(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年10月18日(18.10.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/189789 A1

(51) 国際特許分類:
B63B 25/16 (2006.01) *F17C 13/02* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/014706

(22) 国際出願日： 2017年4月10日(10.04.2017)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本郵船株式会社(**NIPPON YUSEN KABUSHIKI KAISHA**) [JP/JP]; 〒1000005 東京都千代田区丸の内２丁目３番２号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 安藤 英幸(**ANDO, Hideyuki**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内２丁目３番２号 株式会社ＭＴＩ内 Tokyo (JP). 須藤 康広(**SUDO, Yasuhiro**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内２丁目３番２号 株式会社ＭＴＩ内 Tokyo (JP). 小嶋 達也(**KOJIMA, Tatsuya**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内２丁目３番２号 株式会社ＭＴＩ内 Tokyo (JP). 木村 文陽(**KIMURA, Fumitaka**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内２丁目３番２号 株式会社ＭＴＩ内 Tokyo (JP).

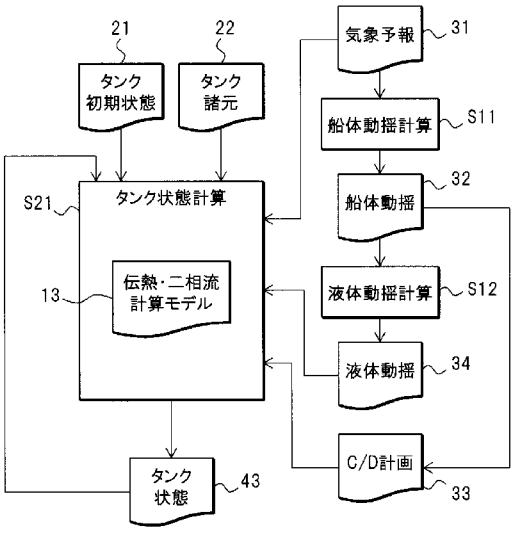
(74) 代理人: 特許業務法人筒井国際特許事務所(**TSUTSUI & ASSOCIATES**); 〒1600022 東京都新宿区新宿２丁目３番１０号 新宿御苑ビル３階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) **Title:** TANK STATE ESTIMATION METHOD AND TANK STATE ESTIMATION PROGRAM

(54) 発明の名称： タンク状態推定方法およびタンク状態推定プログラム

[図2]



13 Heat-transfer/two-phase flow calculation model
21 Tank initial state
22 Tank specifications
31 Meteorological forecasting
32 Ship oscillates
33 C/D plan
34 Liquid oscillates
43 Tank state
S11 Calculate ship oscillation
S12 Calculate liquid oscillation
S21 Calculate tank state

(57) **Abstract:** Provided is a tank state estimation method for estimating a state in a tank of an LNG ship, which has LNG stored in the tank as its cargo, at a predetermined time point on a course of the LNG ship. The tank state estimation method executes: a first step for acquiring information on specifications of the tank; a second step for acquiring information on a state in the tank at a start point in a target section on the course; a third step for acquiring information on a meteorological forecasting value in the section and on a liquid oscillation predicted value of LNG in the tank in the section, which is determined on the basis of the information on the meteorological forecasting value; and a fourth step for calculating,

WO 2018/189789 A1

[続葉有]

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

on the basis of the information acquired in the first to third steps, a state in the tank at an end point in the section by heat-transfer calculation based on thermodynamics, on the assumption that heat input to the tank in the section is used to vaporize LNG in the tank.

(57) 要約：タンクに収容されたＬＮＧを貨物とするＬＮＧ船の航路上の所定の時点における前記タンク内の状態を推定するタンク状態推定方法である。前記タンクの諸元に係る情報を取得する第１工程と、前記航路上の対象の区間の始点における前記タンク内の状態に係る情報を取得する第２工程と、前記区間の気象予報値、および前記気象予報値の情報に基づいて求められた、前記区間における前記タンク内のＬＮＧの液体動揺予測値の情報を取得する第３工程と、前記第１～第３工程で取得した情報に基づいて、熱力学に基づく伝熱計算によって、前記区間における前記タンクへの入熱が前記タンク内のＬＮＧの気化に用いられたものとして、前記区間の終点における前記タンク内の状態を計算する第４工程と、を実行する。

明　細　書

発明の名称 ：

タンク状態推定方法およびタンク状態推定プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、ＬＮＧ（Liquefied Natural Gas：液化天然ガス）を貯蔵するタンク内の状態を推定する技術に関し、特に、ＬＮＧを貨物として輸送するＬＮＧ船のタンクに適用されるタンク状態推定プログラムおよびタンク状態推定方法に適用して有効な技術に関するものである。

背景技術

[0002] ＬＮＧを貨物とするＬＮＧ船では、貨物であるＬＮＧの特性から、航海計画の作成に固有の考慮要素を有する。ＬＮＧは－１６０℃程度で気化することから、例えば、外部からの入熱等によりタンク内の貨物であるＬＮＧが徐々に気化することが避けられないという特性を有する。

[0003] これに伴い、例えば、ＬＮＧ船が積地でタンクにＬＮＧを積む際に、タンクの温度が高いとＬＮＧが大量に気化してしまうため、タンク内の温度が所定の温度以下でなければ積み込めないという制約がある。このため、ＬＮＧ船が積地に到着したときにタンクが所定の温度以下となっているように冷却しなければならない。このとき、急激に温度を下げるとタンクが破損する可能性もあるため、徐々に冷却する必要がある。そこで、積地に向かう運航中にタンクを計画的に冷却しておくクールダウン（Ｃ／Ｄ）のオペレーションが行われる。

[0004] Ｃ／Ｄでは、タンク内に残しておいたＬＮＧ（ヒール）をタンク内にスプレーすることで、その気化熱でタンクを冷却する。したがって、ＬＮＧ船が揚地でＬＮＧを下ろす際に、全て下ろすのではなく、次に積地に向かう際のＣ／Ｄに用いるヒールを残した状態で下ろす。このとき、ヒールを多く残せば、Ｃ／Ｄのオペレーションは容易になるが、顧客としては貨物であるＬＮＧの量を減らさないよう、ヒールは極力少なくするのが望ましい。このよう

なＣ／Ｄのオペレーションに係る計画も航海計画に含まれる。

[0005] ＬＮＧタンカー等におけるＬＮＧの受入、運搬、貯蔵、払出に係る貯蔵タンクの運用計画の作成に関連する技術として、例えば、特開２０１３－９２１６２号公報（特許文献１）には、混合整数非線形計画問題で表されるＬＮＧの貯蔵タンクの運用計画問題を、制約条件中の非線形式を線形近似することによって非線形制約を捨象した混合整数線形計画問題と、制約条件中に離散変数を含む整数制約および混合整数制約を捨象した連続非線形計画問題の２種類の計画問題に緩和する旨が記載されている。そして、制約条件を段階的に精緻化しながらそれぞれの緩和された計画問題を交互に繰り返し求解することで、局所的最適解であっても大域的最適解に近い実行可能解を取得することができるとされる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１３－９２１６２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 例えば、上述したようなＣ／Ｄのオペレーションに係る計画（いつどの程度のＬＮＧをスプレーするか）等を含むＬＮＧ船の航海計画を自動的に作成したり調整したりするためには、その前提として、航路上の各時点におけるタンク内の状態（温度や圧力等）を計算により推定することが必要となる。しかし、これを精緻に計算しようとすると、特許文献１にも記載されているように、非常に複雑で高負荷な計算処理が必要となる。したがって、従来は、主に、計算によるのではなく、船長や航海士等の経験やスキルに基づいて属人的に行われる場合が多かった。

[0008] 特許文献１に記載された技術によれば、ＬＮＧを貯蔵するタンクの運用に係る非線形計画問題の複雑さを緩和し、実用的な計算時間で解を得ることが可能であるとされる。しかし、特許文献１に記載された技術では、航行中の

船体（およびタンク内のＬＮＧ）の動揺によるＬＮＧの状態の変化についてまでは考慮されていない。この点を考慮した場合、非線形計画問題はより複雑となり、解を得るための演算処理もより負荷が高いものとなる。

[0009] そこで本発明の目的は、航行中のＬＮＧ船の船体動揺の影響も含む各種の要素を考慮して、ＬＮＧを収容するタンクの状態を推定するタンク状態推定方法およびタンク状態推定プログラムを提供することにある。

[0010] 本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

課題を解決するための手段

[0011] 本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

[0012] 本発明の代表的な実施の形態によるタンク状態推定方法は、タンクに収容されたＬＮＧを貨物とするＬＮＧ船の航路上の所定の時点における前記タンク内の状態を推定するタンク状態推定方法であって、前記タンクの諸元に係る情報を取得する第１工程と、前記航路上の対象の区間の始点における前記タンク内の状態に係る情報を取得する第２工程と、前記区間の気象予報値、および前記気象予報値の情報に基づいて求められた、前記区間における前記タンク内のＬＮＧの液体動揺予測値の情報を取得する第３工程と、前記第１～第３工程で取得した情報に基づいて、熱力学に基づく伝熱計算によって、前記区間における前記タンクへの入熱が前記タンク内のＬＮＧの気化に用いられたものとして、前記区間の終点における前記タンク内の状態を計算する第４工程と、を実行するものである。

[0013] また、本発明は、上述のタンク状態推定方法をコンピュータに実行させるタンク状態推定プログラムにも適用することができる。

発明の効果

[0014] 本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

[0015] すなわち、本発明の代表的な実施の形態によれば、航行中のＬＮＧ船の船

体動揺の影響も含む各種の要素を考慮して、ＬＮＧを収容するタンクの状態を推定することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施の形態１であるタンク状態を推定する処理の流れの例について概要を示したフロー図である。

[図2]本発明の実施の形態２であるタンク状態を推定する処理の流れの例について概要を示したフロー図である。

[図3]本発明の実施の形態２における熱力学に基づく伝熱と二相流の計算モデルの概念の例を模式的に示した図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一部には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。一方で、ある図において符号を付して説明した部位について、他の図の説明の際に再度の図示はしないが同一の符号を付して言及する場合がある。

[0018] ＜概要＞

上述したように、ＬＮＧ船における貨物であるＬＮＧは、－１６０℃程度で気化することから、例えば、外部からの入熱等によりタンク内のＬＮＧが徐々に気化することが避けられないという特性を有する。したがって、ＬＮＧの積地に向かう航行中に予めタンクを所定の温度以下となるように冷却しておくＣ／Ｄのオペレーションのように、航海計画の作成において各種の固有の考慮要素を有する。

[0019] Ｃ／Ｄ以外にも、例えば、タンク内でＬＮＧが気化したガス（Boil Off Gas：ＢＯＧ）を燃焼させることでタービンを回して動力源とすることが行われる。また、主燃料である重油を燃焼させるのに代えて、強制的にタンク内のＬＮＧを気化させて燃料として用いる場合もある。このような制御により、馬力配分や燃費等の航海計画に影響し得る要素が変化する一方で、貨物であるＬＮＧの量も変化し得る。顧客（荷主）としては、ＬＮＧは極力減らさな

いで、定時性を維持しつつ最経済な航海計画により輸送されるのが望ましい。

[0020] また、ＢＯＧを燃焼させることを考慮要素とする場合にも、例えば、貨物のＬＮＧ毎にその成分であるメタンやエタン等の組成比率が相違することから、ＢＯＧにおける組成比率も同じではないものと考えられる。また、同じＬＮＧでも、成分であるメタンやエタン等の気化のし易さがそれぞれ異なると考えられることから、時間経過とともにＬＮＧの組成比率も変化し、その結果ＢＯＧにおける組成比率も変化するものと考えられる。したがって、これらのＢＯＧを燃焼させたときに得られる熱量もそれぞれ異なるものと考えられ、これを考慮要素とすることで、燃費等の航海計画に影響し得る要素が変化する。

[0021] 上述したように、これらの諸要素を考慮して航海計画を作成・調整等する場合、その前提として、航路上の各時点におけるタンク内の状態（以下では「タンク状態」と記載する場合がある）を計算により推定することが必要となる。ここで、「タンク状態」とは原則としてタンク内の温度を指すものとするが、圧力を推定することでボイル・シャルルの法則から温度を容易に得ることができるため、温度に代えて、もしくはこれに加えて圧力を指すものとしてもよい。さらに、タンク内のＬＮＧの組成（メタン、エタン、…の比率等）の情報を含んでいてもよい。

[0022] 航路上においてタンク状態に影響を与える要素としては、気象、およびＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーが考えられる。気象の情報には、例えば、タンクへの定常的な入熱に影響を与える気温や日照、海水温等の情報に加えて、船体（およびタンク内のＬＮＧ）の動揺に影響を与える風や波等の情報が含まれる。ＬＮＧのスプレーの情報には、スプレーするＬＮＧの質量流量の情報が含まれる。

[0023] （実施の形態１）

図１は、本発明の実施の形態１であるタンク状態を推定する処理の流れの例について概要を示したフロー図である。当該フローに係る一連の処理は、

全部もしくは一部をＣＰＵ（Central Processing Unit）とメモリを備える専用もしくは汎用のコンピュータに実行させるプログラムとして実装してもよいし、集積回路等により構成された装置等のハードウェアとして実装してもよい。

[0024] 本実施の形態では、タンク状態の推定にあたり、図示するように、所定の入力情報に基づいて、タンク状態計算１（ステップＳ０１）とタンク状態計算２（ステップＳ０２）の二段階の計算処理を行うことによって、ある時点におけるタンク状態４２を推定する。ここでは、例えば、航海計画における航路上の基準点におけるタンク状態であるタンク初期状態２１を入力とし、当該基準点を始点としたある区間の終点におけるタンク状態４２を計算する。そして、このタンク状態４２を次の（後続の）区間の始点における入力として、当該次の区間の終点におけるタンク状態４２を計算する、という処理を、目的地に到達するまで繰り返すことで、目的地におけるタンク状態４２を推定する。

[0025] なお、基準点から目的地までの区間は、一定の時間毎もしくは距離毎に分割して設定してもよいし、任意の地点で分割してもよい。区間の分割を細かく設定することで、目的地におけるタンク状態４２をより精度良く推定することができるが、その分計算負荷が高くなることから、必要な精度が得られる程度の細かさとするのが望ましい。基準点におけるタンク初期状態２１は、基本的にはタンクや船体の各所に設置されたセンサ等により測定された実測値を用いる。

[0026] タンク状態計算１（ステップＳ０１）では、熱力学に基づく所定の平衡計算（熱力学気液平衡モデル１１）によって、対象区間の終点におけるタンク状態４１を推定する。例えば、入力となる対象区間の始点におけるタンク状態（すなわち、タンク初期状態２１もしくは対象区間の前区間の終点におけるタンク状態４２）に対して、気温や日照、海水温等の定常的な入熱の情報を含む気象予報３１を入力として、熱力学気液平衡モデル１１によって、平衡後のタンク状態４１を計算する。なお、気象予報３１は、例えば、外部の

気象情報サービスから自動もしくは手動で取得することができる。

[0027] 熱力学気液平衡モデル１１は、タンク内の状態を、液体のＬＮＧと気体のＢＯＧとの気液平衡状態であるとして、一般的な熱力学の状態方程式やラウールの法則等を用いた所定の計算式によりモデル化したものである。熱力学気液平衡モデル１１による計算は比較的容易に行うことができる。

[0028] 一方、タンク状態計算２（ステップＳ０２）では、ＬＮＧ船における特殊な要因、すなわち、船体（およびタンク）の動揺に伴うタンク内のＬＮＧの動揺・撹拌がＬＮＧの気化に与える化学的な影響、およびＣ／Ｄのオペレーション計画に従った、人為的なＬＮＧのスプレーの影響を考慮した非線形モデル（非線形化学プロセスモデル１２）によってタンク状態を推定する。ここでは、ステップＳ０１の計算結果であるタンク状態４１に対して、さらに、船体およびタンクの挙動・運動の情報を含む船体動揺３２、およびＣ／Ｄのオペレーション計画であるＣ／Ｄ計画３３を入力として、非線形化学プロセスモデル１２によって、タンク内のＬＮＧの動揺やＣ／ＤによるＬＮＧのスプレーの影響を考慮したタンク状態４２を計算する。

[0029] 船体動揺３２の情報は、例えば、ストリップ法等の公知のシミュレーション技術を利用して得ることができる。図１の例では、気象予報３１や、図示しない船体やタンクの諸元の情報等を入力として、当該処理フロー中の船体動揺計算（ステップＳ１１）によりシミュレーションを行って予測するものとしているが、外部で行われたシミュレーション結果を取得して入力する構成としてもよい。

[0030] Ｃ／Ｄ計画３３の情報、すなわち、いつどの程度のＬＮＧをスプレーするかの情報は、船長や航海士等から直接入力を受け付ける、もしくは予めファイル等に記録された情報を読み込んで取得する。船体およびタンクの挙動・運動がＣ／Ｄのオペレーションに影響を及ぼす場合があることから、Ｃ／Ｄ計画３３の作成の際に、船体動揺３２の情報を参照するようにしてもよい。

[0031] 以上に説明したように、本発明の実施の形態１であるタンク状態推定方法によれば、図１に示した処理フローにより、ＬＮＧ船において、比較的単純

な熱力学気液平衡モデル１１に基づいた計算によりタンク状態４１を推定することができる。さらに、船体動揺３２やＣ／Ｄ計画３３等の情報を考慮した非線形化学プロセスモデル１２に基づいた計算により、より精緻なタンク状態４２を推定することができる。

[0032] なお、非線形化学プロセスモデル１２は、タンク内のＬＮＧの揺れ・撹拌に伴うＬＮＧの化学反応レベルでの挙動の変化や、定常的ではなく間欠的に行われるＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーによる影響を計算式によりモデル化したものである。したがって、非線形化学プロセスモデル１２は、タンク状態４２を精緻に推測できる非線形の非常に複雑な計算モデルとなり、計算処理の負荷は比較的高くなるものと考えられる。

[0033] （実施の形態２）

本発明の実施の形態２であるタンク状態推定方法では、船体動揺やＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーによる影響を、熱力学に基づく伝熱と気液二相流の計算モデルによってモデル化することで、線形計算によりタンク状態を取得可能とする。これにより、船体動揺やＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーによる影響を考慮しつつ、短時間・低負荷で必要十分な精度のタンク状態を計算することが可能となる。

[0034] ＜処理フロー＞

図２は、本発明の実施の形態２であるタンク状態を推定する処理の流れの例について概要を示したフロー図である。当該フローに係る処理についても、上述の実施の形態１の図１に示した処理フローの場合と同様に、全部もしくは一部をＣＰＵとメモリを備える専用もしくは汎用のコンピュータに実行させるプログラムとして実装してもよいし、集積回路等により構成された装置等のハードウェアとして実装してもよい。

[0035] 本実施の形態では、タンク状態の推定にあたり、図１の例と異なり、所定の入力情報に基づいて、タンク状態計算（ステップＳ２１）の一段階の計算処理を行うことによって、ある時点におけるタンク状態４３を推定する。そして、図１の例と同様に、例えば、航海計画における航路上の基準点におけ

るタンク初期状態２１を入力とし、当該基準点を始点としたある区間の終点におけるタンク状態４３を計算する。そして、このタンク状態４３を次の（後続の）区間の始点における入力として、当該次の区間の終点におけるタンク状態４３を計算する、という処理を、目的地に到達するまで繰り返すことで、目的地におけるタンク状態４３を推定する。

[0036] タンク状態計算（ステップＳ２１）では、熱力学に基づく所定の伝熱計算（伝熱・二相流計算モデル１３）によってタンク状態４３を推定する。例えば、入力となる対象区間の始点におけるタンク状態（すなわち、タンク初期状態２１もしくは対象区間の前区間の終点におけるタンク状態４３）、およびタンクの形状や鋼材寸法、タンク物性等の静的な情報を含むタンク諸元２２の情報に対して、気象予報３１、液体動揺３４、およびＣ／Ｄ計画３３の各情報を入力として、伝熱・二相流計算モデル１３によってタンク状態４３を計算する。なお、タンク諸元２２の情報は、例えば、予め設定ファイル等に記録された情報を最初に一度読み込んで取得すれば、繰り返しの都度取得する必要はない。

[0037] 液体動揺３４の情報は、例えば、船体動揺３２等の情報に基づいて、有限差分法等の公知のシミュレーション技術を利用して得ることができる。図２の例では、船体動揺３２等の情報を入力として、当該処理フロー中の液体動揺計算（ステップＳ１２）によりシミュレーションを行って予測するものとしているが、外部で行われたシミュレーション結果を取得して入力する構成としてもよい。船体動揺３２の情報についても、実施の形態１の図１の例と同様に、当該処理フロー中の船体動揺計算（ステップＳ１１）により予測するのに代えて、外部で行われたシミュレーション結果を取得する構成としてもよい。

[0038] ＜伝熱・二相流計算モデル＞

本実施の形態では、上述したように、船体動揺やＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーによる影響についても、熱力学に基づく伝熱計算により熱量の収支として取扱い、気象予報３１から得られる定常的な入熱の情報と併せて、統一

的にモデル化する。

[0039] 図３は、本実施の形態における熱力学に基づく伝熱と二相流の計算モデル（伝熱・二相流計算モデル１３）の概念の例を模式的に示した図である。図中では、ＬＮＧ船においてＬＮＧを収納するタンク６０（図３の例では球形タンクとしている）の部分を、船首と船尾を結ぶ線に垂直な面での断面図により示している。

[0040] タンク６０は、ＬＮＧ６５の極低温にも耐えられるアルミ合金や鋼材等により形成されたタンク本体６１を有する。タンク本体６１は、頂上に配管や出入口のためのタンクドーム６２を有し、また、球形全体が断熱材としてのポリウレタンフォーム６３により覆われている。そして、船体５０の上部に露出した部分は金属等により形成されたタンクカバー６４により覆われている。タンク本体６１内は、ヒールとしてのＬＮＧ６５と、ＬＮＧ６５が気化したＢＯＧ６６および空気により満たされている。

[0041] 船体５０から独立した構造の球形のタンク本体６１は、熱の侵入を少なくするため、船体５０に対してスカート５２等の構造によりタンク本体６１の赤道付近のみが接する形で支持されており、船体５０とタンク本体６１との間の空間はカーゴホールド５１となっている。Ｃ／Ｄのオペレーションが行われるのは、基本的には積地に向かうときの航海においてであり、図３の例では、タンク６０内にはＣ／Ｄのために残しておいたヒールとしてのＬＮＧ６５が収容されている一方、カーゴホールド５１は空間であることを示している。

[0042] 本実施の形態では、タンク６０に与えられた入熱が、ＬＮＧ６５がＢＯＧ６６に気化する際の潜熱として全て用いられるものと仮定する。すなわち、図３の例では、タンク６０に与えられた入熱をQ_{in}、気化に使われた熱量をQ_{ev}とすると、

$$Q_{in}=Q_{ev}$$

であると仮定する。

[0043] ここで、Q_{in}を構成すると考えられる熱量としては、例えば、日照による

熱量（Q_{in1}）、タンク６０の各層の構造（タンク本体６１やポリウレタンフォーム６３、タンクカバー６４等）から与えられる熱量（Q_{in2}やQ_{in3}等）、ＬＮＧ６５から与えられる熱量（Q_{conv1}）、船体動揺に伴うＬＮＧ６５の液体動揺・撹拌により与えられる熱量（Q_{moti}）、およびＣ／Ｄの際のスプレーにより与えられる（奪われる）熱量（Q_{spray}）等がある。

[0044] これらのうち、例えば、Q_{in1}、Q_{in2}、Q_{in3}、Q_{conv1}等については、タンク６０や付近の各場所において実際に測定された温度（例えば、T_{air}、T_{LNG}、T_{vap}、T_1、T_2、T_3等）の差に基づいて計算することができる。さらに、本実施の形態では、液体動揺に伴うQ_{moti}についても、温度差（例えば、T_3とT_{LNG}）に基づいて計算するものとする。これにより、船体動揺（液体動揺）に伴うＬＮＧ６５の相や組成等の変化を、熱量の移動量から求めることができる。

[0045] スプレーに伴うQ_{spray}については、例えば、スプレーしたＬＮＧ６５の質量流量に基づいて計算することができる。Q_{ev}についても同様に、例えば、ＢＯＧ６６の資料流量に基づいて計算することができる。

[0046] 以上のような計算において、未知のパラメータはタンク本体６１内の温度変化ΔＴのみであることから、複雑な計算処理を要さずにこれを求めることができることが分かる。

[0047] 以上に説明したように、本発明の実施の形態２であるタンク状態推定方法によれば、船体動揺やＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーによる影響を、熱力学に基づく伝熱計算によってモデル化することで、線形計算によりタンク状態４３を計算することができる。これにより、船体動揺やＣ／Ｄの際のＬＮＧのスプレーによる影響を考慮しつつ、短時間・低負荷で必要十分な精度でタンク状態４３を推定することが可能である。

[0048] 以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は上記の実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。例えば、上記の実施の形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したもので

あり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施の形態の構成の一部を他の実施の形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施の形態の構成に他の実施の形態の構成を加えることも可能である。また、各実施の形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

[0049] また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部または全部を、例えば、集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリやハードディスク、ＳＳＤ（Solid State Drive）等の記録装置、またはＩＣカード、ＳＤカード、ＤＶＤ等の記録媒体に置くことができる。

産業上の利用可能性

[0050] 本発明は、ＬＮＧを貨物として輸送するＬＮＧ船のタンクに適用されるタンク状態推定プログラムおよびタンク状態推定方法に利用可能である。

符号の説明

[0051] １１…熱力学気液平衡モデル、１２…非線形化学プロセスモデル、１３…伝熱・二相流計算モデル、

２１…タンク初期状態、２２…タンク諸元、

３１…気象予報、３２…船体動揺、３３…Ｃ／Ｄ計画、

４１、４２、４３…タンク状態、

５０…船体、５１…カーゴホールド、５２…スカート、

６０…タンク、６１…タンク本体、６２…タンクドーム、６３…ポリウレタンフォーム、６４…タンクカバー、６５…ＬＮＧ、６６…ＢＯＧ

請求の範囲

[請求項1] タンクに収容されたＬＮＧを貨物とするＬＮＧ船の航路上の所定の時点における前記タンク内の状態を推定するタンク状態推定方法であって、

前記タンクの諸元に係る情報を取得する第１工程と、

前記航路上の対象の区間の始点における前記タンク内の状態に係る情報を取得する第２工程と、

前記区間の気象予報値、および前記気象予報値の情報に基づいて求められた、前記区間における前記タンク内のＬＮＧの液体動揺予測値の情報を取得する第３工程と、

前記第１～第３工程で取得した情報に基づいて、熱力学に基づく伝熱計算によって、前記区間における前記タンクへの入熱が前記タンク内のＬＮＧの気化に用いられたものとして、前記区間の終点における前記タンク内の状態を計算する第４工程と、を実行する、タンク状態推定方法。

[請求項2] 請求項１に記載のタンク状態推定方法において、

前記第２工程において取得する前記タンク内の状態に係る情報は、前記区間の始点における実測値、もしくは前記航路上における前記区間の前区間に対して前記第４工程において計算された、前記前区間の終点における計算値である、タンク状態推定方法。

[請求項3] 請求項１に記載のタンク状態推定方法において、

前記タンクの諸元に係る情報には、前記タンクの形状、寸法、および物性の情報の少なくとも１つ以上を含む、タンク状態推定方法。

[請求項4] 請求項１に記載のタンク状態推定方法において、

前記タンク内の状態に係る情報には、前記タンク内のＬＮＧの組成に係る情報、前記タンク内の温度、および圧力の少なくとも１つ以上を含む、タンク状態推定方法。

[請求項5] 請求項１に記載のタンク状態推定方法において、

さらに、前記タンク内にＬＮＧをスプレーして冷却するクールダウンの計画に係る情報を取得する第５工程を有し、

前記第４工程では、前記第１～第３工程で取得した情報に加えて、前記第５工程で取得した情報に基づいて前記タンク内の状態を計算する、タンク状態推定方法。

[請求項6] 請求項１に記載のタンク状態推定方法において、

前記第３工程では、前記区間における前記気象予報値の情報に基づいて、前記区間における前記ＬＮＧ船の船体動揺予測値を計算し、前記船体動揺予測値の情報に基づいて、前記区間における前記液体動揺予測値を計算する、タンク状態推定方法。

[請求項7] タンクに収容されたＬＮＧを貨物とするＬＮＧ船の航路上の所定の時点における前記タンク内の状態を推定する処理をコンピュータに実行させるタンク状態推定プログラムであって、

前記タンクの諸元に係る情報を取得する第１処理と、

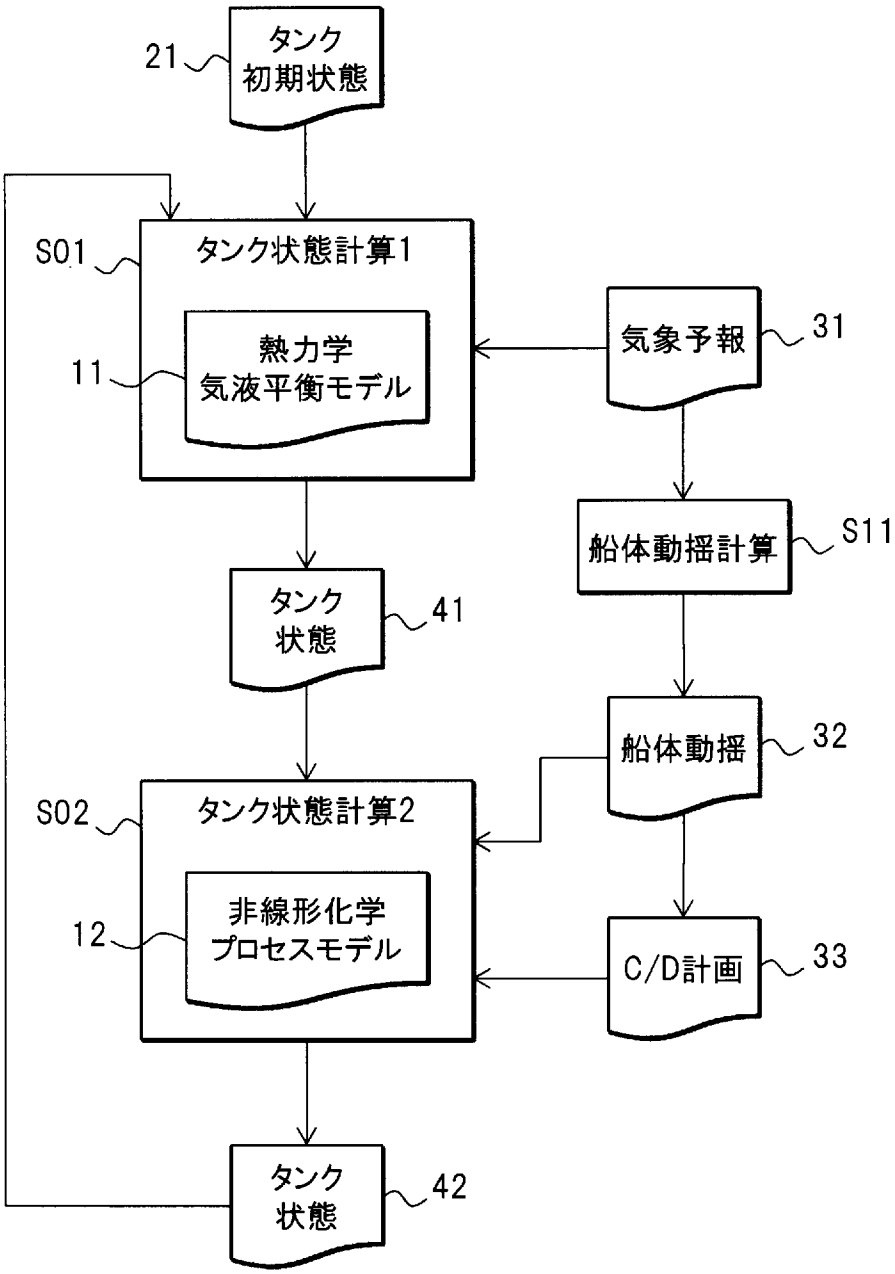
前記航路上の対象の区間の始点における前記タンク内の状態に係る情報を取得する第２処理と、

前記区間の気象予報値、および前記気象予報値の情報に基づいて求められた、前記区間における前記タンク内のＬＮＧの液体動揺予測値の情報を取得する第３処理と、

前記第１～第３処理で取得した情報に基づいて、熱力学に基づく伝熱計算によって、前記区間における前記タンクへの入熱が前記タンク内のＬＮＧの気化に用いられたものとして、前記区間の終点における前記タンク内の状態を計算する第４処理と、をコンピュータに実行させる、タンク状態推定プログラム。

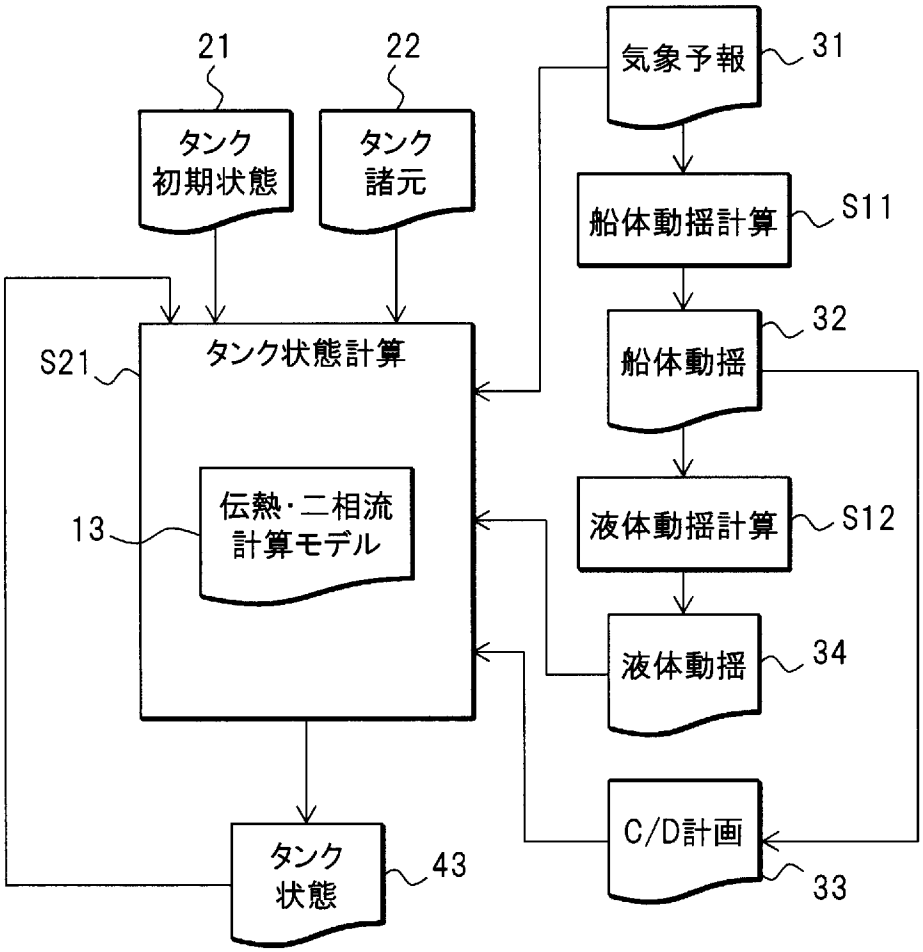
[図1]

図 1


21
タンク
初期状態
S01
タンク状態計算1
11
熱力学
気液平衡モデル
気象予報
31
船体動揺計算
S11
タンク
状態
41
船体動揺
32
S02
タンク状態計算2
12
非線形化学
プロセスモデル
C/D計画
33
タンク
状態
42

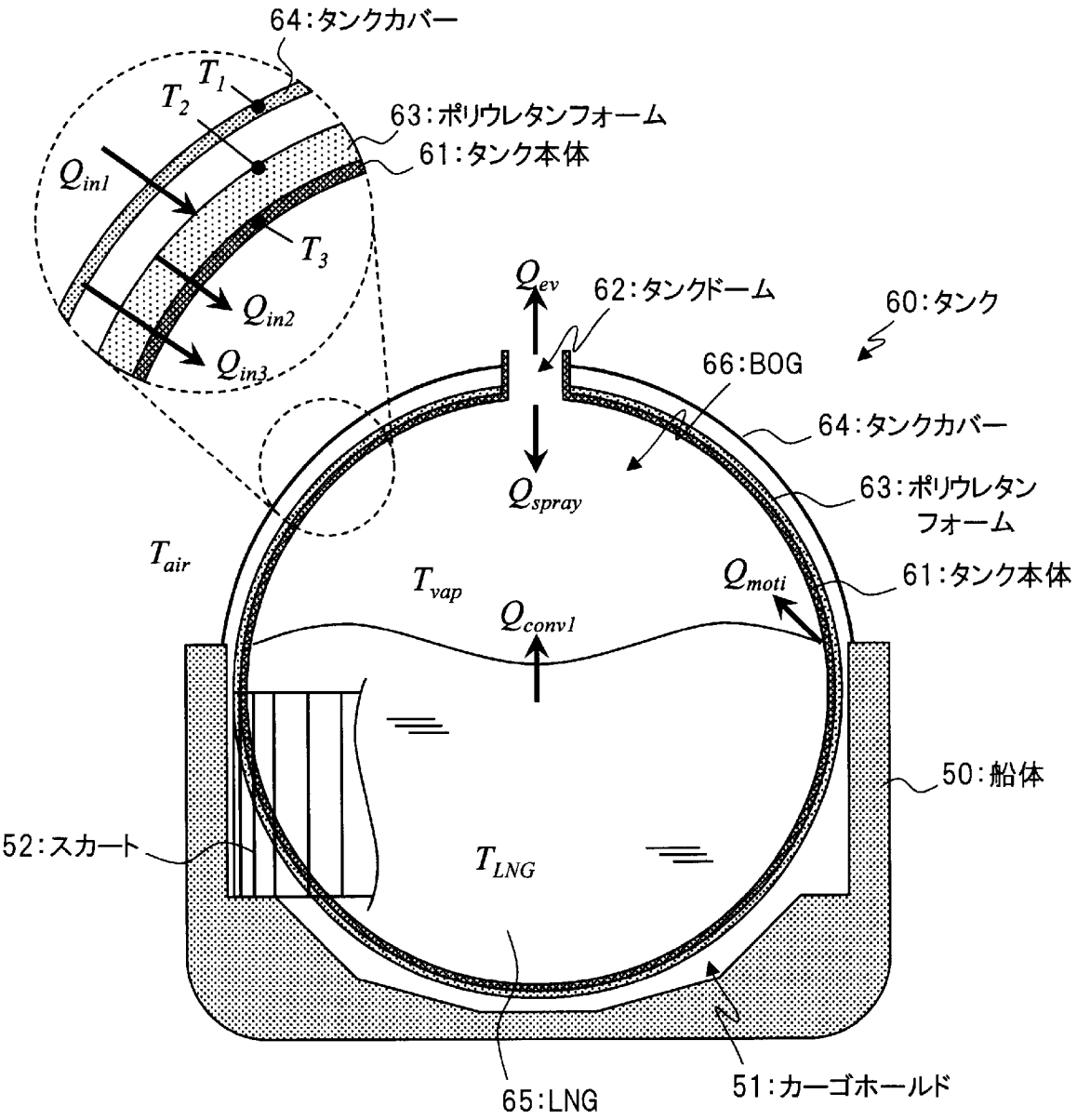
[図2]

図 2


21
22
タンク
初期状態
タンク
諸元
気象予報
31
船体動揺計算
S11
船体動揺
32
S21
タンク状態計算
13
伝熱・二相流
計算モデル
液体動揺計算
S12
液体動揺
34
C/D計画
33
タンク
状態
43

[図3]

図 3


64:タンクカバー
T_1
T_2
63:ポリウレタンフォーム
61:タンク本体
Q_{in1}
T_3
Q_{in2}
Q_{in3}
Q_{ev}
62:タンクドーム
60:タンク
66:BOG
64:タンクカバー
Q_{spray}
63:ポリウレタン
フォーム
T_{air}
T_{vap}
Q_{moti}
61:タンク本体
Q_{conv1}
50:船体
52:スカート
T_{LNG}
65:LNG
51:カーゴホールド

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/014706

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B63B25/16(2006.01)i, *F17C13/02*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B63B25/16, F17C13/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-124860 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 06 July 2015 (06.07.2015), (Family: none)	1-7
A	JP 2013-92162 A (Osaka Gas Co., Ltd.), 16 May 2013 (16.05.2013), & US 2014/0303792 A1 & WO 2013/061883 A1 & EP 2772866 A1 & KR 10-2014-0057393 A & CN 103890790 A	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 May 2017 (16.05.17)	23 May 2017 (23.05.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０１４７０６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B63B25/16(2006.01)i, F17C13/02(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B63B25/16, F17C13/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2015-124860 A (三菱重工業株式会社) 2015.07.06, (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2013-92162 A (大阪瓦斯株式会社) 2013.05.16, & US 2014/0303792 A1 & WO 2013/061883 A1 & EP 2772866 A1 & KR 10-2014-0057393 A & CN 103890790 A	1-7

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１６．０５．２０１７	２３．０５．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｄ　３６２１
畔津　圭介
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３４１