保持している船舶設計案である「Design FLEX」について, 1,000 個の市場変動シナリオを用いてどちらの船舶設計案のライフサイクル価値が高いかを比較する。なお, Fig. 8 のリアルオプションを導入した船舶設計案「Design FLEX」においてオプションの行使として改修を行うルールとしては, 原油価格に関して以下の項目をすべて満たす場合に改修を行うものとし, 改修可能な改修はライフサイクル期間中で 1 回であるとした。なお, 今回のケーススタディでは $A = 30$, $B = 5$ と設定した。

- 原油価格が 2015 年 12 月と比べて $A\%$ 以上増加している場合, または先月に比べて原油価格が $B\%$ 以上上昇した場合には「Design HIGH」に改修
- 原油価格が 2015 年 12 月と比べて $A\%$ 以上減少している場合, または先月に比べて原油価格が $B\%$ 以上下降した場合には「Design LOW」に改修

「Design FLEX」が「Design NORMAL」に比べてどの程度 NPV が高かったのかを 1,000 個の各市場変動シナリオに対して計算し, ヒストグラムにした図を Fig. 9 に示す。縦軸は頻度を, 横軸は NPV の差を表しており, 横軸の 1 目盛りは

1×10^7 [USD] である。1,000 個の市場変動シナリオのうち, 961 個の市場変動シナリオで「Design FLEX」の方が「Design NORMAL」よりも NPV が高いという結果になった。このことから, 今回のケーススタディでは, 適切なオプションを選択しさえすればリアルオプションを導入した船舶設計案は船舶のライフサイクル価値を向上させることが可能であるということが示された。

Fig. 8 “Design FLEX” including real option.

Fig. 9 Histogram of difference from ship design plan including real option to normal ship design plan.

4. 考 察

提案手法では, 運航シミュレータによって船舶設計案の経済性を評価しているが, 本研究で構築した運航シミュレータでは, 船舶の性能に大きく影響を与える実海域の影響¹³⁾を考慮できていない。より詳細なモデル化を行うことで, 状況に応じた最適トリム運航なども考慮することが可能になると思われる。また, 船舶の運航を考える際には, 単一の船舶だけでなく, 船団構成を考慮する必要がある, 市場の変動に

よっては当初予定していなかった航路へ導入されることも考えられる。今後はこのような市場の変動に対応した船舶設計案についても考慮していきたい。

また、リアルオプションを導入した船舶設計案において、改修オプションを行使するタイミングは原油価格変動に応じた単純なオプション行使ルールを用いた。3.3で設定した改修を行うルールにおいて、AとBの値を増加させた場合には、改修オプション行使のタイミングが遅くなってしまい、結果としてFig. 9のヒストグラムに比べてNPVの差が0付近の件数が増加し、かつ0未満の件数が減少するという傾向が確認できた。今回のケーススタディでは、このような単純なルールを用いてもリアルオプションを導入することでその価値を向上させることができることから、リアルオプションを導入した船舶設計案の価値はあると言える。しかしながら、改修オプションの保持と行使の費用が高ければ、リアルオプションを導入しても価値の向上が見込めない場合も考えられる。今後は、費用面の調査も行いながら、どのような改修オプションが考えられるかを検討する必要がある。

5. 結 言

本研究では、船舶の設計段階から市場変動に対応するためにリアルオプションを導入した船舶設計案を提案した。ライフサイクル期間内での改修としてエンジンディレーティングやプロペラの換装が容易となるような船舶設計案をあらかじめ設計段階でオプションとして保持し、オプションの保持と行使のための必要な費用を含めることで、市場変動に対応したオプションを持つ船舶設計案を考慮することが可能となる。また、リアルオプションを導入した船舶設計案のライフサイクル全体での価値をNPVによって定量的に評価するための手法を提案した。市場変動に対応して改修オプションを行使するルールを運航シミュレータに組み込むことでリアルオプションを導入した船舶設計案を評価することが可能となる。

ケーススタディとして、実際に航行するVLCCを想定して、市場の不確実性を考慮した場合にリアルオプションを導入した船舶設計案がどの程度船舶の価値を向上させることができるかを、提案手法を用いて検証した。結果として、適切な改修オプションを保持できればリアルオプションを導入した船舶設計案はリアルオプションを導入しない通常の船舶設計案と比較して価値を向上させることが可能であることが示された。

謝 辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金（基盤(B) 15H04208）の助成を受けて実施したものである。ここに深く謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Lehne, M., Norden, C., Wurst, S. and Nagel, R. : Life cycle performance assessment-method and tool for decision makers, Proc. of the 17th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2, pp.181-190, 2015.
- 2) Hiekata, K., Mitsuyuki, M., Yamato, H., Koyama, M., Wanaka, S., Saito, T. and Moser, B. : A Ship Design Evaluation Method to Maximize Operational Value under Uncertainty, Proc. of the 12th International Marine Design Conference, 2, pp.287-295, 2015.
- 3) 安藤英幸：環境負荷低減のための運航モニタリング、計測と制御, 50(6), pp.398-404, 2011.
- 4) 堀内主計：省エネ推進プラント-計画と実航行データ比較, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 46(1), pp.52-55, 2011.
- 5) 柳田徹郎：ビッグデータを活用したコンテナ船の船型最適化検討とその評価, Monohakobi Techno Forum 2015, 2015.
- 6) Page, J. : Flexibility in early stage design of U.S. navy ships: an analysis of options, Journal of Ship Production and Design, Vol.28, No.3, pp.128-133, 2012.
- 7) Gaspar, H.M., Rhodes, D.H., Ross, A.M. and Erikstad, S.O.: Addressing Complexity Aspects in Conceptual Ship Design: A Systems Engineering Approach, Journal of Ship Production and Design, 28, 4, pp. 145-159, 2012.
- 8) 多部田茂, 笠島優希：不確実性を考慮した海底熱水鉱床開発の事業性評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 17, pp. 143-148, 2013.
- 9) 荻原誠功, 山崎正三郎, 芳村康男, 足達宏之：船舶性能設計(船舶海洋工学シリーズ), 成山堂書店, 2013.
- 10) Barnitsas, M.M., Ray D., Kinley P.: KT, KQ and efficiency curves for the Wageningen B-series propellers. Technical Reports of Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, 1981.
- 11) Luenberger, D.G. : 金融工学入門, 日本経済新聞社, 2002.
- 12) 杉村泰：シーマージンとプロペラ設計, 日本舶用機関学会誌, 7(9), pp.643-651, 1972.
- 13) 粉原直人, 上野道雄, 藤原敏文, 辻本勝, 佐々木紀幸：自動車運搬船及び大型油槽船の実船計測による速力低下計算法の検証, 日本船舶海洋工学会論文集, 12, pp.25-31, 2010.