

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7259172号
(P7259172)

(45)発行日 令和5年4月18日(2023.4.18)

(24)登録日 令和5年4月10日(2023.4.10)

(51)国際特許分類			F I		
B 6 3 H	25/04	(2006.01)	B 6 3 H	25/04	C
G 0 1 C	21/20	(2006.01)	G 0 1 C	21/20	
G 0 8 G	3/02	(2006.01)	G 0 8 G	3/02	A
G 0 9 B	29/10	(2006.01)	G 0 9 B	29/10	A

請求項の数 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2020-45749(P2020-45749)	(73)特許権者	518144045 三井E & S造船株式会社 東京都中央区築地5丁目6番4号
(22)出願日	令和2年3月16日(2020.3.16)	(74)代理人	110001807 弁理士法人磯野国際特許商標事務所
(65)公開番号	特開2021-146778(P2021-146778 A)	(72)発明者	依田 貴志 東京都中央区築地5丁目6番4号 三井 E & S造船株式会社内
(43)公開日	令和3年9月27日(2021.9.27)	審査官	結城 健太郎
審査請求日	令和4年1月5日(2022.1.5)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 航路生成装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

航行海域平面上にポテンシャルを設定するポテンシャル設定部と、
前記ポテンシャルが設定された前記航行海域平面を用いて、船舶の航路を生成する航路生成部と、

を備え、

前記航路生成部は、

ポテンシャルが設定された前記航行海域平面上の出発地と目的地との間において、船舶の航行中継地から第一の所定時間において航行可能な複数の航路候補を設定し、

設定された複数の前記航路候補において、前記第一の所定時間よりも短い第二の所定時間ごとの前記船舶の位置におけるポテンシャルの和を算出し、

算出された前記ポテンシャルの和が最小となる前記航路候補のうち、前記第二の所定時間ごとの前記船舶の位置において前記第一の所定時間における位置よりも手前のいずれかを、次の前記航行中継地に設定し、

前記船舶の出発前に、前記航行中継地の設定を前記出発地から前記目的地まで繰り返すことによって、設定された前記航行中継地を含むように前記船舶の航路を生成する

ことを特徴とする航路生成装置。

【請求項2】

前記航路生成部は、算出された前記ポテンシャルの和が最小となる前記航路候補において、前記第二の所定時間ごとの前記船舶の位置のうち、最初の前記第二の所定時間におけ

る前記船舶の位置を、次の前記航行中継地に設定することを特徴とする請求項 1 に記載の航路生成装置。

【請求項 3】

前記航路生成部は、前記船舶の変針可能な角度に応じて、複数の前記航路候補を設定することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の航路生成装置。

【請求項 4】

前記航路生成部は、前記船舶の出発前に、前記航行中継地の設定を前記出発地から前記目的地まで繰り返した前記ポテンシャルの和と、前記目的地から前記出発地まで繰り返した前記ポテンシャルとの和と、を比較し、前記ポテンシャルの和が小さい方に基づいて前記船舶の航路を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の航路生成装置。

【請求項 5】

前記ポテンシャル設定部は、前記船舶の出発前に、他の船舶の位置、向き及び速度に基づいて、当該他の船舶に関する斥力ポテンシャルを前記航行海域平面上に設定し、

前記他の船舶に関する前記斥力ポテンシャルが同じ大きさとなる地点は、前記他の船舶の前方の地点の方が前記他の船舶の後方の地点よりも前記他の船舶から遠くなるように設定されており、

前記ポテンシャル設定部は、前記他の船舶の速度が大きいほど当該他の船舶の前方における所定位置の前記斥力ポテンシャルが大きくなるように、当該斥力ポテンシャルを設定する

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の航路生成装置。

【請求項 6】

前記ポテンシャル設定部は、前記船舶の出発前に、

前記船舶の現在位置又は直前の前記航行中継地から次の前記航行中継地に向かうにつれてポテンシャルが小さくなる第一のポテンシャルと、

前記船舶の現在位置又は直前の前記航行中継地と次の前記航行中継地とを通る直線から離れるほどポテンシャルが大きくなる第二のポテンシャルと、

前記航行海域平面上における不動の障害物に関する斥力ポテンシャルである第三のポテンシャルと、

前記航行海域平面上における前記他の船舶に関する斥力ポテンシャルである第四のポテンシャルと、

を設定し、

前記航路生成部は、前記第一のポテンシャル、前記第二のポテンシャル、前記第三のポテンシャル及び前記第四のポテンシャルの和を用いる

ことを特徴とする請求項 5 に記載の航路生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、船舶の安全に航行可能な航路を生成する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、船舶の衝突危険性を見積もるために、O Z T (Obstacle Zone by Target) を用いる研究が進んでいる (非特許文献 1 参照)。O Z T は、他の船舶によって航行が妨害されるリスクがある範囲を示す指標であり、衝突可能性のある領域の把握を容易にし、操船者が避航手法の検討及び選択を行う際に有用であると考えられている。

【0003】

また、避航操船空間なるモデル内で衝突危険度を評価し、これに操船の好ましさのモデルを重ねることで、操船方法の好ましさを算出し、瞬時に最適な避航航路を生成することが検討されている (非特許文献 2 参照)。かかる手法によると、避航操船空間を絶えず計算することによって、瞬時に最適な航路を選択することができる。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【非特許文献】

【0004】

【文献】福田、「OZTを用いた海上交通分析の基礎研究」、日本航海学会講演予稿集3巻2号、2015年

中村紳也、等、「輻輳海域における自動避航システムによる操船結果とベテラン船長らによる操船結果との比較（定量的評価）について」、日本航海学会 海上交通工学研究会講演資料、2018年6月9日

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

OZTを用いる手法では、他の船舶との衝突リスクを表示することはできるが、避航経路を自動で生成することはできない。さらに、航行する空間全体を俯瞰した場合に、船舶以外の障害物の考慮・法律で明文化されている避航方法を適用すること、及び、自船が目的地へ向かう針路等を考慮することはできない。

【0006】

また、非特許文献2に記載の手法では、特殊な時空間（避航操船空間）で避航判断が行われる。瞬時にどの方向に曲がればよいかは示されるが、どういう経路を通ればよいかは示されない。そのため、船舶の航行する空間全体を俯瞰した場合に、どこにリスクがあるか判断が容易ではない。

【0007】

一方、自動車、移動ロボット等の分野では、障害物回避の手法として、ポテンシャル法が用いられている。ポテンシャル法において、移動体は、ポテンシャルが設定された地図上において当該ポテンシャルの勾配に沿って移動する。

【0008】

通常のポテンシャル法では、運動特性の良好な移動体（ロボット、自動車等）が対象であるため、認識された障害物の位置にポテンシャルを設定することによって、経路演算が可能となる。一方、船舶の運動特性は、他の移動体と比較して著しく悪いため、認識された障害物の位置にポテンシャルを設定すると、当該障害物を好適に回避することができないおそれがある。

【0009】

本発明は、前記の点に鑑みてなされたものであり、船舶の安全に航行可能な航路を好適に生成することが可能な航路生成装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

前記した課題を解決するために、本発明の航路生成装置は、航行海域平面上にポテンシャルを設定するポテンシャル設定部と、前記ポテンシャルが設定された前記航行海域平面を用いて、船舶の航路を生成する航路生成部と、を備え、前記航路生成部は、ポテンシャルが設定された前記航行海域平面上の出発地と目的地との間において、船舶の航行中継地から第一の所定時間において航行可能な複数の航路候補を設定し、設定された複数の前記航路候補において、前記第一の所定時間よりも短い第二の所定時間ごとの前記船舶の位置におけるポテンシャルの和を算出し、算出された前記ポテンシャルの和が最小となる前記航路候補のうち、前記第二の所定時間ごとの前記船舶の位置において前記第一の所定時間における位置よりも手前のいずれかを、次の前記航行中継地に設定し、前記船舶の出発前に、前記航行中継地の設定を前記出発地から前記目的地まで繰り返すことによって、設定された前記航行中継地を含むように前記船舶の航路を生成することを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によると、ポテンシャル法にOZTを組み合わせることによって、予想されるリスクに対するポテンシャルを考慮して好適な航路を生成する。すなわち、船舶の将来的な位置におけるポテンシャルを考慮しながら航行中継地を設定することを繰り返すことによ

10

20

30

40

50

って、障害物等を回避可能な安全な航路を好適に生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施形態に係る航路生成装置を模式的に示すブロック図である。

【図2】航行海域平面上に設定される第一のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図3】航行海域平面上に設定される第二のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図4】航行海域平面上に設定される第三のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図5】船舶及び不動の障害物の例を示す航行海域平面である。

【図6】航行海域平面上において複数の代表点によって示される不動の障害物の各代表点間を結ぶ線分の右側に設定される第三のポテンシャルの例を示すグラフである。

10

【図7】航行海域平面上において複数の代表点によって示される不動の障害物の各代表点間を結ぶ線分の左側に設定される第三のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図8】航行海域平面上において複数の代表点によって示される不動の障害物の各代表点間を結ぶ線分の両側に設定される第三のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図9】航行海域平面上に設定される第四のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図10】航行海域平面上に設定される第四のポテンシャルの例を示すグラフである。

【図11】航路生成装置の第一の動作例を説明するための航行海域平面である。

【図12】航路生成装置の第一の動作例を説明するためのフローチャートである。

【図13】航路生成装置の第一の動作例を説明するためのフローチャートである。

【図14】航路の選択例を説明するための模式図である。

20

【図15】航路生成装置の第二及び第三の動作例を説明するための航行海域平面である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。説明において、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本発明において、航行海域平面とは、自船舶の位置、他船舶の位置、海域の情報等に基づいて生成されるものであって、船舶の航行する三次元空間の情報（水深等の情報を含む）をもとにモデル化された、船舶の周囲の海面を模擬した平面や位置情報であり、例えば、不動の障害物（陸地、岩礁、浅瀬等）の位置情報を含む。

【0014】

30

図1に示すように、本発明の実施形態に係る船舶1は、船舶自動識別装置11と、海域情報表示装置12と、方位センサ13と、航路生成装置20と、を備える。また、船舶1は、当該船舶1の動力源である動力装置41と、当該船舶1の進行方向を変更するための操舵装置42と、を備える。なお、船舶1が遠隔操船される場合には、航路生成装置20は、船舶1の外部に設けられてもよい。

【0015】

<船舶自動識別装置>

船舶自動識別装置（AIS：Automatic Identification System）11は、船舶1の周辺を航行する他の船舶2を自動的に識別し、識別された他の船舶2の位置並びに速度（向き及び速さ）を検出する装置である。船舶自動識別装置10は、検出結果を航路生成装置20へ送信する。

40

【0016】

<海域情報表示装置>

海域情報表示装置12は、船舶1が航行する海域の海図（例えば、海上保安庁発行の航海用海図）、参考図（例えば、航海用電子参考図、Yチャート等）等を表示する装置である。海域情報表示装置12は、船舶1が航行する海域の情報（地形、水深、浮標、航路、その他の障害物、潮流等の情報）を航路生成装置20へ送信する。

【0017】

<方位センサ>

方位センサ13は、船舶1の向き（方角）を検出するセンサである。方位センサ13は

50

、検出結果を航路生成装置 20 へ送信する。

【0018】

<航路生成装置>

航路生成装置 20 は、ポテンシャル法に O Z T (Obstacle Zone by Target) を組み合わせることによって、予想されるリスクに対するポテンシャルを考慮して船舶 1 の安全に航行可能な航路(避航経路ともいう)を生成するための装置である。航路生成装置 20 は、操作部 21 と、表示部 22 と、制御部 30 と、を備える。

【0019】

<操作部>

操作部 21 は、キーボード、マウス、タッチパネル、ボタン等によって構成されている。操作部 21 は、操船者による当該操作部 21 の操作結果に基づく信号(データ)を制御部 30 へ出力する。

【0020】

<表示部>

表示部 22 は、モニタ等によって構成されている。表示部 22 は、制御部 30 からの信号(データ)に基づく画像又は映像を表示する。

【0021】

<制御部>

制御部 30 は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read-Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、入出力回路等によって構成されている。制御部 30 は、機能部として、記憶部 31 と、位置情報取得部 32 と、他船舶情報取得部 33 と、海域情報取得部 34 と、ポテンシャル設定部 35 と、航路生成部 36 と、船舶制御部 37 と、を備える。

【0022】

記憶部

記憶部 31 には、船舶 1 の最高速さ、変針可能な角度等が記憶されている。また、記憶部 31 には、船舶 1 が航行する海域の情報(地形、水深、浮標、航路、その他の障害物、潮流等の情報)が記憶されていてもよい。

【0023】

位置情報取得部

位置情報取得部 32 は、例えば G N S S (Global Navigation Satellite System) からの信号を受信し、受信された信号に基づいて船舶 1 の位置を算出する。また、位置情報取得部 32 は、船舶 1 に設けられた方位センサ 13 の検出結果(すなわち、船舶 1 の向き)を取得する。船舶 1 の位置及び向きに関する情報は、海域情報取得部 34、ポテンシャル設定部 35、航路生成部 36 及び船舶制御部 37 に出力される。

【0024】

他船舶情報取得部

他船舶情報取得部 33 は、船舶自動識別装置 10 によって送信された他の船舶 2 に関する情報(位置、向き、及び速さ)を取得し、取得された情報をポテンシャル設定部 35 へ出力する。

【0025】

海域情報取得部

海域情報取得部 34 は、海域情報表示装置 12 によって送信された、及び/又は、操船者による操作部 21 の操作結果に基づく海域の情報(地形、水深、浮標、航路、その他の障害物、潮流等の情報)を取得し、取得された情報をポテンシャル設定部 35 へ出力する。本実施形態において、海域情報取得部 34 は、位置情報取得部 32 から出力された船舶 1 の位置及び向きに関する情報を取得し、かかる情報に基づいて、船舶 1 の近傍の海域の情報をポテンシャル設定部 35 へ出力する。

【0026】

ポテンシャル設定部

10

20

30

40

50

ポテンシャル設定部 35 は、船舶 1 の位置（出発地又は現在地）及び向き、船舶 1 の目的地、他の船舶 2 に関する情報（位置、向き及び速さ）並びに海域の情報に基づいて、船舶 1 の位置及び目的地を含む航行海域平面上にポテンシャル場を設定する。

【 0 0 2 7 】

<ポテンシャル>

続いて、航行海域平面上に設定されるポテンシャル場について説明する。ポテンシャル場を説明する図面において、x 軸及び y 軸は、航行海域平面上の座標を示す軸であり、x 軸は、例えば南北方向を示す軸、y 軸は、航行海域平面上において x 軸と直交する軸（例えば、東西方向を示す軸）である。また、z 軸は、ポテンシャルを示す軸である。かかるポテンシャル場（ポテンシャルが設定された航行海域平面）において、船舶 1 は、ポテンシャルが高い位置を避け、小さい位置に流れるように航行する。

10

【 0 0 2 8 】

第一のポテンシャル

図 2 に示すように、第一のポテンシャル U_1 は、例えば、出発地 P_S から目的地 P_E に向かうにつれて当該ポテンシャルが小さくなるように設定されている。すなわち、第一のポテンシャル U_1 は、船舶 1 を出発地 P_S 側から目的地 P_E 側に向かわせる引力ポテンシャルである。船舶 1 の航路は、第一のポテンシャル U_1 に従うことによって、出発地 P_S から目的地 P_E に向かうように設定される。第一のポテンシャル U_1 は、例えば下記式 (1) によって表される。ここで、 w_1 は、第一のポテンシャル U_1 における出発地 P_S から目的地 P_E までの勾配に関する係数である。また、 ψ_1 は、引力ポテンシャルの向き、すなわち、地球固定座標系（例えば、南北方向に x 軸、東西方向に y 軸）における、出発地 P_S 及び目的地 P_E を通る直線の地球固定座標系 x 軸に対する角度である。また、 (x_1, y_1) は、第一のポテンシャル U_1 を置く代表点である。すなわち、船舶 1 の座標 (x, y) が (x_1, y_1) であるときに、第一のポテンシャル U_1 はゼロとなる。

20

【 0 0 2 9 】

【数 1】

$$U_1 = w_1 \cdot X_1 \quad \dots \text{式(1)}$$

$$X_1 = (x - x_1) \cos \psi_1 - (y - y_1) \sin \psi_1 \quad \dots \text{式(2)}$$

30

【 0 0 3 0 】

第二のポテンシャル

図 3 に示すように、第二のポテンシャル U_2 は、例えば、出発地 P_S 及び目的地 P_E を通る直線に対して、当該直線から離間するほど当該ポテンシャルが大きくなるように設定されている。すなわち、第二のポテンシャル U_2 は、船舶 1 を出発地 P_S 及び目的地 P_E を通る直線に近づける引力ポテンシャルである。船舶 1 の航路は、第二のポテンシャル U_2 に従うことによって、出発地から目的地に直線的に向かうように設定される。第二のポテンシャル U_2 は、例えば下記式 (2) によって表される。ここで、 w_2 は、第二のポテンシャル U_2 における出発地 P_S 及び目的地 P_E を通る直線から離間した際の勾配に関する係数である。また、 ψ_2 は、地球固定座標系（例えば、南北方向に x 軸、東西方向に y 軸）における、出発地 P_S 及び目的地 P_E を通る直線の地球固定座標系 x 軸に対する角度である。また、 (x_2, y_2) は、第一のポテンシャル U_1 を置く代表点である。すなわち、船舶 1 の座標 (x, y) が (x_2, y_2) であるときに、第二のポテンシャル U_2 は最小となる。なお、第二のポテンシャル U_2 は、船舶 1 の航路（予定）の左右で w_2 の大きさが異なっていてよい。一般的な避航操船時には、右舷側に舵を切ることが好まれ、法律にも一部右舷側に舵を切ることが明記されているが、左側の w_2 を右側の w_2 よりも大きく設定することによって、かかる操船を実現することができる。

40

【 0 0 3 1 】

【数 2】

50

$$U_2 = w_2 \cdot Y_2^2 \quad \dots \text{式(3)}$$

$$Y_2 = (x - x_2) \sin \Psi_2 + (y - y_2) \cos \Psi_2 \quad \dots \text{式(4)}$$

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、出発地 P_S 及び目的地 P_E に代えて、現時点における船舶 1 の位置と次の航行 WP とを通る直線に対して、第一のポテンシャル U_1 及び第二のポテンシャル U_2 が設定される。また、直前の航行 WP と次の航行 WP とを通る直線に対して、第一のポテンシャル U_1 及び第二のポテンシャル U_2 が設定される。

【 0 0 3 3 】

第三のポテンシャル

図 4 に示すように、第三のポテンシャル U_3 は、出発地 P_S 及び目的地 P_E を含む航行海域平面において、不動の障害物（岩礁、浅瀬等）に近づくほど当該ポテンシャルが大きくなるように設定されている。すなわち、第三のポテンシャル U_3 は、船舶 1 を障害物に近づけさせない斥力ポテンシャルである。船舶 1 の航路は、第三のポテンシャル U_3 に従うことによって、岩礁等を回避するように設定される。なお、座標 (x_3, y_3) は、岩礁等の位置（中心の位置）である。第三のポテンシャル U_3 は、例えば下記式（3）によって表される。ここで、 w_3 は、第三のポテンシャル U_3 の大きさに関する係数である。 w_3 は、不動の障害物の形状（大きさ等）を変数とする関数である。

【 0 0 3 4 】

【数 3】

$$U_3 = w_3 \cdot \exp \left(-\frac{(x - x_3)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(y - y_3)^2}{\sigma_y^2} \right) \quad \dots \text{式(5)}$$

【 0 0 3 5 】

また、図 5 に示すように、右側の第三のポテンシャル U_R （図 6 参照）及び左側の第三のポテンシャル U_L （図 7 参照）は、下記式（6）～（8）によって表される。ここで、 (x, y) は、船舶 1 の座標、 (x_3, y_3) は、不動の障害物 3 の座標である。右側のポテンシャル U_R は、複数の代表点 $P_1, P_2, \dots, P_n, P_{n+1}, \dots$ （ここでは、 $P_{R1}, P_{R2}, P_{R3}, P_{R4}, \dots$ （図 8 参照））におけるポテンシャルを直線で結ぶ線の右側のポテンシャルである。左側のポテンシャル U_L は、複数の代表点 $P_1, P_2, \dots, P_n, P_{n+1}, \dots$ （ここでは、 $P_{L1}, P_{L2}, P_{L3}, P_{L4}, \dots$ （図 8 参照））におけるポテンシャルを直線で結ぶ線の左側のポテンシャルである。また、 ψ_{3k} は、代表点（例えば、 P_{R1}, P_{R2} ）間を結ぶ線分すなわちポテンシャルの壁の方向を示す角度である。また、 w_{31} は、ポテンシャルの大きさに関する係数であり、 w_{32} は、ポテンシャルの急峻さに関する係数である。船舶 1 の左右両側に障害物 3 がある場合には、 $U_3 = U_R + U_L$ となる（図 8 参照）。

【 0 0 3 6 】

【数 4】

$$U_R = w_{31} \cdot \frac{1}{1 + w_{32} t_k} \quad \dots \text{式(6)}$$

$$U_L = -w_{31} \cdot \frac{1}{1 + w_{32} t_k} + w_{31} \quad \dots \text{式(7)}$$

$$t_k = (y - y_{3k}) \cdot \cos \Psi_{3k} - (x - x_{3k}) \cdot \sin \Psi_{3k} \quad \dots \text{式(8)}$$

【 0 0 3 7 】

10

20

30

40

50

また、例えば、船舶 1 の右側に複数 (N 個) の不動の障害物 3 がある場合には、 U_R は、下記式 (9) によって表される。ここで、 k は、複数の障害物 3 を識別するための順番を示す (U_L に関しても同様) 。

【 0 0 3 8 】

【 数 5 】

$$U_R = w_{31} \cdot \prod_{k=1}^N \frac{1}{1 + w_{32}^{tk}} \quad \dots \text{式(9)}$$

【 0 0 3 9 】

また、例えば、河川等の航路のように、あるベクトルの左右両側に航行を避けるべき領域 (障害物 3) がある場合には、 $U_3 = U_R + U_L$ となる (図 8 参照) 。

【 0 0 4 0 】

第四のポテンシャル

図 9 及び図 10 に示すように、第四のポテンシャル U_4 は、出発地 P_S 及び目的地 P_E を含む航行海域平面において、移動体である他の船舶 2 との衝突が予想されるエリアに近づくほど当該ポテンシャルが大きくなるように設定されている。すなわち、第四のポテンシャル U_4 は、船舶 1 を他の船舶 2 との衝突が予想されるエリアに近づけさせない斥力ポテンシャルである。船舶 1 の航路は、第四のポテンシャル U_4 に従うことによって、他の船舶 2 を回避するように設定される。なお、座標 (x_4, y_4) は、他の船舶 2 の位置 (中心の位置) 又は O Z T を示す代表位置である。第四のポテンシャル U_4 は、例えば下記式 (10) ~ (12) によって表される。ここで、 w_4 は、第四のポテンシャル U_4 の大きさに関する係数である。 w_4 は、船舶 1 及び他の船舶 2 の速度及び大きさを変数とする関数である。また、 x_e は、 x 軸方向 (他の船舶 2 の前後方向) において、第四のポテンシャル U_4 が最大値から半減する位置 (x 座標) を示す。また、 ψ_4 は、ポテンシャルの角度である。なお、他の船舶 2 の向きによっては、式 (10) は、 x_e と同様の y_e に関する項を含むことができる。

【 0 0 4 1 】

【 数 6 】

$$U_4 = w_4 \cdot \exp \left(-\frac{X_4^2}{\sigma_x^2} - \frac{Y_4^2}{\sigma_y^2} \right) \cdot 0.5 \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{X_4 - x_e}{\sigma_e} \right) \right) \quad \dots \text{式(10)}$$

$$X_4 = (x - x_4) \cdot \cos \psi_4 - (y - y_4) \cdot \sin \psi_4 \quad \dots \text{式(11)}$$

$$Y_4 = (x - x_4) \cdot \sin \psi_4 + (y - y_4) \cdot \cos \psi_4 \quad \dots \text{式(12)}$$

【 0 0 4 2 】

各式 (1) ~ (12) における係数 $w_1 \sim w_4$, x_e 等は、操船者による操作部 2 1 の操作結果等に基づいて適宜設定可能である。

【 0 0 4 3 】

ポテンシャル設定部 3 5 は、他の船舶 2 の向きに基づいて、他の船舶 2 の前方のポテンシャルが他の方向のポテンシャルよりも大きくなるように、第四のポテンシャル U_4 を設定する。また、ポテンシャル設定部 3 5 は、他の船舶 2 の速度に基づいて、当該速度が大きいほど他の船舶 2 の前方における所定位置のポテンシャルが大きくなるように、第四のポテンシャル U_4 を設定する。

【 0 0 4 4 】

10

20

30

40

50

なお、ポテンシャル設定部 35 は、海上衝突予防法第 13 ~ 17 条、操船者の感じるリスク等に基づいて、他の船舶 2 の右舷側及び左舷側の一方のポテンシャルを、他方のポテンシャルよりも大きく設定してもよい。かかる設定は、例えば、 U_4 の右辺において、分散を示す x, y を、座標をパラメータとした変数とすることによって可能である。

【0045】

ポテンシャル設定部 35 は、これらのポテンシャル $U_1 \sim U_4$ の総和をとることによって、航行海域平面上に総ポテンシャル U を設定する。

【0046】

航路生成部

航路生成部 36 は、位置情報取得部 32 からの情報及びポテンシャル設定部 35 の設定結果を取得し、総ポテンシャル U が設定された航行海域平面上において、船舶 1 の航路（避航経路）を生成する。航路は、出発地 P_S と目的地 P_E との間に設定された複数の航行中継地（WP：Way Point）を含み、複数の航行中継地（WP：Way Point）における総ポテンシャルの総和が小さくなるように生成される。航行 WP は、航路において船舶 1 が通過する地点（座標）であり、航路に基づき航行する船舶 1 は、出発地 P_S から複数の航行 WP を順次経由して目的地 P_E まで移動する。生成された航路は、船舶制御部 36 へ出力される。航路生成部 35 は、海上衝突予防法第 13 条（追越し）、第 14 条（行会い）、第 15 条（横切り）、第 16 条（避航船）、第 17 条（保持船）に則った航路を生成する。

10

【0047】

船舶制御部

船舶制御部 37 は、航路生成部 36 によって生成された航路を取得し、位置情報取得部 32 からの情報及び取得された航路に基づいて、動力装置 41 及び操舵装置 42 を制御する。

20

【0048】

< 第一の動作例 >

続いて、航路生成装置 20 の第一の動作例について、図 11 ~ 図 13 を参照して説明する。本動作例において、船舶 1 の航路生成装置 20 は、図 11 に示すように、他の船舶 2 を回避するように航路を生成する。図 11 に示す例において、船舶 1 及び他の船舶 2 は、海上衝突予防法第 14 条の行会いの関係にある。

30

【0049】

図 12 のフローチャートに示すように、航路生成装置 20 のポテンシャル設定部 35 は、海域情報表示装置 12 から送信された海域の情報（地形、水深、浮標、航路、その他の障害物、潮流等の情報）、又は、記憶部 31 に記憶された海域の情報、を用いてモデル化された航行海域平面上にポテンシャル場を設定する（ステップ S1）。図 11 には、総ポテンシャル U のうち、他の船舶 2 によるポテンシャル U_4 のみが図示されている。

【0050】

続いて、航路生成装置 20 の航路生成部 36 は、出発地 P_S と目的地 P_E との間における航行 WP（Way Point）数を設定する（ステップ S2）。ここで、航路生成部 36 は、操船者による操作部 21 の操作結果に基づいて、出発地 P_S 及び目的地 P_E の座標を取得することができる。また、航路生成部 36 は、記憶部 31 に記憶された航行 WP 数を読み出すことによって、又は、操船者による操作部 21 の操作結果に基づいて、航行 WP 数を設定することができる。なお、航路生成部 36 は、出発地 P_S と目的地 P_E との距離を算出し、算出された距離及び予め記憶された船舶 1 の速さ（最大速さ）に基づいて、航行 WP 数を設定する構成であってもよい。ここで、航行 WP 数は、航路が曲線的になることを考慮して、[出発地 P_S と目的地 P_E との距離] ÷ [船舶 1 の速さ（最大速さ）] よりも大きく（例えば、+20%）設定される。また、航路生成部 36 は、操船者による操作部 21 の操作結果に基づいて、航行 WP 数を取得して設定することができる。

40

【0051】

続いて、航路生成装置 20 の航路生成部 36 は、当該船舶 1 の位置（出発地 P_S 又は航

50

行WP)から次の航行WPの候補WPCまでの航路を算出する(ステップS3)。

【0052】

図13のフローチャートに示すように、ステップS3において、詳細には、航路生成部36は、船舶1が航行可能な針路の角度に基づいて、複数の航路候補を設定する(ステップS11)。本実施形態において、船舶1は、当該船舶の前方を 0° としたとき、 -40° から $+40^\circ$ の範囲に航行(変針)可能である。航路生成部36は、方位センサ13の検出結果を基準とし、変針可能な角度よりも広い、 -45° から $+45^\circ$ の範囲において、 5° おきに計19個の航路候補をそれぞれ直線的に設定する。航路生成部35は、操船者による操作部21の操作結果に基づいて、航路候補の数、及び/又は、隣り合う航路候補間の角度を取得して設定することができる。なお、図11においては、簡略化のため5個の航路候補が図示されている。

10

【0053】

続いて、航路生成部36は、船舶1の航行WP(最初は、出発地 P_5)から第一の所定時間 t_1 (例えば、10分)で移動する予測ホライズン H_p まで、第一の所定時間 t_1 よりも短い第二の所定時間 t_2 (例えば、1分)後の位置を算出する(ステップS12, S13)。予測ホライズン H_p は、航行WPの候補WPCよりも先にある位置であり、航行WPよりも先の総ポテンシャル U を考慮して当該航行WPを選択するためのものである。航路生成部36は、操船者による操作部21の操作結果に基づいて、第一の所定時間 t_1 及び第二の所定時間 t_2 を取得して設定することができる。第一の所定時間 t_1 は、第二の所定時間 t_2 の整数倍(好ましくは、3倍以上)に設定可能である。ここで、航路生成部36は、記憶部31に記憶された船舶1の最高速さに基づいて、船舶1の位置を算出することができる。なお、図11においては、簡略化のため予測ホライズン H_p までの算出回数を2回にしたものが図示されている。

20

【0054】

続いて、航路生成部36は、第二の所定時間 t_2 後の位置を用いて総ポテンシャル U が設定された航行海域平面を参照することによって、船舶1の航行WPから第二の所定時間 t_2 後の位置における総ポテンシャル U を読み出す。続いて、航路生成部36は、前回までに読み出された総ポテンシャルの和と、今回読み出された総ポテンシャルと、の和を算出する(ステップS14)。

【0055】

航路生成部36は、ステップS13, S14を第二の所定時間 t_2 の累計が第一の所定時間 t_1 に達するまで(例えば、10回)繰り返す(ステップS15)。また、航路生成部36は、ステップS12~S15の動作を、複数の航路候補のそれぞれに対して実行する(ステップS16)。これにより、複数の航路候補ごとに、総ポテンシャルの和が算出される。

30

【0056】

続いて、航路生成部36は、複数の航路候補のうち、総ポテンシャルの和が最も小さいものを選択する。また、航路生成部36は、選択された航路候補のうち、最初の第二の所定時間 t_2 における船舶1の位置を、次の航行WPとして採用する(ステップS17)。

【0057】

ここで、図14に示すように、全ての航路 $C_1 \sim C_{19}$ のうち、総ポテンシャルの和が最も小さい航路候補が、船舶1の航行可能な角度外の場合(例えば、 -45° の航路 C_1)が考えられる。この場合には、航路生成部36は、当該角度に最も近い航行可能な角度(例えば、 -40°)の航路候補 C_2 を選択し、選択された航路候補 C_2 から航行WPを採用する。すなわち、航路生成部36は、航行可能な角度内で総ポテンシャルの和が最も小さい航路候補(例えば、航路候補 C_6)が航路候補 C_2 以外に存在しても、当該航路候補 C_6 を選択しない。これは、かかる選択結果が、後に採用された航行WPの総ポテンシャルとの和が小さくなることに貢献する可能性が高いためである。

40

【0058】

図12に示すように、航路生成部36は、ステップS11~S17を航行WP数だけ実

50

行する（ステップ S 4）。これにより、船舶 1 の出発地 P_S から目的地 P_E までの航路が生成される。なお、予め設定された航行 W P 数よりも小さい数で目的地 P_E に到達する場合には、航路生成部 3 6 は、目的地 P_E に到達した時点でステップ S 2 ~ S 4 のループを終了する。

【 0 0 5 9 】

続いて、航路生成部 3 6 は、生成された航路を含む航行海域平面を表示部 2 2 又は海域情報表示装置 1 2 に表示させ、操船者に対して航路の承認を促す（ステップ S 5）。航路が承認された場合（ステップ S 5 で Yes）には、船舶制御部 3 7 は、当該航路に基づいて動力装置 4 1 及び操舵装置 4 2 の制御量を算出する（ステップ S 6）。船舶制御部 3 7 は、操船者による操作部 2 1 の操作結果に基づいて、航路の承認及び非承認を取得することができる。

10

【 0 0 6 0 】

続いて、船舶制御部 3 7 は、算出された制御量を動力装置 4 1 及び操舵装置 4 2 に出力することによって、船舶 1 に航路を航行させる（ステップ S 7）。なお、航路が承認されなかった場合（ステップ S 5 で No）には、本フローは終了し、船舶 1 は、操船者によって操船される。

【 0 0 6 1 】

< 第二の動作例 >

続いて、航路生成装置 2 0 の第二の動作例について、図 1 5 を参照し、第一の動作例との相違点を中心に説明する。図 1 1 に示す例において、船舶 1 及び他の船舶 2 は、海上衝突予防法第 1 5 条の横切りの関係にある。

20

【 0 0 6 2 】

航路生成部 3 6 は、第一の動作例と同様の手法を用いて、出発地 P_S から目的地 P_E までの順に算出した航路 R_1 を生成するとともに、目的地 P_E から出発地 P_S までの逆順に算出した航路 R_2 を生成する。そして、航路生成部 3 6 は、出発地 P_S から目的地 P_E までの航路 R_1 におけるポテンシャルの和と、目的地 P_E から出発地 P_S までの逆順の航路 R_2 におけるポテンシャルの和と、を比較し、小さい方を実際の航路として採用する。ここで、出発地 P_S から目的地 P_E までの順に算出した航路 R_1 は、他の船舶 2 を回避するために、航路 R_2 よりも遠回りになる可能性がある。この場合には、航路 R_1 におけるポテンシャルの和は、航路 R_2 におけるポテンシャルの和よりも大きくなるため、航路生成部 3 6 は、航路 R_2 を採用する。

30

【 0 0 6 3 】

また、航路生成部 3 6 は、出発地 P_S と目的地 P_E との間に仮想目的地 P_{E1} を設定することができる。ここで、航路生成部 3 6 は、操船者による操作部 2 1 の操作結果に基づいて、仮想目的地 P_{E1} の座標を取得することができる。この場合において、航路生成部 3 6 は、仮想目的地 P_{E1} から出発地 P_S までの逆順に算出した航路 R_3 と、仮想目的地 P_{E1} から目的地 P_E までの順に算出した航路 R_4 と、を組み合わせることによって航路を生成することができる。

【 0 0 6 4 】

< 第三の動作例 >

続いて、航路生成装置 2 0 の第三の動作例について、図 1 5 を参照し、第二の動作例との相違点を中心に説明する。

40

【 0 0 6 5 】

航路生成部 3 6 は、出発地 P_S と目的地 P_E との間に仮想目的地 P_{E1} を設定する。ここで、航路生成部 3 6 は、操船者による操作部 2 1 の操作結果に基づいて、仮想目的地 P_{E1} の座標を取得することができる。航路生成部 3 6 は、仮想目的地 P_{E1} から出発地 P_S までの逆順に算出した航路 R_3 を生成する。ポテンシャル設定部 3 5 は、船舶 1 がかかる航路 R_3 の近傍を航行するように、当該航路 R_3 の変針点に、引力ポテンシャル U_5 を設定する。引力ポテンシャル U_5 は、船舶 1 を、当該引力ポテンシャル U_5 が設定された地点を経由させようとするポテンシャルである。航路生成部 3 6 は、引力ポテンシャル U_5 が設定

50

された航行海域平面を用いて、出発地 P_S から目的地 P_E の順に算出した航路 R_5 を生成する。

【0066】

本発明の実施形態に係る航路生成装置 20 は、航行海域平面上にポテンシャルを設定するポテンシャル設定部 35 と、前記ポテンシャルが設定された前記航行海域平面を用いて、船舶 1 の航路を生成する航路生成部 36 と、を備える。前記航路生成部 36 は、ポテンシャルが設定された前記航行海域平面上の出発地 P_S と目的地 P_E との間において、船舶 1 の航行中継地から第一の所定時間 t_1 において航行可能な複数の航路候補を設定する。また、前記航路生成部 36 は、設定された複数の前記航路候補において、前記第一の所定時間 t_1 よりも短い第二の所定時間 t_2 ごとの前記船舶 1 の位置におけるポテンシャルの和を算出する。また、前記航路生成部 36 は、算出された前記ポテンシャルの和が最小となる前記航路候補のうち、前記第二の所定時間 t_2 ごとの前記船舶 1 の位置において前記第一の所定時間 t_1 における位置よりも手前のいずれかを、次の前記航行中継地に設定する。また、前記航路生成部 36 は、前記航行中継地の設定を前記出発地 P_S から前記目的地 P_E まで繰り返すことによって、設定された前記航行中継地を含むように前記船舶 1 の航路を生成する。

10

すなわち、航路生成装置 20 は、障害物（例えば、他の船舶 2）との予測される衝突リスクに関して、船舶 1 が航行する海面を模擬した平面上で、ポテンシャル法を適用するため、衝突可能性のある領域を容易に把握することができる。さらに、航路生成装置 20 は、他の船舶 2 以外の障害物 3 の考慮や法律で明文化されている避航方法を適用すること、及び、船舶 1 が目的地へ向かう針路等を考慮することができる。このため、航路生成装置 20 は、他の船舶 2 との衝突を避ける避航操船に限定されず、時間的にも空間的にも大域的に（航行する空間全体を俯瞰した場合に、どこに障害物やリスクが存在し、こういった航路を航行すればよいかという観点で）航路全体でのリスクを考慮し、安全に航行可能な航路を好適に生成することができる。また、航路生成装置 20 は、かかる情報を、操船者に表示することによって、航行支援装置としても有用である。

20

したがって、航路生成装置 20 は、船舶 1 の仮想的な将来の位置におけるポテンシャルを考慮しながら航行中継地を設定することを繰り返すことによって、障害物等を回避可能な航路を好適に生成することができる。

【0067】

前記航路生成部 36 は、算出された前記ポテンシャルの和が最小となる前記航路候補において、前記第二の所定時間 t_2 ごとの前記船舶 1 の位置のうち、最初の前記第二の所定時間 t_2 における前記船舶 1 の位置を、次の前記航行中継地に設定する構成であってもよい。

30

この場合には、航路生成装置 20 は、航行中継地を設定する際に船舶 1 の、より遠い仮想的な将来の位置におけるポテンシャルを考慮するので、航路をより好適に生成することができる。

【0068】

また、前記航路生成部 36 は、前記船舶 1 の変針可能な角度に応じて、複数の前記航路候補を設定する構成であってもよい。

40

この場合には、航路生成装置 20 は、船舶 1 の変針可能な角度を考慮するので、航路をより好適に生成することができる。

【0069】

また、前記航路生成部 36 は、前記航行中継地の設定を前記出発地 P_S から前記目的地 P_E まで繰り返した前記ポテンシャルの和と、前記目的地 P_E から前記出発地 P_S まで繰り返した前記ポテンシャルとの和と、を比較する。そして、前記航路生成部 36 は、前記ポテンシャルの和が小さい方に基づいて前記船舶の航路を生成する構成であってもよい。

この場合には、航路生成装置 20 は、船舶 1 の航路を順路及び逆路の両方から選択するので、航路をより好適に生成することができる。

【0070】

50

また、前記ポテンシャル設定部 35 は、他の船舶 2 に関する斥力ポテンシャルを前記航行海域平面上に設定する。前記他の船舶 2 に関する斥力ポテンシャルが同じ大きさとなる地点は、前記他の船舶 2 の前方の地点の方が前記他の船舶 2 の後方の地点よりも前記他の船舶 2 から遠くなるように設定される構成であってもよい。

この場合には、航路生成装置 20 は、他の船舶 2 に関するポテンシャル U_4 を他の船舶 2 の向きに応じて設定するので、他の船舶 2 の将来的な位置を考慮することができ、航路をより好適に生成することができる。

【0071】

また、前記ポテンシャル設定部 35 は、前記船舶 1 の現在位置又は直前の前記航行中継地から次の前記航行中継地に向かうにつれてポテンシャルが小さくなる第一のポテンシャル U_1 と、前記船舶 1 の現在位置又は直前の前記航行中継地と次の前記航行中継地とを通る直線から離れるほどポテンシャルが大きくなる第二のポテンシャル U_2 と、前記航行海域平面上における不動の障害物 3 に関する斥力ポテンシャルである第三のポテンシャル U_3 と、前記航行海域平面上における移動体に関する斥力ポテンシャルである第四のポテンシャル U_4 と、を設定する。前記航路生成部 36 は、前記第一のポテンシャル U_1 、前記第二のポテンシャル U_2 、前記第三のポテンシャル U_3 及び前記第四のポテンシャル U_4 の和を用いる構成であってもよい。

この場合には、航路生成装置 20 は、第三のポテンシャル U_3 及び第四のポテンシャル U_4 を考慮することによって不動の障害物 3 及び移動体を好適に回避するとともに、第一のポテンシャル U_1 及び第二のポテンシャル U_2 を考慮することによって、より効率的な（短距離の）航路を生成することができる。

【0072】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は前記実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で適宜変形可能である。例えば、航路生成部 36 は、第二の所定時間 t_2 が複数回経過した時点における船舶 1 の位置を、次の航行中継地として選択する構成であってもよい。また、他の船舶 2 に関する情報（位置及び速度）は、船舶自動識別装置 10 によって検出されたものに限定されない。他の船舶 2 に関する情報は、レーダー、カメラ、LIDAR（レーザー光を用いたセンシング）等によって検出されたものでもよく、操船者による操作部 21 の操作結果から取得されたものでもよい。

【符号の説明】

【0073】

- 1 船舶
- 2 他の船舶
- 11 船舶自動識別装置
- 20 航路生成装置
- 21 操作部
- 22 表示部
- 30 制御部
- 31 記憶部
- 32 位置情報取得部
- 33 他船舶情報取得部
- 35 ポテンシャル設定部
- 36 航路生成部
- 37 船舶制御部
- 41 動力装置
- 42 操舵装置

10

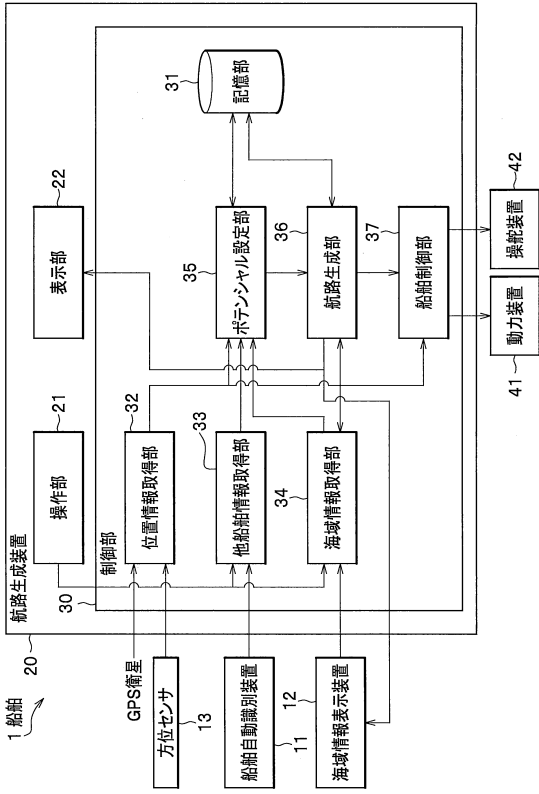
20

30

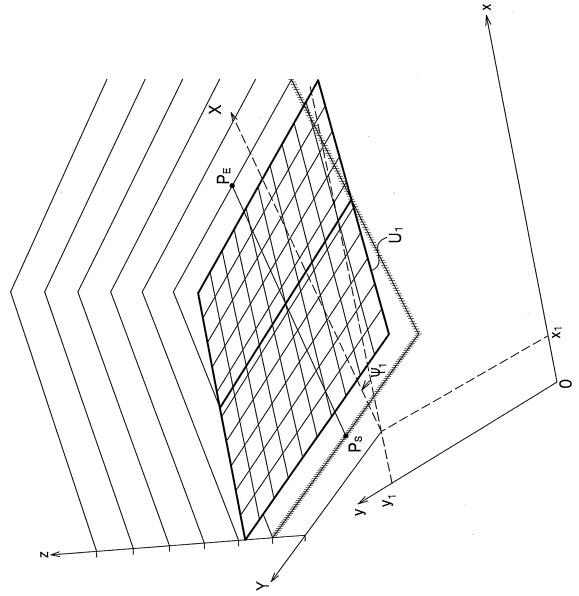
40

50

【図面】
【図 1】



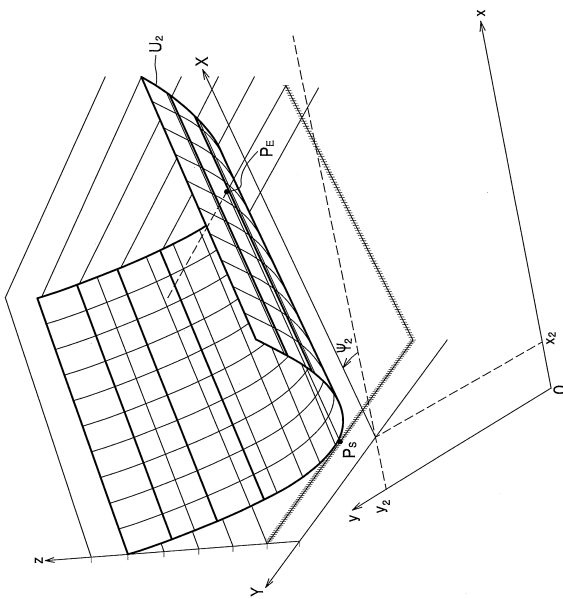
【図 2】



10

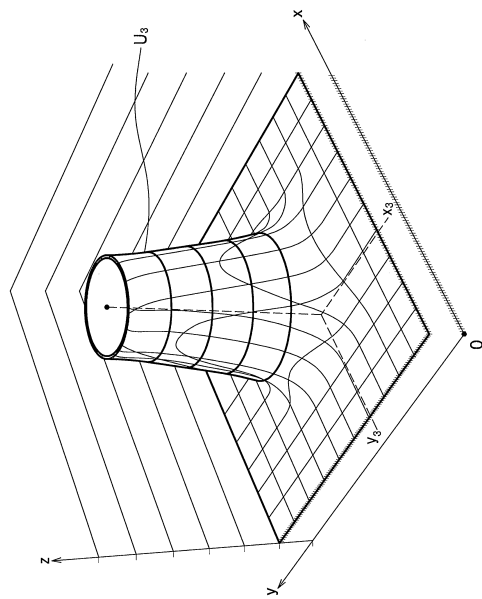
20

【図 3】



30

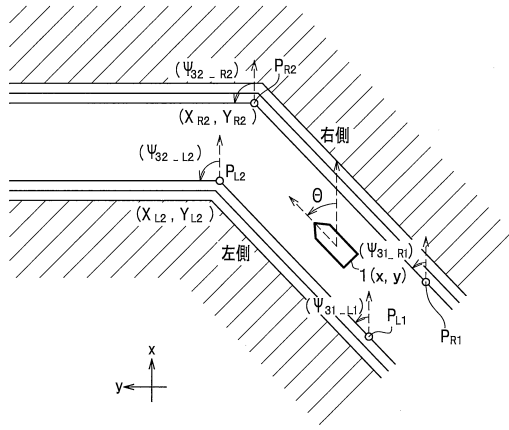
【図 4】



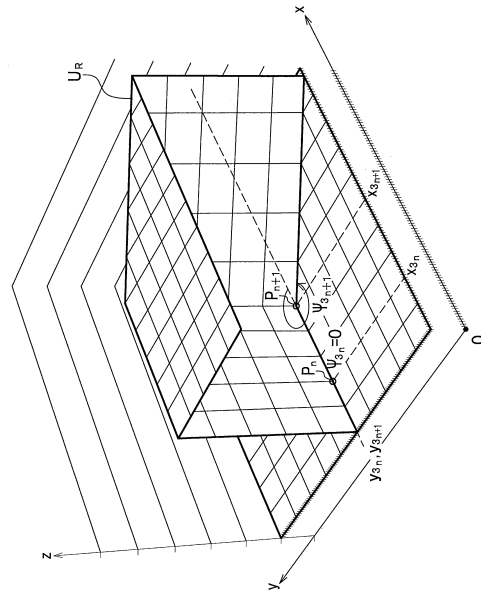
40

50

【図5】



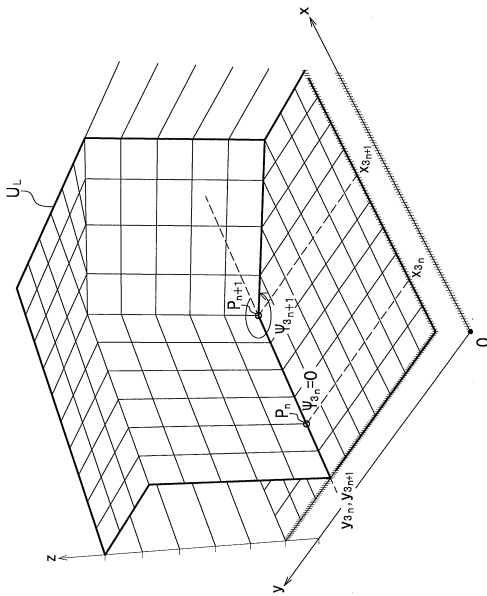
【図6】



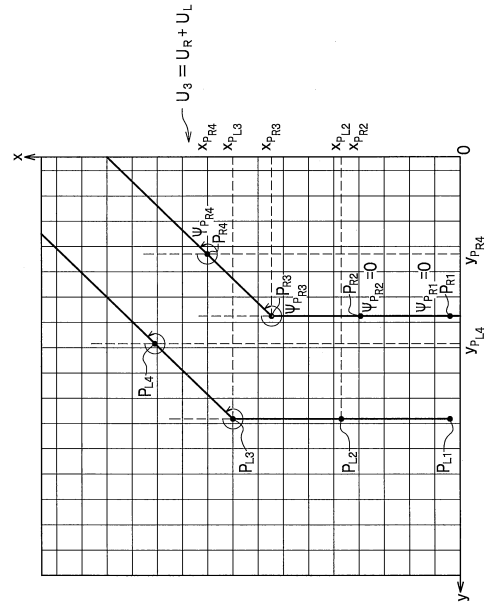
10

20

【図7】



【図8】

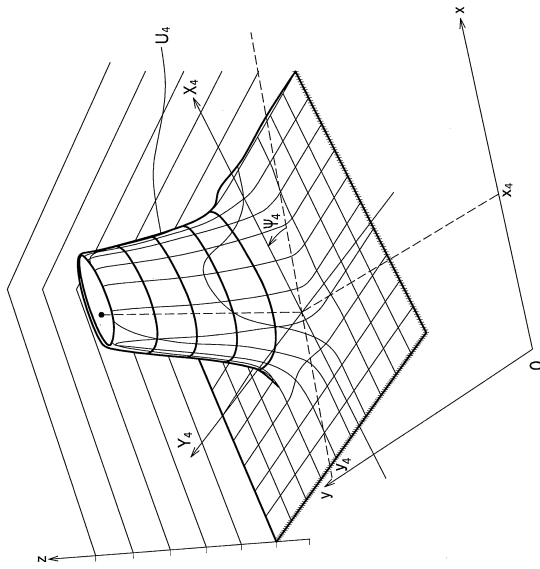


30

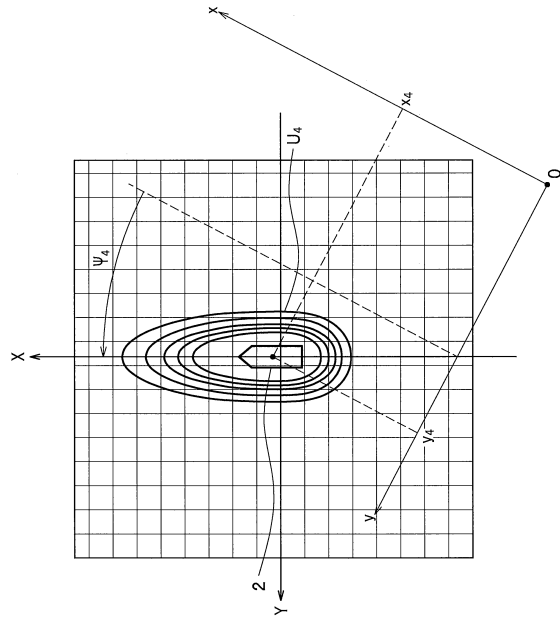
40

50

【図 9】



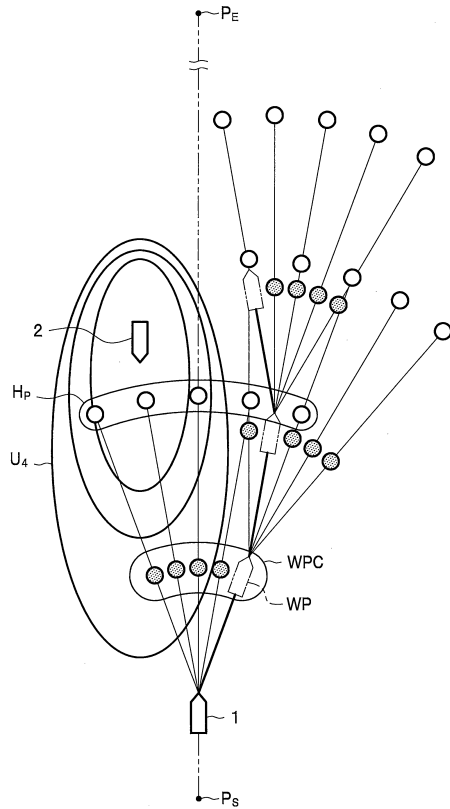
【図 10】



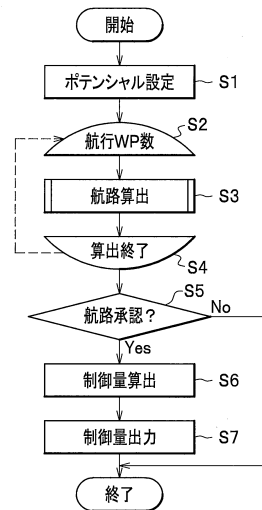
10

20

【図 11】



【図 12】

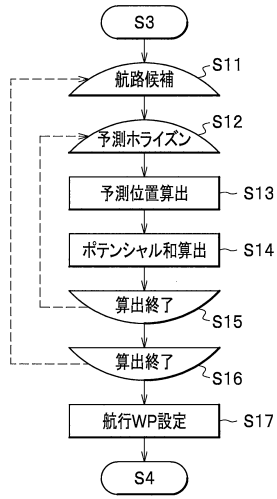


30

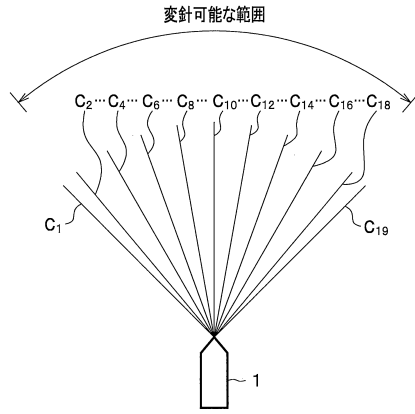
40

50

【 図 1 3 】



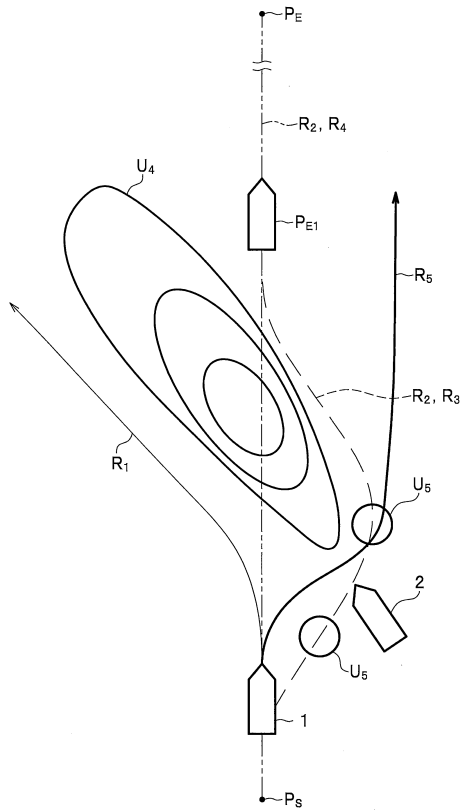
【 図 1 4 】



10

20

【 図 1 5 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2017-151687(JP,A)
特開2002-91565(JP,A)
特開2006-350776(JP,A)
特開2007-17414(JP,A)
福田巖, 庄司るり, “OZTを用いた海上交通分析の基礎研究”, 日本航海学会講演予稿集, 日本, 日本航海学会, 2015年09月30日, 3巻2号, p.103-105, ISSN 2188-4412
中村紳也, 岡田尚樹, “輻輳海域における自動避航システムによる操船結果とベテラン船長らによる操船結果との比較(定量的評価)について”, 日本航海学会海上交通工学研究会講演資料, 日本, 株式会社日本海洋科学, 2018年06月09日, p.3-20
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B 63 H 25 / 04 ,
G 01 C 21 / 20 ,
G 08 G 3 / 02 ,
G 09 B 29 / 10 ,
G 05 D 1 / 02