(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
2017 年 4 月 13 日(13.04.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/060933 A1

(51) 国際特許分類:
B63B 25/16 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/005050

(22) 国際出願日: 2015 年 10 月 5 日(05.10.2015)

(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: 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町３丁目１番１号 Hyogo (JP).

(72) 発明者: 松原　直哉(MATSUBARA, Naoya). 長谷川　雄太(HASEGAWA, Yuta). 江口　雄三(EGUCHI, Yuzou). 吉田　巧(YOSHIDA, Takumi).

(74) 代理人: 特許業務法人　有古特許事務所(PATENT CORPORATE BODY ARCO PATENT OFFICE); 〒6500031 兵庫県神戸市中央区東町１２３番地の１　貿易ビル３階 Hyogo (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, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, KN, KP, KR, 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).

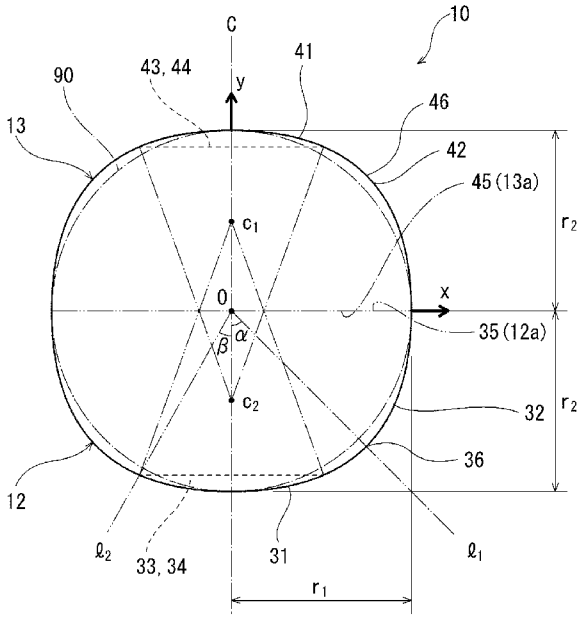
添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

WO 2017/060933 A1

(54) **Title**: MARINE LIQUEFIED-GAS TANK AND LIQUEFIED-GAS-CARRYING VESSEL PROVIDED WITH SAME

(54) 発明の名称 : 舶用液化ガスタンク及びそれを備える液化ガス運搬船



(57) **Abstract**: This marine liquefied-gas tank is a pressure container that is symmetrical about the vertical central axis, and includes an upper tank body having an opening facing downward and a lower tank body having an opening facing upward. The upper tank body and/or the lower tank body has a shape that constitutes a segment of a true sphere, and comprises: a truly spherical section extending from the vertical central axis; and a non-truly spherical section which is formed around the truly spherical section, and which has a minimum curvature radius part having the smallest curvature radius between a center-side edge and a peripheral-side edge in a vertical cross-section passing the vertical central axis, and which is shaped such that the curvature radius continuously decreases from the center-side edge toward the minimum curvature radius part, whereas the curvature radius continuously increases from the minimum curvature radius part toward the peripheral-side edge, wherein the truly spherical section and the non-truly spherical section are formed so as to be smoothly contiguous with each other.

(57) 要約:

[続葉有]

舶用液化ガスタンクは、鉛直中心軸のまわりに対称な圧力容器である舶用液化ガスタンクであって、下方に向かって開口する上側タンク体と、上方に向かって開口する下側タンク体と、を含み、上側タンク体及び下側タンク体のうちの少なくとも一方のタンク体は、真球体の一部をなす形状であって、鉛直中心軸から広がる真球部と、真球部のまわりに形成された非真球部であって、鉛直中心軸を通る垂直断面形状において、中央側端縁と周囲側端縁との間に曲率半径が最小となる最小曲率半径部を有するとともに、中央側端縁から最小曲率半径部にいくにつれ曲率半径が連続的に減少し、最小曲率半径部から周囲側端縁にいくにつれ曲率半径が連続的に増大するように形成された非真球部と、を有し、且つ、真球部と非真球部とが滑らかにつながるように形成されている。

明　細　書

発明の名称 ：

舶用液化ガスタンク及びそれを備える液化ガス運搬船

技術分野

[0001]　本発明は、液化ガスを貯留する舶用液化ガスタンク及びそれを備える液化ガス運搬船に関する。

背景技術

[0002]　従来、液化天然ガス（以下、「ＬＮＧ」という）などの液化ガスを運搬するために、液化ガスタンクを複数個搭載した液化ガス運搬船が用いられている。液化ガス運搬船に搭載される液化ガスタンクとしては、例えば独立球形タンク、メンブレン型タンク等が知られている。例えば、特許文献１には、ＬＮＧを運搬するＬＮＧ運搬船に搭載された独立球形タンク（以下、「球形タンク」という）が開示されている。

[0003]　特許文献１の図１及び図２に示すような球形タンクは、船体から独立した圧力容器であり、船体のファンデーションデッキから鉛直方向に延びるスカートによって船体に支持されている。ＬＮＧ運搬船に搭載されるタンクは、いずれの形式のタンクであっても、極低温のＬＮＧを高圧状態で貯留するための耐圧性や防熱性を有しているが、タンク形式によって利点や欠点が異なる。例えば、球形タンクは、他の形式のタンクに比べて、タンク形状が真球状であるため、内側に補強用骨材を要せずに、タンクの肉厚だけで内圧に耐えることができる等の利点がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第２００９／０８４１３６号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005]　ところで、近年、同じ大きさの船体に対して液化ガスの積載量を増加させ

たいという要望がある。球形タンクは船倉の容積に対する空間利用効率が悪いため、この要望に応えるためには、球形タンクに代わり、船体の大きさ（特に船の横幅）を維持しつつ、液化ガス積載量を増加させる新たな形状のタンクが望まれる。しかしながら、球形以外の形状では、形状が急激に変化している部分があるとその近傍の応力が局所的に集中するため、タンクの肉厚を上げるかタンク内側に補強用骨材を設けるなどしてタンク強度を増加させることが必要になることがある。

[0006] そこで、本発明は、応力集中が起こりにくく、球形タンクよりも液化ガスの積載量を増加させる舶用液化ガスタンク及びそれを備える液化ガス運搬船を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記課題を解決するために、本発明の一態様に係る舶用液化ガスタンクは、鉛直中心軸のまわりに対称な圧力容器である舶用液化ガスタンクであって、下方に向かって開口する上側タンク体と、上方に向かって開口する下側タンク体と、を含み、前記上側タンク体及び前記下側タンク体のうちの少なくとも一方のタンク体は、真球体の一部をなす形状であって、前記鉛直中心軸から広がる真球部と、前記真球部のまわりに形成された非真球部であって、前記鉛直中心軸を通る垂直断面形状において、中央側端縁と周囲側端縁との間に曲率半径が最小となる最小曲率半径部を有するとともに、前記中央側端縁から前記最小曲率半径部にいくにつれ曲率半径が連続的に減少し、前記最小曲率半径部から前記周囲側端縁にいくにつれ曲率半径が連続的に増大するように形成された非真球部と、を有し、且つ、前記真球部と前記非真球部とが滑らかにつながるように形成されている。ここで、曲率半径とは、曲線の局所的な曲がり具合を円に近似したときの近似円の中心（曲率中心）からの半径のことである。

[0008] 上記の構成によれば、非真球部の鉛直中心軸を通る垂直断面形状の曲率半径が、中央側端縁から最小曲率半径部にいくにつれ減少し、最小曲率半径部から周囲側端縁にいくにつれ増大しているので、真球よりも膨らんだ形状と

なって、球形タンクよりも液化ガスの積載量を増加させることができる。また、非真球部の鉛直中心軸を通る垂直断面形状の曲率半径が、中央側端縁から周囲側端縁にかけて連続的に変化しているので、非真球部の中央側端縁から周囲側端縁までの応力分布を滑らかにすることができ、非真球部における大きな応力集中を排除することができる。

[0009] ところで、タンク体全体を上記の非真球部のような形状とした場合、即ち、タンク体が、鉛直中心軸を通る垂直断面形状の曲率半径が最小曲率半径部から鉛直中心軸にいくにつれ増大するような形状である場合、そのタンク体における鉛直中心軸近傍の強度が不足することがある。これに対し、上記一方のタンク体における鉛直中心軸近傍には、鉛直中心軸を通る垂直断面形状の曲率半径が一定である真球部が形成されているので、タンクの内圧に起因して真球部に生じる引張応力を小さく保つことができる。このため、タンク部材の肉厚を薄くすることができる。また、真球部と非真球部とが滑らかにつながっているため、非真球部と真球部とがつながる箇所での大きな応力集中を起こりにくくすることができる。

[0010] 上記の舶用液化ガスタンクにおいて、前記一方のタンク体は、前記鉛直中心軸を通る垂直断面形状において、前記真球部の曲率中心が、他方のタンク体により囲まれる空間内にあるように形成されていてもよい。この構成によれば、真球部の曲率中心がタンク外部に位置するときよりも、真球部の鉛直中心軸を通る垂直断面形状の曲率半径が小さくなるので、舶用液化ガスタンクの内圧に起因して真球部に生じる引張応力を小さく保つことができる。

[0011] 上記の舶用液化ガスタンクにおいて、前記一方のタンク体は、前記非真球部の前記鉛直中心軸を通る垂直断面形状が下記式（１）で表される軌跡に合致するように形成されていてもよい。

$$|x/r_1|^n+|y/r_2|^n=1 \quad \cdots (1)$$

但し、ｘ，ｙは、前記鉛直中心軸に直交する直線をｘ軸、前記鉛直中心軸に一致する直線をｙ軸としたときのｘ座標、ｙ座標であり、r_1及びr_2は、０．５≦r_2/r_1≦２を満たす定数であり、ｎは、２＜ｎ＜３を満たす定数で

ある。この構成によれば、上記の非真球部を容易に設計することができる。

[0012] 上記の舶用液化ガスタンクにおいて、前記上側タンク体及び前記下側タンク体のそれぞれは、前記真球部と前記非真球部を有し、前記上側タンク体及び前記下側タンク体は、前記鉛直中心軸に垂直な平面に対して互いに対称な形状を有してもよい。この構成によれば、上側タンク体と下側タンク体とを同じ形状にできるため、舶用液化ガスタンクの製造が容易になる。

[0013] 上記の舶用液化ガスタンクにおいて、前記上側タンク体と前記下側タンク体との間に、前記上側タンク体と前記下側タンク体とを連結する鉛直方向に延びる円筒体を含んでもよい。この構成によれば、舶用液化ガスタンクの円筒体で船体と接続されるように設計すれば、船体に接続される部分（円筒体）と、それ以外の部分（上側タンク体及び下側タンク体）とを独立に設計及び製造することができ、タンクの設計及び製造を容易にすることができる。

[0014] また、本発明の一態様に係る液化ガス運搬船は、上記の舶用液化ガスタンクのいずれかを備える。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、応力集中が起こりにくく、球形タンクよりも液化ガスの積載量を増加させる舶用液化ガスタンク及びそれを備える液化ガス運搬船を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の第１実施形態に係る液化ガス運搬船の側面図である。

[図2]本発明の第１実施形態に係る液化ガス運搬船の上面図である。

[図3]図１に示す液化ガス運搬船のIII-III矢視の断面図である。

[図4]図３に示された舶用液化ガスタンクの構成を説明する図である。

[図5]第１変形例に係る舶用液化ガスタンクの断面図である。

[図6]図５に示された舶用液化ガスタンクの断面の一部を拡大した図である。

[図7]第２変形例に係る舶用液化ガスタンクの断面図である。

発明を実施するための形態

[0017] （第１実施形態）

以下、第１実施形態に係る舶用液化ガスタンク及びそれを搭載した液化ガス運搬船を図面に基づいて説明する。

[0018] 図１及び図２は、第１実施形態に係る液化ガス運搬船１Ａの側面図及び上面図である。液化ガス運搬船１Ａで運搬される液化ガスは、例えばＬＮＧや液体水素である。本実施形態の液化ガス運搬船１Ａは、複数個（この例では、４個）の舶用液化ガスタンク（以下、単に「タンク」という。）１０が船長方向に並ぶように船体２０に備えられている。また、本実施形態の液化ガス運搬船１Ａには、その後方部（図１の左側）に、航海中に操船を行うための場所である船橋２１が設けられている。図１に示すように、タンク１０の上部は、船体２０の上甲板２２から上方に突出している。上甲板２２には、タンク１０から所定の距離だけ離間して配置されるようにタンクカバー２２ａが支持されている。

[0019] 図３は、液化ガス運搬船１Ａに搭載されたタンク１０とそれを支持する構造を示す断面図である。船体２０の船幅方向の両側で船側外板２４に沿って船長方向に延びる一対の縦通隔壁２５が、一対の船側外板２４から所定距離内方に設けられており、タンク１０は、一対の縦通隔壁２５の間に配置されている。

[0020] タンク１０の周囲には、スカート２７を介してタンク１０を支持するファンデーションデッキ２６が設けられている。ファンデーションデッキ２６は、船体２０における上甲板２２より下方の所定高さ位置に設けられており、このファンデーションデッキ２６の上面に、上記縦通隔壁２５の下端部が接続されている。ファンデーションデッキ２６は、船側外板２４同士を船幅方向に接続するように設けられている。スカート２７は、円筒状であって、スカート２７の下端部がファンデーションデッキ２６の上面に接続されており、スカート２７の上端部がタンク１０の外周面に接続されている。ファンデーションデッキ２６におけるタンク１０が設けられる位置には、スカート２７の直径とほぼ同じ大きさの円形開口部が設けられている。

[0021] また、タンク１０の下方には、船底外板２３の所定距離上方で、船底外板

２３に沿って船長方向に延びるインナーボトムプレート２８が設けられている。またインナーボトムプレート２８の船幅方向の両端部とファンデーションデッキ２６との間に、一対のビルジホッパープレート２９が設けられている。このビルジホッパープレート２９も、船長方向に延びるように設けられている。ビルジホッパープレート２９は、インナーボトムプレート２８の両端部から船幅方向の外側に向かって傾斜している。

[0022] 次に、本実施形態のタンク１０について図４を参照して説明する。タンク１０は、鉛直中心軸Ｃまわりに対称な圧力容器である。図４は、タンク１０の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状を概略的に示している。タンク１０は、タンク１０の下側部分を形成し、上方に向かって開口する下側タンク体１２と、タンク１０の上側部分を形成し、下方に向かって開口する上側タンク体１３とを有する。本実施形態では、下側タンク体１２と上側タンク体１３は、下側タンク体１２の上端部１２ａと上側タンク体１３の下端部１３ａとで直接的に連結されている。下側タンク体１２及び上側タンク体１３のそれぞれの外側表面は、断熱材（図示せず）に覆われている。

[0023] まず、下側タンク体１２について説明する。下側タンク体１２は、真球体の一部をなす形状である真球部３１と、非真球体の一部をなす形状である非真球部３２を有する。真球部３１と非真球部３２とはつながっており、図３及び図４では、下側タンク体１２における真球部３１と非真球部３２の境界を破線で示している。

[0024] 真球部３１は、下側タンク体１２における鉛直中心軸Ｃ近傍を構成するように、鉛直中心軸Ｃから広がるように形成されている。真球部３１は、鉛直線方向から見て円形状であって、環状の外縁３３を有している。

[0025] 下側タンク体１２は、鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状において、真球部３１の曲率中心c_1は、鉛直中心軸Ｃ上であって、下側タンク体１２の上端部１２ａより上方に位置している。本実施形態では、下側タンク体１２は、鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状において、真球部３１の曲率中心c_1が上側タンク体１３により囲まれる空間内にあるように形成されている。

[0026] 非真球部３２は、下側タンク体１２における鉛直中心軸Ｃに対して遠位側の部分を構成するように、真球部３１のまわりに形成されている。非真球部３２は、鉛直線方向から見て環状であって、中央側端縁３４と、周囲側端縁３５とを有している。中央側端縁３４は、非真球部３２における鉛直中心軸Ｃに対して近位側の端縁であり、真球部３１の外縁３３とつながっている。周囲側端縁３５は、非真球部３２における鉛直中心軸Ｃに対して遠位側の端縁である。つまり、周囲側端縁３５は、下側タンク体１２の上端部１２ａを構成する。

[0027] 非真球部３２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状において、中央側端縁３４と周囲側端縁３５との間に曲率半径が最小となる最小曲率半径部３６を有している。また、非真球部３２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状において、中央側端縁３４から最小曲率半径部３６にいくにつれ曲率半径が連続的に減少し、最小曲率半径部３６から周囲側端縁３５にいくにつれ曲率半径が連続的に増大するように形成されている。即ち、非真球部３２は、斜め下向きに膨出するように形成されている。

[0028] 非真球部３２の形状についてより詳しく説明すれば、非真球部３２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が下記の式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。

$$|x/r_1|^n+|y/r_2|^n=1 \quad \cdots (1)$$

[0029] 上記式（１）のｘ，ｙは、鉛直中心軸Ｃに直交する直線をｘ軸、鉛直中心軸Ｃに一致する直線をｙ軸としたときのｘ座標、ｙ座標である。本実施形態では、鉛直中心軸Ｃに直交するとともに、非真球部３２の周囲側端縁３５を通る水平面上にある直線をｘ軸に設定している。

[0030] 上記式（１）のr_1及びr_2は、０．５≦r_2/r_1≦２を満たす定数である。式（１）の軌跡の曲率の変化が極端に大きくならずに、下側タンク体１２の強度を確保するために、r_1及びr_2は、０．９≦r_2/r_1≦１．１を満たす定数であることが更に好ましい。本実施形態では、r_1は、鉛直中心軸Ｃから周囲側端縁３５までの長さであり、r_2は、鉛直中心軸Ｃ方向における周囲

側端縁３５から下側タンク体１２の下端から少し上側までの長さである。また、本実施形態では、式（１）のr_1とr_2とが同じ長さである。

[0031] 上記式（１）のｎは、２＜ｎ＜３を満たす定数であり、好ましくは、２．３≦ｎ＜３を満たす定数である。本実施形態では、式（１）のｎの値は２．５である。比較のために、図４に、幅と高さがタンク１０と等しい球形タンク９０を一点鎖線で示す。式（１）のｎの値が２より大きいため、球形タンク９０と比べて、下側タンク体１２は、タンク１０の中心から斜め下方に向かって膨出した形状となっている。

[0032] 本実施形態において、式（１）のr_1とr_2とが同じ長さであるため、上記式（１）に関する座標で設定された原点Ｏと最小曲率半径部３６とを結ぶ直線l_1が鉛直中心軸Ｃとなす角αは４５°である。

[0033] 下側タンク体１２は、真球部３１と非真球部３２とが滑らかにつながるように形成されている。例えば本実施形態では、鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状における真球部３１の外縁３３における接線と非真球部３２の中央側端縁３４における接線とは一致している。但し、外縁３３における上記接線と中央側端縁３４における上記接線とは概ね一致していればよい。

[0034] 真球部３１と非真球部３２とが接続する箇所（即ち、外縁３３及び中央側端縁３４）と上記式（１）に関する座標で設定された原点Ｏとを結ぶ直線l_2が鉛直中心軸Ｃとなす角βは、好ましくは、４５°以下であって、より好ましくは、２０°～３０°である。本実施形態では、角βは２５°である。

[0035] 本実施形態において、上側タンク体１３は、上述した下側タンク体１２と同様の構成である。即ち、上側タンク体１３は、下側タンク体１２と同様に、真球体の一部をなす形状である真球部４１と、非真球体の一部をなす形状である非真球部４２を有する。真球部４１と非真球部４２とはつながっており、図３及び図４では、上側タンク体１３における真球部４１と非真球部４２の境界を破線で示している。

[0036] また、本実施形態において、上側タンク体１３は、その下端部１３ａ（即ち、周囲側端縁４５）を通る鉛直中心軸Ｃに垂直な平面に対して、下側タン

ク体１２と対称な形状を有している。即ち、上側タンク体１３の非真球部４２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状において、真球部４１の外縁４３とつながる中央側端縁４４と周囲側端縁４５との間に曲率半径が最小となる最小曲率半径部４６を有するとともに、中央側端縁４４から最小曲率半径部４６にいくにつれ曲率半径が連続的に減少し、最小曲率半径部４６から周囲側端縁４５にいくにつれ曲率半径が連続的に増大するように形成されている。

[0037] また、上側タンク体１３の非真球部４２も、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、上記式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。本実施形態において、上側タンク体の場合のｘ軸及びｙ軸の設定位置、定数r_1、r_2及びｎの設定された値も、下側タンク体１２の場合と同じである。上側タンク体１３のその他の構成については、同一形状である下側タンク体１２の説明と重複するため省略する。例えば、下側タンク体１２の曲率中心c_1は、上側タンク体１３の曲率中心c_2と読み替える。

[0038] 以上説明したように、上記タンク１０の下側タンク体１２は、非真球部３２の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状の曲率半径が、中央側端縁３４から最小曲率半径部３６にいくにつれ減少し、最小曲率半径部３６から周囲側端縁３５にいくにつれ増大しているので、真球よりも膨らんだ形状となり、幅と高さが同じ球形タンク９０よりも液化ガスの積載量を増加させることができる。

[0039] また、下側タンク体１２の非真球部３２の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状の曲率半径が、中央側端縁３４から周囲側端縁３５にかけて連続的に変化しているので、非真球部３２の中央側端縁３４から周囲側端縁３５までの応力分布が滑らかにすることができ、非真球部３２における大きな応力集中を排除することができる。

[0040] ところで、仮に下側タンク体１２全体を非真球部３２のような形状とした場合、即ち、下側タンク体１２が、鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状の曲率半径が最小曲率半径部３６から鉛直中心軸Ｃにいくにつれ増大するような形

状である場合、下側タンク体１２における鉛直中心軸Ｃ近傍の強度が不足することがある。より詳しくは、このようなタンク体の構造では、鉛直中心軸Ｃにいくにつれ曲率半径が増大し、タンクの内圧に起因して生じる引張応力は大きくなる。これに対し、本実施形態では、下側タンク体１２における鉛直中心軸Ｃ近傍には、鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状の曲率半径が一定である真球部３１が形成されている。このため、タンク１０の内圧に起因して真球部３１に生じる引張応力を小さく保つことができる。このため、タンク１０を構成する部材の肉厚を薄くすることができる。また、真球部３１と非真球部３２とが滑らかにつながっているため、非真球部３２と真球部３１とがつながる箇所での大きな応力集中を起こりにくくすることができる。

[0041] また、本実施形態では、下側タンク体１２は、鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状において、真球部３１の曲率中心c_1が、上側タンク体１３により囲まれる空間内にあるように形成されている。このため、真球部３１の曲率中心c_1がタンク１０外部に位置するときよりも、真球部３１の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状の曲率半径が小さくなるので、タンク１０の内圧に起因して真球部３１に生じる引張応力を小さく保つことができる。

[0042] また、本実施形態では、下側タンク体１２は、非真球部３２の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、上記の式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。上記の非真球部３２を容易に設計することができる。また、式（１）のｎの値を３より小さく設定しているため、非真球部３２の最小曲率半径部３６から周囲側端縁３５までの曲率の変化が緩やかになるとともに、非真球部３２の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状の曲率半径を小さく保つことができる。これにより、タンク１０の内圧に起因して非真球部３２に生じる引張応力を小さく保つことができる。

[0043] 上述した下側タンク体１２の特徴によりもたらされる効果は、下側タンク体１２と同様の特徴を有する上側タンク体１３でも得ることができる。また、上側タンク体１３は、鉛直中心軸Ｃに垂直な平面に対して、下側タンク体１２と対称な形状を有するので、上側タンク体１３と下側タンク体１２とを

同じ形状にできるため、タンク１０の製造が容易になる。

[0044] 本実施形態では、定数r_1及びr_2が同じ（即ち、$r_1 = r_2$）であるため、タンク１０の幅及び高さを従来の球形タンク９０とほぼ同じにすることができる。このため、船体２０については、従来の球形タンク９０を備える船体と同様に設計することができる。

[0045] （変形例）

タンク５０の構成は、前記実施形態で説明したとおりである必要はなく、種々の変形が可能である。

[0046] 例えば、図５に第１変形例に係るタンク５０の断面図を示す。タンク５０は、上側タンク体１３と下側タンク体１２との間に、上側タンク体１３と下側タンク体１２とを連結する鉛直方向に延びる円筒体５１を有する。円筒体５１の外周面には、スカート２７の上端部が接続されている。この変形例でも、下側タンク体１２及び上側タンク体１３の非真球部３２，４２は、それぞれ、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、上記の式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。但し、上記実施形態とは、式（１）のｘ軸の設定の仕方が異なる。第１変形例に係るタンク５０では、下側タンク体１２及び上側タンク体１３の非真球部３２，４２は、いずれも、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、円筒体５１の高さ方向中央で水平方向に延びるｘ軸（図５及び図６のx_1）を設定したときの上記の式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。

[0047] 図６は、第１変形例のタンク５０の断面の一部を拡大した図である。図６に示すように、ｘ軸（x_1）は、下側タンク体１２の上端部１２ａより上方にあり、上側タンク体１３の下端部１３ａより下方にある。

[0048] 第１変形例に係る構成によれば、タンク５０が円筒体５１でスカート２７を介して船体２０と接続されているため、船体２０に接続される部分（円筒体５１）と、それ以外の部分（上側タンク体１３及び下側タンク体１２）とを独立に設計及び製造することができ、タンク５０の設計及び製造を容易にすることができる。

[0049] 下側タンク体１２及び上側タンク体１３の非真球部３２，４２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、互いに異なるｘ軸を設定したときの上記の式（１）で表される軌跡にそれぞれ合致するように形成されてもよい。

[0050] 例えば、図７に第２変形例に係るタンク６０の断面図を示す。第２変形例では、下側タンク体１２の非真球部３２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、非真球部３２の周囲側端縁３５を通る水平面上にｘ軸（図７のx_2）を設定したときの上記の式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。また、第２変形例では、上側タンク体１３の非真球部４２は、その鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、非真球部４２の周囲側端縁４５を通る水平面上にｘ軸（図７のx_3）を設定したときの上記の式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている。

[0051] 第２変形例に係る構成でも、第１変形例と同様の効果を得ることができる。また、第２変形例に係る構成によれば、円筒体５１の高さを大きくするほど、タンク５０の液化ガス積載量を増加させることができる。但し、円筒体５１の高さが大きくなると、船橋２１からの視認性の悪化やタンク５０の重心が上方に移動することによる液化ガス運搬船１Ａの安定性の悪化を招くおそれがある。このため、円筒体５１の高さは、船橋２１からの視認性が十分に確保でき、且つ、液化ガス運搬船１Ａの重心位置として許容される範囲で設定される。

[0052] （その他の実施形態）

上記実施形態は、全ての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上述の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

[0053] 例えば、タンク１０の内圧に起因して真球部３１，４１に生じる引張応力に対してタンク１０を構成する部材の強度が十分であれば、真球部３１の曲率中心c_1は、上側タンク体１３より上方に位置していてもよく、真球部４１の曲率中心c_2は、下側タンク体１２よりも下方に位置していてもよい。

[0054] 上記実施形態において、下側タンク体１２と上側タンク体１３は、鉛直中心軸Ｃに垂直な平面に対して対称な形状を有していたが、下側タンク体１２と上側タンク体１３とは異なる形状であってもよい。例えば、式（１）に関して、下側タンク体１２と上側タンク体１３とで、異なる定数r_1、r_2及びｎが設定されてもよい。

[0055] また、上記実施形態において、上側タンク体１３と下側タンク体１２のうちの一方のタンク体のみが、非真球部の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、式（１）（但し２＜ｎ＜３）で表される軌跡に合致するように構成されていてもよい。この場合、例えば、上側タンク体１３及び下側タンク体１２のうちの他方タンク体は、従来の球形タンク９０と同じ形状であってもよい。

[0056] また、非真球部３２，４２の鉛直中心軸Ｃを通る各垂直断面形状は、式（１）で表される軌跡に必ずしも合致している必要はなく、少なくとも中央側端縁３４から最小曲率半径部３６にいくにつれ曲率半径が連続的に減少し、最小曲率半径部３６から周囲側端縁３５にいくにつれ曲率半径が連続的に増大していればよい。

[0057] また、上記実施形態では、非真球部３２，４２の鉛直中心軸Ｃを通る垂直断面形状が、定数r_1、r_2及びｎを一定の値としたときの式（１）で表される軌跡に合致していたが、例えば、これに限定されず、例えば、中央側端縁３４，４４から周囲側端縁３５，４５までの途中で定数r_1、r_2及びｎの値を変化させてもよい。

符号の説明

[0058] １Ａ　液化ガス運搬船

１０，５０，６０　舶用液化ガスタンク

１２　下側タンク体

１３　上側タンク体

３１，４１　真球部

３２，４２　非真球部

３３，４３　真球部の外縁

３４，４４　非真球部の中央側端縁

３５，４５　非真球部の周囲側端縁

３６，４６　最小曲率半径部

５１　円筒体

Ｃ　　鉛直中心軸

c_1，c_2　真球部の曲率中心

請求の範囲

[請求項1] 鉛直中心軸のまわりに対称な圧力容器である舶用液化ガスタンクであって、下方に向かって開口する上側タンク体と、上方に向かって開口する下側タンク体と、を含み、

前記上側タンク体及び前記下側タンク体のうちの少なくとも一方のタンク体は、

真球体の一部をなす形状であって、前記鉛直中心軸から広がる真球部と、

前記真球部のまわりに形成された非真球部であって、前記鉛直中心軸を通る垂直断面形状において、中央側端縁と周囲側端縁との間に曲率半径が最小となる最小曲率半径部を有するとともに、前記中央側端縁から前記最小曲率半径部にいくにつれ曲率半径が連続的に減少し、前記最小曲率半径部から前記周囲側端縁にいくにつれ曲率半径が連続的に増大するように形成された非真球部と、を有し、且つ、

前記真球部と前記非真球部とが滑らかにつながるように形成されている、舶用液化ガスタンク。

[請求項2] 前記一方のタンク体は、前記鉛直中心軸を通る垂直断面形状において、前記真球部の曲率中心が、他方のタンク体により囲まれる空間内にあるように形成されている、請求項１に記載の舶用液化ガスタンク。

[請求項3] 前記一方のタンク体は、前記非真球部の前記鉛直中心軸を通る垂直断面形状が、下記式（１）で表される軌跡に合致するように形成されている、請求項１又は２に舶用液化ガスタンク。

$$|x/r_1|^n+|y/r_2|^n=1 \quad \cdots (1)$$

但し、ｘ，ｙは、前記鉛直中心軸に直交する直線をｘ軸、前記鉛直中心軸に一致する直線をｙ軸としたときのｘ座標、ｙ座標であり、r_1及びr_2は、０．５≦r_2/r_1≦２を満たす定数であり、ｎは、２＜ｎ＜３を満たす定数である。

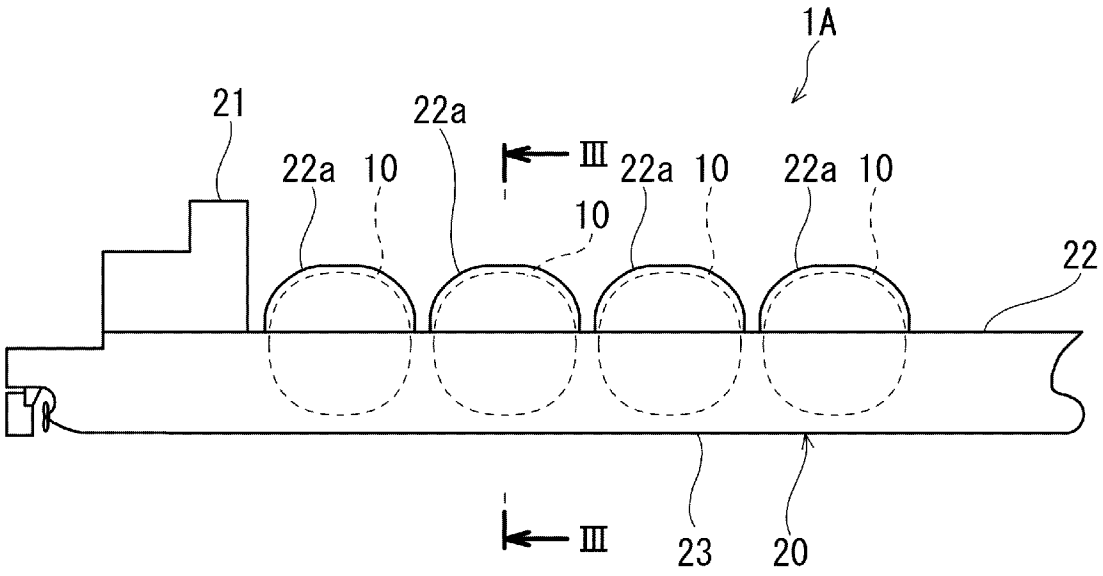
[請求項4] 前記上側タンク体及び前記下側タンク体のそれぞれは、前記真球部と前記非真球部を有し、

前記上側タンク体及び前記下側タンク体は、前記鉛直中心軸に垂直な平面に対して互いに対称な形状を有する、請求項１～３のいずれか一項に記載の舶用液化ガスタンク。

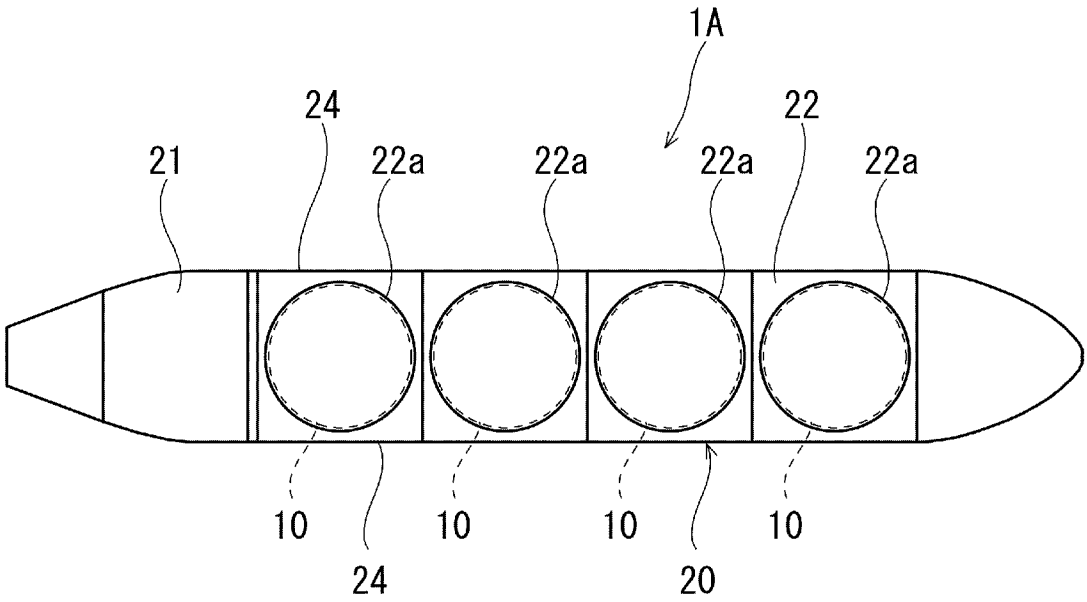
[請求項5] 前記上側タンク体と前記下側タンク体との間に、前記上側タンク体と前記下側タンク体とを連結する鉛直方向に延びる円筒体を含む、請求項１～４のいずれか一項に記載の舶用液化ガスタンク。

[請求項6] 請求項１～５のいずれか一項に記載の舶用液化ガスタンクを備える、液化ガス運搬船。

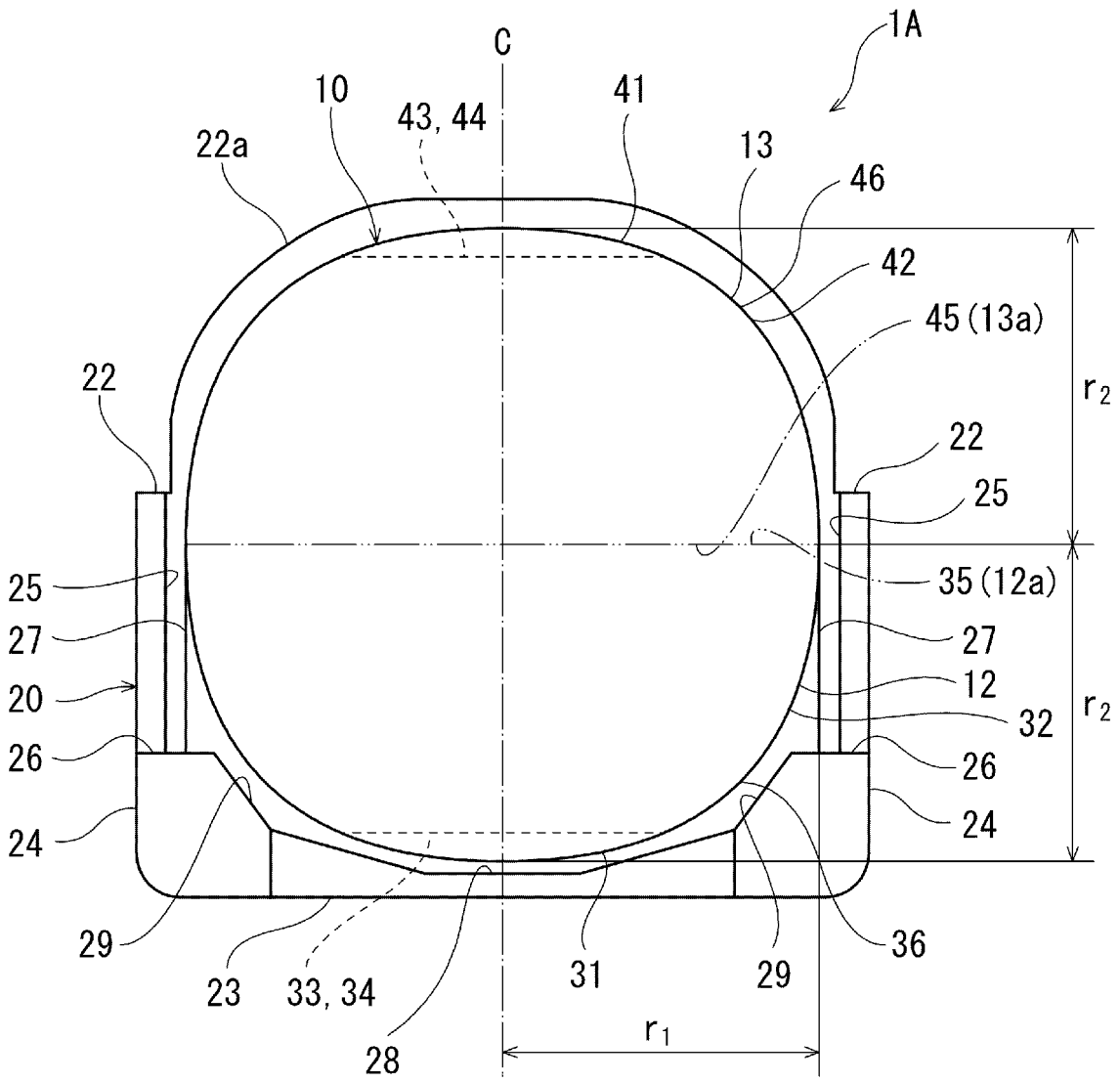
[図1]


1A
21
22a
22a
10
Ⅲ
22a
10
22a
10
10
22
Ⅲ
23
20

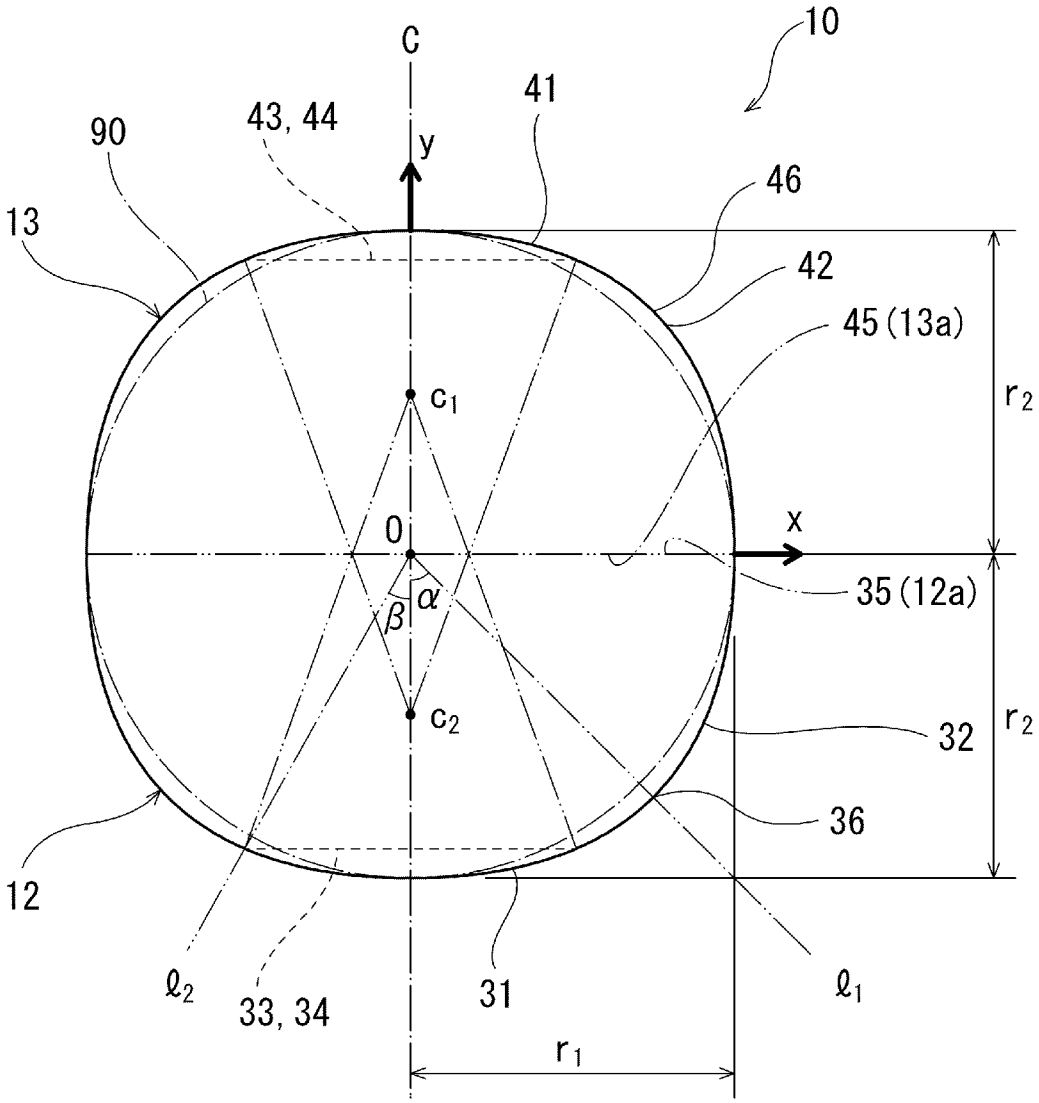
[図2]


1A
24
22
21
22a
22a
22a
22a
10
10
10
10
24
20

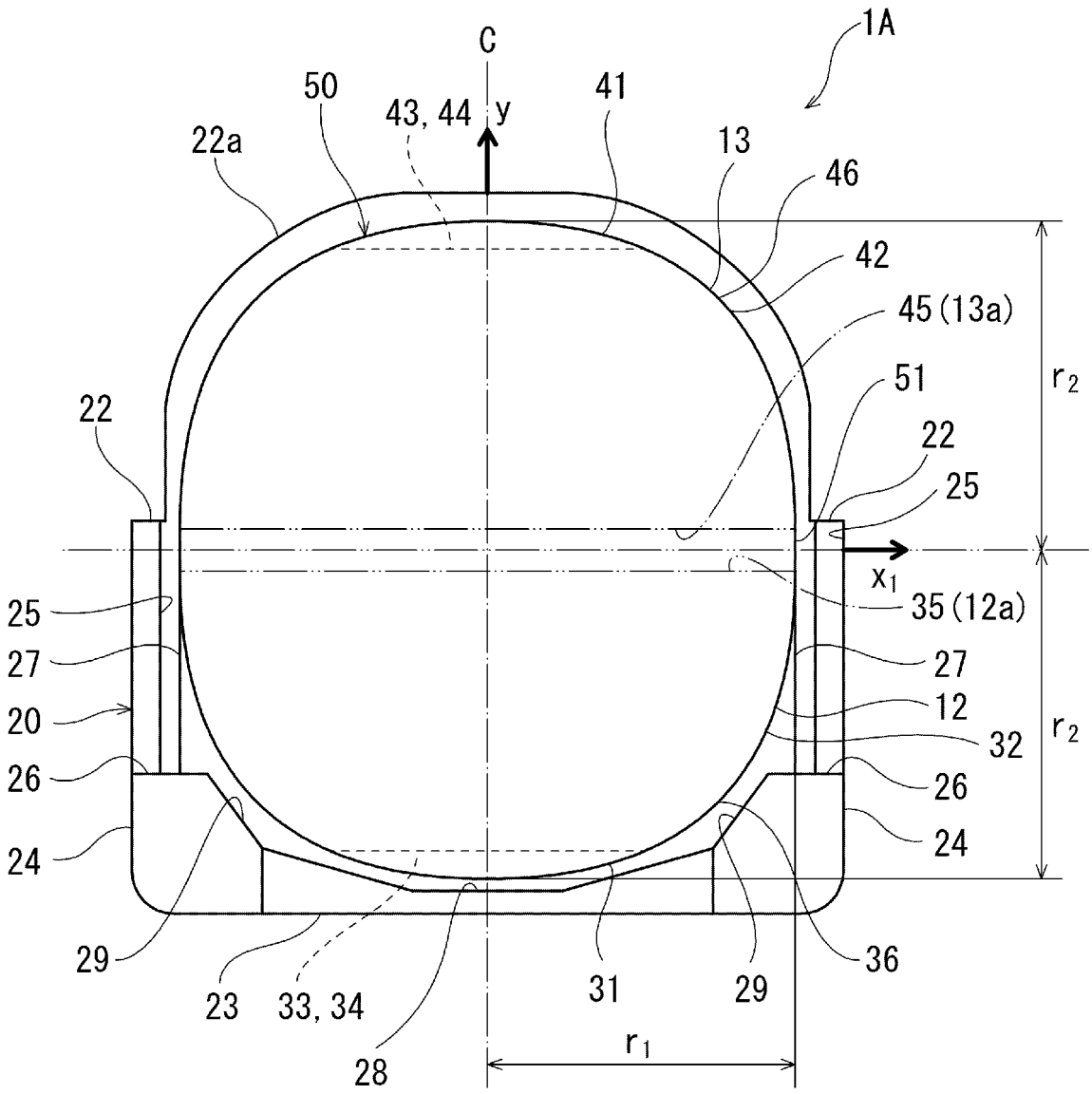
[図3]


1A
C
10
43, 44
41
22a
13
46
42
45 (13a)
22
22
25
25
35 (12a)
27
27
20
12
32
26
26
24
24
29
23
33, 34
28
31
29
36
r2
r2
r1

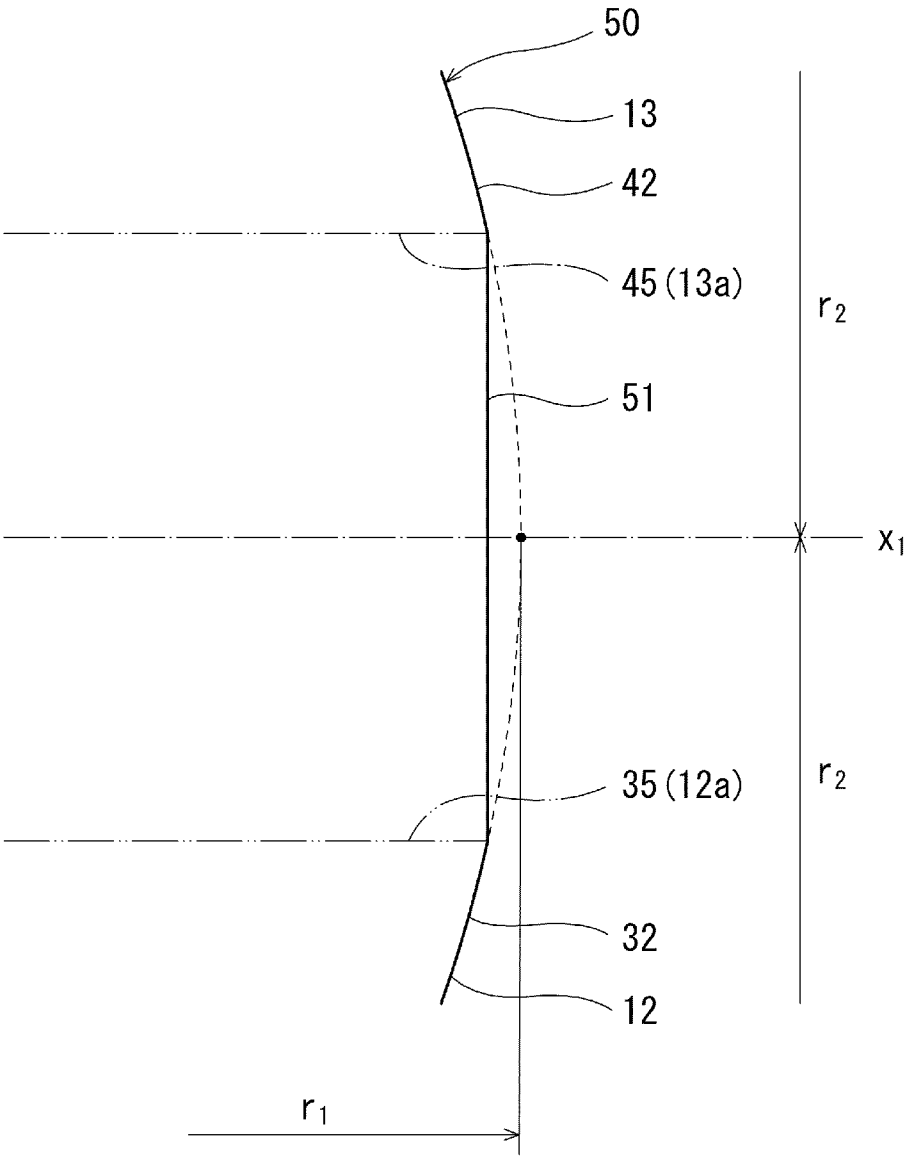
[図4]


C
10
41
43, 44
90
y
46
13
42
45 (13a)
c_1
r_2
0
x
α
β
35 (12a)
c_2
32
r_2
36
12
ℓ_2
33, 34
31
ℓ_1
r_1

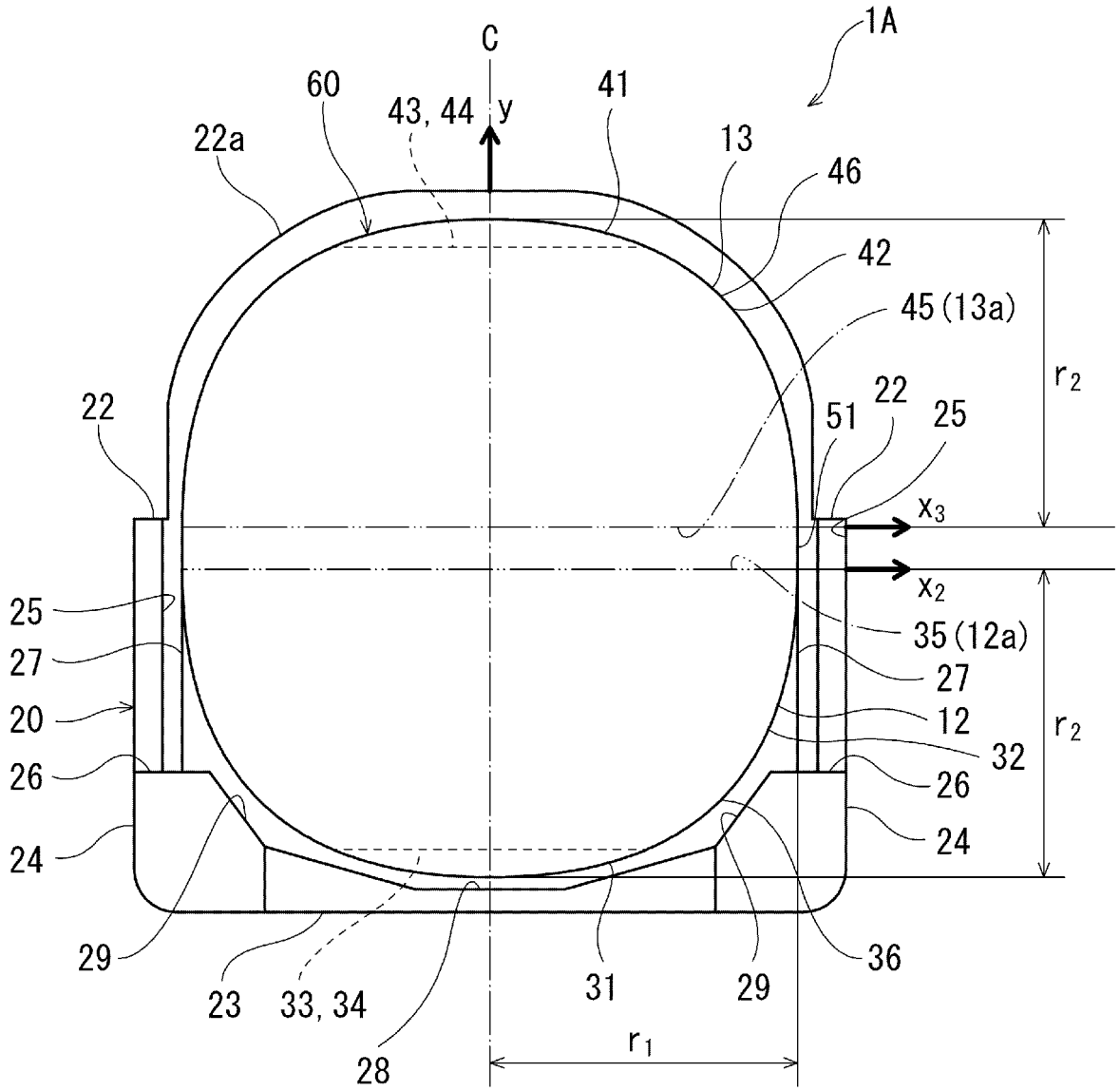
[図5]


1A
C
y
50
43, 44
41
13
46
22a
42
45 (13a)
51
22
25
22
r_2
x_1
35 (12a)
25
27
27
20
12
32
26
26
24
24
29
23
33, 34
28
31
29
36
r_1
r_2

[図6]



[図7]


1A
C
y
60
43, 44
41
22a
13
46
42
45 (13a)
22
51
22
25
r_2
x_3
x_2
25
27
20
26
24
35 (12a)
27
12
32
26
24
r_2
29
23
33, 34
28
31
29
36
r_1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/005050

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B63B25/16(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

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 3-128791 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 31 May 1991 (31.05.1991), entire text & US 5099779 A entire text & EP 0422752 A1 & NO 904403 A & KR 10-1994-0007214 B1	1-6
A	JP 2008-273609 A (Kansai Material Corp.), 13 November 2008 (13.11.2008), entire text (Family: none)	1-6

☐ 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
11 November 2015 (11.11.15)	24 November 2015 (24.11.15)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／００５０５０

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

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

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	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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 3-128791 A (三菱重工業株式会社) 1991.05.31, 文献全体 & US 5099779 A, 文献全体 & EP 0422752 A1 & NO 904403 A & KR 10-1994-0007214 B1	1-6
A	JP 2008-273609 A (株式会社関西マテリアル) 2008.11.13, 文献全体 (ファミリーなし)	1-6

☐　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 １１．１１．２０１５	国際調査報告の発送日 ２４．１１．２０１５
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　９６２５ 川村　健一 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３４１