

(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5月18日(18.05.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/082427 A1

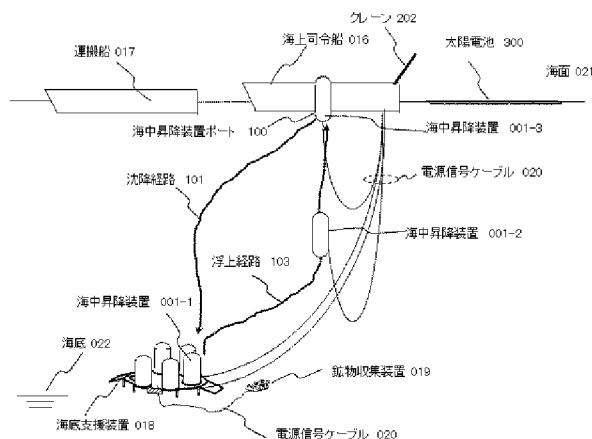
- (51) 国際特許分類:
E21C 50/00 (2006.01) *B63B 35/44* (2006.01)
B63B 35/00 (2006.01) *B63B 49/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/083616
- (22) 国際出願日: 2016年11月11日(11.11.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-222542 2015年11月13日(13.11.2015) JP
- (71) 出願人: 小平アソシエイツ株式会社(KODAIRA ASSOCIATES INC.) [JP/JP]; 〒1800023 東京都武蔵野市境南町3丁目14番23号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小平 高敏(KODAIRA Takatoshi); 〒1800023 東京都武蔵野市境南町3丁目14番23号 Tokyo (JP). 小平 高資(KODAIRA Takamoto); 〒1800023 東京都武蔵野市境南町3丁目14番23号 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, 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, KE, KG, 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).

[続葉有]

(54) Title: DEVICE FOR LIFTING AND RECOVERING SEABED RESOURCE

(54) 発明の名称: 海底資源揚収装置



001-1, 001-2, 001-3 Undersea lifting/lowering device
016 Marine command vessel
017 Carrying vessel
018 Seabed support device
019 Mineral collecting device
020 Power signal cables
021 Sea surface
022 Seabed
100 Port for undersea lifting/lowering device
101 Descending route
103 Ascending route
202 Crane
300 Solar cell

(57) Abstract: The present invention relates to a system for collecting, lifting, and recovering seabed mineral resources, specifically, a device wherein hydrogen gas is evolved on the seabed, resources are lifted by the buoyancy of the gas to the sea surface, and the hydrogen gas which has become an excess buoyancy source during the lifting and recovering is absorbed into an organic substance including toluene, thereby yielding hydrogenated compounds including cyclomethylhexane to recover the energy required for hydrogen gas production.

(57) 要約: 海底の鉱物資源を採取し揚収するシステムに関し、海底で水素ガスを発生させてその浮力を利用して海面まで揚収し、揚収の途上で浮力源として余った水素ガスをトルエンを含む有機物に吸収させてシクロメチルヘキサンを含む水素化合物を生成し、水素ガスを生成するために要した生成エネルギーを回収する装置に関する。

WO 2017/082427 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 海底資源揚収装置

技術分野

[0001] 本発明は、海底から物体を揚収する装置に関する。特に、海底の鉱物資源を採取し揚収するシステムに関し、海底で水素ガスを発生させてその浮力を利用して海面まで揚収し、水素ガスを浮力源として利用した後は、水素ガスをトルエンを含む有機物に吸収させて水素ガス生成エネルギーを回収する装置に関する。

背景技術

[0002] 海底より物体を回収する試みは従来から、サルベージ、浚渫、海底油田の掘削の分野で行われているが、海底鉱物の採集については1000mレベルの海底鉱物採集の試行が開始された状況で、2000mから5000mレベルの海底資源回収は方法論すら確立されておらず、経済的目処も立たないため行われていない。本発明は深度1000mを超え、5000mレベルまでの海底資源回収を経済的に行う装置に関するもので、従来、海洋開発では利用されていない他分野である電気化学、有機化学、水素工学、制御工学、宇宙工学、情報工学の最先端技術を組み合わせることにより、高圧環境下での機械的挑戦を行わずに現存のハードウェア技術で実現すべく、新たに考案したものである。

[0003] 以下、従来技術を述べる。サルベージ技術、浚渫技術、海底石油掘削技術の延長発展として海底鉱物の採集は従来議論されている。サルベージ技術については、非特許文献1に概観されているように、ワイヤーをかけて引き上げる「大廻し方式」、浮力を利用する「バルーン方式」、直接つかみあげる「つかみ方式」がある。「大廻し方式」はワイヤーをかける潜水作業を伴うため深海では行われない。「バルーン方式」は圧搾空気を入れた金属製またはゴム製バルーンで海中を引き上げるが、深度変化に伴う気体膨張があるため水平移動が主体である。深度も100m以浅である。「つかみ方式」は海

底に直接アームを伸ばしてつかみあげる方法で、1970年代に海底5000mから米国CIAがソ連の沈没原潜を核戦略情報収集のために採算を度外視して引き上げた例があるがこれが深海より引き上げた唯一の記録であり、その後の例はない。公開情報によると、海底石油掘削技術の延長とみられる。いずれの方式も水上の作業船が直接力学的に関与するため海面の静謐が不可欠であり、深海から鉱物資源を採集するのには適さない。

[0004] 現状における海底からの鉱物採取は経済的に成り立たず、深海探索艇や無人ロボットのアームや、ボーリングによってサンプル採取するのがせいぜいである。例外的に、油田やガス田などでは穴を開ければ内圧に押し出されて噴出するので、開口部にパイプなど回収設備を設けることで比較的低コストで採掘できるため、海底石油掘削技術の延長として海底熱水だまりより鉱物資源が溶けた熱水をポンプアップする方法が提案されている（特許文献1）。この方法は、さらにシェールガス採掘等と同様に鉱床に特殊な溶剤を流し込み、溶けた鉱物を水上へバキュームした後で溶剤から分離させて採取することもできる。

[0005] 海底表層地層より鉱物資源を回収する方法としては、浚渫技術の延長として、深度1000mの海底熱水鉱床（チムニーなど）を掘削し、スラリー化して水中ポンプで海上に送り出すための要素技術の試験開発が行われている。（特許文献2）（非特許文献5） 採鉱に関しては掘削機能と浚渫機能を海底の高圧下で実現することになる。25kgの硫化鉱の採集に成功しているが、ヘビーデューティー化が課題であるとの報告がある。またスラリー化による輸送は耐摩耗性の実現が不可欠であり今後の課題であるとも報告している。（非特許文献2）

[0006] 海底鉱物の採掘採集は深度1000mの海底熱水鉱床がようやく要素技術の試験開発が行われ始めた段階である。コバルトリッチクラスト、マンガング塊、レアアース堆積物は1000m以深の深海表面に分布するが、資源調査の段階であり、資源回収については方法論を含めて未着手である。（非特許文献3）

[0007] 特許文献1：W02013118876A1「海底熱水鉱物資源の回収方法及び回収システム」

特許文献2：特開2011-196047「揚鉱システムおよび揚鉱方法」

非特許文献1：「サルベージ」清水信夫 日本造船学会誌 平成14年5月

非特許文献2：「海底鉱物資源開発に係る揚鉱管内における大粒径粒子のスラリー移送評価」高野他 第14回 海上技術安全研究所研究発表会 平成26年6月

非特許文献3：「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」 経済産業省 平成25年12月

非特許文献4：「最新の海底鉱物資源の開発動向」織田洋一 三井物産戦略研究所 20134月

非特許文献5：「海底熱水鉱床掘削要素技術試験機の開発」三菱重工技報2013年No.2

非特許文献6：「有機ハイドライド法による高温ガス炉ISピロセス水素貯蔵・供給システムの概念設計」日本原子力研究開発機構 2012 2月

非特許文献7：Satellite Attitude Tracking By Quaterion-Based Backstepping, Raymond Kristiansen, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2005

非特許文献8：クォータニオンを用いた小型電動ヘリコプタの姿勢制御 鈴木智 2008 SICE

非特許文献9：M-Vダイナミックスと姿勢制御論理の設計 森田康弘 宇宙科学研究所報告 2003/3

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] 1000m以深の海底鉱物資源開発は従来のサルベージ技術、浚渫技術、海底石油掘削技術の延長では解決できない可能性があると考え、下記の視点から根源的に検討を加えた。

(1) コバルトリッチクラスト、マンガン団塊、レアアース堆積物は

海底面に堆積しており(図5)、地上であれば採集自体はブルトーズで可能である。熱水鉱床の採掘試行が先行しているのは、熱水鉱床が深度1000m内外と比較的浅いことが主因であり、海底鉱物の採取は深度が障害となっているのが実情である。深度が障害とならない方法があれば、これら、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊、レアアース堆積物の採取の方が容易である。

(2) 深度5000mは距離で5kmに過ぎないが、情報伝達速度で比較すると、空中は秒速300000kmの電磁波で直線的に情報を送受できるのに対し、水中では音波に頼る結果、秒速1500mと遅く、20万倍の差がある。さらに水中では音波の直進性はなく、情報伝達量も圧倒的に少ない。さらに圧力では、地上と宇宙空間では1気圧の差であるが、海底5000mでは500気圧である。海底までの5kmは予想以上に離れた世界で、根源的に考える必要性を示唆している。

(3) 一方において、マッコウクジラは生体で特段の耐圧技術を使わず、エネルギーもほとんど使わずに、3000mまで潜ってダイオウイカを捕食して海面に戻ってくる(図3)。なぜなのかを根源的に考え応用した結果、本発明に至った。マッコウクジラが深海底と海面を容易に往復できる理由は、第一に、生体内で液体と固体の内外圧を等しくして高圧環境での構造的問題を回避していること、第二に、海底や海上の物体と独立に移動でき、構造的にも運動体としても自律的であるため、構造物としての制約が少ないことにある。第三に、クジラは“脳油”の温度による比重変化を利用して浮力を調節してほとんどエネルギーを使わずに昇降しており、浮力を利用した昇降が海中のような液体内の上下移動手段として最もエネルギー効率が良いことを示している。

[0009] 以下の目次に従い、本発明を詳説する。

目次

I 概念と実現性

1. 発明方針
2. 代案の検討
3. 基本概念
4. 実現性

II 運用構想

III 構成システム

1. 設計思想
2. 海中昇降装置
3. 海底支援装置
4. 水上船舶
 - 4.1 司令船
 - 4.2 運搬船

IV 揚収の原理

1. 原理
 - 1.1 水素化反応
 - 1.2 水圧変化への対応
 - 1.3 揚収制御系の構成と特性

V 海中昇降装置

- 1 制御系
 - (1) 目的と機能
 - (2) 動特性と制御系
 - (a) 位置・速度制御
 - (b) 姿勢制御
 - (c) 制御量の統合
 - (d) 制御系の構成
2. 航法系
 - (1) 構成

(2) 慣性航法

(3) 音響航法

(4) 光学航法

3 ドッキング制御

4 運用モード制御

5. 流体構成制御

V I. 海底支援装置

1 制御系

(1) 目的と機能

(2) 動特性と制御系

(a) 位置・速度制御

(b) 姿勢制御

(c) 制御量の統合

(d) 制御系の構成

2 航法系

(1) 構成

(2) 慣性航法

(3) 音響航法

3 運用モード制御

4 流体構成制御

VI I 水素ガス発生装置

VII I 電力発生装置

1. 潮流と波浪条件

2. 電源装置の要件

3. 洋上太陽光発電装置

IX 監視制御システム

1. システム構成
2. 総合監視制御システム
3. 海中昇降装置制御システム
4. 海底支援装置制御システム

X 運転方法

1. 連続運用の要件
 1. 1 略号と諸元の定義
 1. 2 構成物の物性
 1. 3 上昇・下降・移動過程での反応
2. 連続運用の構成
 2. 1 海中昇降装置
 2. 2 海底支援装置
3. 連続運用の効率化

[0010] I 概念と実現性

1. 発明方針

第一に、高圧環境の障害を、方式として根源的に回避することである。

第二に、深海からの高揚程の圧送、吸引を回避し、エネルギーの浪費を回避することである。

第三に、すべての海中機材が自律的に海上へ浮上できるようにし、深海へのアクセスの悪さを解消し、保守の問題を生じないようにすることである。

第四に、深海の高圧環境を積極的に活用することである。

第五に、構造的な標準化を図って開発課題とリスクを削減することである。

これらの課題解決のため、従来、海洋開発では利用されていなかった電気化学、有機化学、水素工学、制御工学、宇宙工学、情報工学の成果を組み合わせ

せて新たな装置を発明した。

課題を解決するための手段

[0011] 第一は、高圧環境の障害を根源的に回避するために、構成機材の内外圧を等しくして耐圧機材を無くし、耐圧要件を回避した。浮力源として用いる水素ガスの圧力を深度によらず周囲の水圧とほぼ等圧にして、機構的に高応力箇所がないようにした。このことは強度的な制約から解放されることになり、結果的に装置のスケールアップが容易となった。

第二に海底との昇降は水素ガスの浮力により行い、海底から高揚程の鉱物圧送を回避して、エネルギーの浪費を回避した。浮力による方法は鉱物資源を海中でスラリー化してポンプで海面に持ち上げる方法に対比して、高揚程ポンプが不要となる。圧力差の大きい可動機構、高圧配管、摩擦機構、耐圧機構がなくなり、スラリー輸送による輸送パイプの摩耗、シーリングの問題も生じない。さらに、本発明の方法では、海底より回収する物体をそのまま持ち上げるので、回収物体に対する寸法形状および物性の制約がない。海底資源については情報が少なく、海底では視程も悪く、情報収集手段が限られるので、海底でのスラリー化を行うなどの海底での鉱物加工を排除し、原石のまま揚収する利点は大きい。

[0012] 第三に、保守の面から海底および海中のアクセスの悪さを解消するために、構成機材の水中重量を軽量化し、定常運用の一環として全機材が浮力により自力で海面に浮上できるようにした。海面まで定常的に自力で浮上できるでの全機材の保守点検が容易となる。このことは同時に海底設置機材の移動を容易化するので、海底に薄く広く広がっている鉱物の収集に適した機動性が実現可能となった。

第四に高圧環境を積極的に活用することである。海底で電気分解による水素ガスを発生させてその浮力を利用するが、高圧での水の電気分解は発生気泡が高圧で圧縮されるため、気泡による通電性の低下という電気分解の阻害要因が減少してエネルギー効率が良くなる。水の電気分解装置にはこの特性を

積極的に利用しているものもある。さらに水素ガス回収のためのトルエンの水素化（有機ハイドライド反応）は平衡反応であり、高圧低温（200℃程度）で平衡反応が水素ガス吸着側になり、吸着反応が促進される利点がある。

[0013] 2. 代案の検討

浮力を利用する本発明の方法と比較すべき第一の代案は、サルベージ技術を応用したワイヤーによる引き揚げである。これらの方法は深海の鉱物資源収集法として提案されてはいないが、原因は下記と想定される。

海底で収集した鉱物を積載した籠を籠に固定したワイヤーで引き上げる方法を考えた場合、ワイヤーは剛性が少なく水中重量が軽く、高強度のナイロンロープが最適であるが、250トンの引き上げには試算によると、約120φのロープが必要となる。しかしながら、海中でワイヤーを牽引しながら所定回収場所に存在する籠まで誘導し、海底設置の籠にワイヤーを把持させて海上船舶より引き上げる方法に対し、適切な制御方法を本発明の発明者は見出し得ない。また、長大なロープを牽引している空籠を海底の所定の回収場所まで誘導して設置したのち、海底で収集した鉱物を籠に積載し、海上船舶より引き上げる方法もありうるが、適切な制御方法を本発明の発明者は見出し得ない。（分布定数系となり可観測性が保証されない）

[0014] 浮力を利用する方法と比較すべき第二の代案は、浚渫技術の延長として、1000mクラスの海底の熱水鉱床の採掘で検討されているスラリー化と高揚程水中ポンプを高性能化して、更なる深海から揚収を行う方法である。揚鉱管を深海まで下し、先端に高揚程水中ポンプを設置する構造であるので、技術的に実現できたとしても、信頼性と保守性まで含めての実現性は不明である。また高揚程水中ポンプより下の部分では、採集鉱物をフレキシブルホースでスラリー輸送するが、ホース・管の減耗への保守対応に困難が伴う。

[0015] 3. 基本概念

本発明では海底で水を電気分解して水素ガスを発生させその浮力を利用する。この方式は次の利点がある。

(1) 大きな浮力が得られる。水素は分子量が2と小さく、5000mクラスの海底でも十分な浮力が得られる。5000mクラスの海底は500気圧となるので、500気圧の水素ガスは1リットル45gであるのに対して、分子量28.8である空気は、1リットル64.2gとなる。1リットルで得られる浮力は、5000mの海底では、空気が33.8gに対して水素ガスは95.5gである。

(2) 上昇中に余剰となる水素ガスをトルエンに吸収させメチルシクロヘキサンにすれば水素ガスステーション用燃料として回収できる。メチルシクロヘキサンは常温常圧で水素を吸収した液体として輸送が簡単であり、自動車用水素ガスステーションへの水素輸送手段として考えられている。浮上のため5000mの海底で水素ガスを発生させると、5000mを持ち上げるための位置エネルギーに対して、10数倍のエネルギーを要することが試算される。海中昇降装置の内外圧を同一に保ちつつ、上昇中に浮力を所定値に保つためには49.9/50.0の水素ガスを浮上過程で消去する必要がある。海中に放出すれば水の電気分解に投入したエネルギーのほとんど全部を海中に捨てることになるが、浮上過程でトルエンを水素化することにより投入エネルギーを回収できる。

(3) 海底への送電は高圧交流化してアルミ電線で送電すれば細線化でき、水中重量と抵抗を軽減でき力学的影響を最小化できる。

(4) 電気分解のためには大電力を要するが、海上支援船は大洋上の1点に停止しているので、浮体の太陽電池を利用して発電し、海中で水素ガスを発生してトルエンに吸収させて回収すれば、無駄なくクリーンエネルギーを副産物として海上で生成できる。

(5) 浮力を用いて浮上および沈降させる方法は、浮力により浮上・沈降させる物体と海上船舶との力学的連結がなく、海中構造物に対する制約がなくなる。揚降管や引き揚げワイヤーのような海中および海底構造物と海上船舶

との力学的連結があると、海上船舶の波浪による上下動で応力がかかるため力学的に厳しくなり、荒天に弱い。このためサルベージの実務では、引き揚げ荷重の4～6倍の荷重に耐えられるワイヤーを用い、海上が静かな時に限って実施している。

[0016] 4. 実現性

4. 1 軽量化

浮力を利用するためには装置の比重を1.0近辺にする必要があり、装置全体の軽量化が不可欠であり、比重が1.8程度の強靱な炭素繊維樹脂を構造化材として用いる。とくに、海中より採集鉱物を揚収する海中昇降装置の実現においては、空荷で海底に降下するときに内部を液体で充満させ、気体が存在しない状態で比重を1.0近辺にできることが経済性の面で重要なカギとなる。すなわち、比重が1.0近辺というのは、自重による自由降下で海底への軟着床が可能であることを意味し、特段の軟着床のための装置を不要とする。また降下開始の海面で内部に気体が存在する状態で比重を1.0近辺にしていると（すなわち、気体の浮力がないと比重を1.0近辺にできない重量過多の状態）、降下に伴い気体圧力を水圧と等しくして水圧に耐え、浮力を維持するためには、気体を追加発生して体積を維持する必要があり、気体発生装置を搭載する必要がある。気体圧力を保ったまま水圧上昇時に気体体積と浮力を維持しようとする、耐圧殻に気体を保持する必要があり重量増となる（人間の乗る潜水艦にはこの制約があり、生体で深海と海面を往復するマッコウクジラと異なる点である）。重量増になるとは、海底鉱物を積載して浮上する能力が減少することであり、経済性への悪影響が大きい。

[0017] 軽量化は実現化のための重要要件であり、実現性のカギとなるので以下に検討する。

（a） 浮上時

試算例として、海底から一回の揚収で200トン程度の資源を5000mの

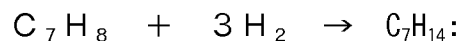
海底から回収する典型的な海中昇降装置の諸元例（単位mm）図1に示す。

浮力源として水素ガスタンクが250 m³必要であり、500 atg（気圧）（深度5000 m相当）で充填させるためのモル数は；

$250 \times 10^3 / 22.4 \times 500 = 5.58 \times 10^6$ モルとなり、

$11.16 \times 10^6 \text{ g}$ （11.16トン）の重量となるので、238.8トンの浮力を得られる。

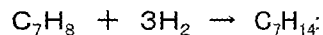
1分子のトルエンは3分子の水素ガスを吸着してメチルシクロヘキサンになる。



$250 \times 10^3 / 22.4 \times 500 = 5.58 \times 10^6$ モルとなり、

$11.16 \times 10^6 \text{ g}$ （11.16トン）の重量となるので、238.8トンの浮力を得られる。

1分子のトルエンは3分子の水素ガスを吸着してメチルシクロヘキサンになる。



トルエンの分子量は92、密度は0.8678 g/cm³であるので、1 atg（気圧）分の水素ガスを残して残りを吸着するための、

トルエン所要量は $5.58 / 3 \times 10^6 \text{ モル} \times 499 / 500 = 1.856 \times 10^6 \text{ モル}$

トルエン重量は $1.856 \times 10^6 \text{ モル} \times 92 = 170.8 \times 10^6 \text{ g}$

トルエン体積は $170.8 \times 10^6 \text{ g} / 0.8678 = 196.8 \times 10^6 \text{ cm}^3$ となる。図2(a)に示す状態である。

浮上中、図2(b)に示すようにトルエンは水素ガスを吸収してMCH（メチルシクロヘキサン）に変化するが、浮上が完了した水素ガスを吸収した後の状態は図2(c)に示すようになる。

MCH（メチルシクロヘキサン）の分子量は98、密度は0.769 g/cm³であるので、

MCH（メチルシクロヘキサン）生成量は $1.856 \times 10^6 \text{ モル}$

MCH（メチルシクロヘキサン）重量は $1.856 \times 10^6 \text{ モル} \times 98 = 181.9 \times 10^6 \text{ g}$

MCH（メチルシクロヘキサン）体積は $181.9 \times 10^6 \text{ g} / 0.769 = 236.5 \times 10^6 \text{ cm}^3$ となる。

[0018] 浮力タンク003の容量は357.1 m³で、液体タンク004の容量は240.0 m³である。

海中昇降装置の外壁001、仕切り板002の重量は厚さ10 mmの炭素繊維樹脂を用いた場合、容積は、 $6.4 \times 10^6 \text{ cm}^3$ であり、代表的な比重1.8とすると水中重量は、5.1トンとなる。外壁にかかる最大せん断

応力は、238.8トンの浮力を得て上昇中に円柱部に上下方向にかかる。外壁円柱部断面積は肉厚10mmの場合1885cm²であり炭素繊維樹脂の代表的せん断応力を150kgf/mm²とすると28,275トンまで耐えられる。荷重に対して100倍の強度があるので、外壁は自己形状保持に支障のない範囲で薄くする。肉厚5mmとすると水中重量は2.6トンとなる。

[0019] 水素ガス吸収反応器005はすでに実用化されている技術で（非特許文献5）に設計例が記載されている。（非特許文献5）の1/2の規模で実現すると下記となる。

型式	多管式固定床型触媒反応器		
触媒	Pt/Al ₂ O ₃ (Φ3mmレット)		
流体	C ₇ H ₈ 、3H ₂ 、C ₇ H ₁₆		
運転温度	200℃		
流量	[In]	H ₂	50,000Nm ³ /h
		C ₇ H ₈	6.9ton/h
	[Out]	C ₇ H ₈	0.05ton/h
		C ₇ H ₁₆	7.3ton/h
主要材質	SUS304		
平衡反応率	99.2%		
概略寸法胴部	外径 Φ2.0m (1.0mm)		
	内管	外径 Φ40mm×長さ10m (0.3mm × 500本)	
触媒量	4.5m ³		

SUS304密度は7.92g/cm³で、Al₂O₃密度を7.92g/cm³、触媒を球とすると空間充填率74%であるので

反応器重量	内管	1.5ton	
	胴部	0.6ton	
	触媒	13.3ton	計15.4ton
熱交換器	2ton		
冷却器	2ton		
補機配管類	4ton		

とすることが出来るから、合計重量は26tonとなる。この反応器はC₇H₈の反応速度が6.9ton/hであるので、170tonのトルエンにより、1気圧分の水素ガスをを除いてすべて吸収するには、非特許文献5の設計

例では約 24.6 時間必要である。この時間が、深度 5000 m の海底から海面まで到達するのに必要な時間である。所要時間については触媒、反応制御の改善により短縮可能である。また、深度が 1 / m となれば所要水素ガス量も 1 / m となる。

[0020] (b) 下降時

下降時は液体タンクにトルエンを 196.8 m³ 充填し、残りの 43.2 m³ に電気分解による水素ガス発生用の純水を充填する。浮力タンク 003 に純水を充填し、試験回収ユニット 007 を空荷にして海水を充填すると、トルエンにより $196.8 \times (1 - 0.8678) = 26.0$ トンの浮力が得られるので、海中昇降装置の機材重量が 26.0 トンであれば全体の比重が 1.0 となり、若干の重量を付加して比重を $1.0 + \alpha$ とすることにより、緩やかに海底に向けて降下させることができ、海底に軟着床させることができる。(図 2 (d))

[0021]

II 運用構想

本発明になるシステムは継続的かつ連続的に、海底の鉱物資源を揚収し採集するシステムであるので、かかる運用を具体的に実現するものでなくてはならない。

この目的に沿う運用形態を図 4 に示した。

海中昇降装置 001-1~3 は、水素ガスの浮力を用いて海底 022 より海底資源を揚収するクレーンの役割を行うものであるが、海中昇降装置 001 に加えて海底資源を海底で収集して海中昇降装置 001 に積み込む機能と、浮上用の水素ガスを発生する機能が必要である。この目的で、海底支援装置 018 を海底に設置する。

海底資源は図 5 (a) に示す広範な深度 2000 m から 5000 m の海底に存在する。マンガン団塊は、海底に礫状に散在する(図 5 (b))。またコバルトリッチクラストは海底に薄く枕状溶岩として堆積している(図 5 (c))。

－１）、（ｃ－２））。

[0022] 地上であればマンガン団塊やコバルトリッチクラストをブルトザーで収集できるが、海底では、揚収手段である海中昇降装置００１に積み込む手段がないので、海底支援装置０１８を用いる。海中昇降装置００１の下部半球は資源回収ユニット００７として海中昇降装置００１より分離可能とし、資源回収ユニット００７を分離した海中昇降装置００１を海中昇降ユニット００５と呼ぶ。図６の海底支援装置０１８の海底資源回収ユニット着脱ポート０２３に設置可能なように構築する。

海中昇降装置００１は図７（ａ）で示すように海底支援装置０１８の海底資源回収ユニット着脱ポート０２３ａに降着して、図７（ｂ）に示すようにドッキングし、空荷の資源回収ユニット００７を切り離して浮上し移動し、海底支援装置０１８の反対側のもう一つの海底資源回収ユニット着脱ポート０２３ｂに再ドッキングする（図７（ｃ））。再ドッキングした資源回収ユニット００７には無人のリモコン電動ブルトザーである鉱物収集装置により収集された採集鉱物０１０が積み込まれているので、海底支援装置０１８より海中昇降装置００１に水素ガスを充填して（図７（ｄ））、浮力を得たところで、海底支援装置０１８より離床、浮上させる（図７（ｅ））。このような方式を採ることにより海底資源は深海環境下でのスラリー化およびポンプによる圧送を行わず、現物に近い状態で揚収可能となり、多くの技術課題を回避できる。

海底支援装置０１８では、次の海中昇降装置００１の到着に備えて水素ガスの蓄積と海底資源回収ユニット着脱ポートａ ０１２ａにある空荷の資源回収ユニット００７への採集鉱物０１０の積み込みを行う。

[0023] 図４に示すように、海底支援装置０１８を離床した 海中昇降装置００１－３は海上司令船０１６に向かって上昇し、海中昇降装置ポート１００に到着する。海上司令船０１６は海中昇降装置００１－３より、採集鉱物０１０と水素ガスを吸着したメチルシクロヘキサンを回収する。回収後は、海中昇降装置００１－３の次のミッションのために、浮力タンク００３にトルエンを

充填し、液体タンクの区画に純水と充填用の海水を注入して海底に降下させる（図2（d））。

運搬船017は、水素ガス吸収用のトルエンと水素ガス発生用の純水を出発港より運び、海上司令船016に提供し、採集鉱物010とメチルシクロヘキサン（MCH）を海上司令船016から回収して出港地にもどり、この往復を繰り返す。

[0024] 海上司令船016は、海底の鉱物資源を採取の中核となる基地船で、採集海底の海上に占位し、鉱物資源を採取の指揮、機材の保守、電源の供給を行う。複数の海中昇降装置001、海底支援装置018、鉱物収集装置019、太陽電池を搭載して鉱物採集地点に進出して、複数の海中昇降装置001、海底支援装置018、鉱物収集装置019、太陽電池ストリップ401を海中および海面に展開する。海上司令船016には、初期動作のためのトルエン、純水も搭載する。海上司令船016は採集鉱物の積載を行う停泊中の運搬船017を含め、関連するすべての機材の運用を管制し、その目的のためのシステムを装備する。

海上司令船016は、海底の資源状態によって位置を変えることができる。海中昇降装置001および海底支援装置018はいずれも比重1.0にすることができるため、長距離であれば一旦海面に浮上させて揚収した後、新地点で展開することができる。近距離であれば、海底支援装置018に鉱物収集装置019を搭載して海底より数10m程度浮上させて推進器で水平移動させることもできる。太陽電池ストリップ401についても揚収・展開可能なマイクロインバータ付の薄膜型を採用するので移動は可能である。なお、具体的実現方法については以下に詳述する。

発明の効果

[0025] 本発明によれば、海底から物質の揚収を浮力により行うため、海底深度による機械的影響が少なく、1000m未満から5000m超まで広範に適用できる。また、構造的に強度が制約される部分がないため、スケールアップが容易である。海底で発生する水素ガスの浮力を利用し、水素ガスを発生する

ためのエネルギーは大部分MCHにより回収するのでエネルギー効率も高い。

発明を実施するための形態

[0026] III 構成システム

以下、本発明を実施するための形態について、図面を参照しながら詳細に説明を行う。なお、本発明は以下の説明に限定されることはなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々に変形を加えて実施することが可能である。

1. 設計思想

本発明になる海中昇降装置001および海底支援装置018はいずれも水素ガスによる浮力の制御を基本技術としている。水素ガスおよびトルエン、MCH、純水、および海水の操作により浮力を制御する部分は両者に共通であるため、海中昇降装置001を海中昇降ユニット005 + 資源回収ユニット007で構成し、海底支援装置を海中昇降ユニットX4セット（実施例の場合） + 架台である海底支援装置プラットフォーム機構027 + 水素ガス発生装置024で構成することにより、海中昇降ユニット005を共通化して設計と製造コストを削減可能とした。

機能の実現に当たっては、ハードウェアを極力同質化し、ソフトウェアにより実現する方法を採用した。

実現性の検討でも既に述べたが、本発明は海底資源開発以外の分野で最近開発された新技術成果を適用することによって、はじめて実現可能になった。具体的には航空機分野で実用化されている大口径炭素樹脂構造体、水素燃料サイクルで実用化された有機ハイドライド技術、燃料電池自動車で小型軽量化された水の電気分解装置（燃料電池と水の電気分解装置は同一技術）、太陽光電池におけるフレキシブル有機光電池と分散型マイクロインバータ、宇宙工学でのドッキング制御、無定位系に対するロバスト精密制御技術である。

[0027] 2. 海中昇降装置

図8は;海中昇降装置001の外部構造図であり、図9は;海中昇降装置001の内部構造図である。形状は球、円柱を含む回転曲面で構成され、強度が高く抵抗が少なく、制御性が良いように構成される。海中深度によらず内外圧をほぼ等しくして運用するために耐圧能力は必要ない。外壁008および仕切り壁002は軽量で強度のある炭素繊維樹脂で構成する。海中昇降装置001は浮力タンク003、液体タンク004、機器室006、資源回収ユニット007の4区画より構成される。浮力タンク003の中央部には水素ガス吸収反応器005を設ける。資源回収ユニット007は着脱が可能であり、ラチェット機構によるドッキング機構150により、浮力タンク003、液体タンク004、機器室006からなる海中昇降ユニット005と着脱ができる。図8(b)の海中昇降装置001において、A方向より見た図が(a)海中昇降装置上面図であり、浮上時に海上司令船016に誘導するための発音素子131、感音素子A~D 132~135、撮像装置150を設置する。また、図8(b)海中昇降装置001において、B方向より見た(c)海中昇降装置下面図に、降下時に海底支援装置018に誘導するために同様に発音素子131、感音素子A~D 132~135、撮像装置150を設置する。

[0028] 図8(b)海中昇降装置001は採集鉱物010を積載するために図8(d)海中昇降ユニット005と図8(e)資源回収ユニット007に分離できる。図8(d)海中昇降ユニットを単独で誘導制御するために、C方向より見た(f)海中昇降ユニット005下面図に示すように撮像装置150を設置する。図8(d)海中昇降ユニット005のドッキング相手である(e)資源回収ユニット007には、D方向より見た(g)資源回収ユニット007上面図で示すように発光体集合を4箇所設置する。これらの運用法、実施例は「3. 航法制御」の項で詳述する。

[0029] 図8(b)海中昇降装置001の上方および、下方に軸対称に電動プロペラ駆動のジェット水流推進装置055を配設する(実施例の場合は上下各8個、AB軸と平行方向に上下各4個、AB軸に直角方向に上下各4個)。駆動

モータ回転数により水流の強さと方向を制御して水平および上下方向の移動と姿勢制御に用いる。図8（b）海中昇降装置は比重が1.0であり、移動速度も1 m/秒以下であるので宇宙探査機のような無定位系の制御となる。これらの運用法、実施例は「1. 浮力制御」「姿勢制御」の項で詳述する。

[0030] 電源信号ケーブル020は図9（b）海中昇降装置断面図で機械室006に貫入させる。機械室006には図12に示す配管系統のポンプ、弁、および推進装置055、水素ガス吸収反応器005のヒータ、および海中昇降装置制御システム430を含むそれらの制御装置を設置し、それらの制御信号と電源を海上司令船016より供給する。光ファイバと高圧交流送電により軽量化を図る。なお、機械室006は海水圧と同一にする必要があるため、モーター、ポンプ、弁は完全油浸ないし水浸である必要があり、電子回路もレジン封入を含む方法で耐圧性を確保する。

[0031] 図9（a）～（e）は採集鉱物010の運搬のための内部構造と運用を示したものである。海中昇降装置001は図9（b）、（c）に示すように資源回収ユニット007を分離することができる。図9（a）の状態では海底支援装置018の資源回収ユニット着脱ポート023にドッキングすると、資源回収ユニット007と海中昇降ユニット005の接続が外れ、資源回収ユニット007と資源回収ユニット着脱ポート023が接続される（図9（b）（c））。海中昇降ユニット005は再上昇してもう一つの資源回収ユニット着脱ポートに移動する。移動先の資源回収ユニット着脱ポート023の資源回収ユニット007は、図9（d）に示すように採集鉱物010を積載しておくことができる。この状態で海中昇降ユニット005を再度ドッキングすると資源回収ユニット007と資源回収ユニット着脱ポート023の接続が外れ、資源回収ユニット007と海中昇降ユニット005が接続されて図9（e）の状態となる。これは本発明になる後者優先の択一型ドッキング装置であり、「V 3 ドッキング制御」に詳細な実施例を記載する。図9（e）の状態では浮力タンク003に水素を充填し、浮上することができる。

[0032] 本発明になる海中昇降装置001および海底支援装置018は海中昇降ユニ

ット００５内の水素ガス、トルエン、ＭＣＨ（メチルシクロヘキサン）、純水、海水の配分を操作して上昇・下降を行う。図１０、図１１はそのための液体タンク００４の構成例を示したものである。

比重は、水素ガス＜ＭＣＨ＜トルエン＜純水＜海水の順であるので、図１０および図１１の液体区画および気体液体区画には上方より比重の軽い順に全体の比重が１．０に近くなるように隔膜０３０を隔てて充填し、海中昇降装置００１の姿勢の安定と、異なった液体・気体間の境界面の安定を図る。ＭＣＨまたはトルエンと、純水または海水は混ざり合わないが、ＭＣＨとトルエン、純水と海水は容易に混合する。また、水素ガスはＭＣＨ、純水、海水と化合しないがトルエンとは２００℃近辺で化合してＭＣＨとなる。

[0033] 液体タンク００４内の隔膜０３０は、トルエンとＭＣＨの混合、純水と海水の混合を防ぐためには不可欠であり、水素ガスとトルエンも直接接しないようにすることが望ましい。その他の液体、気体間では隔膜は不可欠ではないが残量が少ない状態で液体を輸送する場合の混合を避けるためにも隔膜０３０を設けるのが良い。隔膜はトルエンに不溶なたとえばフッ素樹脂フィルムが良く、図９の２区画構成では液体タンク０３０の上部または下部に区画を構成するフッ素樹脂フィルム接着し、半分を接着しないようにして閉空間を構成し、さらに各閉空間に少なくとも１つの注入排出口０２９を設ける。図１１は注入排出口０２９－１～４を設けた４区画形式であり、本発明の海中昇降ユニット００５で採用する。

浮力タンク００３は、中央部に水素ガス吸収反応器００５を設けるため、隔膜０３０を設けない。水素ガスと液体１種または液体１種で使用し、隔膜０３０を必要としない運用を行う。

[0034] 以下、浮力タンク００３と液体タンク００４の利用方法を説明する。

図２（ａ）は海中昇降装置００１が採集鉱物０１０を資源回収ユニット００７に搭載して、海底支援装置０１８より海上司令船０１６に向けて浮上を開始する時の状態を示す。浮力タンク００３に水素ガス０１１を充填する。海底５０００ｍであれば５００ａｔｇ（気圧）であるので外壁００８の内外は

等圧となる。浮力タンク 003 の水素ガス 011 の浮力が資源回収ユニット 007 内の採集鉱物 010 にバランスして海中昇降装置 001 の全体の比重が 1.0 より若干小さくなり、浮上を開始する。

図 2 (b) は海中昇降装置 001 が海上司令船 016 に向けて浮上中の状態を示したものである。「1V 揚収の原理 1.1 水素化反応」で示すように、上昇に伴って浮力タンク 003 外の水圧は低下する。浮力タンク 003 の水素ガス 011 による浮力を一定に保つために、「1.2 水圧変化への対応」で規定される制御則により、水素ガス 011 を水素ガス吸収反応器 009 によりトルエン 012 に吸収させ、MCH (メチルシクロヘキサン) 013 を生成する。

[0035] 図 2 (c) は海中昇降装置 001 が海面の運搬船 017 に到着した時の状態である。浮力タンク 003 内の水素ガス 011 は 1atg 分を除いてすべてトルエン 012 に吸収されて MCH となる。図 2 (c) は海底資源が揚収された状態であり、資源回収ユニット 007 内の採集鉱物 010 は運搬船 017 に回収される。また、MCH は水素ガス生成源として運搬船 017 に回収され、採集鉱物 010 とともに目的地に輸送される。

[0036] 採集鉱物 010 と MCH を運搬船 017 に移した海中昇降装置 001 は図 2 (d) の状態にして海底に向け降下させる。資源回収ユニット 007 は空荷であり、資源回収ユニット 007 は構造的に外部と自由に海水が出入りするもので、内部は海水の比重となる。図 2 (d) の状態は海中昇降装置 001 の全体としての比重は 1.0 よりわずかに大きく設定され、すべて液体で充填するので降下に伴い周囲の水圧が上昇しても比重は維持される。浮力タンク 003 は運搬船 017 に搭載しているトルエンで充填される。全体の浮力を調整するために純水 014 を一部に充填する。トルエンと純水は混じり合わずトルエンのほうの比重が小さいので純水が下になる。液体タンク 004 には純水 014 と海水 015 を注入する。液体タンク 004 は図 6 および図 7 に記載されているように可動な隔膜 030 で仕切られているので純水 014 と海水 015 を混載できる。純水 014 は海底支援装置 018 で電気分解に

より水素ガス発生のために海底支援装置 018 に持ち込むものであり、海上司令船 016 より注入されるので必要最低限の量でよい。

[0037] 水素ガス吸収反応器 005 は（非特許文献 5）に構成例が示される周知技術であり、図 12 に構成を示す。本発明における新規性は、気体水素をトルエンに吸収させて浮力制御に用いることである。トルエンの水素化反応は 200℃ 近辺で行う。多管式固定床触媒反応器 035 より排出される MCH と水素ガス混合物は 200℃ 程度であるので配管 5044 を経由して熱交換器 036 に導き、配管 4043 を経由して多管式固定床触媒反応器 036 に注入するトルエンと水素ガスを加熱する。配管 2041 より熱交換器に注入されるトルエンは高圧環境では液相である。熱交換器 036 で熱交換された MCH と未反応の水素ガスは配管 6045 を経由して冷却器 038 に導かれ、海水で冷却された冷却管 039 に触れることにより MCH は液化して底部にドレイン 035 としてたまるので液体タンク 004 に移送する。未反応の水素ガスは配管 3042 を経由して配管 1040 を介して注入される浮力タンク 003 内の高圧水素ガスとともに熱交換器 036 に注入され、多管式固定床触媒反応器 035 に注入される。

[0038] 海中昇降装置 001 の機器室 006 は浮力タンク 003、液体タンク 004、水素ガス吸収反応器 005 相互間および海中昇降装置 001 外の海底支援装置 018 または運搬船 017 との液体および気体の移動を制御し行うための弁及びポンプおよび接続配管、と電源および制御装置を格納する。図 13 は配管系統を示した図であり、弁 0～弁 13（V0～V13）およびポンプ 01～06（P0～6）を制御して液体および気体の移動を行う。図 13 は浮上中の状態を示したものであるが、「V 5. 流体構成制御」に運用に対応した弁 0～弁 13（V0～V13）およびポンプ 01～06（P0～6）の操作と浮力タンク 003、液体タンク 004 の流体構成、海底支援装置 018 または海上司令船 016 との気体・液体の授受について詳述する。

[0039] 3. 海底支援装置

図6に海底支援装置018の外形を示す。海底支援装置018の役割は、鉱物収集装置019により海底鉱物を収集し、ランプウェイ025を経由して海底資源回収ユニット着脱ポート023に設置されている資源回収ユニット007に採集鉱物010を投入する。海底支援装置018は海底支援装置プラットフォーム機構027と称される台座構造に海中昇降ユニット005を図6の例の場合、4ユニット固定設置し、ランプウェイ025を2個、海底資源回収ユニット着脱ポート023を2個設置したものである。海底支援装置プラットフォーム機構027には海底着床用の着床用脚026が複数個設置される。

[0040] 海底支援装置018に設置される海中昇降ユニット005は、海中昇降装置001から資源回収ユニット007を除外したものである。同一の構造の資源回収ユニット007を海底支援装置018に使用するのには、第一に浮力タンク003で水素ガス発生装置024が発生した水素ガスを蓄積し、海中昇降装置001に対して上昇用に供給するためである。第2に海中昇降装置001が上昇時に使用するトルエンを海中昇降装置001に供給するために液体タンク004に蓄積し、供給する。第三に海中昇降ユニット005は資源回収ユニット007に採集鉱物010を搭載して海面に浮上するだけの浮力があるので、この浮力の範囲であれば海底支援装置プラットフォーム機構027に設置されている水素ガス発生装置024、海底資源回収ユニット着脱ポート023、ランプウェイ025、着床用脚026、さらに鉱物収集装置019を搭載して浮上・離床して海底での位置を変更し、さらに保守のため海面まで浮上させるためである。

[0041] 図14に海底支援装置018のさらに詳細な構造を示す。水素ガス発生装置024は固体高分子電解質膜型水分解装置であり、積層構造を有する。固体高分子電解質膜型燃料電池と固体高分子電解質膜型水分解装置は同一構造で可逆的に運転できることが知られており、燃料電池としてすでに2015年時点で自動車用に114Kwの出力のものが体積37リットル、重量56kgで量産実用化されている。電気分解所要電力は4.1～5.3kwh/N

m^3 （以下、 $5.0 \text{ kWh} / \text{Nm}^3$ として計算）であるので、4基の海中昇降装置001を海底支援装置018から1日に発進させるために要する水素ガスはすでに述べた実現例では、 500 at g において 1000 m^3 である。これに必要な電力は $500 \times 1000 \times 5 \text{ kWh}$ となり、自動車用 114 Kw の燃料電池相当の水分解装置であれば、 $500 \times 1000 \times 5 \text{ kWh} / 114 \text{ Kw} = 914 \times 24 \text{ h}$ となり、914台分で水素ガスを発生できる。重量は単純に914倍して51トンとなる。この数値は海中昇降ユニット005が1ユニットあたり発生する浮力200トンに比べて十分小さい数字である。

[0042] 図14で海底資源回収ユニット着脱ポート023aは降着する海中昇降装置001をドッキングさせ空荷の資源回収ユニット007aを収納する穴状のポートである。海底資源回収ユニット着脱ポート023は海底支援装置018に図6の構成例では2基、左右に設置される。図7の海底資源回収ユニット着脱ポート023aに降着した海中昇降装置001は海底資源回収ユニット着脱ポート023aに空荷の資源回収ユニット007aを切り離し、再浮上して海底資源回収ユニット着脱ポート023bにあるすでに海底資源を積載した資源回収ユニット007bをドッキングする。この方式は情報処理の“交替バッファ”の考え方を応用したもので、特段の積荷機構を用いずに、海底資源の収集と積載を海底ブルトーザのみで行える利点がある。資源回収ユニット007bには鉱物収集装置019により採集鉱物010が搭載されているので、ドッキング後海中昇降装置001の浮力タンク003に海底支援装置018の海中昇降ユニット005より水素ガスを注入して浮力を与え、海面に向けて離床させる。

[0043] 図6において鉱物収集装置019は海上司令船016から遠隔操縦する電動ブルトーザであり、地上で動作する機材と同様レベルの30～50トンである。採集した鉱物は鉱物収集装置019がランプウェイ025を上がって海底資源回収ユニット着脱ポート023に設置されている空荷の資源回収ユニット007に投入する。海底支援装置018は海底での移動機能があり、海

底支援装置 018 の海中昇降ユニット 005 内の浮力タンク 003 内の水素ガスを増やして浮力を得て離床し、海中昇降ユニット 005 に設置されている図 14 の大型推進装置 200、中型推進装置 201 により水平方向推進力を得て移動する。この際、鉱物収集装置 019 は電源および操作監視信号を電源信号ケーブル 020 経由（図 6）で海底支援装置 018 より得ているので、海底支援装置 018 の鉱物収集装置輸送ポート 028 に搭載収容して移動する。この際、図 14 に示すようにランプウェイ 025 は海中移動のため上方に跳ね上げる。

[0044] 図 7 は海底支援装置 018 の運用を海中昇降装置 001 に対する着床、積荷搭載、離床の運用の様子を水素ガス充填を含めて図示したものである。図 7（a）は空荷の海中昇降装置 001 が到着して海底資源回収ユニット着脱ポート 023 a にドッキングする局面である。海中昇降装置 001 は図 2（d）で示したようにすべて液体で充填され、全体として比重 1.0 に近い値である。図 7（a）の海底支援装置 018 の海中昇降ユニット 005 の浮力タンクには水素ガス発生装置で生成された水素ガスが蓄積されている。図 7（b）は海中昇降装置 001 が着床して海底支援装置 018 にドッキングした状態である。図 7（c）は空荷の資源回収ユニット 007 を海底資源回収ユニット着脱ポート 023 a に残して離床し、反対側の海底資源回収ユニット着脱ポート 023 b に移動しドッキングする運用を示す。海底資源回収ユニット着脱ポート 023 b には収集鉱物 010 が搭載されている。ドッキングした状態では収集鉱物 010 の分だけ浮上には浮力が不足する。

[0045] 図 7（d）は海底支援装置 018 の海中昇降ユニット 005 の浮力タンク 003 内の水素ガスを海中昇降装置 001 に移送して浮力を与えた状態を示す。この時の運用を図 2（d）から図 2（a）へ移行するプロセスとして述べる。図 2（d）の浮力タンク 003 に水素ガスを上方より純水を押し出しながら注入し、図 2（a）の状態となる。。水素ガスは低温（0℃程度）であり純水には吸収されない。海中昇降ユニット 005 は浮力を獲得したので海面に向けて浮上する。（図 7（e）） 図 7（f）は海中昇降装置 001 離

床後の状態で、海中昇降ユニット005の浮力タンク003内に水素を蓄積する。海底資源回収ユニット着脱ポート023aの資源回収ユニット007に収集鉱物010を蓄積して図7(a)の状態に戻る。

[0046] 図15に海底支援装置018の海底での水平移動と海面への浮上の運用を示す。図15(a)は海底支援装置018の定常運転時を示す。この状態では海底支援装置018が海底に着床静止している必要があり、比重が1.0より大きい必要がある。4基の海中昇降ユニット005を海底支援装置018に設置してあるので、すでに述べた例では、海中昇降ユニット005の浮力タンク003に水素ガスを充填すると合計 $240 \times 4 = 960$ トンの浮力をえることができる。既に述べた例では、鉱物収集装置019が30～50トン、電気分解装置が51トンであるので、海底支援装置プラットフォーム機構027を含む海底支援装置018の水中重量を850トン以下に収めることは比較的容易である。この条件が満たされれば、海底支援装置018を離床させることができ、海面まで浮上させて保守点検を行うことができる。

[0047] 図15(b)は海底支援装置018が離床する時の状態を示す。鉱物収集装置019を搭載し、水素ガス発生装置024を運転して、海中昇降ユニット005の浮力タンク003内の水素ガス量を海底支援装置018全体の比重が1.0になるまで増加させる。その後、図14の大型推進装置200、中型推進装置201を作動させて上方移動と水平移動を行い、目的箇所に着床させる。図15(b)、(c)は比重が1.0の状態を図5の推進装置055の推力により行う。海底に着床した後、比重を1.0より大きくして海底に固定する。図15(d)では水素ガスをトルエン吸収させてMCHとして体積を減少させ、浮力を減少させ比重を1.0以上にする。図15(b)の状態が移動中から着床までである。

[0048] 図15(b)の状態は大型推進装置200、中型推進装置201を駆動して上方に速度を与えると、そのまま海面まで上昇することができる。上昇に伴い水圧が減少するので「IV 揚収の原理」に詳述する制御によりトルエンの水素化の反応を行い、海底支援装置018の比重を1.0に保つ。海底支

援装置 018 であっても海中昇降ユニット 005 の部分は海中昇降装置 001 と同一であるので海中昇降装置 001 と同様の運用を行う。すなわち、図 2 (a) (b) (c) において資源回収ユニット 007、採集鉱物 010 の代わりの荷重となるのが図 5 における海底支援装置プラットフォーム 027、水素ガス発生装置 024、鉱物収集装置 019 および海底支援装置プラットフォーム 027 に付属する機材である。また、図 2 (a) (b) (c) に示すように海面への浮上に伴ってトルエンに水素ガスを吸収させて MCH にする。

[0049] 海中昇降装置 001 および海底支援装置 018 を海底から海面に離床させたり、海底に降下させたり、あるいは海底支援装置 018 を海底より離床させて海底に沿って水平移動させる運用はいずれも比重 1.0 で行われる。移動速度も秒速 1 m 以下であるので、水平移動、姿勢制御および水圧の変動が無視できる範囲の微小な上下動については、制御対象として伝達関数 $1/s$ であらわされる無定位系に近い。この制御を図 14 の大型推進装置 200、中型推進装置 201 で行う。

[0050] 4. 水上船舶

海底の鉱物資源を採取する海域の海上に採取の中核となる基地を水上船舶で設営する必要がある。基地である海上司令船 016 の持つべき機能は下記である。

(1) 母港より、複数の海中昇降装置 001、海底支援装置 018、鉱物収集装置 019、自航式太陽電池展開装置 404 を含む発電設備を搭載して鉱物採集地点に進出して、採集海底の海上に占位し、これら機材を海中および海面に展開し、また海中より自船に誘導し揚収する能力を有する。

(2) 無人水中ロボットにより海底支援装置 018 を設置する適地を探索し、海底支援装置 018 を誘導するための音響マーカートを投下設置する。

(3) 海底資源の存在する太平洋海域の海流の実測値は 1.5 ノット以下であるため、1.5 ノットまでの海流に対して自己位置を正確に保持し続ける。

(4) 海底の資源状態によって位置を変え、長距離であれば展開した機材を揚収した後、新地点で展開する。近距離であれば、海底機材を海底で水平移動させる。

(5) 海中および海面に展開する機材を揚収して保守する。

(6) 海中および海面に展開する機材に電源を供給する。

(7) 海中昇降装置 001、海底支援装置 018 にトルエンと純水を充填して海底に向け沈降させ、海底より揚収した鉱物資源と水素を吸収した MCH を回収する。

(8) 海中昇降装置 001 は頻繁に水上船舶の間で鉱物を運搬して往復するので、積荷の積降が海象の影響を受けずに効率よく行える。

(9) 運搬船よりトルエン、純水の補給を受け、海中昇降装置 001、海底支援装置 018 用に蓄積し、海中昇降装置 001 より回収した MCH と鉱物資源を一時保管したうえで運搬船に積み出す。

(10) 採集鉱物の積載を行う停泊中の運搬船を含め、鉱物資源を採取に関連するすべての機材の運用を管制し、その目的のためのシステムを装備する。

[0051] 4.1 海上司令船

概念図を図 19 に示す。海底から 1 回で 250 トン揚収するシステムを先に試算したが、この場合、海中昇降装置は図 1 の規模となる。海底 5000 m であると、上昇に 1 日かかるので、

1 基の海底支援装置 018 に対して海中昇降装置 001 を 4 基用いて時間差で運用すると、

1 日の収量は約 1000 トン、トルエン所要量 800 立方 m、MCH 収量 1000 立方 m、純水所要量 400 トンとなる。ある程度運搬船は規模の経済性が必要なので、10 日ごとに集積して出荷すると、1, 5～2 万トンクラスの輸送船となる。海底支援装置 018 は長さ 30 m、幅 20 m、高さ 25 m、ドライ重量約 300 トンである。

海上司令船が展開する海域は 0～1.5 ノットの海流があるので、定位置を

維持するために電気推進とするのが好ましい。水素ガス発生の水の電気分解に必要な電力は洋上展開の太陽電池を想定しているが、電気推進であれば電力源として補完的に使用できる。

洋上展開の太陽電池は「V I I I 電力発生装置」で実施例を詳述するが、幅 10 m 長さ 4 k m のリボン状のフレキシブルフィルム状有機物太陽電池をマイクロインバータで厚さ 5 m m の浮体シートにし、ロール状に巻き上げ直径 4 m、長さ 10 m の円筒 100 本にして海上司令船 016 に搭載する。

MCH、トルエンは石油と同様に常温、常圧で輸送できるので、海上司令船 016「との間でホースによる移送と、鉱物資源用のベルトコンベア等による移送ができれば通常の貨物船でよい。この目的のため、司令船 016 に 液体輸送ホースおよびクレーン208、展開型ベルトコンベアおよびクレーン209 を設ける。トルエンタンク203 および純水タンク205は、海中昇降装置001および海底支援装置018に供給するため目的で一時保管用に設け、MCHタンク 204は海中昇降装置001から回収したMCHを運搬船に移送するために一時保管する。鉱石船倉 206は、海中昇降装置001から回収した採集鉱物010を運搬船に移送するために一時保管する。

4.2 運搬船

MCH、トルエンは石油と同様に常温、常圧で輸送できるので、海上司令船との間でホースによる移送と、鉱物資源用のベルトコンベア等による移送があるので通常の貨物船でよい。この目的のため、司令船 016 に 液体輸送ホースおよびクレーン 208、展開型ベルトコンベアおよびクレーン209 を設ける。

[0052] IV 揚収の原理

1. 原理

1.1 水素化反応

海中昇降装置001が海底より採集した採集鉱物010を海面まで持ち上げるには、採集鉱物010の重量に打ち勝つ浮力を付与する必要がある。このため、海底の高圧環境で浮力タンク003に水素ガスを充填する。この浮力により海底を離

床することができるが、上昇につれて水素ガスが膨張する結果、浮力タンク003が密閉状態であれば破壊される。膨張を許せば浮力がさらに増大して上昇が加速する。これを防止するためには余った水素ガスを海中に放出すればよいが、水の電気分解に要したコストを捨ててしまうことになる。これを防止するために、水素ガスを有機ハイドライド法によりトルエンに吸収させ回収し、水素ガスの気体モル数を深度の減少（上昇）に伴い減少させる。このプロセスは制御対象としては発散系である。制御装置による安定化が不可欠で、さらに意図せざる浮力不足、浮力過剰が発生して制御が間に合わなかった場合に対する安全装置も不可欠である。制御系としては上昇速度を遅くすれば安定性は増す。

[0053] 以下に有機ハライド反応を浮力制御に用いる場合の制御特性を記す。
各種変数の定義を下記に行う。

	記号	単位
海中昇降装置機器水中重量	W_S	[kg]
採集鉱物水中重量	W_L	[kg]
トルエン重量	W_T	[kg]
H ₂ 重量(気体)	W_H	[kg]
MCH(メチルシクロヘキサン)重量	W_M	[kg]
H ₂ 容量(気体)	V_H	[L]
トルエン容量(液体)	V_T	[L]
MCH容量(液体)	V_M	[L]
純水または海水容量(液体)	V_W	[L]
深度	z	[m]
海底深度	z_B	[m]
水圧	$P(z)$	[atg]
トルエン密度	ρ_T	[g/cm ³]
MCH(メチルシクロヘキサン)密度	ρ_M	[g/cm ³]
1 モル標準気体容積	m	[L] =22.4

[0054] 定数として下記を使用する。

	分子式	分子量	密度[g/cm ³]	1モル液体体積[cm ³]
水	H ₂ O	μ_W 18	ρ_W 1.0	$v_W = \mu_W / \rho_W$ 18
トルエン	C ₇ H ₈	μ_T 92	ρ_T 0.867	$v_T = \mu_T / \rho_T$ 127.44
MCH	C ₇ H ₁₄	μ_M 98	ρ_M 0.769	$v_C = \mu_M / \rho_M$ 106.01
水素	H ₂	μ_H 2	ρ_H	

[0055] MCHによる浮力は;

$$W_M(z) - V_M(z) \times 10^3 \\ = \mu_M(1/\rho_M - 1) \times (M_H - m_H(z))/3 \times 10^{-3} \quad [\text{kg}]$$

トルエンによる浮力は;

$$W_T(z) - V_T(z) \times 10^3 \\ = \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - (M_H - m_H(z))/3) \times 10^{-3} \quad [\text{kg}]$$

であるので、海中昇降装置 001 の全体としての水中重量 $F(z)$ は

$$F(z) = W_S + (P(z_B) \times V_H(z_B)/m) \times 2 \times 10^{-3} \\ - V_H(z) \\ - \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - (M_H - m_H(z))/3) \times 10^{-3} \\ - \mu_M(1/\rho_M - 1) \times (M_H - m_H(z))/3 \times 10^{-3}$$

深度 z に依存する項としない項を整理して

$$F(z) = W_S + (P(z_B) \times V_H(z_B))/m \times 2 \times 10^{-3} \\ - \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - M_H/3) \times 10^{-3} \\ - \mu_M(1/\rho_M - 1) \times M_H/3 \times 10^{-3} \\ - m_H(z) \times m \times 10^{-2}/z \\ - (\mu_T(1/\rho_T - 1) - \mu_M(1/\rho_M - 1)) m_H(z) \times 10^{-3}$$

[0056] MCHによる浮力は;

$$W_M(z) - V_M(z) \times 10^3 \\ = \mu_M(1/\rho_M - 1) \times (M_H - m_H(z))/3 \times 10^{-3} \quad [\text{kg}]$$

トルエンによる浮力は;

$$W_T(z) - V_T(z) \times 10^3 \\ = \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - (M_H - m_H(z))/3) \times 10^{-3} \quad [\text{kg}]$$

であるので、海中昇降装置 001 の全体としての水中重量 $F(z)$ は

$$F(z) = W_S + (P(z_B) \times V_H(z_B)/m) \times 2 \times 10^{-3} \\ - V_H(z) \\ - \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - (M_H - m_H(z))/3) \times 10^{-3} \\ - \mu_M(1/\rho_M - 1) \times (M_H - m_H(z))/3 \times 10^{-3}$$

深度 z に依存する項としない項を整理して

$$F(z) = W_S + (P(z_B) \times V_H(z_B))/m \times 2 \times 10^{-3} \\ - \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - M_H/3) \times 10^{-3} \\ - \mu_M(1/\rho_M - 1) \times M_H/3 \times 10^{-3} \\ - m_H(z) \times m \times 10^{-2}/z \\ - (\mu_T(1/\rho_T - 1) - \mu_M(1/\rho_M - 1)) m_H(z) \times 10^{-3}$$

上記式の1～3行は定数項、4行目は深度が浅くなると深度に反比例して浮力が増大することを示し、第5行目は、トルエンとMCHの比重の相違による液相での浮力の変化を示す。

[0057] 水素ガスのモル数 M_H と浮力(沈降力)が均衡する深度とは;

$F(z) = 0$ である条件から

$$z = m_H(z) \times 10m / (B - m_H(z) \times ((\mu_T(1/\rho_T - 1) - \mu_M(1/\rho_M - 1)))$$

ただし、 B は下記で与えられる定数。

$$\begin{aligned} B = & W_S \times 10^3 - (P(z_B) \times V_H(z_B)) / m \times 2 \\ & + \mu_T(1/\rho_T - 1) \times (M_T - M_H/3) \\ & + \mu_M(1/\rho_M - 1) \times M_H/3 \end{aligned}$$

$m_H(z)$ トルエンによる水素ガス吸収反応により減少した水素ガスのモル数であり、海中昇降装置001が深度 z のとき内外圧が等しくかつ浮力(沈降力)が均衡する。

[0058]

1. 2 水圧変化への対応

海底より海中昇降装置001が上昇すると、水中圧力は低下する。水素ガス吸収反応による水素ガス減少を水中圧力の低下と同期させることにより海中昇降装置001に圧力応力をかけずに海面まで上昇させることができる。

図13は図2(b)に示す上昇中の海中昇降装置001のに対応する配管系統図である。

図20(a)は深度と浮力タンク中の水素ガスのモル数の関係を示した図である。

浮力タンク003内の水素ガスを「IV 1. 1 水素化反応」によりトルエンに吸収させて減少することにより気圧を低下させ、水圧とほぼ等しい状態と、比重1.0近辺を維持しながら浮上するのが本発明になる浮力制御であるが、反応器の運転温度が約200℃の場合、ほぼ100%トルエンに吸収されるため、水素ガスの体積が一定の場合、ボイル・シャルルの法則により、浮力タンク内の圧力 P_H は水素ガスモル数(Mol)に比例するので、水素ガスモル数(Mol)は、図20(a)に示すように反応器運転時間(t :横軸)とともに海底 P_B から海面の1気圧まで直線的に減少する。

[0059] 水圧 P_W は、 $P_W(z) = z/10$ により水深 z に比例するが、浮力タンク内の圧力 P_H =水圧 P_W の場合以外は浮力タンクの外壁に圧力がかかり、一定限界を超えると破壊される。したがって、浮力タンク内の圧力 P_H =水圧 P_W の近傍を維持しながら海底から海面まで浮上させる必要がある。

比重が 1.0（正確には周囲の海水比重と同じ）であれば浮力が重力と均衡しており、推進装置が停止していれば、上下の推力の発生がなく ($F=0$) 海中に静止する。浮力タンクの圧力 (P_H) と海水圧 (P_W) が等しければ、浮力タンクの外壁に圧力がかからない。この状態を平衡状態と呼ぶ。反応器が停止状態で水素化反応が行われていなければ、平衡状態は継続する。

平衡状態の近傍では、 $F > 0$ で沈下、 $F < 0$ で浮上、 $F = 0$ で静止となる。

1. V_2, V_8, V_7 を閉鎖して浮力タンクの水素ガス体積を一定に保った場合、

(1) 平衡状態で、 F がわずかに + となると沈下し、海水圧 (P_W) が増加する。浮力は変わらないので沈下は継続し、浮力タンクの圧力 (P_H) と海水圧 (P_W) の差が増大し、浮力タンクが破壊される。

(2) 平衡状態で、 F がわずかに - となると浮上し、海水圧 (P_W) が減少する。浮力は変わらないので浮上は継続し、浮力タンクの圧力 (P_H) と海水圧 (P_W) の差が増大し、浮力タンクが破壊される。

2. V_2, V_8, V_7 を解放して浮力タンクの水素ガス圧力 (P_H) を海水圧 (P_W) と等しく保った場合、

(1) 平衡状態で、 F がわずかに + となると、海水圧 (P_W) が増加し、その結果、水素ガス体積 V は減少するので、 F は増大し浮力タンクは破壊されないが沈下は加速する。

(2) 平衡状態で、 F がわずかに - となると、海水圧 (P_W) が減少し、その結果、水素ガス体積 V は増大するので、 F は減少し浮力タンクは破壊されないが浮上は加速する。

上記 1. (1) (2) および 2. (1) (2) は平衡点の周りで不安定系であることを示すので、制御系を用いて系を安定化し、さらに安全系により緊急事態での機材の損失を防止する。

[0060] 1. 3 揚収制御の構成と特性

制御系を構成する場合に重要なことは、制御に必要な状態変数を必要な精度で計測可能であることである。平衡点近傍は制御系として不安定であるので

、制御に必要な状態変数とその時間変化を計測する必要がある。浮上速度は水素化反応器の能力により制約される。水素吸収反応器として現時点で利用できる設計では、前記設計例の5000mの海底から海面まで揚収する場合、平均速度は5.5 cm/秒となる。反応能力を2倍にしても11 cm/秒である。

時間変化を含めて有意な測定として、速度変化1%を検出するためには、深度に対しては、最深の5000mに対して0.055 cmの精度要求となり、 $1/100000000$ の精度が必要となる。水圧についても深度と線形関係があるので、同一の精度要求となる。この精度要求は実現不可能であり、深度または水圧の絶対値を用いた制御系は構成できない。（無理に使用するとノイズにより制御系が発散する。）

[0061] このため、実用的な、有意な測定値として、浮力タンクの圧力 (P_H) と海水圧 (P_W) の差である P_D を用いる。すなわち、

$$P_D = P_H - P_W$$

$$d P_D / dt = d(P_H - P_W) / dt$$

P_D であればフルスケールで ± 1 (atg) あれば十分であるので $1/100000$ の精度でよく、実現性がある。 P_D を用いた制御系の安定性を示したのが、図20(b)である。

ここで、 P_{DLIM} を浮力タンクの破壊限界圧力と定義する。

$$P_D < -P_{DLIM}$$

$$P_D > P_{DLIM}$$

は図20(b)で図示するように破壊領域となり、これを避ける。

[0062] 図20(b)において、 $P_D > 0$ $d P_D / dt > 0$ (ハッチ領域(1)) とは、浮力タンク圧が海水より高く、この傾向が増大していることを示す。浮力タンクの内外圧差を減少させようとして水素ガス容積を膨張させて増加させると浮力が増大して浮上速度が増大し、さらに浮力タンクの内外圧差が増大して発散制御となる。(比重は1.0を維持のとき)

図20(b)において、 $P_D < 0$ $d P_D / dt < 0$ (ハッチ領域(2)) とは

、 浮力タンク圧が海水より低く、この傾向が減少していることを示す。浮力タンクの内外圧差を減少させようとして水素ガス容積を圧縮させて減少させると浮力が減少して沈降速度が増大し、さらに浮力タンクの内外圧差が増大して発散制御となる。（比重は 1.0 を維持のとき）

[0063] 図 20 (b) において、 $P_D < 0$ $dP_D/dt > 0$ （領域 (3)）とは、浮力タンク圧が海水より低く、この傾向が減少していることを示す。浮力タンクの内外圧差は時間とともに減少し浮力タンクの内外圧差は 0 になり、安定領域である。（比重は 1.0 を維持のとき）

図 20 (b) において、 $P_D > 0$ $dP_D/dt < 0$ （領域 (4)）とは、浮力タンク圧が海水より高く、この傾向が減少していることを示す。浮力タンクの内外圧差は時間とともに減少し浮力タンクの内外圧差は 0 になり、安定領域である。（比重は 1.0 を維持のとき）

[0064] 浮力制御においては、浮力タンク 003 の破壊（圧壊）を避けるために P_D を制御する

浮力タンクの圧力は MCH 生成に伴い減少するので、浮力タンクの内外圧差 P_D を 0 にする制御をおこなえば自動的に海面まで浮上する。推進装置により浮上／降下速度を制御して浮力タンクの内外圧差 P_D を減少させる制御を行う。

制御系の特徴は下記である。

(1) 浮上速度は水素吸収反応器の性能制約から 5.5 cm ~ 10 cm / 秒と微速である。

(2) 海中昇降装置 001 は微速であり、形状的に抵抗が小さく質量が大きい。比重が 1.0 であるので制御系として無定位系として扱ってよい。このため推進装置による浮上方向／降下方向の加速は永久運動として近似できる。（実際は時定数の長い減衰運動）

水素吸収反応による浮力タンクの圧力低下を打ち消すように推進器による浮上方向／降下方向の加速をおこない、浮力タンクの圧力に等しい水圧の深度と深度変化率を実現する。

ただし、海中昇降装置 001 は浮上の過程でトルエンが水素ガスを吸収して MCH

に変化する。海中昇降装置001全体の比重は変わらないが、MCHはトルエンに比べて比重が低いため増容する。この分浮力タンク003中の水素ガス体積を減少させて浮力を一定にする制御を浮上中の微調整として行い、浮力タンクの水素ガス体積を減容するために、ポンプ・弁制御により浮力タンクに海水の注水を行う。

[0065] 上記記述した制御アルゴリズムをブロックダイアグラムで示したのが図 2 1 である。

測定プロセス変数は実用的に測定できる下記の P_D および $d P_D/dt$ のみで構成している。

$$P_D(t) = P_H(t) - P_W(t)$$

$$d P_D(t)/dt = d(P_H(t) - P_W(t))/dt$$

上記 2 変数は時間に関する連続系表記であるが、制御アルゴリズムではサンプル値として離散値制御系を構成する。

図 2 1 において浮力制御系は、水素吸収反応制御系224、推進機制御系223、および緊急制御系221と、これらを統括する制御マスタ220より構成される。水素吸収反応制御系224は、水素ガス有機ハイドライド反応として公然実施されている反応を定常的に継続させるための制御であり、図 1 2 の水素ガス吸収反応器の反応制御を行う。浮力タンク003内の水素ガスは配管1 040を通して熱交換器037に投入される。熱交換器037には配管2 041を通して液体タンク004 よりトルエンが投入され、さらに配管3 042を通して冷却器038で回収された未反応の水素ガスが投入される。これらは多管式固定床型触媒反応器036から排出される高温のMCHと水素の混合ガスと熱交換して加熱後、配管4 043を経由して多管式固定床型触媒反応器036に投入され水素ガス有機ハイドライド反応によりトルエンに水素ガスを吸着させる。水素ガス有機ハイドライド反応は平衡反応であり、400℃以下、10気圧以上でMCHに変化することが知れていて、高圧のほうが反応が進むので深海底からの浮上過程は良い環境である。

多管式固定床型触媒反応器036の各反応管の内部には、 Pt / Al_2O_3 (Φ

3 mmペレット)が充てんされていて、配管4 043より注入されたトルエンと水素ガスはMCHと水素ガスの混合体となり配管5 044より排出され、熱交換器037に導かれ、多管式固定床型触媒反応器036に投入されるトルエンと水素ガスの混合体と熱交換する。熱交換されたMCHとトルエンの混合体は冷却器038に導かれ冷却管039にスプレーされた結果、冷却管039で冷やされMCHドレイン029として冷却器038の底にたまり配管7 047を経て液体タンク004のMCH区画（図13区画2）に導かれる。水素ガス吸収反応器260では図12に於いてトルエン流量、反応器温度を制御して安定的な反応を維持する。

[0066] 多管式固定床型触媒反応器036の反応は継続的に行われ、図20(a) 深度／モル数関係図

に示されるように水素ガスのモル数は時間とともに減少する。減少するモル数に対応して一定体積を維持して水圧と等しい浮力タンク003内圧力を保つには海中昇降装置001を浮上させて、浮力タンク003内圧力と等しい水圧の水深にすることである。水素ガスの有機ハイドライド反応に見合う水深変化は5～10cm/秒の微速であるため、推進器制御系253により、海中昇降装置001の周囲に設置された推進装置055により推進力を得て $P_D(t) = 0$ となる $dP_D(t)/dt$ を制御する。推進装置055は、図24(a)に示すように海中昇降装置001の上部および下部に図24(b)に示すよう同心円状に配置される。各推進装置055は円筒状のノズル内にモーター057駆動のスクリュー057が設置され回転方向と回転速度によりジェット水流を発生して水力を得る。推進器特性226はモーター制御でよく知られた一次遅れ特性であり、運動特性261は海中昇降装置001の重量と抵抗の少ない形状、および海水抵抗がきわめて小さい微速であり、比重が1であることから、伝達特性が1/sである無定位系に近い制御となる。このような制御は宇宙空間での姿勢制御でよく知られている。運動特性261により、海中昇降装置001の深度が変わり、水圧特性263により、水圧 P_w が決まる。水素ガス吸収反応器260により減少したモル数に対応した浮力タンク圧力 P_H との差がなくなるように推進器個別制御量計算論理253で推進器を制御する。推進器制御系223は図23(a)に示すようによく知られたPID制御

系または、パラメタ変動のある無定位系であることを考慮したロバスト制御系を用いる。

有機ハイドライド反応の進行によりトルエンがMCHに変化すると、MCHの比重がトルエンより軽いため、海中昇降装置001の密閉重量は不変でも水素ガス体積はわずかではあるが減少する。しかし海中昇降装置001の密閉重量は不変であるので比重は不変であり、浮力タンク圧力 P_H と海水圧 P_W の差を解消する制御を行えば海面に到達する。

[0067] 図21の統括制御254は揚収制御系の全体を統括する機能を有し、図20(b)の発散領域、破壊領域に海中昇降装置001が入らないよう制御を行う。図22は制御マスタ220の機能を示し、処理ブロック500で浮力タンク003の内外圧力差が破壊領域に入ると緊急制御267を実施する。緊急制御267は図23(b)(c)(d)に示すように浮力タンク003が圧力過多の場合は水素ガス放出制御(処理ブロック506)を行い、圧力過小の場合はバラスト放出制御(処理ブロック507)および水素ガス吸収反応抑制制御(処理ブロック528)を行う。の統括制御254の機能は図20(b)に対応したもので、 P_D およびその変化に対応して図22の処理を行う。処理ブロック500では図20(b)の破壊領域にいる場合の対応であり、破壊の危険があるため処理ブロック502の緊急制御で圧力過多の場合は処理ブロック503で水素ガス放出制御を行い圧力過多を解消する。圧力過小の場合とは浮力が不足して上昇が有機ハイドライド反応に追いついていないことを意味するので、バラストないし積み荷を一部投棄し、水素ガス吸収反応抑制制御(処理ブロック528)を行い、浮力を回復させる。処理ブロック501の処理は、図(b)の(1)(2)(3)(4)の各領域に対応した制御である。

[0068] 処理ブロック503は領域(3)(4)に対応した制御であり、圧力偏差があっても制限範囲内で偏差が減少方向である。この場合は通常のPID制御ないしロバスト制御による推進力制御(処理ブロック503)を実行する。領域(1)発散浮上は、浮上を抑制しないと発散するが、処理ブロック504で降下推進力が働きかつ圧力過多が減少過程にある場合は正常復帰過程であるので推進

力制御503を継続する。圧力過多が増加過程にある場合は異常過程であるので水素ガス放出を行う。（処理ブロック506）

領域（２）の発散沈降は、沈降を抑制しないと発散するが、処理ブロック505で上昇推進力が働きかつ圧力過少が減少過程にある場合は正常復帰過程であるので推進力制御503を継続する。圧力過少が増加過程にある場合は異常過程であるのでバラスとないし積み荷一部投下と水素ガス吸収反応抑制制御を行う。（処理ブロック507, 508）

[0069] 図２は浮上過程の海中昇降装置001の状態を示した図で、（a）上昇開始では浮力タンク003に水素ガスを海底水圧と同一圧力で充填し、液体タンク004にトルエンを充填する。採集鉱物010は資源回収ユニット007に搭載する。液体タンク004の下部の余剰部分には隔膜030を隔てて海水を充填する。この状態で比重１．０に調整する。（b）上昇中では、浮力タンク003の水素ガスがトルエンに吸収されてMCHとなる。MCHはトルエンより軽いので隔膜030を隔てて液体タンク004の上部に充填する。水素ガス吸収によりトルエンがMCHとなると増容するので浮力タンクの下部にも余剰MCHを入れてもよい。浮力タンクには高圧水素ガスがあるがMCHは反応しない。（c）上昇終了は海面到達時の状態である。浮力タンク003の水素ガスは1気圧になり、残りはMCHに吸収された。

[0070] V 海中昇降装置

1 制御系

（１） 目的と機能

制御する対象は海中昇降装置001と海底支援装置018であるが、海底支援装置018については、海中昇降装置001の複合系として扱え、制御としても海面への浮上時に海上司令船018近辺に位置制御する必要と、海底着床時に機材が破損しない降着速度を実現する必要があるが、海中昇降装置001ほどの精度を要しないので、以下、海中昇降装置001について詳述し、海底支援装置018については海中昇降装置001の延長として「VI 海底支援装置

」の章で説明する。海中昇降装置001は海面の海上司令船018と海底支援装置018の間を往復するための制御として下記3モードが存在する。

(a) 位置速度制御

a. 1 深度制御

「IV 揚収の原理」の項で述べた、揚収時の水素ガス吸収反応に伴う圧力要件を満足させるために鉛直方向（z軸）の速度および深度を最優先で制御する。

降下時は、水素吸収反応は停止しているためZ軸（鉛直）の速度要件はない。降下は海面出発時に海中昇降装置001内に気体を含ませず、比重を1.0に設定すれば推進装置005で初期降下速度を与えれば、海水抵抗を打ち消す推進を行うだけで、一定速度で海底に近接する。海底近接後は、ランデブー制御により海底支援装置にドッキングする。

[0071] a. 2 移動制御

一方、海底支援装置018の設置位置は海上司令船018の直下ではないため、浮上および降下時に水平方向の位置を変更する必要がある、Z軸方向の深度制御に加え、航法系の指令に基づき水平（XY軸）方向速度成分を制御する。

XY軸の位置制御は海面で司令船の位置に到達（終端位置制御）できればよく途中の制約はない。XY軸の速度制御は海流に対抗する以外は制約はない。

(b) 姿勢制御

海中昇降装置001は水素ガス吸収反応器005を中央部に設置し、かつ軸方向に層状に比重の異なる流体を充填しているため、浮上時には、軸方向が鉛直方向（Z軸）と一定値以上ずれると水素ガス有機ハライド反応の安定した運転ができなくなるので、Z軸方向が鉛直方向と一定値（たとえば5°）以上偏差が出ないように姿勢制御を行う。降下時は、水素ガス有機ハライド反応を行わないため、姿勢に対する制約は小さい。

Z軸周りの回転については接続ケーブルが絡み合うことを防ぐため1回転以上行わないように制限する。

[0072] (c) ランデブー制御

海底降着時には海底支援装置018の指定箇所にドッキングする必要がある、位置において1 cm以下、速度において数 cm/秒の精度で、終端位置誤差ゼロ、終端姿勢誤差ゼロの精密制御を行う必要がある。ランデブー制御は空荷での海底降下着床時に行われ、水素ガス有機ハライド反応が行われていないため、鉛直方向の速度および深度に関する制約はない。

浮上時に海上司令船018に帰着する際も指定箇所（海上司令船016のムーンプール307）にドッキングする必要がある、終端位置誤差ゼロ、終端姿勢誤差ゼロ、終端速度ゼロの精密制御を行う。海面到着時は、海中昇降装置001の内圧、周囲海水圧が大気圧に近く、水素ガス有機ハライド反応が行われていないため鉛直方向の速度および深度に関する制御制約がない。

ランデブー制御では鉛直方向の速度および深度に関する制御制約を外して、位置及び速度の精密制御が行える。

[0073] (2) 動特性と推進装置

トルエンの水素化反応速度により、海面までの浮上速度は10cm/秒を超えず、水平方向速度は最大2ノットの潮流に対抗できるように約100 cm/秒としている。

推進機構としては図24 海中昇降装置の推進装置055に示すように、水中潜航装置で実績のある可変速度スクリュウ駆動の水流発生装置を用いる。海中昇降装置001は流体抵抗を小さくし、かつ軽量化と強度維持、加工の容易化を目的として、形状はZ軸に回転対称であり、上下対称である。従って流体抵抗の中心は図24で軸方向の midpoint C である。重心は液体構成および、機器配置により midpoint C より L_g だけ低い重心 G となる。

推進装置055は図24 (a) (b) に示すように海中昇降装置001の上部外周と下部外周に等間隔で配置され、モーター057の可変速制御により推力ベクトルを発生することができる。

[0074] 図25～27は海中昇降装置001の動特性を説明するための図である。

図 2 5 (a) は、海中昇降装置 0 0 1 の動特性を記述するための記号体系を示したものであり、浮力の中心 G_{051} は海中昇降装置 0 0 1 の中心軸 Z_{048} の中点に存在する。推進装置 055 は中心軸 Z_{048} の中点より L_t の距離にある上部推進面 059 および下部推進面 060 に配置されている。

海中昇降装置 0 0 1 の制御は位置速度制御と姿勢制御を共通の推進装置 055 で行う。海中昇降装置 0 0 1 の動特性表現は図 2 6 (a) 基準座標系と (b) 姿勢座標系で行う。基準座標系は基準座標 Z 軸 068 を鉛直線とし、基準座標 X 軸 066 を東西方向、基準座標 Y 軸 067 を南北方向とし位置速度制御に用いる。

図 2 6 (b) は海中昇降装置中心軸 069 を姿勢座標 Z 軸 072 とし、海中昇降装置 0 0 1 に固有の座標として姿勢座標 X 軸 070 と姿勢座標 Y 軸 071 を定義し、姿勢制御に用いる。

[0075] 制御系は下記手順で構成する。

a. 位置速度制御系と姿勢制御系を分離する。

位置および速度は基準座標系上での重心の移動で表現し、位置速度制御は重心 G_{053} の位置速度を制御し、姿勢の変化を伴わない。姿勢制御は、図 2 6 (b) の姿勢座標 070 ~ 072 に対して、ピッチ角 073、ヨー角 074、ロール角 075 を重心 G_{053} を座標系の原点として制御する。姿勢制御は重心 G_{053} の移動を伴わない。

[0076] 位置速度制御系と姿勢制御系の分離は、海中昇降装置 0 0 1 の各種の運用フェーズで異なった制御目標を実現するため、位置速度制御系と姿勢制御系の制御パラメタを個別に変更することにより対応するためである。

b. 姿勢制御はランデブー制御時に高精度な制御を求められるため、特異点が発生しないクオタニオンを用い、制御安定性のよいロバスト制御としてバックステッピング法を適用する。(非特許文献 7, 8)

c. 位置速度制御と姿勢制御に共通の推進装置 055 に対して両系からの推力指令を合算する。

位置速度制御の目標値は浮上のための圧力制御と目標地点到達のための航法制御系から与えられる。姿勢制御の目標値は浮上中は水素ハイドライド反応

安定化のために中心軸Z 048の鉛直方向維持であり、ドッキング制御時にはドッキング対象に対する姿勢一致化である。位置速度制御および姿勢制御は共通の推進装置055を用いて行うため、各制御を独立して実施するために各推進装置055の推力が満たすべき条件を求めたうえで、各推進装置055の推力要求値を加算する。

[0077] (a) 位置速度制御

図25(b)は位置速度制御において海中昇降装置001に働く力を示す。位置速度制御の目標は重心G 053に対して合成移動推力T 064のみを発生させて、一切の回転トルクを発生させないことである。各推進装置055は図24(a)において中心軸Z 048と直交する平面である上部推進面059、および下部推進面060の外周部に設置されており、各推進装置055はそれぞれ、上部推進面059および下部推進面060に対して上部推進面移動推力 T_U 062および下部推進面移動推力 T_L 063を発生させる。このためには(数001)の関係があればよい。以下、太字イタリックスはベクトルおよび行列を示す。

[数001]

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = \mathbf{T}_U + \mathbf{T}_L$$

$$\text{ただし、} \mathbf{T}_U = \begin{bmatrix} T_{Ux} \\ T_{Uy} \\ T_{Uz} \end{bmatrix} = T_U \mathbf{I}_b$$

$$\mathbf{T}_L = \begin{bmatrix} T_{Lx} \\ T_{Ly} \\ T_{Lz} \end{bmatrix} = T_L \mathbf{I}_b$$

$$\mathbf{T} = T \mathbf{I}_b$$

ここで、 $\mathbf{I}_b$ は $\mathbf{T}$ の方向を示す単位ベクトルである。

[0078] 上部推進面059、および下部推進面060に対して各推進装置055が与える推力は $\mathbf{T}$ に対比して水抵抗065を打ち消すものでなくてはならない。水抵抗065は海中昇降装置001の形状の中心である浮力の中心C 051に作用するから回転トルクを発生させない。実際の推力を $\mathbf{T}$ 、水抵抗065を打ち消すための推進力を $\mathbf{T}'$ 、とすると、図25(b)において(数002)が成り立つ。

[数002]

$$T_U = T'_U - \frac{R}{2}$$

$$T_L = T'_L - \frac{R}{2}$$

$$T = T_U + T_L$$

$$T' = T'_U + T'_L$$

$$R = a(V)T \quad R \text{は水抵抗であり、移動速度 } V \text{の関数である。}$$

上部推進面059、および下部推進面060に対して重心Gに対する回転を生じさせない条件より（数003）が得られる。

[0079] [数003]

$$(L_t + L_g)T_U = (L_t - L_g)T_L$$

$$T_L = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{L_g}{L_t}\right) T$$

$$T_U = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L_g}{L_t}\right) T$$

$$T'_L = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{L_g}{L_t}\right) T + \frac{R}{2}$$

$$T'_U = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L_g}{L_t}\right) T + \frac{R}{2}$$

ここで、 T'_L および T'_U は水抵抗Rを考慮した上部推進面059、および下部推進面060に対する所要推進力である。

[0080] 次に、図28で推進力 T_L 、 T_U が上部推進面059および下部推進面060に対する回転トルクを生じない条件を求める。図28（b）（c）に示すように上部推進面合成推力 T_L および下部推進面合成推力 T_U はそれぞれ各推進面外周で海中昇降装置001の接線方向に推進力を持つ推進装置055による推力 $T_{U0} \sim T_{U7}$ 080～087、および推力 $T_{L0} \sim T_{L7}$ 088～095の合力として得られる。

図28（b）の座標系は機体座標系であり、ロール角は自由に変更できるので一般性を失わずに推力 $T_{U0} \sim T_{U3}$ 080～083 および $T_{L0} \sim T_{L3}$ 088～091 の発生点を X_b 軸上、 Y_b 軸上とした。

[数004]

$$T_{Ui} = \begin{bmatrix} T_{Uix} \\ T_{Uiy} \\ T_{Uiz} \end{bmatrix} \quad T_{Li} = \begin{bmatrix} T_{Lix} \\ T_{Liy} \\ T_{Liz} \end{bmatrix} \quad i = 0, 7$$

$$T_{U0} = \begin{bmatrix} 0 \\ T_{U0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{U1} = \begin{bmatrix} T_{U1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{U2} = \begin{bmatrix} 0 \\ T_{U2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{U3} = \begin{bmatrix} T_{U3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$T_{U4} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{U4} \end{bmatrix} \quad T_{U5} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{U5} \end{bmatrix} \quad T_{U6} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{U6} \end{bmatrix} \quad T_{U7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{U7} \end{bmatrix}$$

$$T_{L0} = \begin{bmatrix} 0 \\ T_{L0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{L1} = \begin{bmatrix} T_{L1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{L2} = \begin{bmatrix} 0 \\ T_{L2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{L3} = \begin{bmatrix} T_{L3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$T_{L4} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{L4} \end{bmatrix} \quad T_{L5} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{L5} \end{bmatrix} \quad T_{L6} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{L6} \end{bmatrix} \quad T_{L7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{L7} \end{bmatrix}$$

$$-T_{\max} < T_{Ui} < T_{\max} \quad -T_{\max} < T_{Li} < T_{\max} \quad i = 0, 7$$

[0081] 推進面に回転トルクを発生させない条件は図28(b)(c)より(数005)である。

[数005]

$$T_{U0} = T_{U2} \quad T_{U1} = T_{U3} \quad T_{U4} = T_{U6} \quad T_{U5} = T_{U7}$$

$$T_{L0} = T_{L2} \quad T_{L1} = T_{L3} \quad T_{L4} = T_{L6} \quad T_{L5} = T_{L7}$$

推進面合成推力 T_U 062 は推力 T_{U_i} $i=0,7$ の合計であり、

推進面合成推力 T_L 063 は推力 T_{L_i} $i=0,7$ の合計である。

推進面に回転トルクを発生させない条件より(数006)が得られる。

[数006]

$$T_U = \begin{bmatrix} T_{Ux} \\ T_{Uy} \\ T_{Uz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{U1} + T_{U3} \\ T_{U0} + T_{U2} \\ T_{U4} + T_{U5} + T_{U6} + T_{U7} \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} T_{U1} \\ T_{U0} \\ T_{U4} + T_{U5} \end{bmatrix}$$

$$T_L = \begin{bmatrix} T_{Lx} \\ T_{Ly} \\ T_{Lz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{L1} + T_{L3} \\ T_{L0} + T_{L2} \\ T_{L4} + T_{L5} + T_{L6} + T_{L7} \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} T_{L1} \\ T_{L0} \\ T_{L4} + T_{L5} \end{bmatrix}$$

(数003)の結果より、重心G 053に対して回転トルクを発生させないための推力(数007)が求まる。

[数007]

$$T'_L = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{L_g}{L_t}\right) T + \frac{R}{2} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{L_g}{L_t} + r\right) \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} T_{L1} \\ T_{L0} \\ T_{L4} + T_{L5} \end{bmatrix}$$

$$T'_U = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L_g}{L_t}\right) T + \frac{R}{2} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L_g}{L_t} + r\right) \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} T_{U1} \\ T_{U0} \\ T_{U4} + T_{U5} \end{bmatrix}$$

[0082] 海中昇降装置 001、および海底支援装置018は比重 1.0 近辺に保たれており、移動速度が 0.1 ～ 1 m/秒できわめて低速であり、低抵抗の対称形状であるが、x 軸、y 軸、z 軸方向の移動に関しては、速度に比例する水抵抗を受ける。R は水抵抗係数で運動方程式は（数 008）で表現できる。

[数008]

$$T(t) = M\ddot{X}(t) + R\dot{X}(t)$$

ここで、M は海中昇降装置 001 の質量、R は抵抗係数、X(t) は重心 G 053 の基準座標系（図 26（a））での位置を示す。T(t) は海中昇降装置 001 に対する航法制御系および浮上制御系から求められる基準座標系における推力である。

（数 008）の動特性は無定位制御系で不安定系あり、制御対象としては、資源回収ユニット 007 内の荷重のばらつき、海中昇降装置 001 内部液体境界面の振動、水素ハイドライド反応の進行による重心の変化、海流の存在、速度の 1 次関数とした水流抵抗の誤差、等の非線形性、不確定事象があるので、（数 009）の誤差関数に対して、ローバスタ性の強い H_∞ 制御系として構成する。

H_∞ 制御系の構成例は 3 次元空間の無定位系に関するより高度な例として（非特許文献 9）があり、当業者においては公然実施の技術である。

[数009]

$$\int \left(W(t) - W_T(t) \right)^T A \left(W(t) - W_T(t) \right) dt \rightarrow \text{最小化となる } T(t) \text{ を求めればよい}$$

$$\text{ただし、} \quad W(t) = \begin{bmatrix} X(t) & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \dot{X}(t) \end{bmatrix}$$

$$W_T(t) = \begin{bmatrix} X_T(t) & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \dot{X}_T(t) \end{bmatrix}$$

A は対角成分が $a_{ii} > 0 \quad i=0,5$ である 6×6 定数行列である。

(数009)における $W_T(t)$, $X_T(t)$ における右下添え字は目標値を示し、右上添え字は転置行列を示す。

[0083] (b) 姿勢制御

図26 (a) (b) 重心 G_{053} を原点とする基準座標系と姿勢座標系により姿勢制御を行う。

[数010]

クオタニオン q, p を(数010)で定義する

クオタニオン q, p を下記定義する

$$q = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k = [q_0 \quad q_1 \quad q_2 \quad q_3]^T$$

$$p = p_0 + p_1 i + p_2 j + p_3 k = [p_0 \quad p_1 \quad p_2 \quad p_3]^T$$

$$q + p = [q_0 + p_0 \quad q_1 + p_1 \quad q_2 + p_2 \quad q_3 + p_3]^T \quad \text{加算}$$

$$q - p = [q_0 - p_0 \quad q_1 - p_1 \quad q_2 - p_2 \quad q_3 - p_3]^T \quad \text{減算}$$

$$q \otimes p = D(q)p = \begin{bmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \quad \text{乗算}$$

$$q^* = q_0 - q_1 i - q_2 j - q_3 k = [q_0 \quad -q_1 \quad -q_2 \quad -q_3]^T \quad \text{共役クオタニオン}$$

$$q^* = q^{-1} \quad \text{逆クオタニオン}$$

[0084] 図26において基準座標系で機体姿勢を示すクオタニオンを

とすると、その時間微分は(数0

11)となる。

[数011]

図26において基準座標系で機体姿勢を示すクオタニオンを q_r^b とすると、その時間微分は下記となる。

$$\dot{q}_r^b = \frac{1}{2} D(q_r^b) \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_b \end{bmatrix} \quad \text{ここで、}\omega_b\text{は機体座標系の3軸角速度}$$

(数012)の慣性行列 J を定義すると(数012)第2式で運動方程式が定義される。 T は機体にかかる外力トルクである。

[数012]

$$J = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}$$

$$J\dot{\omega}_b = -S(\omega_b)J\omega_b + T$$

$$S(\omega_b) = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{bz} & \omega_{by} \\ \omega_{bz} & 0 & -\omega_{bx} \\ -\omega_{by} & \omega_{bx} & 0 \end{bmatrix}$$

[0085] 目標姿勢を表すクオタニオンを q_d 目標姿勢と現在姿勢の間のクオタニオン誤差を q_e とすると現在の姿勢 q_r^b との間に（数013）の関係があり、これを解くと（数014）が得られる。

[数013]

$$q_d = q_e \otimes q_r^b$$

[数014]

$$q_e = q_d \otimes q_r^{b-1} = q_d \otimes q_r^{b*}$$

ここで、逆クオタニオン q_r^{b-1} は共役クオタニオン q_r^{b*} に等しいことを用いた。

目標姿勢を表すクオタニオンを q_d と現在の姿勢 q_r^b が同じであると、

$q_e = [\pm 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ とすることと機体姿勢を目標姿勢に追従させることは等価となる。

いま、次のようなベクトル x を考え、

$$x = [1 - q_{e0} \ q_{e1} \ q_{e2} \ q_{e3}]^T$$

x の微分を求めると（数015）となる。

[0086] [数015]

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \begin{bmatrix} -1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix} \dot{q}_e = \begin{bmatrix} -1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix} (\dot{q}_d \otimes q_r^{b*}) \\ &= \begin{bmatrix} -1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix} \times \frac{1}{2} D(q_d) \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & -I_{3 \times 3} \end{bmatrix} D(q_r^b) \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_b \end{bmatrix} \end{aligned}$$

ここで、（数016）とおけば、

[数016]

$$G^T = \begin{bmatrix} -1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix} \times \frac{1}{2} D(q_d) \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & -I_{3 \times 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -q_{r1}^b & -q_{r2}^b & -q_{r3}^b \\ q_{r0}^b & -q_{r3}^b & q_{r2}^b \\ q_{r3}^b & q_{r0}^b & -q_{r1}^b \\ -q_{r2}^b & q_{r1}^b & q_{r0}^b \end{bmatrix}$$

[0087] （数015）は（数017）と表すことができる。

[数017]

$$\dot{x} = \frac{1}{2} G^T \omega_b$$

(数017) に対するリアプノフ関数の候補を (数018) とする。

[数018]

$$V_1(x) = x^T x$$

$$\dot{V}_1(x) = 2x^T \dot{x} = x^T G^T \omega_b$$

[0088] ここで、(数019) なるxに関する安定化フィードバック則を与えると、(数020) が成り立ち

[数019]

$$\omega_b = \alpha_1(x) = -K_1 Gx$$

[数020]

$$\dot{V}_1(x) = -x^T G^T K_1 Gx$$

$K_1 > 0$ とすれば $\dot{V}_1(x) < 0$ となり、 $\dot{x} = \frac{1}{2} G^T \omega_b$ の原点における漸近安定性が補償される。

ω_b が α_1 に追従するために $z_1 = \omega - \alpha_1$ なる変数 z_1 を用いると (数017)(数018)は(数021)となる。

[数021]

$$\dot{x} = \frac{1}{2} G^T (\alpha_1 + z_1) = \frac{1}{2} G^T K_1 Gx + \frac{1}{2} G^T z_1$$

$$\dot{V}_1(x) = -x^T G^T K_1 Gx + x^T G^T z_1$$

[0089] (数012)の $J\dot{\omega}_b = -S(\omega_b)J\omega_b + T$ を用いれば(数022)が成り立ち、

[数022]

$$J\dot{z}_1 = J\dot{\omega}_b - J\dot{\alpha}_1 = -S(\omega_b)J\omega_b + T - J\dot{\alpha}_1$$

リアプノフ関数の候補 $V_2(x, z_1)$ およびその時間微分は(数023)となる。

[数023]

$$V_2(x, z_1) = V_1(x) + \frac{1}{2} z_1^T J z_1$$

$$\dot{V}_2(x, z_1) = \dot{V}_1(x) + z_1^T J \dot{z}_1$$

$$= -x^T G^T K_1 Gx + x^T G^T z_1 + z_1^T \{-S(\omega_b)J\omega_b + T - J\dot{\alpha}_1\}$$

姿勢制御のため機体に加えるトルク T_A を(数024)とすると(数025)が成り立ち、

[数024]

$$T_A = S(\omega_b)J\omega_b J\dot{\alpha}_1 - Gx - K_2 z_1$$

[数025]

$$\dot{V}_2(x, z_1) = -x^T G^T K_1 G x - z_1^T K_2 z_1$$

$K_1 > 0, K_2 > 0$ とおけば $\dot{V}_2(x, z_1) < 0$ が成り立ち (x, z_1) の原点における漸近安定性が補償され、機体姿勢が目標姿勢に追従することが補償される。

(数024)が姿勢制御の駆動トルクである。

[0090] (c) 制御量の統合

(1) 位置速度制御において基準座標系における重心 G 053に対する推力要求値と、(2) 姿勢制御において、姿勢座標系における重心 G 053に対する回転トルク要求値が求まったので、各推進装置 055に対する推力要求値に分配、統合する。位置速度制御において基準座標系における重心 G 053に対する推力要求値として

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \text{ が得られたので、基準座標系におけるクオタニオン表現 } Q \text{ に変換する。}$$

機体座標系は基準座標系に対してクオタニオンで q_r^b と表されるから、基準座標系におけるクオタニオン表現 Q は機体座標系では、 $q_r^{b*} Q q_r^b$ となる。

$$B = \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} = q_r^{b*} Q q_r^b \text{ とおき}$$

さらに(数008)で $T_{L4} = T_{L5}$, $T_{U4} = T_{U5}$ としてよいから、(数008)より(数026)が得られ、位置速度制御によるすべての推進装置への指令値が決まる。

[数026]

$$\begin{bmatrix} T_{L1} \\ T_{L0} \\ T_{L4} \end{bmatrix} = \left(1 + \frac{L_g}{L_t} + r\right) \begin{bmatrix} B_x/2 \\ B_y/2 \\ B_z/4 \end{bmatrix} \quad T_{L2} = T_{L0} \quad T_{L3} = T_{L1} \quad T_{L5} = T_{L6} = T_{L7} = T_{L4}$$

$$\begin{bmatrix} T_{U1} \\ T_{U0} \\ T_{U4} \end{bmatrix} = \left(1 - \frac{L_g}{L_t} + r\right) \begin{bmatrix} B_x/2 \\ B_y/2 \\ B_z/4 \end{bmatrix} \quad T_{U2} = T_{U0} \quad T_{U3} = T_{U1} \quad T_{U5} = T_{U6} = T_{U7} = T_{U4}$$

[0091] 次に、姿勢制御のため機体に加えるトルクは(数024)で得られているので、

$$T_A = \begin{bmatrix} T_{Ax} \\ T_{Ay} \\ T_{Az} \end{bmatrix} \quad \text{ここで } T_{Ax} \text{ } X_b \text{軸周リトルク, } T_{Ay} \text{ } Y_b \text{軸周リトルク, } T_{Az} \text{ } Z_b \text{軸周リトルク}$$

と図26の座標系に従い成分を定義する。図26(b)において、 X_b 軸周リト

ルクを T_{A0L} , T_{A2L} , T_{A0U} , T_{A2U} , Y_b 軸周リトルクを T_{A1L} , T_{A3L} , T_{A1U} , T_{A3U} , で独立に生成できる。これを t_{ALi} , t_{AUi} $i = 0, 7$ であらわす。 Z_b 軸周リトルクを T_{A0L} , T_{A2L} , T_{A0U} , T_{A2U} , T_{A1L} , T_{A3L} , T_{A1U} , T_{A3U} , に重畳して生成する。この成分を s_{ALi} , s_{AUi} $i = 0, 7$ であらわすと、 $T_{ALi} = t_{ALi} + s_{ALi}$, $T_{AUi} = t_{AUi} + s_{AUi}$ $i = 0, 7$ と表現できる。

[0092]

[0093] [数027]

$$T_{AL0} = T_{AL2} = t_{AL0} + s_{AL0} = \frac{T_{AX}}{4(L_t - L_g)} + \frac{(L_t + L_g)}{16L_t} T_{AZ}$$

$$T_{AL1} = T_{AL3} = t_{AL1} + s_{AL3} = \frac{T_{AY}}{4(L_t - L_g)} + \frac{(L_t + L_g)}{16L_t} T_{AZ}$$

$$T_{AL4} = T_{AL5} = T_{AL6} = T_{AL7} = 0$$

$$T_{AU0} = T_{AU2} = t_{AU0} + s_{AU0} = -\frac{L_t - L_g}{L_t + L_g} \left(\frac{T_{AX}}{4(L_t - L_g)} + \frac{(L_t + L_g)}{16L_t} T_{AZ} \right)$$

$$T_{AU1} = T_{AU3} = t_{AU1} + s_{AU3} = -\frac{L_t - L_g}{L_t + L_g} \left(\frac{T_{AY}}{4(L_t - L_g)} + \frac{(L_t + L_g)}{16L_t} T_{AZ} \right)$$

$$T_{AU4} = T_{AU5} = T_{AU6} = T_{AUL7} = 0$$

各推進装置に対して、(数026)と(数027)を加算すると各推進装置への指令値が決まる。

[0094] (d) 制御系の構成

図29は(数027)までの制御論理をブロックダイアグラムで示したものである。図21で揚収制御218によるZ軸方向制御をx y軸および姿勢制御に拡張して、位置速度制御系265および姿勢制御系266としたのが図29である。位置速度制御系265は(数026)による制御量を計出し、姿勢制御系266は(数027)による制御量を計出し、個別推進機制御系253で個別推進器への指令信号を計出する。

海中昇降装置001の制御は個別推進器の推力を制御して行う点で、下記運用フェーズにすべて共通であるため、運用フェーズごとの個別要求は統括制御255が位置速度制御系265、姿勢制御系266で、(数009)の対角行列Aの状態変

数に対応した対角成分、（数020）のフィードバック係数
を変更することにより実現できる。

[0095] 3. 航法制御

（1） 構成

航法制御系は海中昇降装置001の全体制御系(図32)において運行制御系(図29)の上位に位置し、運行制御系の統括制御255に航法指令264を与える。本発明の浮力を利用した昇降では出発点と到着点（海面の支援船または海底の基地）の間に昇鉱管のような力学的な接続のある構造物を作る必要がなく機構的な制約はない。この反面、海中昇降装置を自律的に出発点と到着点の間で経路を誘導することと、到着点での目標へのドッキング機能が不可欠となる。海底では海水はほとんど停止しているので位置・速度に対する擾乱は小さいが、海面では波浪による支援船との相対運動を考慮する必要がある。海面の波浪を避け、この影響を最小化するには、海底調査船のように海上司令船016の船体中央部に海中に向けたムーンプール307と呼ばれる離着ポートを設ける。

[0096] 図30は海中昇降装置001を海底支援装置018と海上司令船016間で往復誘導する方法を示している。海中昇降装置001を海上司令船016より海底支援装置018に降下させる場合は、下降経路101を予め設定する。水中での経路誘導では、直進性のある電波が使えず、光も透過性が保証されないので直近以外では使用できない。このため水中の経路誘導では光ファイバ通信を行う。

利用可能な位置センサには、（1）慣性位置センサ、（2）深度計、（3）音響センサ、（4）光学センサ があるが、特質に長短があるので組み合わせて使用する。

慣性航法区間103の間は、慣性センサと深度計を用いて位置・速度・姿勢を求め降下経路101との偏差を最小にするように誘導する。降下経路101は初期の慣性航法区間103で目標の海底支援装置018の直上に近い範囲に占位するよう設定する。引き続く音響航法区間で目標の海底支援装置018の直上か

らのずれを少なくして、海中温度分布による音線の屈曲の影響を排除する。
海底支援装置 018 の直近では光学航法区間 105 とし、正確な位置・速度・姿勢制御により海底資源回収ユニット着脱ポート 023 にドッキングする。

[0097] 図 32 の航法制御系 110 は図 33 航法制御系の動作フローチャートに従い動作する。

処理ブロック 520 では、海中昇降装置 001 が海底支援装置 018 または海上司令船 016 を離れる前か離れた後かを判断して離れる前であれば、降下開始までは処理ブロック 524 により海上司令船 016 にある海底資源採集装置総合監視制御システム 484 の GPS 測位データを初期化データとして取得する。浮上開始前であれば、海底支援装置 018 が保持している位置データを初期化データとして取得する。浮上または下降開始後は慣性航法系のドリフト蓄積で時間経過とともに精度が劣化することへの対策である。処理ブロック 521 では慣性センサ、デジタルコンパス、深度計を含む航法データを取得する。処理ブロック 522 で、航法モード（慣性航法、音響航法、光学航法、ドッキング航法）により分岐する。浮上または下降開始時の初期設定は慣性航法である。

[0098] (2) 慣性航法

水中では GPS が使えないため慣性航法では基準座標に対して初期化後、時間とともにドリフトにより位置の誤差が蓄積する。このため海中では終端誘導には使用できない。位置・速度を一定誤差内で得られる利点はある。このため、浮上および降下のいずれにおいてもドリフトが蓄積しない初期の段階で使用し（慣性航法区間 103）、水平面内で海中昇降装置 001 を可能な限り目標に近づけ、次段階の音響航法で目標への近接が直上ないし直下に近くなるようにする。音波の伝搬経路が鉛直により近くすることにより音波伝搬の屈折の影響を排除する。経路の初期段階の慣性センサのドリフト誤差が少ない時期に降下または上昇しつつ、目標の直上または直下に誘導し、音響誘導に切り替えることにより海水温度分布による音波伝搬の屈折を最小化する。

[0099] 慣性航法 108 の処理は図 34 慣性航法系の動作の処理フローに従う。G

P Sは使用できないので

図33 処理ブロック524または526で得た初期位置に慣性航法系で得た移動距離を加算して現在位置を計出する（処理ブロック530）。処理ブロック531で深度系データと電子コンパスより求めた移動方位より慣性航法センサのドリフトを推定する。処理ブロック532でドリフト推定値で補正した最尤緯度経度深度、速度、姿勢を求め、さらに目標経路との偏差を求める。音響測距範囲122は、音波伝搬経路の屈折を考慮して、直進性の高い、最終目標点（海底資源回収ユニット着脱ポート 023、海中昇降装置ポート100）の直上または直下に円錐状に設定し、処理ブロック533で慣性航法系で音響測距範囲122の範囲に海中昇降装置001が入ったことを確認すると、処理ブロック534で音響航法系108に発音命令を出す。処理ブロック535で目標地点に設置されたトランスポンダーからのエコーを受信し確認し、さらに処理ブロック536で信号レベルが閾値を超え、距離が閾値以下であることを確認して、処理ブロック536で音響航法モードへ切替を行う。

[0100] (3) 音響航法

慣性航法に引き続く音響航法区間 104で浮上と降下で使用する。これは、海水の温度分布により音波の直進性が保証されないため位置標定には誤差が生じるが誤差特性に対応して中短距離で利用するのが適しているためと、海中では光が直近以外には到達しないことによる。

海水の温度分布は深度方向に存在するが、一般に水平方向は均一である。トランスポンダを用いて目標との測位をする場合、水平方向の方位は比較的に正確に把握できるが、鉛直方向との角度が増えると俯角方向の誤差が増える。図31に音波伝搬経路の例を示したが、直上ないし直下より20°以上離れると目標への到達が確実でなくなる。

[0101] 音響航法106の原理と実現方法を図35に示す。海中昇降装置001の進行方向曲面140に感音素子A 132、感音素子B 133、感音素子C 134、感音素子D 135を設置する。これらの中央に発音素子131を設置し、音響航法区間 104に入った時点で周期的に発音する。海底資源回収ユニット着脱ポート02

3に設置されたトランスポンダがエコーを返すと、図35(b)に示すように各感音素子に対するエコー信号の到着に時間的ずれが生じる。すなわち図35(b)においてトランスポンダ136よりのエコーは感音素子C 134に音波伝達面1 137で到達し、感音素子A 132には音波伝達面2 138で到達し、時間的ずれ生じる。この状況を3次元的に示したのが図35(d)であり、XY面上の原点0を囲む4点の感音素子A~D 132~135へのエコー信号の到達時間のずれから演算により、トランスポンダ方位ベクトル139が求められることを示している。なお発音時刻とエコーの到着時刻の差より、トランスポンダ136までの距離も求められる。音源を点音源とすると計算は簡単ではないが、感音素子間の距離に比べて音源が十分遠くて面音源と近似できる場合は、図37の説明に記載するように比較的単純に音源の方位と距離を求められる。音響測距はアクティブソナーと同様の原理を用いているが、(1)目標の像を作る必要がないこと、(2)目標にトランスポンダを設置できること。(3)目標の直下または直上に誘導することが目的であること(4)精密な目標の標定は光学航法にゆだねるの理由により、簡略化と低出力化が可能となる。

[0102] 図36に音響航法で用いる装置の構成と動作を示す。

図36(b)音響航法装置の圧電振動子は感音素子A~D 132~135、発音素子131として広くアクティブソナーで用いられている圧電セラミックスであり、図36(a)の送振信号パターンの一定周波数電圧を圧電振動子に印加して音波を発振させる。図36(b)(c)では送振と受振を別の圧電素子で行っているが共通にしてもよい。図36(b)音響航法装置は海中昇降装置001に設置し、図36(c)トランスポンダは海上司令船0016、海底支援装置0018側に設置する。音響航法の動作は(c)処理シーケンスに記載の通りで、航法制御系からの送振指令により音響航法装置が(2)信号送振を行う。往路伝搬時間後、トランスポンダが(3)受振検知し、ただちに(4)エコー送振する。復路伝搬時間後、(5)~(8)Ch0~3エコー受振が音響航法装置141で行われる。受振信号は送振後ただちに(9)待受によりCh0~3テ

データが記録される。待ち受け記録データと送振信号との相関を（10）（11）で行い、受振素子別の伝搬遅延時間を求める。（（e1）～（e3）処理フロー1～3）

[0103] 図37は音響航法装置を用いた音響航法系の動作を記した処理フローである。

図36処理ブロック546で得たA,B,C,D各受振素子の往復音波伝搬遅れを取得（処理ブロック550）し、処理ブロック551で各素子の平均遅延時間と海中音速より目標との距離を求める。音源を面音源で近似した場合、図38（a）～（c）の図を用いて詳細に説明する。

[0104] （a）にてトランスポンダ方位ベクトル 139は音波の侵入方向を示し、XY面となす角を ϕ とし、XY面への投影がX軸となす角を θ とする。ABが音波の到来方向で、（b）はZ軸上方より見た図である。（b）を音波到来方向ABとZ軸を含む面で切断したのが（c）であり、感音素子A～D 132～135に対して音波伝搬経路と遅延時間の関係を示している。感音素子A～D 132～135の受振時刻（秒）をそれぞれ t_a , t_b , t_c , t_d , とし、海中音速を s m/秒とすれば、

感音素子AとCの伝搬距離と伝搬時刻差による距離より $(t_c - t_a)s = r \cos \phi \cos \theta$

感音素子BとDの伝搬距離と伝搬時刻差による距離より $(t_d - t_b)s = r \cos \phi \sin \theta$

[数028]

$$\cos \phi = \pm \frac{s}{2r} \sqrt{(t_c - t_a)^2 + (t_d - t_b)^2}$$

$$\sin \theta = \pm \frac{(t_d - t_b)}{\sqrt{(t_c - t_a)^2 + (t_d - t_b)^2}}$$

となり、処理ブロック551が求まる。（数028）は感音素子に対する伝搬遅延時間差がないと $\cos \phi = 0$ となって $\sin \theta$ が求まらない。 $\cos \phi = 0$ とはトランスポンダが直下ないし直上にあることで、制御目的が達成されている状態である。

[0105] 処理ブロック552で慣性センサより得られた姿勢データでトランスポンダ方位を補正し、処理ブロック553にて既知のトランスポンダ位置より海中昇降装置

の位置を求める。トランスポンダとの距離が数十mで鉛直方向のずれが光学測定範囲（視野角 $20 \sim 30^\circ$ 以内）であれば処理ブロック555に進み目標の発光を検知したか判定し、検知したうえで合理的な範囲（誤検知でない）であれば処理ブロック556で光学航法モードへ切替る。

[0106] (4) 光学航法

特に海底では巻き上がる泥により光の到達距離が短くなるが、10～数m以下の近距離では正確な測位が可能であるのでLEDの発光素子を用いて最終段階での制御に利用する。

光学航法107のにおける光学航法の原理を図39(a)(b)(c)(d)を用いて説明する。海中昇降装置001が海底資源回収ユニット着脱ポート023の上方で海底資源回収ユニット着脱ポート023の周辺に設置された発光素子A～D 151～154の発光を撮像装置150が感知すると、音響航法区間104から光学航法区間105に移行する。発光素子A～D 151～154は異なる周期で点滅させ、周期の差異によりの発光素子を特定する。撮像装置150を海中昇降装置001の中心軸の先端に設置し、発光素子A～D 151～154を正面にとらえるようにする。海中昇降装置001の中心軸が発光素子AB側にずれている場合は図12(b)の(d1)の画像となり、発光素子BC側にずれている場合は図12(b)の(d2)の画像となり、発光素子CD側にずれている場合は図12(b)の(d3)の画像となり、発光素子DA側にずれている場合は図12(b)の(d4)の画像となり、中心軸にずれがないときは図12(b)の(d0)の画像となる。

[0107] 図39(b)は光学航法の原理を示す。海中昇降装置001の先端に設置される撮像装置150は通常の電子カメラであり、 $1000 \times 1000 \sim 4000 \times 4000$ pixelで視野角 $24 \sim 35^\circ$ 程度のものでよい。図39(b)のFaFbFcFdが撮像面156であり、発光素子A～D 151～154の像が図40(c)のように結像する。光学航法では図40において；

(1) 撮像面156上の発光素子A～D 151～154の像の画素位置

発光素子 A (H_a, V_a)、発光素子 B (H_b, V_b)、発光素子 C (H_c, V_c)、発光素子 D (H_d, V_d)

(2) 発光素子 A ~ D 151~154の識別情報

(3) 撮像装置 150の焦点距離 L_f 155

(4) 撮像装置 150の縦横画角 (α_v, α_h) と縦横画素数(V_{max}, H_{max})

(5) 発光素子 A ~ D 151~154の中心点緯度経度 (Lat_T, Lon_T)、深度 (Dp_T)

(6) 発光素子 A, C 151, 153を結ぶ線ACが水平面となす角 β

(7) 発光素子 B, D 152, 154を結ぶ線BDが水平面となす角 γ

(8) 直線BDが南北 (Y軸) となす角 δ

から下記データ (A) (B) を以下に記す方法で求めることができる。

上記 (1) (2) は撮像装置 150の計測データであり、(3) (4) は撮像装置 150の固有データであり、(5) (6) (7) (8) は海底支援装置 018または海上司令船 016での実計測データであり、すべて既知である。

(A) 海中昇降装置 001の位置 (緯度経度 (Lat_T, Lon_T)、深度 (Dp_T))

(B) 海中昇降装置 001の姿勢 (ピッチ pb 、ヨー yb 、ロール rb)

[0108] クオテリオンを用いて上記 (A) (B) を求める。

海中昇降装置 001の位置における基準座標系 (XYZ X軸: 東西 Y軸: 南北 Z軸: 鉛直) Pを定義し、海中昇降装置 001の姿勢を表す座標系 (X_b, Y_b, Z_b) P_b を定義する。

図39 (b) における海底資源回収ユニット着脱ポート 023は基準座標Pに対してクオテリオン Q_T 回転させて目標方位ベクトル157の視界座標 P_t となったものとする。

[数029]

$$P_t = Q_T P Q_T^*$$

この座標系における海底資源回収ユニット着脱ポート 023が撮像面 156に投影されて図39 (c) の像が得られる。海底資源回収ユニット着脱ポート 023は基準座標P のZ軸に直交する平面 (海底) 上にあり、基準座標P のZ軸よ

りずれた位置にあるため、目標方位ベクトル157と海底資源回収ユニット着脱ポート023のなす面は垂直とならない。図39(b)のPAC およびPBDを詳しく書いたのが図40(a)(b)である。

[0109] Aは発光素子A 151の存在する点であり、BCDも以下同様である。MはACとBDの交点である。A、B、C、Dの撮像面156における結像座標を図40(c)に示した。HV座標は左上が(0,0)で右下が(Hmax, Vmax)である。発光素子A、Cを結ぶ線ACと発光素子B、Dを結ぶ線BDの交点Mの座標は下記で与えられる。

[数030]

$$\begin{bmatrix} H_m \\ V_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_b - V_d & -H_b + H_d \\ -V_a + V_c & H_a - H_c \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} H_d V_b \\ H_c V_c \end{bmatrix}$$

図40(a)(b)において視点Pより、線分AM、MCを見込む角度を α 、 β 、線分BM、MDを見込む角度を γ 、 δ とすると(数030)で与えられる。ここで、Rは視点PからACとBDの交点Mまでの距離、rは発光素子とMまでの距離、 ω 、 ϕ は、視線ベクトルPMに対する直交面に対して線分AC、BDがなす角とすると(数031)で与えられる。

[0110]

[数031]

$$\begin{aligned}\tan\alpha &= \frac{r\cos\omega}{R - r\sin\omega} \\ \tan\beta &= \frac{r\cos\omega}{R + r\sin\omega} \\ \tan\gamma &= \frac{r\cos\phi}{R - r\sin\phi} \\ \tan\delta &= \frac{r\cos\phi}{R + r\sin\phi} \\ R &= \frac{r(\tan\alpha + \tan\beta)}{\sqrt{(\tan\alpha - \tan\beta)^2 + 4\tan^2\alpha\tan^2\beta}}\end{aligned}$$

または、

$$R = \frac{r(\tan\gamma + \tan\delta)}{\sqrt{(\tan\gamma - \tan\delta)^2 + 4\tan^2\gamma\tan^2\delta}}$$

平均をとって

$$\begin{aligned}R &= \frac{1}{2} \left(\frac{r(\tan\alpha + \tan\beta)}{\sqrt{(\tan\alpha - \tan\beta)^2 + 4\tan^2\alpha\tan^2\beta}} + \frac{r(\tan\gamma + \tan\delta)}{\sqrt{(\tan\gamma - \tan\delta)^2 + 4\tan^2\gamma\tan^2\delta}} \right) \\ \sin\omega &= \frac{R \tan\alpha - \tan\beta}{r \tan\alpha + \tan\beta} \\ \sin\phi &= \frac{R \tan\gamma - \tan\delta}{r \tan\gamma + \tan\delta}\end{aligned}$$

[0111] 一方、 α 、 β 、 γ 、 δ は、(数032)のように撮像面 156上の発光素子の像の座標から求められるので、(数032)のR、 ω 、 ϕ は値が確定する。

[数032]

$$\alpha = \sqrt{\left\{ \frac{(H_a - H_m)\alpha_H}{H_{max}} \right\}^2 + \left\{ \frac{(V_a - V_m)\alpha_v}{V_{max}} \right\}^2}$$

$$\beta = \sqrt{\left\{ \frac{(H_c - H_m)\alpha_H}{H_{max}} \right\}^2 + \left\{ \frac{(V_c - V_m)\alpha_v}{V_{max}} \right\}^2}$$

$$\gamma = \sqrt{\left\{ \frac{(H_b - H_m)\alpha_H}{H_{max}} \right\}^2 + \left\{ \frac{(V_b - V_m)\alpha_v}{V_{max}} \right\}^2}$$

$$\delta = \sqrt{\left\{ \frac{(H_d - H_m)\alpha_H}{H_{max}} \right\}^2 + \left\{ \frac{(V_d - V_m)\alpha_v}{V_{max}} \right\}^2}$$

$$\tan \rho = \frac{V_a - V_c}{H_a - H_c}$$

なお、 ρ は、視線ベクトルPM周りの基準座標に対する回転を示す。

(数031)では海底資源回収ユニット着脱ポート 023を水平と仮定しているが、一般にはある姿勢角を持って傾いている。図39(a)に示すようにX*軸が水平に対して α 、Y*軸が水平に対してベータ傾いている場合には、 r の替りに $r \cos \varepsilon$ 、 $r \cos \tau$ を用いればよい。

[0112] 図40(c)より、海中昇降装置 001の姿勢を表す座標系 (X_b, Y_b, Z_b) P_b と目標方位ベクトル157の視座標 P_t の(数034)の関係を求めることができる。Pitch, Yaw, Rollの定義は図26に従う。

[数033]

$$\text{Roll} = \frac{H_m - \frac{H_{max}}{2}}{H_{max}} \alpha_H$$

$$\text{Pitch} = -\frac{V_m - \frac{V_{max}}{2}}{V_{max}} \alpha_v$$

$$\text{Yaw} = \tan^{-1} \left(\frac{V_a - V_c}{H_a - H_c} \right)$$

(数033)の回転のクオテリオンを Q_t とすれば(数035)となる。

[数034]

$$P_t = Q_t P_b Q_t^*$$

[0113] (数035)と(数030)より(数036)が得られ、基準座標Pに対する海中昇降装置001の姿勢が明らかとなる。

[数035]

$$P_b = Q_t^{-1} Q_T P Q_T^* Q_t^{*-1}$$

(数031)(数032)より図41処理ブロック561が求まり、(数035)より、処理ブロック562が求まる。

発光素子A～D 151～154の中心点緯度経度 (LatT, LonT)、深度 (DpT) は既知であるので(数030)より導いた (数036) より処理ブロック563の海中昇降装置の位置Pが求まる。

[数036]

$$P = Q_T^{-1} P_t Q_T^{*-1}$$

[0114] 光学航法 107 の結果、図33処理ブロック523で運行制御系への指令値計出が行われ、図29の運行制御系により、海中昇降装置001は海底資源回収ユニット着脱ポート 023に近接する。処理ブロック564は図43ドッキング用LEDの到達範囲を想定しており、例えば数m～10mに近接したときの処理ブロック566でドッキングモードへ切り替える。処理ブロック565は撮像装置150から発光素子を見込むオフナディア角<20°などの制約を満足しないときドッキングモードへの切替を行わない。

[0115] 図42 発光素子の識別方式は図41処理ブロック560の詳細を記したものである。4個の発光素子の点滅パターンを周期的に変化させ、撮像装置で点滅周期より短い周期で非同期に撮像して個々のLEDを識別する方法を示している。装置は図42(c) 発光マーカおよび図42(d)撮像センサで示す構成であり、図42(a) 処理周期で示すように周期TLで発光パターンP0, P1, P2を繰り返す。発光パターンは(b) 発光パターンのPattern sequence Codeに示すように複数用意されているが、光学航法ではいずれか1つを採用すればよい。複数用意しているのはドッキング制御の時は複数の発光体セットと撮像装置を用いるためである。図42(d)撮像センサのCPU内で(e) 処理フローに従い演算する。

[0116] 処理ブロック570で4 L E Dが点灯する周期まで処理ブロック571から576の認識処理をスキップし、処理ブロック577で画像記録のみを行う。4 L E Dがオンとは、L E Dパターン周期の開始を意味する。処理ブロック572～576の処理は撮像装置がL E Dの発行周期より短い周期で非同期に動作するため4 L E D点灯の画像の間に2 L E D点灯の画像が重複して入る可能性があり、この重複を排除して、処理ブロック575で一致する発光パターンのPattern sequence Codeを求める。各L E Dの識別が行えたので処理ブロック576でLEDの識別番号を付けて撮像面での画素座標を送信出力する。

[0117] (4) ドッキング航法

光学航法で、目標より1～2 mに近接した後、L E D発光素子の詳細パターンを認識して精密な姿勢と位置制御を行いドッキングを実現する。

海中昇降装置001はに海底資源回収ユニット着脱ポート023に近接する最終段階で、精密位置制御を行い、空荷の資源回収ユニット007を切り離して、海底資源回収ユニット着脱ポート023に設置し、10～20 m再浮上し、水平移動の後、海底支援装置018の反対側に位置する積荷を積載した資源回収ユニット007とドッキングする制御を行う。この操作をドッキング航法という。二者択一型のドッキング装置とデジタルカメラによる画像処理による位置制御と姿勢制御に特徴がある。

ドッキング装置の構造を図43, 44, 45を用いて説明する。

[0118] 図43(a)はドッキング運用における、海中昇降ユニット005、資源回収ユニット007海底支援装置018の海底資源回収ユニット着脱ポート023の関係を図示したものである。いま、降下の最終段階で、海底資源回収ユニット着脱ポート023に空荷の資源回収ユニット007を設置する場合を例に説明する。

資源回収ユニット007と海中昇降ユニット005は着脱可能であり、資源回収ユニット007の円周部に装着されている把持体（この例では4個）と海中昇降ユニット005下部および海底資源回収ユニット着脱ポート023に設置されている把持子（この例では4個）により資源回収ユニット007が海中昇降ユニ

ット 005に接続されるか、海底資源回収ユニット着脱ポート 023に接続されるか後者优先的に選択される構造となっている。

[0119] 資源回収ユニット 007の下縁部には図43 (b) Cに示すように撮像素子A B C Dが等間隔に配置されている。この撮像素子と対応する海底資源回収ユニット着脱ポート023の周辺部に図43 (b) Dに示すように4組のLEDよりなる発光体が設置されている。このLEDと撮像装置の関係は図39光学航法の原理(1)におけるLEDと撮像装置の関係と同じで、撮像装置が発光LEDの中央にくるように海中昇降装置001の位置と姿勢を制御する。

資源回収ユニット 007の円周部には図43 (b) A a, B b, C c, D dの位置に図43 (c) b, cに示す把持体が設置されている。把持体と把持子の動作は図44に示す通りである。

図44 (f) ~ (j) は空荷の資源回収ユニット007を海中昇降ユニット 005が切り離して、海底資源回収ユニット着脱ポート023に切り離し設置し、再度離昇するまでの動作を示した。

[0120] 図44 (f) は資源回収ユニット007と海中昇降ユニット005を海中昇降ユニット005側把持子171と

資源回収ユニット007の把持体170が接続された状態で海底資源回収ユニット着脱ポート023にドッキングする直前を示す。海中昇降ユニット005側把持子171には中心部をキー機構 174が陥入しており回転機構175の嵌合部 177を上方より圧迫し、把持体 170が上方に開かないようにしている。(g)で海底資源回収ユニット着脱ポート023側把持子 171が把持体 170の下側に貫入すると(g) -> (h)で海中昇降ユニット005側把持子 171のキー機構 174を引き抜き、海底資源回収ユニット着脱ポート023側把持子 171のキー機構 174を把持体 170の下側嵌合部 177に押し上げる。回転機構 175を介して把持体 170の下側が閉じ、上側が開く。資源回収ユニット007は海底資源回収ユニット着脱ポート023側把持子171に接続された状態となり、海中昇降ユニット005と資源回収ユニット007が切離された状態となる。(i)は海中昇降ユニット005が離昇する状態を示す。

[0121] 把持機構は一例を示したが、

(1) 後者優先択一

(2) ロバストで重量に耐えられること

であれば例にこだわる必要はない。

資源回収ユニット007を切離した海中昇降ユニット005を15～20m離昇させ、10～20m水平移動させて反対側の海底資源回収ユニット着脱ポート023にドッキングさせる。離昇および水平移動は海水比重の状態の水素ガス吸収反応を伴わない状態で行うので、深度および深度変化率への拘束条件はなく、光学航法107と運行制御系(図29)を使用することができる。このドッキングでは海中昇降ユニット005と海底資源を積載した海底資源回収ユニット着脱ポート023上の資源回収ユニット007をドッキングさせる。図43で資源回収ユニット007が海底資源回収ユニット着脱ポート023に接続されている状態で海中昇降ユニット005を降下させ、図43(a)AとBをドッキングさせる。海中昇降ユニット005下面のAには図43(b)Aに示すように撮像装置A,B,C,Dが設置され、対向する資源回収ユニット007上面Bには図43(b)Bに示す発光LEDを配置して、資源回収ユニット007切離しのドッキングと同様のドッキング制御を行う。

[0122] 図44(a)～(e)では、海底資源回収ユニット着脱ポート023に接続されている積荷積載の資源回収ユニット007を海中昇降ユニット005と接続して、海底資源回収ユニット着脱ポート023から切離して、再度離昇するまでの動作を示す。(a)では、資源回収ユニット007の把持体170と海底資源回収ユニット着脱ポート023側把持子171が接続している。(b)～(d)で海中昇降ユニット005側把持子171を把持体170にドッキングさせ、(c)(d)で海底資源回収ユニット着脱ポート023側把持子171のキー機構174を引き抜き、

海底資源回収ユニット着脱ポート023側把持子171のキー機構174を把持体170の上側嵌合部177に押し下げる。回転機構175を介して把持体170の上側が閉じ、下側が開く。

海中昇降ユニット005側把持子171と資源回収ユニット007の把持体170が連

接する。

図 4 5 は把持体と把持子の構造を 3 角法図面で示したものである。 把持アーム 178 は 6 本の棒状の回転機構 175 を介して支持機構 176 に保持され、荷重を負担する。

[0123] ドッキング航法系の動作を図 4 6 のフローチャートで説明する。処理ブロック 580 で資源回収ユニット切離しドッキング（処理ブロック 581）か資源回収ユニット再結合ドッキング（処理ブロック 580）に分岐する。処理ブロック 581 と処理ブロック 580 はパラメタ以外の相違はなく光学航法系図 4 1 の処理ブロック 560 ～ 563 の処理と同様の処理を行って、LED 発光体と撮像素子の相対位置関係を求める。光学航法系図 4 1 との相違は LED 発光体と撮像素子の組み合わせが複数（実施例では 4 セット）あることである。組み合わせが 4 セットあるため、各セットの相対位置から、海中昇降ユニット 005 または海中昇降装置 001 の位置誤差、姿勢誤差を求める必要があり、処理ブロック 582 で XY 面移動ベクトル、Z 軸移動ベクトル、X 軸トルク、Y 軸トルク、Z 軸トルクに統合する。（図 4 7）

[0124] 4 運用モード制御

図 3 2 に海中昇降装置の制御系全体構成を示したが、制御には海中昇降装置 001 の移動時に行う航法制御系 110 と運行制御系（図 2 9）のほかに移動を伴わないが、次の移動に備えて液体構成を変える運用モード制御 112 がある。

運用モード制御 112 は海中昇降装置の制御系全体を統括する最上位に位置しており、処理ブロック 590 で光通信インタフェース 453 を介して海上司令船 016 の海中昇降装置監視制御システム 446 からの制御指令を受けとる。

海中昇降装置 001 の運用モードには図 4 8（b）運用モード一覧に示す 10 種類がある。運用モードには、移動を伴う航路制御と静止状態で液体構成を変更する流体構成制御があり、運用モードごとにいずれを実施するか、またその完了条件は何かを図 4 8（b）運用モード一覧で規定されている。

[0125] 処理ブロック591で図48（b）の完了条件をチェックし、完了条件が成立していない場合は現在実行中の運用モードを継続実施する。完了条件が成立した場合には遷移先運用モードを選択する。実際は図70（b）運用モード一覧の運用モードNoを歩進させる。運用モードを遷移させるためには遷移先運用モードに対応して図49～図58の配管状態、液体構成を実現する必要がある。処理ブロック593でバルブ、ポンプ操作シーケンスを選択する。処理ブロック594で遷移先の運用モードに対応して流体制御（処理ブロック595）または、航路制御（処理ブロック596）のいずれかを選択する。

[0126] 5. 流体構成制御

海中昇降装置001の構成要素である海中昇降ユニット005内部の流体構成を入れ替えて、各運用モードに対応した内部状態を実現するように配管状態を制御して液体構成を変更させる制御である。図48（c）処理フロー2は図49から図58までの運用モードの移行の制御を行う。処理ブロック601は（b）運用モード一覧に示す完了条件の成立をチェックし、処理ブロック602では運用モードに対応して下記（1）～（10）の制御を行う。

[0127] （1） 浮上 （運用モード1 図49）

（a）海中昇降装置001

前記の、「V 海中昇降装置 1 制御系、 2. 航法系、3 ドッキング制御」までに記載した運用を、海中昇降装置001が海底支援装置018、海上司令船016と配管接続がない状態で独立に行う。海中昇降装置001の液体タンク004区画3よりトルエンをV14経由でP3で送出し、浮力タンク003の水素ガスとともに水素ガス吸収反応器005へ導き、MCHを生成する。生成したMCHは液体タンク004の区画2にV12経由でP2で送り込む。液体タンク004の容積変化（容積増）に対しては、液体タンク004の区画5の海水をV7経由でP5により注排水してこれを打ち消す。

（b）海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積を行う。

海底支援装置018の海中昇降ユニットは水素ガス発生器により発生した水素を

バルブNo. 0(V0)を経由してポンプNo. 0(P0)により、浮力タンク003に蓄積する。電気分解用の純水は液体タンク004区画3よりV6, V13を経由してP4により送出する。送出した純水と同容積の海水をV7経由でP5により液体タンク004区画5に海中より注水する。水素ガス増容に対応してV2, V8を経由してP1により浮力タンク003区画1内の海水を海中に排水する。浮力タンク003の圧力は海水圧力にほぼ等しい。

(c) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0128] (2) 浮上終了 水素ガスパージ (運用モード2 図50)

(a) 海中昇降装置001

海中昇降装置001が浮上し海上司令船016にドッキングした状態である。浮力タンク003内に残存している1気圧の水素ガスをV0, V10経由でP0により大気でパージする。

(b) 海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積を行う。(1)と同じ。

(c) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

(3) 浮上終了 MCH Unload (運用モード3 図51)

(a) 海中昇降装置001

浮上中に生成したMCHを液体タンク004区画2より、V3経由でP2により送出する。海上司令船016では、Vs2経由でPs2によりMCHタンク204に回収する。液体タンク004はV7経由でP5により海水を区画5に注水する。

(b) 海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積を行う。(1)と同じ。

(c) 海上司令船

海中昇降装置 001 と接続し MCH 移送。

[0129] (4) 下降準備（トルエン充填）（運用モード4 図52）

（a）海中昇降装置001

海上司令船016のトルエンタンク203よりVs1を経由してPs1によりトルエンを海中昇降装置001の液体タンク004区画3にV13, V1, P3経由で注入する。

（b）海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積をを行う。（1）と同じ。

（c）海上司令船

海中昇降装置 001 と接続しトルエンを移送。

(5) 下降準備（純水充填）（運用モード5 図53）

（a）海中昇降装置001

海上司令船016の純水タンク205よりVs3を経由してPs3により電気分解用の純水を海中昇降装置001の浮力タンク003にV14, V1, P0経由で注入する。

（b）海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積をを行う。（1）と同じ。

（c）海上司令船

海中昇降装置 001 と接続し純水を移送

[0130] (6) 下降（運用モード6 図54）

（a）海中昇降装置001

海中昇降装置 001 をすべて液体で充填し、海水と同じ比重に設定し、外部との弁を閉鎖して沈下させる。

（b）海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積をを行う。（1）と同じ。

（c）海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

(7) 資源回収ユニット交換・移動 (運用モード7 図55)

(a) 海中昇降装置001

海中昇降装置001をすべて液体で充填し、海水と同じ比重に設定して推進器により移動する。

(b) 海底支援装置018

海中昇降装置001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積をを行う。(1)と同じ。

(c) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0131] (8) 下降後処理(水素ガス充填、純水移送) (運用モード8 図56、完了状態 図57)

(a) 海中昇降装置001

海底支援装置018の浮力タンク003に蓄積された水素ガスを海底支援装置018のV0,P0経由で海中昇降装置001のV0,P0経由で海中昇降装置001の浮力タンク003に送出する。水素ガスは上方にたまるので、純水をV2経由でP1により海底支援装置018の液体タンク004区画3に送出する。

(b) 海底支援装置018

海中昇降装置001と接続し純水を移送

(c) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0132] (9) 浮上準備(海水注水 浮力調整完) (運用モード9 図58)

(a) 海中昇降装置001

水素化反応を起動して海水と比重を同一とし、スムーズに離床できるよう浮力タンク003内の水素ガス容量と海水をV0,P0とV2,P1を制御して調節する。

(b) 海底支援装置018

海中昇降装置001と接続し水素ガスを移送

(c) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0133] V 海底支援装置

1 制御系

(1) 目的と機能

海底支援装置018は図6の実施例では海中昇降ユニット005の4ユニットを海底支援装置プラットフォーム機構027で結合したものであり、海中昇降装置001の資源回収ユニット007の替りに海底支援装置プラットフォーム機構027、水素ガス発生装置024、鉱物収集装置 019を荷重として浮上、水平移動、降下するものととらえることができる。移動原理は海中昇降装置001と同じで、海中昇降装置001の複合系としてとらえて制御系を構成する。

[0134] 海中昇降装置001との相違点を分析し、パラメタの変更で海中昇降装置001と同様の方式で対応できることを以下に述べる。

(1) 構造・重量

海底支援装置018 図59

海中昇降装置001 図24

に示すように、海底支援装置018は、海中昇降装置001に比べて

- a. 約4倍の重量がある。
- b. Z軸方向の水抵抗が大きい。
- c. Z軸（鉛直方向）周りの回転対称性がなく、XY軸（水平方向）方向はスパンが広い。
- d. 海底支援装置プラットフォーム機構027の端部に設置したZ軸方向の大型推進装置200でXY軸周りのトルクを得やすい。
- e. 重心 W_s 202は海底支援装置プラットフォーム機構027の上部の低い位置にあり、z軸方向の対称性がない。

(2) 座標系

海底支援装置018 図60

海中昇降装置001 図 2 6

とすることで、海中昇降装置001と統一的に扱えるようにする。

[0135] (2) 推進装置と制御ベクトル

(1) 構造・重量 の項で述べた相違点に対応して、大型推進装置200、中型推進装置201を図 5 9 に示すように配置することにより、移動推力および回転トルクは海中昇降装置001と同様に図 6 1 (a) (b) (c) のようになり、動特性を海中昇降装置001と統一的に扱えるようにする。

海底支援装置018 図 6 1

海中昇降装置001 図 2 5 図 2 7

にすなわち、

a. 海中昇降装置001と同様に、上部推進面059、下部推進面060の概念を適用し、推進装置をZ軸に直交する2平面（上部平面、下部平面）に集中する。上部推進面059を重心より高い位置、下部推進面060を重心より低い位置に設定し、z軸に対して海中昇降装置001と同様の位置関係で配置する。

[0136] b. 下部推進面060の推進装置は、海底支援装置プラットフォーム機構027の周辺部の重心より低い位置に設置し、重量が下部に集中するため推進装置を大型とする。

c. 上部推進面059と下部推進面060は重心G 053から等距離には存在しないので、L t の替りにLt1、Lt2とする。

海中昇降装置001の(数 0 0 1)と(数 0 0 3)を(数 0 3 7)と(数 0 3 8)に置き換え、図 6 2 (b)の推進装置に対応した推力ベクトルを

$$T_{U0} = T_{00} + T_{01}$$

$$T_{U1} = T_{10} + T_{11}$$

$$T_{U2} = T_{20} + T_{21}$$

$$T_{U3} = T_{30} + T_{31}$$

と置き換えることにより、海中昇降装置001の(数 0 0 1)から(数 0 3 7)はそのまま)海底支援装置018に適用可能となる。

[0137]

[数037]

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = \mathbf{T}_U + \mathbf{T}_L$$

$$\text{ただし、}\mathbf{T}_U = \begin{bmatrix} T_{Ux} \\ T_{Uy} \\ T_{Uz} \end{bmatrix} = T_U \mathbf{I}_b$$

$$\mathbf{T}_L = \begin{bmatrix} T_{Lx} \\ T_{Ly} \\ T_{Lz} \end{bmatrix} = T_L \mathbf{I}_b$$

$$\mathbf{T} = T \mathbf{I}_b$$

ここで、 $\mathbf{I}_b$ は $\mathbf{T}$ の方向を示す単位ベクトルである。

[数038]

$$\text{Roll} = \frac{H_m - \frac{H_{max}}{2}}{H_{max}} \alpha_H$$

$$\text{Pitch} = -\frac{V_m - \frac{V_{max}}{2}}{V_{max}} \alpha_V$$

$$\text{Yaw} = \tan^{-1} \left(\frac{V_a - V_c}{H_a - H_c} \right)$$

[0138] (a) 位置・速度制御

a. 1 深度制御

浮上時は構成要素として海中昇降ユニット005を用いているので海中昇降装置001と同様の制御を行う。

降下時は、海上での降下開始時点で、海中昇降ユニット005の浮力タンク003に1気圧の水素ガスが存在する状態で海水と同じ比重を維持しているので、全タンクに液体を充填すると海水より比重が大きくなり、海底への軟着陸が不可能となる。海面で海水と同じ比重（実際は若干大きくなるように設定する）となるように浮力タンク003に1気圧の水素ガスを充填し、推進装置005で初期降下速度を与えれば、海水抵抗を打ち消す推進を行うだけで、一定速度で海底に近接する。降下とともに海水圧が増加し、放置すると水素ガスの体積

が減少して比重が増大して沈下速度が増大することを防止するために、水素ガス発生装置024で水素ガスを発生させて体積を維持し、浮力を維持しつつ降下させる。

[0139] a. 2 移動制御

海底支援装置018と同様の制御を行う。

(b) 姿勢制御

海底支援装置018と同様の制御を行う。

(c) ランデブー

終端制御は海底の指定地点近辺への軟着床と、浮上時の海上司令船018のクレーン近辺への浮上であるため実施要求はない

[0140] 制御系の構築手順は海中昇降装置001と下記の同一手順で構成する。

(a) 位置速度制御

(b) 姿勢制御

(c) 制御量の統合

(d) 制御系の構成

制御系のブロックダイアグラムについては

海底支援装置018 図66

海中昇降装置001 図29

に対比する。

海底支援装置018は下記の a. b. において、海中昇降装置001にない制御を行う必要があるため、図66を用いて説明する。

a. 4台（本実施例の場合）の海中昇降ユニットを海底支援装置プラットフォーム機構027で統合しているため、海中昇降装置001の場合と異なり推進器により深度および深度変化を制御して浮力タンク圧と海水圧の偏差を0近辺にする操作をそのままには適用できない。

b. 降下時に水素ガスを発生しつつ浮力を維持しながら降下する必要がある

。

[0141] a. 項への対応として、図 6 6 において海中昇降ユニット 0 ~ 3 0 0 5 0 ~ 0 0 5 3 は個別に水素吸収反応器を有する一方、深度は共通であるため、水圧を P_w すると各海中昇降ユニットの圧力は P_{H0} , P_{H1} , P_{H2} , P_{H3} となり、圧力センサが検出する差圧は

$$P_{D0} = P_{H0} - P_w$$

$$P_{D1} = P_{H1} - P_w$$

$$P_{D2} = P_{H2} - P_w$$

$$P_{D3} = P_{H3} - P_w$$

に近づける必要があるが、浮力タンクに注排水を行って実現すると、水素ガス体積が不均衡になり、浮力が不均衡になる結果、海底支援装置プラットフォーム機構 0 2 7 の水平が保てなくなる。海底支援装置プラットフォーム機構 0 2 7 の Z 軸方向推力の推進装置でバランスをとることも可能であるが、Z 軸方向推力は浮上時に圧力の精密制御に使用するため、Z 軸方向推力の推進装置でバランスをとることは最小限にして、水素吸収反応制御系 2 5 8 によりトルエン流量 F_t と反応器温度 T を制御して反応量を変化させて浮力バランスをとるものとする。どの海中昇降ユニットに対して反応量を増減させるかの制御は統括制御 255 が各海中昇降ユニットに対する差圧に対して分散が 0 に近づくように実施する。効果的には、水素ガス圧を上げるべき海中昇降ユニットに対してはトルエン流量 F_t を増加し、水素ガス圧を下げるべき海中昇降ユニットに対してはトルエン流量 F_t を減少させる。

[0142] b. 項への対応としては、水素ガス発生装置 024 を用い、図 7 7 の配管接続で、図 6 6 海底支援装置の制御系のブロックダイアグラムにおける水素ガス発生ユニット制御系 268 と、個別の海中昇降ユニット 005 対応の弁・ポンプ (V_0 , P_0) 制御系により各海中昇降ユニット 005 の浮力タンク 003 内の水素ガスモル数を増加させる。増加した水素ガスによる浮力が一定となるように図 5 9 の大型推進装置 200、中型推進装置 201 により深度を制御する。この操作は浮上時に、「IV 揚収の原理」1.1 水素化反応でのべた時間とともに水素吸収反応制御系 258 により水素吸収反応器 260 を制御して水素ガスのモル数を減少

させ、減少した水素ガスによる浮力が一定となるように深度を制御して浮上することに対して、降下時には水素ガス発生装置 024を運転して、時間とともに水素ガスマル数を増やし、個別の海中昇降ユニット005対応の弁・ポンプ（V O， P O）制御系により各海中昇降ユニット005の浮力タンク003内の水素ガスマル数を増加させ、増加した水素ガスによる浮力が一定となるように図59の大型推進装置200により深度を増加させることの逆方向の操作である。降下時の浮力制御の特性については

海底支援装置018 図 6 7

海中昇降装置001 図 2 0

に対比する。図 2 0 では時間とともに水素ガスのマル数が減少し海面で 1 気圧相当になるのに対して、図 6 7 では、海面で 1 気圧相当のマル数である状態から出発して、海底では海底水圧に対応したマル数になるように水素ガスマル数を増加させる運用を示している。

[0143] 3. 航法制御

（1） 構成

航法制御の全容については

海底支援装置018 図 6 3

海中昇降装置001 図 3 0

に対比する。海底支援装置018では、精密な終端制御が不要であるため光学航法、ランデブー航法を採用していない分簡略化されている。

海底支援装置018特有の運用として、海底資源を求めて海底での位置を離床して水平移動する運用があるが、海中昇降装置001の海底での資源回収ユニット交換・移動の運用の一部と同じである。

制御系の全体構成については、

海底支援装置018 図 6 4

海中昇降装置001 図 3 2

に対比する。航法制御系の内容が海中昇降装置001に比べて簡略化されている

(下記) ほかは、同一である。

航法制御系の動作については、

海底支援装置018 図 6 5

海中昇降装置001 図 3 3

に対比する。海中昇降装置001に比べて、光学航法とドッキング航法がない分簡略化されている。また、離床時は、海底支援装置018が自己位置を保持したまま離床するので、位置の初期設定は簡略化される。

[0144] (2) 慣性航法

慣性航法系の動作については、

海底支援装置018 図 6 9

海中昇降装置001 図 3 4

に対比する。図 6 9 (a) において、外形の相違に対応してピッチ、ヨー、ロールを海中昇降装置001と同様に割り当てている。処理は共通である。

(3) 音響航法

音響測距の原理と実現方法については、

海底支援装置018 図 6 8

海中昇降装置001 図 3 5

に対比する。図 6 8 (a) (b) において、外形の相違に対応して感音素子 A~D 1 3 2~1 3 5 および発音素子 1 3 1 を 4 台の海中昇降ユニットの 0 0 5 の頂部と、海底支援装置プラットフォーム機構 0 2 7 の下面に配置した。これに伴う音波の伝搬は図 6 8 (c) (d) に記すように海中昇降装置 0 0 1 と同様に扱えるため、海中昇降装置 0 0 1 と同一の音響航法を利用できる。

(4) 光学航法

海底支援装置018には適用しない。

(5) ドッキング航法

海底支援装置018には適用しない。

[0145] 4 運用モード制御

海中昇降装置 001 との対比は下記である。

海底支援装置018 図 7 0

海中昇降装置001 図 4 8

海底支援装置018は降下時に浮力が不足するために水素ガスを浮力タンク003に充填して降下するため下記運用が海中昇降装置001と異なる。

(a) No. 6 降下準備（水素ガス充填）

(b) No. 7 降下

(9) No. 9 降下後処理（浮力削減）

詳細は「5. 流体構成制御」で記述する。

[0146] 5. 流体構成制御

海中昇降装置 001 と共通の構成要素である海中昇降ユニット005内部の流体構成を入れ替えて、各運用モードに対応した内部状態を実現するように配管状態を制御して液体構成を変更させる制御であるので、原理は海中昇降装置 001 と同一である。ただし運用が海中昇降装置 001 と異なるので図 4 8 に替り図 7 0 を適用する。(a) (c) 処理フロー 1、2 は図 4 8 と同じである。運用モードの移行は図 7 9 (b) 運用モード一覧と各モードに対応した図 7 1 から図 8 0 の配管系統に従って、下記 (1) ～ (10) の制御を行う。

(1) 浮上中 (運用モード 1 図 7 1)

(a) 海底支援装置018

海中昇降装置 001 と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0147] (2) 浮上終了 MCH Unload (運用モード 2 図 7 2)

(a) 海底支援装置018

海中昇降装置001と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

海底支援装置018と接続しMCH移送。

(3) 降下準備（トルエン充填）（運用モード3 図73）

(a) 海底支援装置018

海中昇降装置001と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

海底支援装置018と接続しトルエンを移送。

(4) 降下準備（純水充填）（運用モード4 図74）

(a) 海底支援装置018

海中昇降装置001と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

海底支援装置018と接続し純水を移送

[0148] (5) 降下中（運用モード5 図75）

(a) 海底支援装置018

海底支援装置018は、海底より採集鉱石の替りに海底支援装置プラットフォーム機構027、水素ガス発生装置024、鉱物収集装置 019を荷重として浮上しているため、海面で積み下ろす荷重はない。海中昇降ユニット005の浮力タンク003に1気圧の水素ガスが存在する状態で海水と同じ比重を維持しているため、浮力タンク003に液体を充填すると海水より比重が大きくなり、海底への軟着陸が不可能となる。海底支援装置018全体が海面で海水と同じ比重（実際は若干大きくなるように設定する）となるように、降下開始にあたって浮力タンク003に1気圧の水素ガスを充填し、海底支援装置018全体の比重を1.0とする。この状態で降下を開始する。

降下中は水素ガス発生装置024で水素ガスを発生させて浮力を維持しつつ降下

させる。図 7 7 の配管接続で、図 6 6 海底支援装置の制御系のブロックダイアグラムにおける水素ガス発生制御系268を、と異なる降下中に外部との弁を閉鎖して沈下させる。

(b) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0149] (6) 海底移動中 (運用モード6 図 7 6)

(a) 海底支援装置018

(1) 移動準備として海底支援装置018の全体の比重が1.0となるように浮力タンク003の水素ガスを水素ガス発生装置により増量し、図 1 6 (a) 上昇開始の状態にする。水素ガス増量に伴い、余剰の海水は排出する。

(2) 海中昇降ユニット005を密閉状態にして大型推進装置200、中型推進装置201により上昇し、その後、大型推進装置200、中型推進装置201の推進方向を変更して海底と平行移動して所定位置上でにより大型推進装置200、中型推進装置201下降し着床する。

着床後は、水素ガスをトルエンに吸着するか放出することにより減容し比重を1.0より大きくする。

図 1 5 (a) は通常運転時の状態を示しており、鉬物収集装置019用のランプウェイ025は展開された状態であり、海中昇降ユニット005内の水素ガスは海底支援装置018の比重が1.0より大きくなるように減容されている。

図 1 5 (b) は移動に備えて鉬物収集装置019を搭載し、ランプウェイ025を収容し、電気分解により水素ガスを増量し、海底支援装置018の比重を1.0とする。

大型推進装置200、中型推進装置201により上昇、水平移動、下降をおこない着床する。

図 1 5 (d) は水素ガスを減容して海底支援装置018の比重を1.0より大きくした状態である。

(b) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0150] (7) 下降後 浮力削減処理(水素ガス削減) (運用モード7 図77)

(a) 海底支援装置018

海底支援装置018の浮力タンク003に蓄積された水素ガスを水素ガス吸収反応器009に導きトルエンに吸収させてMCHに変える。V12,P2経由で液体タンク004に区画3に送出する。

水素ガスの減容に対応してV2,V8,P1経由で海水を浮力タンク003に注入する。

(b) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

(8) 浮上準備 浮力増加 (運用モード8 図78)

(a) 海底支援装置018

水素ガス発生装置024を起動して、浮力タンク003内の水素ガスを増容し海底支援装置018全体の比重を1.0にして浮上可能とする。

(b) 海上司令船

他系と配管接続はなく、独立運用。

[0151] VI I 水素ガス発生装置

海底支援装置018には図6で示されるように浮力発生を目的として、水素ガス発生装置024が設置される。水素ガス発生装置の構造は図81に示す通りで、本発明の実施例では、海底支援装置018に4セットの海中昇降ユニット0~3が搭載されていることに対応して4セットの水素発生ユニット0~3 351~354が設置される。海底支援装置018の各海中昇降ユニットは図71~78に示すようにバルブ6、13(V6,V13)経由でポンプ4(P4)により純水を水素ガス発生装置024に送出することができ、図79の海中昇降ユニット0~3 0050~0053の対応する海中昇降ユニットから調節弁360を経由して水電気分解積層ユニット359に導かれる。電気分解用の電気は海底支援装置018

の分電盤482より水素発生ユニット0～3 351～354 の分電盤である水素ガス発生ユニット分電盤480に供給され、安全遮断スイッチ 360を介して水電気分解積層ユニット359に供給される。水電気分解積層ユニット359は定格連続運転が通常の運用であるが、水素ガス発生ユニット制御盤482を介して個別水電気分解積層ユニット359ごとに安全遮断スイッチ 360

のON/OFF、調節弁 360による水流量の調節ができる。水素ガス発生ユニット制御盤482は、海底支援装置制御システム 431の水素ガス発生制御装置インターフェイス464を介して海底支援装置監視制御システム 446に制御される。水電気分解積層ユニット359で発生した水素ガスは図71～78の海中昇降ユニットのバルブO (VO) 経由でポンプO (PO) により、浮力タンク 003に蓄積される。

[0152] 各海中昇降ユニットに対応する水電気分解積層ユニット359は複数のユニットから構成されている。各水電気分解積層ユニット359は図80の構造をしており、固体高分子型積層燃料電池／電気分解装置として公知である。

水素ガス燃料電池は水素ガスと酸素を与えて水を生成しその時発電する装置であるが、同一構造の装置を逆運転して、水と電力を与えて水を電気分解して酸素ガスと水素ガスを発生できることが広く知られている。図80は水電気分解積層ユニットの構造を示しており公然実施されているものである。水素ガス燃料電池はすでに自動車用として小型耐久性のあるものが商品化されており、トヨタ自動車MIRAI用では積層370枚、発電能力114kw、体積37リットル重量56kgである。

同等レベルの技術を適用して水電気分解による水素ガス発生装置として構成した場合、海中昇降ユニット1台あたり5000m海底の500気圧で1日280 m³の水素ガスを発生するためには、10時間/日 運転する場合、MIRAIレベルの水電気分解積層ユニット1000台、重量で56トン、37m³となる。海底支援装置 018としては、水電気分解積層ユニット4000台となるが、海底支援装置 018の重量要求からは余裕をもって搭載できる範囲である。

[0153] コスト面では、運用深度を5000mと想定したが、深度を1/3として1700m、運転

時間を船上に充電装置を設置して24時間/日、回収鉱石量を1/4の250トン/日とすれば、水電気分解積層ユニットは140台に削減できる。水電気分解積層ユニット/燃料電池の今後の低コスト化と併せて対応すればよい。

水電気分解の性能低下要因は、電極に発生する分解ガスの気泡により電流が妨げられ効率が低下することが挙げられており、これを防止するために加圧環境で電気分解を行う装置も商品化されている。このことから、海底の高圧環境は電気分解には好適であり、構造的にも高圧環境での動作を妨げる要因はない。

積層1層に印加する電圧は電気化学的に決まっており1.4~2Vである。MI RAIの場合、370層で600Vであるので1層1.6Vである。電気分解用電力は海上司令船 016より海中電力ケーブルで供給するので、海底支援装置 018、海中昇降装置001の動特性に影響を与えないよう水中重量の軽量化、水抵抗の削減が求められるので積層数を増加して高圧送電に対応することが望ましい。

[0154] VII I 電力発生装置

本発明になる海底資源揚収装置では、水素ガス発生のため電力を必要とする。海上司令船 016は洋上の定点に停泊する運用のため、海面を利用した太陽光発電を行うことにより、発電電力をMCH（メチルシクロヘキサン）として水素エネルギーとして運搬できるため送電の問題と用地確保の問題が発生しない。太陽電池としてもフィルム型のものが急速に進歩しており、マイクロインバータの進歩と併せて本発明になる洋上発電装置が実現できる段階となった。

1. 潮流と波浪条件

本発明になる海底資源揚収装置は図5に示す太平洋海域を対象としており、とくに赤道以北、小笠原近辺までの海域を対象と想定している。図81（a）に示すように、この地域の海象は気象庁により波高が予報され、図81（b）に示すように海上保安庁により海流分布が示される。

海流は0.5～1.5ノットであり、波高は台風、低気圧海域を除いて3 m以下である。

[0155] 2. 電源装置の要件

(1) 耐環境性

海面での運用のため防水が不可欠であり、年オーダーの長時間運用であるため耐久性が必要である。海面での波動、展開・撤収時の曲げ応力がかかるのでフィルム上である必要がある。

台風時を除いて3 mまでの波高に耐えられるためには、図81(c)で海面の挙動を分析すると、波高0 mに比して波高3 mの場合の海面長は0.05 %増えるので、このレベルの伸縮に耐えればよい。

(2) 発電面積

対象海域での日射量は年間2000kWh/m²とされているので1日では 5.5 kWh//m²となる。

発電効率10% (2020年) で 0.55 kWh/m²となる。

海底5000 mから日量1000トン揚収するとすると 500atmの水素を1000 m³発生する必要がある。所要電力は2500MWhであるので、発電面積は4.5 km²となる。

海底5000mからの揚収を1/3として1700mとし、回収鉱石量を1/4の250トン/日に削減すれば、発電面積は0.38 km²となる。

(3) 展開および撤収

台風時には破損を避けるために撤収し、通過後展開する。少人数の関与で2～3時間で展開、撤収を完了する。

(4) 保守性

大面積となるため、部分的に不具合を検出して船上で交換可能でなくてはならない。

[0156] 3. 洋上太陽光発電装置

「2. 電源装置の要件」に合致する実施例を図82～89に示す。なお、洋上太陽光発電装置は海上司令船018に搭載される発電機で代替するこ

とができる。

(1) 太陽電池の構造

図82(a)に太陽電池の展開状態を示す。海上司令船016より、海流410の下流側に向けてストリップ上の太陽電池を複数展開する。海上司令船016は定点停止しているので、0.5～1.5ノットの海流に流されて展開する形となる。牽引索403により太陽電池ストリップは海上司令船016に連繫される。図82(b)は太陽電池ストリップ401を図示したもので、先端に自走式太陽電池展開装置404を設け、展開時には太陽電池ストリップ401を巻出しながら前進展開し、撤収時には太陽電池ストリップ401を巻取りながら後退撤収する。海上司令船016側は相互に接続された太陽電池ストリップ牽引板390が牽引索403で牽引される構造となっており、太陽電池ストリップ401の端にある太陽電池ストリップ終端棒391が太陽電池ストリップ牽引板390に接続される。

太陽電池ストリップ401は帯状に接続された太陽電池ユニット412で、一定長の太陽電池フィルム400を発泡プラスチック407シートに張り付け保護膜402で密封し覆って太陽電池ユニット412を構成している。太陽電池ユニット412は自重で海面に浮かぶ。

保護膜402は太陽電池フィルム400を海水等の環境から防護するほか、太陽電池ユニット412の強度強化を担う。マイクロインバータ405は太陽電池フィルム400が発生した直流電圧を交流に変換して、ACケーブル406に集電するための半導体回路であり、太陽電池ユニット412毎に設けられる。

[0157] 太陽電池ストリップ401は自走式太陽電池展開装置404の回転ドラム415(図84)に巻き取って収納するが、太陽電池ユニット412の厚さが5mmである場合、半径0.5mの回転ドラム415に半径2mになるまで巻き取ることにより約5kmの太陽電池ストリップ401を収納できる。マイクロインバータ405は近年進歩が進んでいるが半導体回路であるため厚さ4mmで構成することに本質的障害はなく、太陽電池ユニット412の内部に埋め込む構造とする。

太陽電池ユニット412は隣接する太陽電池ユニット412とジッパージョイント

408で接続する。これは、太陽電池ユニット412が故障したとき、海上司令船016上で交換保守可能とするものである。さらにジッパージョイント 408部に弾性を持たすことにより太陽電池ストリップ401に対する波動等による応力を吸収する役目も持たせる。

太陽電池ストリップ401の側辺には乗り上げ防止フィン 409を設け、隣接の太陽電池ストリップ401に乗り上げないようにする。乗り上げ防止フィン 409は巻取時には平坦になるように弾性を持たせる。

[0158] 太陽電池ストリップ401は図86の巻取ホイール414の回転ドラム415に巻き取った状態で海上司令船016に収納され、目標海域で展開される。台風近接時には展開していた太陽電池ストリップ401を短時間（2～3時間）に少数の関与人員で撤収し、海象回復後は再展開する必要がある、撤収と再展開を可能とする方式と構造を有しなくてはならない。図84は太陽電池ストリップ401の展開および撤収用に用いる自航式太陽電池展開装置の構造を示す。

牽引クレードル411は中央部に巻取ホイール414を収納して洋上を航走して太陽電池ストリップ401を巻出または巻取を行う浮上体で、全部両舷に推進モーター412を設け水流ジェットにより前進、後退および変針が可能である。牽引クレードル411中央部には巻取ホイール414を収納する穴があり、巻取ホイール414の中心コア413の固定装置 417により牽引クレードル411に固定される。固定装置417および中心軸425、巻取モーター416、回転伝達装置 418は挿画に固着され、牽引クレードル411に固定される。

回転ドラム415は、回転軸受424を介して中心軸425と接し、巻取モーター416の回転を回転伝達装置418により伝達される。巻取モーター416により、回転ドラム415は正転または逆転をして、太陽電池ストリップ401の巻出または巻取をおこなう。牽引クレードル411の前部海中にオッターボード（トロール漁業の網展開にこちいられる）と呼ばれる水中翼を設け、位置制御モータードライブ装置429により方向を調整することにより、展開後、潮流により太陽電池ストリップ401の方向を推進モーター420によらずに制御することができる。位置制御モータードライブ装置429は太陽電池ストリ

ップ自航式展開制御システム 428 により制御する。

図 85 は自航式太陽電池展開装置の上面図および側面図である。牽引クレードル 411 は自己形状保持が可能で、巻取ホイール 414 の中心コア 413 の回転を防止できるだけの浮力があれば樹脂製の空洞体でも、空気膨張のゴムボートでもよい。牽引クレードル 411 の移動速度は太陽電池ストリップ 401 の展開撤収速度より秒速 1 m 近辺である。

[0159] (2) 太陽電池の展開と撤収

図 83 は太陽電池ストリップ 401 の展開および撤収の手順を示したものである。

図 83 (1) (2) (3) は順次、自走式太陽電池展開装置 401 を牽引索 403 に連続して繋ぎ、潮流の下流に向かって流している図である。図 83 (4) (5) は牽引索 403 を伸展させて自走式太陽電池展開装置 404 を海流 410 に直角となるようにする手順を示す。

図 86 を用いて太陽電池ストリップ 401 の展開時の太陽電池ストリップ牽引板 390 の動作を示す。

太陽電池ストリップ牽引板 390 は相互に太陽電池ストリップ牽引板ジョイント 392 で接続され牽引索 403 で海上司令船 016 に牽引される (図 86 (a))。各太陽電池ストリップ牽引板 390 には牽引クレードル 411 が牽引クレードル把持アーム 393 で接続される。太陽電池ストリップ牽引板 390 には太陽電池ストリップ 401 の末端となる太陽電池ストリップ終端棒 391 が太陽電池ストリップ終端棒把持アーム 395 で把持される。

牽引クレードル把持アーム 393 および太陽電池ストリップ終端棒把持アーム 395 はそれぞれ、牽引クレードル把持アーム駆動機構 394 および太陽電池ストリップ終端棒把持アーム駆動機構 396 により把持と解放を制御できる。(図 86 (b))

図 83 (1) ~ (3) では、牽引クレードル 411 に太陽電池ストリップ 401 を巻き取ってある巻取ホイール 414 を投入設定し、太陽電池ストリップ終端棒 391 を太陽電池ストリップ終端棒把持アーム 395 で把持する。太陽電池ストリップ

プ401が太陽電池ストリップ牽引板390

に接続され、集電ケーブル 397が太陽電池ストリップ401に接続される。

図83(5)で牽引クレードル把持アーム 393 を解放して推進モーター 420、421を駆動して自走式太陽電池展開装置404を前進させる(図83(6))。太陽電池ストリップ401の撤収は展開と逆の手順を行う。

[0160] (3) 太陽電池ストリップ自航式展開制御システム

自走式太陽電池展開装置404は図87の太陽電池ストリップ自航式展開制御システム467により制御される。GPS 419により自走式太陽電池展開装置404の位置を知る、光インターフェイス

453を介して電源装置監視制御システム450(図90)より展開/撤収指令を受ける。演算装置442は回転数制御モータドライバ装置 423を介して回転ドラム415の巻取モーター416および右舷推進器モーター420、左舷推進器モーター 421を制御する。位置制御モータドライバ装置 429は展開後、潮流による展開方向制御のためオッターボード426の方向を制御する。

太陽電池ストリップ自航式展開制御システム467の目的は、太陽電池ストリップ401の展開/撤収速度を指定値(一定値)に制御すること、太陽電池フィルム400にかかる張力を一定に制御すること、および自走式太陽電池展開装置404の進行方向を指定の方向にすることである。

図88、89に太陽電池ストリップ自航式展開制御システムの動作を示す。

電源装置監視制御システム450からの指令を受信し(処理ブロック700)指令内容と現在状態

により分岐する(処理ブロック701,702)。初期状態で展開前準備指令を受けると(処理ブロック703)太陽電池ストリップ 401の展開方位および展開ラインを設定し(処理ブロック707)、展開方位と現在方位が一致していない場合には左舷および右舷推進器モーター

により現在方位修正する(処理ブロック710)。電源装置監視制御システム450からの指令が「展開」の場合には左舷および右舷推進器モーターを制御してクレードル進行方位と進行速度を指定値に制御する(処理ブロック711)

。さらに太陽電池ストリップ 401の張力を一定値に制御する（処理ブロック 712）。展開完了位置を達成すると処理を終了する（処理ブロック713,714）。電源装置監視制御システム450から「運用（発電）」の指令を受けるとオッターボードを制御して太陽電池ストリップ401の展開方向を指定値に制御する。必要に応じて左舷および右舷推進器モーターを制御し、太陽電池ストリップ 401の張力を一定値に制御する（処理ブロック715,716）。電源装置監視制御システム450から「撤収」の指令を受けると展開と逆方向の制御を行う。速度および張力の制御は、製紙、圧延などで古くからモーター制御として実施されている技術である。

[0161] IX 監視制御システム

1. システム構成

図90に海底資源採集装置全体の監視制御システム構成を示す。各システムの機能は、ここまでに述べてきた機能を計算機で実現するものであるが、海上司令船 016以外は無人であるので、海上司令船 016ですべての監視制御を行う。

海中昇降装置コンソール441は各海中昇降装置001の監視制御を各海中昇降装置001ごとに設置されている海中昇降装置制御システム430を介して行う。

海底支援装置コンソール442は海底支援装置018の監視制御を各海底支援装置018ごとに設置されている海底支援装置制御システム431を介して行う。 鉤物収集装置 019は海底支援装置コンソール442より海底支援装置監視制御システム448、光ケーブル452を介して遠隔操作で運転する。電源装置コンソール443は電源装置制御システム432を介して各太陽電池ストリップ展開制御システムを制御する。

2. 電源システム

図91に全体構成を示す。

水素ガスの発生にもっとも電力を消費するが、洋上での太陽光発電は1つの供給源例である。海上司令船 016上に発電機を設置してもよい。充電装置483を

設置すると太陽光発電電力を充電し水素ガス発生を時間的に平準化することにより水素ガス発生装置を削減することができる。

[0162] X 運転方法

1. 連続運用の要件

本発明になる海底資源採収装置の運用においては、海上司令船016より継続的にトルエンと純水と電力を供給して、海中昇降装置001より継続的に採集鉱物とMCHを継続的に回収し、さらに、海底支援装置018の海底深度の変更を含む設置位置の変更を行いながら継続的に運用する必要がある。運用の手順は、下記である。

(1) 対象海域の海底に海底支援装置018を海上司令船016より降下させて着床させる。

(2) 海底支援装置018の比重を海水より大きくして、海底に定位し、鉱物収集装置020（電動ブルトーザ）を海底に展開する。

(3) 海上司令船016より、海中昇降装置001を海底支援装置018に向けて降下させ、鉱物収集装置020が採集集積した鉱物を海中昇降装置001に搭載し、水素ガスを充填して海上司令船016に向けて浮上させる。（

(3)は鉱物収集装置020が海底支援装置018周辺の鉱物を採集し終わるまで繰り返す）

[0163] (4) 海底支援装置018を海底より離床させ着床位置を変更する。この時、深度を変更しないで水平位置のみ移動する場合、より深度の大きい地点へ移動する場合、より深度が小さい地点へ移動する場合がある。移動した地点で(3)の運用を繰り返す。着床位置の変更には、鉱物収集装置020を海底支援装置018に回収して、海底支援装置018の比重を水素ガス発生により周囲海水と同一としてから海底より離床させ、目的地点で着床させて、(2)と同様の操作を行う。

(5) 上記の(2)(3)(4)の運用は海底支援装置018を海上司令船016に回収して保守・整備を行うまで繰り返す。

(6) 海底支援装置 018 を海底から離床させて海上司令船 016 に回収する。

海中昇降装置 001 と海底支援装置 018 を、トルエン、純水、MCH、採集鉱物の周囲海水との比重と圧力のバランスを維持しながら、海底と海面間で継続的に往復させる必要がある。このため、海中昇降装置 001 と海底支援装置 018 のトルエン、純水、MCH、採集鉱物の配分と量的な制約を明確にして、継続的運用を行うための条件を以下に示す。

[0164] 1. 1 略号と諸元の定義

(1) 物理定数は表 01 (a) に従う。

(2) 海中昇降装置 001 と海底支援装置 018 の機器重量と寸法は、以下の例では「1 概念と実現性 4. 実現性」で述べた諸元の体積重量レベルで 0.4 倍を想定している。

海中昇降装置 001 の諸元は表 01 (b) であり、海底支援装置 018 の諸元は表 01 (c) である。

[0165]

[表01]

(b)

海中昇降装置 諸元	単位	略号	
浮力タンク+反応器	m3	Vfr	125.0
反応器体積	m3	Vr	20.0
液体タンク	m3	VI	95.0
浮力タンク	m3	Vf	105.0
反応器補機重量	ton	Wfr	13.0
外壁構造体	ton	Wfs	2.0

(c)

海底支援装置 諸元	単位	略号		参考 単機
浮力タンク+反応器	m3		500	125
反応器体積	m3		80	20
液体タンク	m3		380	95
浮力タンク	m3		420	105
反応器補機重量	ton		52	13
外壁構造体	ton		8	2
プラットフォーム機構	ton		48	
水素発生装置	ton		56	

(a)

定数表	単位	略号	
海水比重		pw	1.02500
トルエン比重		pt	0.86690
MCH比重		pm	0.77000
トルエン分子量		mt	92.1400
MCH分子量		mm	98.1860
水分子量		mw	18.01528
水素ガス分子量		mh	2.01588
Mol体積	L	Mol	22.4
トルエン浮力			0.29870
MCH浮力			-0.98915

[0166] 1. 2 構成物の物性

海底資源採収装置を構成する流体（気体、液体）の物性は下記である。水素ガスのみが気相であり、その他は液相である。モル数は圧力によらず一定であること、流体の出入りは緊急事態対応を除いて海面と海底以外ではないので、上昇・下降・移動過程ではモル数は一定としてよいことから流体はモル数を基準に表現し分析する。

(1) 水素ガス

- a. モル数(10E6) M_H
- b. 重量(ton) $W_H = M_H * m_H$
- c. 体積(m3) $V_H = (M_H / P) * M_o l * 1000$

(2) トルエン

- a. モル数(10E6) M_T
- b. 重量(ton) $W_T = M_T * m_T$
- c. 体積(m3) $V_T = M_T * m_T / \rho_T$

[0167] (3) MCH

- a. モル数(10E6) M_M
- b. 重量(ton) $W_M = M_M * m_M$
- c. 体積(m3) $V_M = M_M * m_M / \rho_M$

(4) 純水

- a. モル数(10E6) M_W
- b. 重量(ton) $W_W = M_W * m_W$
- c. 体積(m3) $V_W = M_W * m_W$

[0168] 1. 3 上昇・下降・移動過程での反応

上昇・下降・移動過程で周囲海水と同一比重、同一圧力を実現するために下記反応を行う。

- (a) 上昇 浮力を得るために必ず気相の水素ガスを含むため、有機ハ

イドライド反応を行う。

(b) 下降 気相の水素ガスを含む場合 水電気分解による水素ガス発生反応

気相の水素ガスを含まず、すべて液相である場合 反応を行わない

(1) 有機ハイドライド反応

以下で添え字0は初期値、 Δ は初期値からの変化分を示す。

$$M_H = M_{H0} + \Delta M_H$$

$$M_T = M_{T0} + \Delta M_T$$

$$M_M = M_{M0} + \Delta M_M$$

反応条件より、

$$\Delta M_T = \Delta M_H / 3$$

$$\Delta M_M = -\Delta M_H / 3$$

このとき、浮力F（上向きが正）は下記となる。

$$F = (V_H - W_H) + (V_T - W_M) + (V_T - W_T) - (X_B + X_L)$$

モル数で表現するよう変形して

$$F + (X_B + X_L) = M_H (1000 * M_o / P - m_H) + (1 / \rho_T - 1) M_T * m_T \\ + (1 / \rho_M - 1) M_M * m_M$$

が成り立つ。

[0169] 異なる深度の圧力 P_0 , $P_0 + \Delta P$ に対応する浮力を F_0 , F_1 とすると

$$F_0 + (X_B + X_L) = M_{H0} (1000 * M_o / P_0 - m_H) + (1 / \rho_T - 1) M_{T0} * m_T \\ + (1 / \rho_M - 1) M_{M0} * m_M$$

$$F_1 + (X_B + X_L) = (M_{H0} + \Delta M_H) (1000 * M_o / (P_0 + \Delta P) - m_H) \\ + (1 / \rho_T - 1) (M_{T0} + \Delta M_T) * m_T \\ + (1 / \rho_M - 1) (M_{M0} + \Delta M_M) * m_M$$

が成り立つ。

有機ハイドライド反応条件を組み込んで次式を得る。

[0170] (数038)

$$\begin{aligned} \Delta M_H = & \left((1000 * M_{O1} * \Delta P * M_{H0}) / (P_0 * (P_0 + \Delta P)) + (F_1 - F_0) \right) \\ & / \left(1 - (1000 * M_{O1} / (P_0 + \Delta P) + m_H) \right) \\ & + (1 / \rho_T - 1) * m_T / 3 \\ & + (1 / \rho_M - 1) * m_M / 3 \end{aligned}$$

P_0 , M_{H0} は初期値として与えられ、 ΔP は深度差に対応した圧力差、 F_0 と F_1 は初期位置と移動先での浮力であり、浮上および降下過程ではいずれも0に設定する。

[0171] (2) 水電気分解

以下で添え字0は初期値、 Δ は初期値からの変化分を示す。

異なる深度の圧力 P_0 , $P_0 + \Delta P$ に対応する浮力を F_0 , F_1 とすると、有機ハイドライド反応と同様に下記が成り立つ。

$$\begin{aligned} F_0 + (X_B + X_L) = & M_{H0} (1000 * M_{O1} / P_0 - m_H) + (1 / \rho_T - 1) M_{T0} * m_T \\ & + (1 / \rho_M - 1) M_{M0} * m_M \\ F_1 + (X_B + X_L) = & (M_{H0} + \Delta M_H) (1000 * M_{O1} / (P_0 + \Delta P) - m_H) \\ & + (1 / \rho_T - 1) (M_{T0} + \Delta M_T) * m_T \\ & + (1 / \rho_M - 1) (M_{M0} + \Delta M_M) * m_M \end{aligned}$$

水の電気分解の反応条件である、

$$\Delta M_T = 0$$

$$\Delta M_M = 0$$

$$M_W = M_{W0} - \Delta M_W$$

$$M_H = M_{H0} + \Delta M_H$$

を組み込んで次式を得る。

(数039)

$$\Delta M_H = \left((1000 * M_{OI} * \Delta P * M_{H0}) / (P_0 * (P_0 + \Delta P)) + (F_0 - F_1) \right) / \left((1000 * M_{OI} / (P_0 + \Delta P) - m_H) \right)$$

初期値として

(数040)

$$M_{H0} = (F_0 + (X_B + X_L) - (1 / \rho_T - 1) M_{T0} * m_T - (1 / \rho_M - 1) M_{M0} * m_M) / (1000 * M_{OI} / P_0 - m_H)$$

P_0 , M_{H0} は初期値として与えられ、 ΔP は深度差に対応した圧力差、 F_0 と F_1 は初期位置と移動先での浮力であり、浮上および降下過程ではいずれも0に設定する。

[0172] 2. 連続運用の構成

(数038) (数039) (数040) で規定される拘束条件のもとで、
 . 連続運用の要件 (1) ~ (6) に従い連続的に海中昇降装置と海底支援装置を運用して海底から鉱物を揚収する運用を構成する。

図92~94はこの運用例を図示し、表02~表09は対応する数値を示したものである。

図92は海底支援装置018の移動先が同一深度の場合(1500m→1500m)であり、

図93は海底支援装置018の移動先がより浅い深度である場合(1500m→1200m)であり、

図94は海底支援装置018の移動先がより深い深度である場合(1500m→1800m)である。

図92から図94の表記するところの意味を以下に概説する。横軸は時間の

推移を示し、横軸の上側は；海中深度を示し、横軸の上側が海底深度である。横軸の下側は海底着床状態での浮力を示す。浮力が負であるとは海底で水中重量が正であり、重力で着床していることを意味する。海底支援装置 018 は比重が周囲海水より大きくないと海底に固定できないので、着床時には負の浮力に維持する必要がある。スケールの X とは $-1.0X$ で海中昇降装置 001 の定格負荷荷重相当を表す。海中昇降装置 001 への水素ガス充填、鉱石の積載で浮力がそれぞれ約 $1.0X$ 変動するので、海底支援装置 018 の浮力を $-0.2X$ から $-1.5X$ （水中重量としては $0.2X$ から $1.5X$ ）の範囲で変動するように運用する。水中重量が大きくなると浮上するときの所要エネルギーが増大し、海底地盤の保持力に問題が生じる可能性があるためである。

[0173] 海中昇降装置 001 の浮上と海底支援装置 018 の浮上には水素ガスの発生が必要で、純水が電気分解用に必要となる。このことから、海底支援装置 018 では常時、必要な純水とトルエンを保持し、発生した MCH は海中昇降装置 001 の上昇時に洋上に回収する。海底において余剰の純水は投棄できても、トルエンと MCH は環境汚染防止のため投棄は許されない。

図 92～94 で海中昇降装置 001 の 1 号機から 4 号機（図中、○印に 1 から 4）は、図中横座標軸（時間軸）の上側で時間に対する深度の変化として挙動が実線で示され、海底支援装置 018 と海上司令船 016 の間を往復し n レンデブー&ドッキング（図中、○印に 1）の期間、海底支援装置 018 の位置にとどまる。

図 92～94 で海底支援装置 018 は、図中横座標軸（時間軸）の上側で時間に対する深度の変化として挙動が太点線で示され、（1）Ph0 “降下” で海底に着床後は、“移動” の期間（（6-U）Ph5-U “移動Up”、（6）Ph5 “移動” および（6-U）Ph5-D “移動Down”）以外は、（11）Ph6 “浮上” まで水中重量が正（負の浮力）の状態では海底に静止している。水中重量（負の浮力）の時間推移を時間軸の下側に表示している。

以下、「1. 連続運用の要件 (1)～(6)」の実現方法を図92～94と表02～09を参照しながら(1)Ph0～(11)Ph6までに分割して説明する。

[0174] 2. 1 海中昇降装置

図92～94で海中昇降装置001の1号機から4号機(図中、○印に1から4))は、図中横座標軸(時間軸)の上側で時間に対する深度の変化として挙動が実線で示される。次の(1)から(5)の動作を繰り返して、海底より鉱石を揚収する。

表02は深度1500mの海底に対する運用、

表03は深度1200mの海底に対する運用、

表04は深度1800mの海底に対する運用、

の各場合についての海面よりの下降開始時点、海底より浮上時点、海面到着時の気体・液体構成を示す。

(1) “海中昇降装置降下前準備” (図中、○印にJ)

トルエンは浮上時に有機ハイドライド反応で消費するので、その分を降下時に補給する。純水は海中昇降装置001および海底支援装置018の浮上時に使用する水素発生用に補給する。トルエン、純水、MCHの配分は全体の比重が海水と同じとなるように決め、海上司令船016で降下前準備(図中、○印にJ)で充填する。

(2) “降下” 利用する反応なし (図中、○印にC)

海中昇降装置には気体を含めず液体のみを充填する。従って降下時水圧により比重はほとんど変化しないので、有機ハイドライド反応、水素発生を行わずに同一組成で海底に着床する。

[0175] (3) “ランデブー&ドッキング” (図中、○印にI)

海中昇降装置001が海底支援装置018とランデブーしドッキングした時点で、降下時に搭載していた純水を海底支援装置018に全部移送し、トルエンを一部

移送する。MCHは海底支援装置018の移動時と浮力調整時に蓄積されるので浮上時に海中昇降装置001に可能な限り充填し、揚収鉱物を積荷として搭載し、さらに水素を充填して浮力を得て海中昇降装置001全体の比重を海水と同一にして浮上開始できる状態とする。

“浮上開始”時の気体・液体構成は浮上過程で有機ハイドライド反応により周囲海水と等圧、同比重を（数038）により満足させられれば良く、下記

（a）～（h）はいずれもこの条件を満足させることができる実施例である

。

（a）表02 深度1500m 積荷重量100ton 通常モード “浮上開始”

（b）表02 深度1500m 積荷重量100ton MCH回収モード “浮上開始”

（c）表03 深度1200m 積荷重量100ton 通常モード “浮上開始”

（d）表03 深度1200m 積荷重量100ton MCH回収モード “浮上開始”

（e）表04 深度1800m 積荷重量100ton 通常モード “浮上開始”

（f）表04 深度1800m 積荷重量100ton MCH回収モード “浮上開始”

（g）表05 深度1500m 積荷重量11.62ton トルエン全回収モード “浮上開始”

（h）表05 深度1500m 積荷重量31.00ton MCH全回収モード “浮上開始”

[0176] （a）（c）（e）はトルエンとMCHを消費量・生成量見合いで設定した比率であり、（b）（d）（f）は海底にMCHが過剰に蓄積されないよう揚収量を最大限近くに設定した比率で、通常の運用では（a）（c）（e）と（b）（d）（f）の中間値を選択して連続運用を行う。

(g) は積荷重量を犠牲にして水素を含まない全液体の構成でトルエンを最大容量である 200 m³ 揚収する運用であり、(g) は積荷重量を犠牲にして水素を含まない全液体の構成で MCH を最大容量である 200 m³ 揚収する運用である。いずれも気体を含まないため、有機ハイドライド反応および電気分解による水素発生を行わずに余剰トルエンまたは MCH を海底から回収できる例で数値は中間値に設定することも可能である。これにより連続運用の過程で発生する液体種別の偏り修正が可能となる

[0177] (4) 浮上 有機ハイドライド反応 (図中、○印に A)

海底の海底支援装置 018 より有機ハイドライド反応を行いながら周囲海水と同一圧力、同一比重の条件を維持しながら海面に到達する。海中昇降装置 001 の気体・液体構成は下記に従う。

(a) 表 02 深度 1500 m 積荷重量 100 t on 通常モード “浮上開始” → “海面到着”

(b) 表 02 深度 1500 m 積荷重量 100 t on MCH 回収モード “浮上開始” → “海面到着”

(c) 表 03 深度 1200 m 積荷重量 100 t on 通常モード “浮上開始” → “海面到着”

(d) 表 03 深度 1200 m 積荷重量 100 t on MCH 回収モード “浮上開始” → “海面到着”

(e) 表 04 深度 1800 m 積荷重量 100 t on 通常モード “浮上開始” → “海面到着”

(f) 表 04 深度 1800 m 積荷重量 100 t on MCH 回収モード “浮上開始” → “海面到着”

(g) 表 05 深度 1500 m 積荷重量 11.62 t on トルエン全回収モード

“浮上開始” → “海面到着”

(h) 表 05 深度 1500 m 積荷重量 31.00 t on MCH 全回収モード

“浮上開始” → “海面到着”

(5) 海中昇降装置降下後処理 (図中、○印にK)

海上司令船016に海中昇降装置001が到着すると揚収鉱物の積荷とMCHを積降し、運用深度に応じて表02～05の“下降開始”の液体構成に調節して海底支援装置018に向け降下させる。

連続運用では上記(1)～(5)を繰り返し実行する。

[0178] [表02]

海中昇降装置 深度1500m									
運転パラメータ	単位	番号	下降開始		通常モード		MCH回収モード		
			浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着	
現在深度	m	D	0.000	0.000	1500.000	0.000	1500.000	0.000	
揚収海水圧	atg	P	1.000	1.000	151.000	1.000	151.000	1.000	
機体総重量	ton	XB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	
荷積卸	ton		0.000	0.000	100.000	0.000	100.000	0.000	
積荷重量	ton	XL	0.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	
総重量	ton	X	15.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	
水中重量	ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
純水積卸体積	m3		15.000						
トリス積卸体積(積+)	m3			44.476	-20.000	44.476	-40.000	63.680	
MCH積卸体積(積+)	m3			-53.367	4.000	-53.367	30.000	-58.408	
H2モル(10E6)	Mol	Mh	0.000	0.004	0.695	0.004	0.673	0.004	
H2体積	m3	Vh	0.000	98.254	103.144	98.254	99.760	95.050	
H2重量	ton	Wh	0.000	0.000	1.402	0.000	1.356	0.000	
トリス+H2(10E6)	Mol	Mt	0.941	0.522	0.753	0.522	0.565	0.342	
トリス体積	m3	Vt	100.000	55.522	60.000	55.522	60.000	36.320	
H2L重量	ton	Wt	86.690	48.132	69.362	48.132	52.014	31.486	
MCH+H2(10E6)	Mol	Mm	0.058	0.019	0.089	0.019	0.293	0.516	
MCH体積	m3	Vm	7.348	40.715	11.948	40.715	37.348	65.757	
MCH重量	ton	Wm	5.658	31.350	8.738	31.350	28.758	50.633	
純水モル(10E6)	Mol	Mw	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
純水体積	m3	Vw	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
海水体積	m3	Vs	77.652	5.509	5.509	5.509	2.872	2.873	
純水海水体積	m3	Vws	92.652	5.509	5.509	5.509	2.872	2.873	
トリス使用量体積(-)	m3			-24.478		-24.478		-23.680	
MCH生成量体積(+)	m3			29.367		29.367		28.408	

[0179]

[表03]

海中昇降装置 深度1200m							
運転パラメータ	単位	略号	下降開始	通常モード		MOH回収モード	
				浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着
現在深度	m	D	0.000	1200.000	0.000	1200.000	0.000
周囲海水圧	atg	P	1.000	121.000	1.000	121.000	1.000
機体総重量	ton	ΣB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
荷積卸	ton		0.000	100.000	0.000	100.000	0.000
積荷重量	ton	ΣL	0.000	100.000	100.000	100.000	100.000
総重量	ton	Σ	15.000	115.000	115.000	115.000	115.000
水中重量	ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
純水積卸体積	m3		15.000				
トータル積卸体積(積+)	m3			-15.000	34.401	-40.000	58.892
MOH積卸体積(積+)	m3			4.000	-27.276	30.000	-52.665
H2モル (10E6)	Mol	Mh	0.000	0.552	0.004	0.558	0.004
H2体積	m3	Vh	0.000	102.189	98.314	99.506	95.794
H2重量	ton	Wh	0.000	1.113	0.008	1.084	0.006
トータルEL (10E6)	Mol	M	0.941	0.900	0.617	0.565	0.357
トータル体積	m3	Vt	100.000	85.000	65.599	60.000	41.106
トータル重量	ton	Wt	66.690	73.697	56.867	52.014	35.636
MOHEL (10E6)	Mol	Mm	0.058	0.089	0.272	0.293	0.471
MOH体積	m3	Vm	7.348	11.348	34.624	37.348	60.013
MOH重量	ton	Wm	5.858	8.738	26.661	28.758	46.210
純水モル (10E6)	Mol	Mw	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000
純水体積	m3	Vw	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000
海水体積	m3	Vs	77.652	1.463	1.463	3.145	3.145
純水海水体積	m3	Vws	92.652	1.463	1.463	3.145	3.145
トータル使用量体積(-)	m3				-19.401		-18.892
MOH生成量体積(+)	m3				23.276		22.665

[0180]

[表04]

海中昇降装置 深度1800m									
運転バリエーション	単位	略号	下降開始	通常モード		MOH回収モード			
				浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着		
現在深度	m	D	0.000	1800.000	0.000	1800.000	0.000		
海面海水圧	atg	P	1.000	181.000	1.000	181.000	1.000		
機体総重量	ton	>B	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000		
荷積卸	ton		0.000	100.000	0.000	100.000	0.000		
積荷重量	ton	>L	0.000	100.000	100.000	100.000	100.000		
総重量	ton	X	15.000	115.000	115.000	115.000	115.000		
水中重量	ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
純水積卸体積	m3		15.000						
トータル積卸体積(積+)	m3			-20.000	49.455	-40.000	68.494		
MOH積卸体積(積+)	m3			4.000	-39.337	30.000	-54.185		
H2モル (10E6)	Mol	Mh	0.000	0.836	0.004	0.808	0.004		
H2体積	m3	Vh	0.000	103.427	97.544	100.054	94.363		
H2重量	ton	Wh	0.000	1.685	0.008	1.630	0.006		
トータル (10E6)	Mol	M	0.941	0.753	0.476	0.565	0.296		
トータル体積	m3	Vt	100.000	80.000	50.545	60.000	31.506		
トータル重量	ton	Wt	66.690	69.952	43.818	52.014	27.313		
MOHEL (10E3)	Mol	Mm	0.058	0.089	0.366	0.293	0.561		
MOH体積	m3	Vm	7.348	11.348	46.685	37.348	71.533		
MOH重量	ton	Wm	5.858	8.738	35.947	28.768	55.080		
純水モル (10E6)	Mol	Mw	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000		
純水体積	m3	Vw	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
海水体積	m3	Vs	77.652	5.226	5.226	2.598	2.598		
純水海水体積	m3	Vws	92.652	5.226	5.226	2.598	2.598		
トータル使用量体積(-)	m3				-29.455		-38.494		
MOH生成量体積(+)	m3				35.337		34.185		

[0181]

[表05]

海中昇降装置 深度1500m 余剰トルエン 余剰MCH回収運用									
運転バリエーション	単位	略号	下降開始	トルエン回収モード		MCH回収モード			
				浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着		
現在深度	m	D	0.000	1500.000	0.000	1500.000	0.000		
海面海水圧	atg	P	1.000	151.000	1.000	151.000	1.000		
機体総重量	ton	XB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000		
面構卸	ton		0.000	11.620	0.000	0.000	0.000		
積荷重量	ton	XL	0.000	11.620	11.620	31.000	31.000		
総重量	ton	X	15.000	26.620	26.620	46.000	46.000		
水中重量	ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
純水積卸体積	m3		15.000						
トルエン積卸体積(積+)	m3			100.000	-100.000	-40.000	100.000		
MCH積卸体積(積+)	m3			4.000	7.348	30.000	-182.652		
H2モル (10E6)	Mol	Mh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
H2体積	m3	Vh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
H2重量	ton	Wh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
トルエンモル (10E6)	Mol	Mt	0.941	1.932	1.882	0.000	0.000		
トルエン体積	m3	Vt	100.000	200.000	200.000	0.000	0.000		
トルエン重量	ton	Wt	66.690	173.390	173.380	0.000	0.000		
MCHモル (10E6)	Mol	Mm	0.058	0.000	0.000	1.568	1.568		
MCH体積	m3	Vm	7.348	0.000	0.000	200.000	200.000		
MCH重量	ton	Wm	5.858	0.000	0.000	154.000	154.000		
純水モル (10E6)	Mol	Mw	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000		
純水体積	m3	Vw	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
海水体積	m3	Vs	77.652	0.000	0.000	0.000	0.000		
純水海水体積	m3	Vws	92.652	0.000	0.000	0.000	0.000		
トルエン使用量体積(-)	m3				0.000		0.000		
MCH生成量体積(+)	m3				0.000		0.000		

[0182] 2. 2 海底支援装置

海底支援装置018の海中での挙動は図92～94 (1) Ph0 “降下” から (11) Ph6 “浮上” までを太点線で示す。

(1) Ph0 “降下”

図92～94 (1) Ph0 “降下” 部分を水分解反応 (図中、○印にB) を実施しながら海面から海底へ降下し着床する。海底支援装置018はすべてのタンクを液体で充填しても海水比重より大きいので、海面で浮力タンクに水素ガスを充填して全体の比重を海水と同じとしたうえで降下せざる

を得ない。このため、降下中に海底支援装置018の内部圧力と比重を周囲海水と等しくするために電気分解で水素ガスを発生させる。

表06 において、(1) Ph0 “下降開始” の気体・液体構成から (1) Ph0 “海底到着” の気体・液体構成に変化する。

(2) Ph1 “展開”

図92～94 (2) Ph1 “展開” 部分(図中、○印にA、D)に対応する。海底支援装置018は海底着床後、鉱物収集装置019を積下すが、この間安定的に着床している必要がある。着床時には周囲海水と同一比重であるので、鉱物収集装置019を積下しても海底支援装置018が浮上しないように、必要な大きさの水中重量(負の浮力)を与えておく必要がある。この目的で浮力タンク中の水素ガスを有機ハイドライド反応で吸収させる。(MCHが発生)

表06 (1) Ph0の“海底到着”の気体・液体構成から、(2) Ph1の“浮力削減”の気体・液体構成に変化する。

図92～94 (2) Ph1 “展開” 部分(図中、○印にD)で鉱物収集装置019を海底支援装置018より自力走行させて海底に下す。(“ブルトーザ展開”)

表06 (2) Ph1の“ブルトーザ展開”で海底支援装置018の総重量が鉱物収集装置019の分軽くなる。

[0183] (3) Ph2 “鉱石採集と積載・送出(初回)”

図92～94 (3) Ph2 “鉱石採集と積載・送出(初回)” 部分(図中、○印にC、G、H)に対応し、○印にGの部分では、鉱物収集装置019が海底支援装置018に設置された資源回収ユニット007に鉱石を投入するため太実線で示すように採集鉱石の水中重量が増大する。

表06 (3) Ph2において “鉱石積載” から “到着” に移行するが、ここでは気体・液体構成に変化はない。図中、○印にHの部分では、採集鉱石を搭載した資源回収ユニット007に海中昇降装置ユニット005がドッキングすることにより海中昇降装置001への採集鉱石の積載が行われ、荷重が

海底支援装置018から海中昇降装置001に移行する。、○印にHの部分の水中重量変動はこのことを示す。図中、○印に Fの部分では、海底支援装置018に蓄積されている水素ガスを海中昇降装置001に充填することにより海中昇降装置001の比重が周囲海水と同一となり浮上への発進準備が完了する。一方、海底支援装置018は水素の浮力を失うので、○印にFの部分で“水素ガス充填”により水中重量が増大する。

図92～94 (3) Ph2では、海中昇降装置001に充填する水素ガスは(1) Ph0で降下時に発生した水素ガスを使用する点が(4) Ph3との相違であり、海底着床後1回目のみの運用である。

表06 (3) Ph2において“到着”から“水素充填／発進”までは到着した海中昇降装置001に対して鉱石を積載し、純水を積下し、水素の充填等、気体・液体充填を実施する。この間の気体・液体構成の変化を示す。

[0184] (4) Ph3 “鉱石採集と積載・送出（繰返し）”

図92～94 (5) Ph3 “鉱石採集と積載・送出（繰返し）” 部分（図中、○印にB、G、H）に対応する。水電気分解（図中、○印にB）により海底支援装置018に水素ガスを蓄積する以外は「(3) Ph2 “鉱石採集と積載・送出（初回）”」と同一である。海中昇降装置001への充填用水素ガスを海中昇降装置001到着ごとに供給する必要があることに対応する。

(4) Ph3は海底支援装置018の位置を変える必要がない限り繰返し実施する。

海底での位置を変更して鉱物収集を行う場合は「(5) Ph4 “移動準備”」へ移行する。

海面に浮上して海上司令船016に海底支援装置018を収容する場合は、「(10) Ph4 “浮上準備”」へ移行する。

[0185] (5) Ph4 “移動準備”

図92～94 (5) Ph4 “移動準備” 部分（図中、○印にB、E、B）に対応し、「(2) Ph1 “展開”」と逆の運用を行う。すなわち、海

底支援装置018を海底に固定するために増大させていた水中重量を水素ガス発生により減少させ（図中、○印にB）、鉬物収集装置019を自力走行させて、海底支援装置018に搭載収容する（図中、○印にE 鉬物収集装置収容）。鉬物収集装置019を海底支援装置018に搭載すると海底支援装置018の水中重量が増加するので、再度水素ガスを発生させて海底支援装置018全体の比重と内部圧力が周囲海水と等しくなるようにする。

表06 （5）Ph4 の“浮力増加”は水素ガス発生により水中重量が減少し、“ブルトーザ収容”で水中重量が増加し、再度“浮力増加”で水素ガス発生により水中重量が0になり移動準備が完了している。

（6-U） Ph5-U “移動 Up”

現在深度より浅い海底に移動する場合のみに実施する。

図93 （6-U）Ph5-U “移動 Up”部分（図中、○印にA）に対応し、海底より有機ハイドライド反応を行いつつ周囲海水と同一圧力、同一比重の条件を維持し、目的の深度に上昇する。

表08 （6-U）Ph5-U “移動開始”から“移動Up”へ気体・液体構成が変化する。

[0186] （6） Ph5 移動

図92～94 （6）Ph5 “移動”部分（図中、○印にC）に対応する。同一深度での移動であり、有機ハイドライド反応および水素ガス発生は行わず、海底支援装置018の推進装置で目的地点に移動する。

表07～09 （6）Ph5 “移動”では気体・液体構成の変化を伴わない。

[0187]

海底支援装置 深度1500m - 定深度運用

シークエンスNo 運用区分	(1)		(2)		(3)			(4)			(5)		
	Ph0		Ph1		Ph2			Ph3			Ph4		
	下陵開始	海底到着	浮力削減	ブローサ展開	鉛石積載	到着	水素充填/充填	鉛石積載/水素発生	到着	水素充填/充填	浮力増加	ブローサ収容	浮力増加
運転パラメータ	単位	略号											
	m	D	0.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000
	atg	P	1.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000
	ton		30.000	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000
	ton	Wb	194.000	194.000	194.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000
	ton		0.000	0.000	0.000	100.000	0.000	-100.000	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ton		0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	0.000	100.000	100.000	0.000	0.000	0.000
	ton	W	194.000	194.000	194.000	164.000	264.000	164.000	264.000	164.000	164.000	164.000	194.000
	ton	F	0.000	0.000	50.000	20.000	120.000	118.258	118.258	118.258	20.000	50.000	0.000
	m3						15.000	-103.144					
	m3						20.000						
	m3						-4.000						
	m3												
	Mol	Mh	0.007	1.144	0.790	0.790	0.790	0.095	0.790	0.095	0.766	0.766	1.108
	m3	Nh	167.395	169.686	117.181	117.181	117.181	14.038	117.181	14.038	113.649	113.649	184.338
ton		0.015	2.306	1.592	1.592	1.592	0.191	1.592	0.191	1.544	1.544	2.233	
Mol	Mt	1.882	1.882	1.764	1.764	1.764	1.952	1.952	2.140	2.140	2.140	2.140	
m3	Vt	200.000	200.000	187.460	187.460	187.460	207.460	207.460	227.460	227.460	227.460	227.460	
ton	Wt	173.380	173.380	162.509	162.509	162.509	179.847	179.847	197.185	197.185	197.185	197.185	
Mol	Mm	0.000	0.000	0.118	0.118	0.118	0.087	0.087	0.055	0.055	0.055	0.055	
m3	Vm	0.000	0.000	15.044	15.044	15.044	11.044	11.044	7.044	7.044	7.044	7.044	
ton	Wm	0.000	0.000	11.584	11.584	11.584	8.504	8.504	5.424	5.424	5.424	5.424	
Mol	Mw	11.102	9.965	9.965	9.965	9.965	10.798	10.798	10.935	10.935	10.240	9.898	
m3	Vw	200.000	179.528	179.528	179.528	179.528	194.528	194.528	197.002	184.476	184.476	178.320	
m3	Vs	232.605	250.787	300.787	300.787	300.787	269.787	372.930	282.313	267.371	267.371	222.838	
m3	Vws	432.605	430.314	480.314	480.314	480.314	464.314	567.458	464.314	451.846	451.846	401.157	
m3									103.144	99.612		50.689	
m3			-20.472						-12.526	-12.526		-6.156	
m3													
m3				-12.540									
m3				15.044									

海底支援装置 深度1500m 一定深度運用 (続き)

シケンNo 運用区分	(6)		(7)		(8)			(9)			(10)			(11)
	Ph5	移動	浮力削減	ア'ルト-サ' 展開	鉛石積載	到着	水深変動 /発進	鉛石積載 /水素発生	到着	水深変動 /発進	浮力増加	ア'ルト-サ' 収容	浮力増加	Ph6
運転パラメータ														
単位 略号														
現在深度	m	D	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	0.000
周囲海水圧	atig	P	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	1.000
フリート-ザ	ton		30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000	30.000	30.000
機体総重量	ton	Wb	194.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000	194.000	194.000
荷積卸	ton		0.000	0.000	100.000	0.000	-100.000	100.000	0.000	-100.000	0.000	0.000	0.000	0.000
積荷重量	ton		0.000	0.000	100.000	100.000	0.000	100.000	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
総重量	ton	W	194.000	164.000	264.000	264.000	164.000	264.000	264.000	164.000	164.000	194.000	194.000	194.000
水中重量	ton	F	0.000	50.000	120.000	118.258	120.000	118.258	118.258	118.258	20.000	50.000	0.000	0.000
純水積卸体積	m3					15.000	-103.144			-103.144				
H2積卸体積(積+)	m3													
トレン積卸体積(積+)	m3													
MCH積卸体積(積+)	m3													
H2モル (10E6)	Mol	Mh	1.108	0.754	0.754	0.754	0.059	0.754	0.754	0.059	0.742	0.742	1.084	0.00884
H2体積	m3	Nh	164.338	111.834	111.834	111.834	8.690	111.834	111.834	8.690	110.068	110.068	160.756	153.136
H2重量	ton		2.233	1.520	1.520	1.520	0.118	1.520	1.520	0.118	1.496	1.496	2.185	0.014
トレンモル (10E6)	Mol	Mt	2.140	2.022	2.022	2.022	2.210	2.210	2.398	2.398	2.210	2.210	2.210	1.851
トレン体積	m3	Vt	227.460	214.921	214.921	234.921	234.921	234.921	254.921	254.921	234.921	234.921	234.921	196.770
トレン重量	ton	Wt	197.185	186.315	186.315	203.653	203.653	203.653	220.991	220.991	203.653	203.653	203.653	170.580
MCHモル (10E6)	Mol	Mm	0.055	0.173	0.173	0.173	0.142	0.142	0.110	0.110	0.142	0.142	0.142	0.501
MCH体積	m3	Vm	7.044	22.088	22.088	22.088	18.088	18.088	14.088	14.088	18.088	18.088	18.088	63.859
MCH重量	ton	Wm	5.424	17.008	17.008	17.008	13.928	13.928	10.848	10.848	13.928	13.928	13.928	49.171
純水モル (10E6)	Mol	Mw	9.898	9.898	9.898	9.898	10.731	10.036	10.036	10.036	10.047	10.047	9.706	9.706
純水体積	m3	Vw	178.320	178.320	178.320	178.320	193.320	180.794	180.794	180.794	181.008	181.008	174.853	174.853
海水体積	m3	Vs	222.838	272.838	272.838	272.838	344.981	254.364	238.364	341.507	255.915	255.915	211.382	211.383
純水海水体積	m3	Vws	401.157	451.158	451.158	451.158	538.301	435.158	419.158	522.301	436.924	436.924	386.235	386.235
H2発生量	m3							103.144			101.378		50.688	
純水使用量体積	m3							-12.526			-12.312		-6.156	
トレン使用量体積(-)	m3													-38.151
MCH生成量体積(+)	m3													45.771

海底支援装置 深度1500m - >1200m 深度変更運用

シークスノ 運用区分	(6-U)		(6)		(7)		(8)			(9)			(10)			(11)
	Ph5-U		Ph5	移動	浮力削減	ﾌﾞﾛｰｶﾞｰ 展開	Ph1	Ph2	Ph3	ﾌﾞﾛｰｶﾞｰ 収容	Ph4	Ph5	Ph6			
	移動開始	移動Up														
運転パラメータ	単位	略号														
現在深度	m	D	1500.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	0.000	
周囲海水圧	atm	P	151.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	121.000	1.000	
ﾌﾞﾛｰｶﾞｰ	ton		30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000	30.000	
機体総重量	ton	Wb	194.000	194.000	194.000	194.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000	194.000	
同積卸	ton		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.000	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
積荷重量	ton		0.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	0.000	100.000	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
総重量	ton	Wv	194.000	194.000	194.000	194.000	164.000	264.000	64.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000	194.000	
水中重量	ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	120.000	20.920	21.987	20.920	19.178	20.255	20.000	0.000	0.000	
純水積卸体積	m3							15.000								
H2積卸体積(積+)	m3								-102.189							
ﾄﾚﾝﾄﾞ積卸体積(積+)	m3							20.000								
MOH積卸体積(積+)	m3							-4.000								
H2モル(10EB)	Mol	Mh	1.108	0.879	0.879	0.879	0.598	0.598	0.046	0.598	0.598	0.067	0.067	0.876	0.00697	
H2体積	m3	Nh	164.338	162.719	162.719	162.719	110.732	110.732	8.542	110.732	110.732	10.561	10.561	162.212	156.061	
H2重量	ton		2.233	1.772	1.772	1.772	1.206	1.206	0.093	1.206	1.206	0.115	0.115	1.766	0.014	
ﾄﾚﾝﾄﾞMOH	Mol	Mt	2.140	2.064	2.064	1.970	1.970	1.970	1.970	1.970	2.158	1.970	1.970	1.970	1.680	
ﾄﾚﾝﾄﾞ体積	m3	Vt	227.460	219.353	219.353	209.403	209.403	209.403	209.403	209.403	229.403	209.403	209.403	209.403	178.606	
ﾄﾚﾝﾄﾞ重量	ton	Wt	197.185	190.157	190.157	181.532	181.532	181.532	181.532	181.532	198.870	181.532	181.532	181.532	154.834	
MOHモル(10EB)	Mol	Mm	0.055	0.132	0.132	0.225	0.225	0.194	0.194	0.194	0.162	0.194	0.194	0.194	0.484	
MOH体積	m3	Vm	7.044	16.771	16.771	28.707	28.707	28.707	24.707	24.707	20.707	24.707	24.707	24.707	61.655	
MOH重量	ton	Vm	5.424	12.914	12.914	22.105	22.105	22.105	19.025	19.025	15.945	19.025	19.025	19.025	47.475	
純水モル(10EB)	Mol	Mw	9.898	9.898	9.898	9.898	9.898	9.898	10.731	10.731	10.179	10.731	10.731	9.901	9.901	
純水体積	m3	Vw	178.320	178.320	178.320	178.320	178.320	178.320	193.320	183.375	183.375	193.123	193.123	178.365	178.365	
海水体積	m3	Vs	222.838	222.838	222.838	272.838	272.838	272.838	364.027	271.782	255.782	362.205	362.205	225.312	225.312	
純水過水体積	m3	Vws	401.157	401.158	401.158	451.158	451.158	451.158	557.347	455.158	439.158	555.329	555.329	403.677	403.678	
H2発生量	m3		50.689							102.189		2.018	151.651			
純水使用量体積	m3		-6.156							-9.945		-0.196	-14.758			
ﾄﾚﾝﾄﾞ使用量体積(-)	m3		-8.108												-30.797	
MOH使用量体積(-)	m3		9.727												36.948	

海底支援装置 深度1500m - >1800m 深度変更運用

シナリオ 運用区分	単位 略号	(6)		(6-D)		(7)		(8)			(9)			(10)			(11)	
		Ph5	移動	移動Down	Ph5-D	浮力削減	ブローガー 展開	鉛石積載	到着	水空変量 /船速	鉛石積載 /水空変生	到着	水空変量 /船速	浮力増加	ブローガー 取 寄	浮力増加	Ph6	浮上
現在深度	m	D	1500.000	1800.000		1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	1800.000	0.000
周囲海水圧	atg	P	151.000	181.000		181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000	1.000
ブローガー	ton		30.000	30.000		30.000	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000	30.000	30.000	0.000
機体総重量	ton	Wb	194.000	194.000		194.000	194.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000	194.000	194.000	0.000
荷積卸	ton		0.000	0.000		0.000	0.000	100.000	0.000	-100.000	100.000	0.000	-100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
積荷重量	ton		0.000	0.000		0.000	0.000	100.000	100.000	0.000	100.000	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
総重量	ton	W	194.000	194.000		194.000	164.000	264.000	264.000	164.000	264.000	264.000	164.000	164.000	194.000	194.000	194.000	0.000
水中重量	ton	F	0.000	0.000		50.000	20.000	120.000	115.400	117.142	115.400	113.658	115.400	20.000	50.000	0.000	0.000	0.000
純水積卸体積	m3								15.000				-103.427					
H2積卸体積(積+)	m3																	
トランジ積卸体積(積+)	m3																	
MOH積卸体積(積+)	m3								20.000									
H2モル(10EB)	Mol	Mh	1.108	1.332		0.903	0.903	0.903	0.903	0.087	0.903	0.903	0.067	0.865	0.865	1.276	0.00865	
H2体積	m3	Nh	164.338	164.789		111.757	111.757	111.757	111.757	8.330	111.757	111.757	8.330	107.081	107.081	157.909	148.926	
H2重量	ton		2.233	2.684		1.820	1.820	1.820	1.820	0.136	1.820	1.820	0.136	1.744	1.744	2.572	0.013	
トランジモル(10EB)	Mol	Mt	2.140	2.140		1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	2.185	1.997	1.997	1.997	1.574	
トランジ体積	m3	Vt	227.460	227.460		212.278	212.278	212.278	212.278	212.278	212.278	212.278	232.278	212.278	212.278	212.278	167.308	
トランジ重量	ton	Wt	197.185	197.185		184.024	184.024	184.024	184.024	184.024	184.024	201.362	201.362	184.024	184.024	184.024	145.039	
MOHモル(10EB)	Mol	Mm	0.055	0.055		0.198	0.198	0.198	0.198	0.355	0.355	0.355	0.324	0.355	0.355	0.355	0.778	
MOH体積	m3	Vm	7.044	7.044		25.258	25.258	25.258	25.258	45.258	45.258	45.258	41.258	45.258	45.258	45.258	99.210	
MOH重量	ton	Wm	5.424	5.424		19.449	19.449	19.449	19.449	34.849	34.849	31.769	31.769	34.849	34.849	34.849	76.392	
純水モル(10EB)	Mol	Mw	9.898	9.675		9.898	9.898	9.898	10.731	10.731	9.895	9.895	9.895	9.933	9.933	9.522	9.522	
純水体積	m3	Vw	178.320	174.289		178.320	178.320	178.320	193.320	193.320	178.264	178.264	178.264	178.945	178.945	171.546	171.546	
海水体積	m3	Vs	222.838	226.417		272.387	272.387	272.387	237.387	340.814	252.443	236.443	339.869	256.438	256.438	213.009	213.010	
純水海水体積	m3	Vws	401.157	400.706		450.707	450.707	450.707	430.707	534.133	430.707	414.707	518.133	435.383	435.383	384.555	384.556	
H2発生量	m3										103.427			98.751		50.828		
純水使用量体積	m3										-15.056			-14.375		-7.399		
トランジ使用量体積(-)	m3					-15.182											-44.970	
MOH使用量体積(-)	m3					18.214											53.952	

[0191] (6-D) Ph5-D 移動 Down

現在深度より浅い海底に移動する場合のみに実施する。

図94 (6-D) Ph5-D “移動Down” 部分(図中、○印にB)に対応し、水電気分解による発生水素により周囲海水と同一圧力、同一比重の条件を維持しながら目的の深度に降下する。

表09 (6) Ph5 “移動” から (6-D) Ph5-D “移動Down” への移行が気体・液体構成の変化である。

(7) Ph1 “展開”

図92～94 (2) Ph1 “展開” (図中、○印にA、D)に対応する。

「(2) Ph1 “展開”」と同様の操作を行う。

表07～09 (7) Ph1 “浮力削減”、“ブルトーザ展開”では気体・液体構成の変化を伴わない。

(8) Ph2 “鉱石採集と積載・送出(初回)”

図92～94 (3) Ph2 “鉱石採集と積載・送出(初回)” (図中、○印にC、G)に対応する。

「(3) Ph2 “鉱石採集と積載・送出(初回)”」と同様の操作を行う。

表07～09 (8) Ph2 “鉱石積載” “到着” “水素充填／発進”に対応する。

[0192] (9) Ph3 “鉱石採集と積載・送出(繰返し)”

図92～94 (4) Ph3 “鉱石採集と積載・送出(繰返し)” (図中、○印にB、G、H)に対応する。

「(4) Ph3 “鉱石採集と積載・送出(繰返し)”」と同様の操作を行う。

表07～09 (9) Ph3 “鉱石積載／水素発生” “到着” “水素充填／発進”に対応する。

(10) Ph4 “浮上準備”

図92～94 Ph4 “浮上準備” (図中、○印にB、E、B)に対応する。

「(5) Ph4 “移動準備”」と同様の操作を行う。

表07～09 (10) “浮力増加” “ブルトーザ収容” “浮力増加” に対応する。

(11) Ph6 浮上

図92～94 Ph6 “浮上” (図中、○印に A) に対応し、海底より有機ハイドライド反応を行いながら周囲海水と同一圧力、同一比重の条件を維持しながら海面に上昇する。

表07～09 (10) Ph4 “浮力増加” から (11) Ph6 “浮上” への変化が気体・液体構成の変化である。

[0193] 2. 連続運用の効率化

海底資源採収装置では、1機の海底支援装置018に対して複数の海中昇降装置001を割り当てて運用することにより、全体の運用効率が向上する。海中昇降装置001の運用では有機ハイドライド反応の反応時間の制約から海底から海面への上昇に比較的時間を要すること、海中昇降装置001を鉱石の揚収に繰返し使用する場合、海中昇降装置001の運用を時間的に区分して、複数の海中昇降装置001の運用を時間区分をずらせて実施すると、リソースが競合することなく並列運用することができる(パイプライン制御)。

海中昇降装置が順次実行する運用を図95(a)に示すように、下記のように(1)～(4)に区分する。

(1) 積荷荷下し・降下準備(第一段階)

揚収鉱石とMCHの海上司令船への荷下ろし、トルエンおよび純水の充填、

(2) 降下(第二段階)

海面から前記海底支援装置への移動

(3) 浮上準備(ドッキング・鉱石積載・水素充填(第三段階))

集荷ポートへの接続、水素ガス充填、海底支援装置への荷下ろしを含む浮上準備、

(4) 浮上(第四段階)

海底から海面への移動

図 9 5 (b) は深度 5 0 0 0 m から揚収の例であり、図 9 5 (c) は深度 1 0 0 0 m から揚収の例である。

深度が深いと降下および浮上に時間を要するため図 9 5 (a) の各段階が図 9 5 (c) の深度 1 0 0 0 m に対比して図 9 5 (b) の深度 5 0 0 0 m では長い時間を要する。いずれの場合も海底支援装置 0 1 8 1 機に対して海中昇降装置 0 0 1 を 4 機割り当てて時間をずらせてリソースが競合することなく並列運用する例を示している。

産業上の利用可能性

[0194] 本発明の海底資源揚収装置は海底に分布する鉱物資源を収集して揚収することができるが、高圧機構を持たず、また流体の圧送を含まないため機構的な制約がなく、深度 1 0 0 0 m 未満から 5 0 0 0 m を超える深度まで運用することができる。海底で浮力用に充填する水素は海底の水圧と同じであり、浮上にともない海水圧と同一圧力を維持するので圧力による応力の問題がない。同一揚収量で異なった海底深度に対応するためには、海底における水素浮力を等しくする必要があるので充填する水素のモル数と水素吸収用トルエンを増減させることにより行う。最大揚収量の限度内で揚収量を増減させるためには海底で充填する水素の容積を増減させて対応する。

このように運用に柔軟性があるため、高品位の鉱物のある海域を選択的に移動して揚収することができ採算効果が大きい。

浮上用の水素ガスは海底で電気分解により発生するが、水素ガスは MCH として回収されるので水素燃料として販売でき発電コストは大幅に削減できる。

海面に浮体として設置した太陽電池で発電することも可能で、その場合は、海底資源回収と水素エネルギー生成が同時に行え、経済性の高いプラントとして利用できる。

実施例中で示した数値は実現可能性を示すためのものであり、規模を拡大または縮小することができる。

図面の簡単な説明

- [0195] [図1]本発明の海中昇降装置の構成例を示す図である。
- [図2]本発明の海中昇降装置の運用モードを示す図である。
- [図3]マッコウクジラの海中沈降と浮上を示す図である。
- [図4]本発明の海底資源採集装置の全体運用形態を示す図である。
- [図5]海底資源の状況を示す図と写真である。
- [図6]本発明の海底支援装置の構成例を示す図である。
- [図7]本発明の海中昇降装置と海底支援装置の運用を示す図である。
- [図8]本発明の海中昇降装置の外部構造を示す図である。
- [図9]本発明の海中昇降装置の内部構造を示す図である。
- [図10]本発明の海中昇降ユニットの液体タンクの構造を示す図である。
- [図11]本発明の海中昇降ユニットの液体タンクの構造を示すもう一つの図である。
- [図12]本発明の海中昇降ユニットの水素ガス吸収反応器の構造を示す図である。
- [図13]本発明の海中昇降装置の配管系統図である。
- [図14]本発明の海底支援装置の構造を示す図である。
- [図15]本発明の海底支援装置の移動の運用シーケンスを示す図である。
- [図16]本発明の海底支援装置の移動運用シーケンス中の海中昇降ユニットの状態を示す図である。
- [図17]本発明の海底支援装置の配管系統図である。
- [図18]本発明の海底支援装置の海中昇降装置との接続運用時の配管系統図である。
- [図19]本発明の海上司令船の概念図である。
- [図20]本発明の揚収制御の特性を示すグラフである。
- [図21]本発明の揚収制御系のブロックダイアグラムを示す図である。
- [図22]本発明の揚収制御系の統括制御ブロックダイアグラム（１）を示す図

である。

[図23]本発明の揚収制御系の統括制御ブロックダイアグラム（２）を示す図である。

[図24]本発明の海中昇降装置の推進装置を示す図である。

[図25]本発明の海中昇降装置の位置・速度動特性を示す図である。

[図26]本発明の海中昇降装置の姿勢動特性（その１）を示す図である。

[図27]本発明の海中昇降装置の姿勢動特性（その２）を示す図である。

[図28]本発明の海中昇降装置の推進装置の制御ベクトルを示す図である。

[図29]本発明の海中昇降装置の運行制御系のブロックダイアグラムを示す図である。

[図30]本発明の海中昇降装置の航法制御の全容を示す図である。

[図31]海中の音波伝搬特性を示す図である。

[図32]本発明の海中昇降装置の制御系全体構成を示す図である。

[図33]本発明の海中昇降装置の航法制御系の動作を示すフローチャートである。

[図34]本発明の海中昇降装置の慣性航法系の動作を示すフローチャートである。

[図35]本発明の海中昇降装置の音響測距の原理と実現方法を示す図である。

[図36]本発明の海中昇降装置の音響測距の原理と動作を示す図である。

[図37]本発明の海中昇降装置の音響航法系の動作を示すフローチャートである。

[図38]本発明の海中昇降装置の音響測距の原理（その２）を示す図である。

[図39]本発明の海中昇降装置の光学測距の原理（１）を示す図である。

[図40]本発明の海中昇降装置の光学測距の原理（２）を示す図である。

[図41]本発明の海中昇降装置の光学航法系の動作を示すフローチャートである。

[図42]本発明の海中昇降装置の発光素子の識別方式を示す図である。

[図43]本発明の海中昇降装置のドッキング装置の構造を示す図である。

[図44]本発明の海中昇降装置のドッキング装置の把持機構の動作を示す図である。

[図45]本発明の海中昇降装置のドッキング装置の把持機構の構造を示す図である。

[図46]本発明の海中昇降装置のドッキング航法系の動作を示すフローチャートである。

[図47]本発明の海中昇降装置のドッキング航法系の制御量計出の原理を示す図である。

[図48]本発明の海中昇降装置の運転モード制御の動作を示すフローチャートである。

[図49]本発明の海中昇降装置の浮上時の配管接続を示す図である。

[図50]本発明の海中昇降装置の浮上終了水素ガスパージ時の配管接続を示す図である。

[図51]本発明の海中昇降装置の浮上終了MCH UnLoad時の配管接続を示す図である。

[図52]本発明の海中昇降装置の下降準備（トルエン充填）時の配管接続を示す図である。

[図53]本発明の海中昇降装置の下降準備（純水充填）時の配管接続を示す図である。

[図54]本発明の海中昇降装置の下降時の配管接続を示す図である。

[図55]本発明の海中昇降装置の資源回収ユニット交換・移動時の配管接続を示す図である。

[図56]本発明の海中昇降装置の下降後処理（水素ガス充填、純水移送）時の配管接続を示す図である。

[図57]本発明の海中昇降装置の下降後処理（水素ガス充填 純水移送 完了）時の配管接続を示す図である。

[図58]本発明の海中昇降装置の浮上準備（海水注水 浮力調整完了）時の配管接続を示す図である。

[図59]本発明の海底支援装置の姿勢制御推進機構を示す図である。

[図60]本発明の海底支援装置の姿勢動特性を示す図である。

[図61]本発明の海底支援装置の位置・速度動特性を示す図である。

[図62]本発明の海底支援装置の推進装置の制御ベクトルを示す図である。

[図63]本発明の海底支援装置の航法制御の全容を示す図である。

[図64]本発明の海底支援装置の制御系全体構成を示す図である。

[図65]本発明の海底支援装置の航法制御系の動作を示すフローチャートである。

[図66]本発明の海底支援装置の制御系のブロックダイアグラムを示す図である。

[図67]本発明の海底支援装置の降下時の浮力制御の特性を示す図である。

[図68]本発明の海底支援装置の音響航法の原理と実現方法を示す図である。

[図69]本発明の海底支援装置の慣性航法系の動作を示すフローチャートである。

[図70]本発明の海底支援装置の運転モード制御の動作を示すフローチャートである。

[図71]本発明の海底支援装置の浮上中の配管接続を示す図である。

[図72]本発明の海底支援装置の浮上終了時のMCH Unloadの配管接続を示す図である。

[図73]本発明の海底支援装置の降下準備（トルエン充填）の配管接続を示す図である。

[図74]本発明の海底支援装置の降下準備（純水充填）の配管接続を示す図である。

[図75]本発明の海底支援装置の降下中の配管接続を示す図である。

[図76]本発明の海底支援装置の海底移動の配管接続を示す図である。

[図77]本発明の海底支援装置の下降後 浮力削減処理（水素ガス吸収）の配管接続を示す図である。

[図78]本発明の海底支援装置の浮上準備（浮力増加）時の配管接続を示す

図である。

[図79]本発明の海底支援装置の水素発生装置の構造を示す図である。

[図80]本発明の海底支援装置の水素発生装置の水電気分解積層ユニットの構造を示す図である。

[図81]本発明の海底資源採集装置の運用想定海域の海象を示す図である。

[図82]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの構造を示す図である。

[図83]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの展開・撤収方法を示す図である。

[図84]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの自航式太陽電池展開装置の構造を示す図である。

[図85]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの自航式太陽電池展開装置の構造を示す図である。

[図86]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップ牽引板の構造を示す図である。

[図87]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの自航式太陽電池展開装置の展開制御システムを示す図である。

[図88]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの自航式太陽電池展開装置の展開制御システムの動作を示すフローチャートである。

[図89]本発明の海底資源採集装置の太陽電池ストリップの自航式太陽電池展開装置の展開制御システムの動作を示すフローチャートである。

[図90]本発明の海底資源採集装置総合監視制御システム構成を示す図である。

[図91]本発明の海底資源採集装置電源システム構成を示す図である。

[図92]本発明の海底資源採集装置の同一深度での位置変更を伴う連続運用を示す図である。

[図93]本発明の海底資源採集装置のより浅い深度への位置変更を伴う連続運用を示す図である。

[図94]本発明の海底資源採集装置のより深い深度への位置変更を伴う連続運用を示す図である。

[図95]本発明の海底資源採集装置の複数の海中昇降装置による並列運用を示す図である。。

符号の説明

- [0196] 001 海中昇降装置
- 002 仕切り壁
- 003 浮力タンク
- 004 液体タンク
- 005 海中昇降ユニット
- 0050 海中昇降ユニット 0
- 0051 海中昇降ユニット 1
- 0052 海中昇降ユニット 2
- 0053 海中昇降ユニット 3
- 006 機器室
- 007 資源回収ユニット
- 008 外壁
- 009 水素ガス吸収反応器
- 010 採集鉱物
- 011 水素ガス
- 012 トルエン
- 013 MCH（メチルシクロヘキサン）
- 014 純水
- 015 海水
- 016 海上司令船
- 017 運搬船
- 018 海底支援装置
- 019 鉱物収集装置

- 020 電源信号ケーブル
- 021 海面
- 022 海底
- 023 海底資源回収ユニット着脱ポート
- 024 水素ガス発生装置
- 025 ランプウェイ
- 026 着床用脚
- 027 海底支援装置プラットフォーム機構
- 028 鉱物収集装置輸送ポート
- 029 注入排出口
- 030 隔膜
- 031 液体区画 1
- 032 液体区画2
- 033 液体区画3
- 034 液体区画4
- 035 MCHドレイン
- 036 多管式固定床型触媒反応器
- 037 熱交換器
- 038 冷却器
- 039 冷却管
- 040 配管1
- 041 配管2
- 042 配管3
- 043 配管4
- 044 配管5
- 045 配管6
- 046 配管7
- 047 浮力の中心Cと推進装置間距離 L t

- 048 中心軸 Z
- 049 重心と浮力の中心間距離 L_g
- 050 浮力 F
- 051 浮力の中心 C
- 052 重力 W
- 053 重心 G
- 054 推力方向
- 055 suishinn 装置
- 056 スクリュー
- 057 モーター
-
- 059 上部推進面
- 060 下部推進面
- 061 軸長 $2L$
- 062 推進面距離 L_t
- 062 上部推進面合成移動推力 T_u
- 063 下部推進面合成移動推力 T_L
- 064 合成移動推力
- 065 水抵抗力
- 066 基準座標 x 軸
- 067 基準座標 y 軸
- 068 基準座標 z 軸
- 069 海中昇降装置中心軸
- 070 姿勢座標 x 軸
- 071 姿勢座標 y 軸
- 072 姿勢座標 z 軸
- 073 ピッチ角
- 074 ヨー角

- 075 ロール角
- 076 上部推進面ピッチ・ヨー推力
- 077 下部推進面ピッチ・ヨー推力
- 078 上部推進面ロール推力
- 079 下部推進面ロール推力
- 080～087 推力 $T_{U0} \sim T_{U7}$
- 088～095 推力 $T_{L0} \sim T_{L7}$
- 096 推進面合成推力
- 097 上部推進面合成推力
- 098 下部推進面合成推力

[0197] 100 海中昇降装置ポート100

- 101 下降経路
- 102 浮上経路
- 103 慣性航法区間
- 104 音響航法区間
- 105 光学航法区間
- 106 音響航法
- 107 光学航法
- 108 慣性航法
- 109 ドッキング航法
- 110 航法制御系
- 112 運用モード制御
- 113 流体構成制御
- 114
- 115 航法センサ
- 117 海中昇降装置動特性

- 118 下降目標経路
- 119 下降実際経路
- 120 浮上目標経路
- 121 浮上実際経路
- 122 音響航法範囲
- 123 感音素子間距離 r_s
- 124 伝搬距離差 dp

- 130 感音素子
- 131 発音素子
- 132 感音素子A
- 133 感音素子B
- 134 感音素子C
- 135 感音素子D
- 136 トランスポンダ
- 137 音波伝達面 1
- 138 音波伝達面2
- 139 トランスポンダ方位ベクトル
- 140 進行方向曲面
- 141 音響航法装置
- 150 撮像装置
- 151 発光素子A
- 152 発光素子B
- 153 発光素子C
- 154 発光素子D
- 155 焦点距離 L_f
- 156 撮像面
- 157 目標方位ベクトル

- 159 視点P
- 160 目標距離R
- 170 把持体
- 171 把持子
- 172 海中昇降ユニット005側 把持子
- 173 海底資源回収ユニット着脱ポート023側 把持子
- 174 キー機構
- 175 回転機構
- 176 支持機構
- 177 嵌合部

[0198] 200 大型推進装置

- 201 中型推進装置
- 202 海底支援装置の重心W s

- 250 姿勢センサ
- 251 圧力センサ
- 252 揚収制御系
- 253 推進器個別制御量計算論理
- 254 制御マスタ
- 255 統括制御
- 256 緊急制御系
- 257 個別推進機制御系
- 258 水素ガス吸収反応制御系
- 259 推進機特性
- 260 水素ガス吸収反応器
- 261 運動特性
- 262 圧力特性
- 263 水圧特性

- 264 航法指令
- 265 位置速度制御系
- 266 姿勢制御系
- 267 H₂放出/バラスト投下制御系
- 268 水素ガス発生ユニット制御盤
- 269 弁・ポンプ (V0, P0) 制御系
- 270 水素ガス吸収抑制制御

[0199] 300 発電機

- 301 モーター
- 302 クレーン
- 303 トルエンタンク
- 304 MCHタンク
- 305 純水タンク
- 306 鉬石船倉
- 307 ムーン・プール
- 308 液体輸送ホースおよびクレーン
- 309 展開型ベルトコンベアおよびクレーン

- 350 分電盤
- 351～354 水素ガス発生ユニット0～3
- 355～358 交直変換装置0～3
- 359 水電気分解積層ユニット
- 360 安全遮断スイッチ
- 360 調節弁
- 361
- 370 セパレータ
- 371 流路
- 372 集電体

373 膜

374 電極

375 触媒

376 積層

377 電源

378 水素ガス

379 酸素ガス

380 水

381 冷却水

390 太陽電池ストリップ牽引板

391 太陽電池ストリップ終端棒

392 太陽電池ストリップ牽引板ジョイント

393 牽引クレードル把持アーム

394 牽引クレードル把持アーム駆動機構

395 太陽電池ストリップ終端棒把持アーム

396 太陽電池ストリップ終端棒把持アーム駆動機構

397 集電ケーブル

[0200] 400 太陽電池フィルム

401 太陽電池ストリップ

402 保護膜

403 牽引索

404 自走式太陽電池展開装置

405 マイクロインバータ

406 ACケーブル

407 発泡プラスチック

408 ジッパージョイント

409 乗り上げ防止フィン

- 410 海流
- 411 牽引クレードル
- 412
- 413 中心コア
- 414 巻取ホイール
- 415 回転ドラム
- 416 巻取モーター
- 417 固定装置
- 418 回転伝達装置
- 419 GPSアンテナ
- 420 右舷推進器モーター
- 421 左舷推進器モーター
- 422 モーター制御インターフェイス
- 423 回転数制御モータート` ライフ` 装置
- 424 回転軸受
- 425 中心軸
- 426 オッターボード
- 427 オッターボード駆動機構
- 428 太陽電池ストリップ自航式展開制御システム
- 429 位置制御モータードライブ装置
- 430 海中昇降装置制御システム
- 431 海底支援装置制御システム
- 432 電源装置制御システム
- 440 総合監視制御コンソール
- 441 海中昇降装置コンソール
- 442 海底支援装置コンソール
- 443 電源装置コンソール
- 444 海底資源採集総合監視制御システム

- 446 海中昇降装置監視制御システム
- 447 海中昇降装置制御指令/状態データ
- 448 海底支援装置監視制御システム
- 449 海底支援装置制御指令/状態データ
- 450 電源装置監視制御システム
- 451 電源装置制御指令/状態データ
- 452 光ケーブル
- 453 光インターフェイス
- 454 演算装置
- 455 航法センサ
- 456 音響測距装置
- 457 光学測距装置
- 458 光学マーカ制御装置
- 459 反応制御装置
- 460 弁・ポンプ制御装置
- 461 推進装置制御装置
- 462 鉱物収集装置インターフェイス
- 463 反応制御装置
- 464 水素発生制御装置
- 465 展開制御装置
- 466 電源制御装置
- 467 太陽電池ストリップ展開制御システム
- 470 発電機
- 471 電源制御盤
- 472 昇圧制御盤
- 473 海中電源ケーブル
- 474 降圧交直変換分電盤
- 475 水素吸収反応装置

476 推進装置

477 弁・ポンプ

478 情報機器

479 水素ガス吸収反応装置

480 水素ガス発生ユニット分電盤

481 洋上電源ケーブル

482 水素ガス発生ユニット制御盤

483 充電装置

484 海底資源採集装置総合監視制御システム

500～721 処理ブロック

請求の範囲

- [請求項1] 海底で水を分解して水素ガスを発生させ、水素ガスを含む流体の浮力により海底より資源を揚収採集する海底資源揚収装置であって、海底に位置する水素ガス発生装置を含む海底支援装置と、海中を昇降する海中昇降装置と、海上指令船と各装置を制御する制御装置を含み、
- 前記海底支援装置に含まれる海底資源収集装置により海底に存在する資源を収集して前記海底支援装置に集積した後、
- 前記海中昇降装置に積載し、前記海底支援装置の前記水素ガス発生装置より供給される前記海中昇降装置内に搭載されている水素ガスを含む流体の浮力で海面を含む海面近辺まで海中を浮上せしめ、
- 前記海上指令船に前記海中昇降装置より積載している海底資源を移送することを特徴とする海底資源採収装置であって、
- 前記海中昇降装置が搭載している水素ガスを含む流体の浮力で海底より海面を含む海面近辺まで海中を浮上する過程においては、搭載している水素ガスの体積を含む前記海中昇降装置の全体の比重が周囲海水と同等かつ、前記海中昇降装置の内部圧力が周囲海水と同等となるように制御し、
- 前記海中昇降装置が海面を含む海面近辺から海底に降下する過程においては、前記海中昇降装置の内部の主たる構成部分がすべて固体と液体であって、前記海中昇降装置の内部圧力が周囲海水と同等にでき、前記海中昇降装置の全体の比重が周囲海水と同等とすることができることを特徴とする海底資源採収装置。
- [請求項2] 請求項1において、前記水素ガス発生装置が電気分解装置であって、電気分解に使用する電力を前記海上司令船より前記海底支援装置に送電し、前記海底支援装置で水素ガスを発生させることを特徴とする前記海底資源採収装置。
- [請求項3] 請求項1において前記海中昇降装置は、水素ガスを含む流体の浮力で

海中を浮上する過程で、浮上による水圧減少により水素ガスの体積膨張による浮力増加を打ち消すために、トルエンを含む液体に有機ハイドライド反応で水素ガスを吸収させてMCH（メチルシクロヘキサン）を含む液体により回収することを特徴とする前記海中昇降装置。

[請求項4]

請求項1から3の前記海底資源採収装置において、前記海中昇降装置を、海中昇降を行う上部および中央部分（海中昇降ユニット）と海底資源を積載収納する下部部分（海底資源回収ユニット）に分離および接続可能な構造とし、海面からの下降時には前記海底資源回収ユニットを空荷で接続し海水を充填して降下し、

海底から海面への浮上時には、前記海底資源回収ユニットを積荷積載の状態で海水を充填して接合することを特徴とする海中昇降装置に対して、

海底の前記海底支援装置に複数の前記海底資源回収ユニットを受容する部分（海底資源回収ユニット着脱ポート）を設け、前記海底資源回収ユニットが存在しない海底資源回収ユニット着脱ポート（空ポート）と、海底資源を集積し、前記海底資源回収ユニットが存在する海底資源回収ユニット着脱ポート（集荷ポート）と対を構成し、

前記海中昇降装置が空荷の前記海底資源回収ユニットとともに降下し、前記空ポートに前記空荷の海底資源回収ユニットを分離接続し、分離後、前記海中昇降装置の海中昇降ユニットが前記海底支援装置上を離床移動して前記集荷ポートの前記海底資源回収ユニットと接続し、水素ガスを前記海中昇降装置の浮力タンクに充填して、前記海中昇降装置の比重を周囲海水と同等にしてから海面に向け浮上することを特徴とする前記海底資源採収装置。

[請求項5]

請求項4において前記海底資源回収ユニットを前記海中昇降ユニットと接続した状態で、前記

海底資源回収ユニット着脱ポートにドッキングすると、前記海底資源回収ユニットと前記海中昇降ユニットの接続が外れ、前記海底資源回

収ユニット着脱ポートと前記海底資源回収ユニットが接続し、
前記海底資源回収ユニット着脱ポートと前記海底資源回収ユニットが
接続している状態で、前記海底資源回収ユニットに前記海中昇降ユニ
ットがドッキングすると、前記海底資源回収ユニット着脱ポートと前
記海底資源回収ユニットの接続が外れ、前記海底資源回収ユニットと
前記海中昇降ユニットが接続される後者優先二者択一のドッキング機
能を具備することを特徴とする海底資源採取装置。

[請求項6] 請求項 1 から 3 の前記海底資源採取装置の前記海中昇降装置は球およ
び円柱を含む軸対称回転体の形状を持ち、外壁および、軸に垂直な仕
切り壁を炭素繊維樹脂を含む強靱軽量構造材で構成し、海面からの沈
降時に前記海中昇降装置に液体のみを充填して前記海中昇降装置の比
重が周囲の海水と同等となること特徴とする海底資源採取装置。

[請求項7] 請求項 1 から 3 の前記海底資源採取装置の前記海中昇降装置は、水素
ガス、トルエン、MCH、海水、純水を充填できる保持区画と、水素
ガス吸収装置、保持区画と水素ガス吸収装置を接続して流体の移動を
行うポンプおよびバルブを含む配管機構（配管機構）、推進装置、お
よび制御装置を含む海中昇降ユニットと前記海底資源回収ユニットを
含み、
前記保持区画は前記外壁および前記仕切り壁で前記海中昇降ユニット
上部に位置する浮力タンクと液体タンクに仕切られ、前記液体タンク
は複数の区画に境界面が移動可能な仕切りにより区分され、海水中を
含む外部より液体または気体の注入または排出を含め、複数の区画の
比重の異なる液体を流通させ容積を可変とすることにより海中昇降装
置全体の比重が所与の値となるよう浮力の制御が可能なことを特徴と
する海底資源採取装置。

[請求項8] 請求項 7 の水素ガス吸収装置は有機ハイドライド反応装置であり、多
管式固定床型触媒反応器を含む水素ガス吸収反応器と気液分離器と熱
交換ヒータを含み、浮力タンクと同一区画に収容し、反応熱除去を外

壁の吸入口から取り込み外壁の放出口から排出する海水で行い、浮力タンク内の水素ガスを前記液体タンクのトルエン区画から供給されるトルエンに吸収させてMCHを生成し、前記液体タンクのMCH区画に注入することを特徴とする海中昇降装置。

- [請求項9] 請求項7の前記海中昇降装置の外壁に、前記海中昇降装置の長軸に沿って上部と下部に、前記長軸と直交する面上の前記長軸に軸対称な位置に、前記長軸方向と外壁表面円周方向を向く、正逆反転能力のある可変速電動プロペラによる水流ジェットの推進装置を設け、前記海中昇降装置の位置制御、速度制御および姿勢制御を行わせることを特徴とする海中昇降装置。
- [請求項10] 請求項1から3の前記海底資源採収装置の前記海中昇降装置の前記制御装置の浮力制御機能は、有機ハイドライド反応による水素ガスのモル数減少に対応して前記海中昇降装置を海中で上昇せしめ、前記海中昇降装置の内部圧力が周囲海中水圧と同等で、前記海中昇降装置の比重が周囲海水と同等となるよう前記推進装置で深度および深度変化率を制御することを特徴とする前記海中昇降装置。
- [請求項11] 請求項10の前記海中昇降装置の深度および深度変化率の制御は前記海中昇降装置の浮力タンク内部圧力と周囲海水圧差圧と、この差圧の変化率を測定して行うことを特徴とする前記海中昇降装置。
- [請求項12] 請求項10における前記海中昇降装置の前記制御装置の浮力制御機能は水素ガス吸収装置の稼働停止を含め制御結果による浮力過剰が解消できない場合、過剰浮力を解消するための水素ガス逃し弁を動作させて浮力を正常化させることを特徴とする前記海中昇降装置。
- [請求項13] 請求項10における前記海中昇降装置の前記制御装置の浮力制御機能は、海中深度によらず当該海中昇降ユニットの内部圧力と海水圧力とが当該海中昇降ユニットに破壊応力を与えない範囲内に制御することを特徴とする前記海中昇降装置。

- [請求項14] 請求項 1 から 3 の前記海底資源採収装置の前記海中昇降装置の前記制御装置は前記海中昇降装置の海中での昇降を制御する浮力制御機能と、海底着床点と海上支援船との間の移動経路を誘導制御する経路誘導制御機能と前記海中昇降装置の長軸を鉛直にする姿勢制御機能を含むことを特徴とする海中昇降装置。
- [請求項15] 請求項 1 4 において、前記海中昇降装置の前記経路誘導制御機能は、前記海中昇降装置の海底着床点と前記海上司令船との間の移動経路を誘導制御する機能で、前記海中昇降装置の海面からの下降時には下降時における目標点である前記海底支援装置との位置関係に応じて慣性航法と音響航法と光学航法を切り替えることを特徴とし、前記海中昇降装置が前記海底支援装置から上昇する時には上昇時における目標点である前記海上司令船との位置関係に応じて慣性航法と音響航法と光学航法を切り替えることを特徴とし、海中温度分布により音波が到達しないか直進性が悪い範囲では深度データと慣性航法データを用い、音響測定が可能な範囲では深度データと音響測定データを用い、目標点の近傍で光の到達する範囲では光学航法を行い、前記海中昇降装置が前記海上司令船から下降する時には下降時における目標点である前記海底支援装置との位置関係に応じて慣性航法と音響航法と光学航法を切り替えることを特徴とし、海中温度分布により音波が到達しないか直進性が悪い範囲では深度データと慣性航法データを用い、音響測定が可能な範囲では深度データと音響測定データを用い、目標点の近傍で光の到達する範囲では光学航法を行うことを特徴とする海中昇降装置。
- [請求項16] 請求項 1 5 における前記海中昇降装置の音響航法は前記海底支援装置と前記海上司令船に音響トランスポンダを設置し、前記海中昇降装置に設置した音響発振機に呼応してエコーを発生することにより往復時間より、浮上時には前記海中昇降装置と前記海上司令船との距離が測定できる

ほか、前記海中昇降装置に位置を離して設置した受振機間の位相差から前記海上司令船の存在方向を探知することができ、

下降時には前記海中昇降装置と前記海底支援装置との距離が測定できるほか、前記海中昇降装置に位置を離して設置した受振機間の位相差から前記海底支援装置の存在方向を探知することができることを特徴とする海中昇降装置。

[請求項17] 請求項15における前記海中昇降装置の光学航法は前記海底支援装置上と前記海上司令船船底の同一平面上に水平距離を隔てた複数の発光体を設置し、海中昇降装置に設置した撮像装置で感知した発光点の形状と大きさおよび位置と複数の発光体の異なる発光周期より、前記海底支援装置上または前記海上司令船船底の発光体と前記海中昇降装置との位置関係を計出することを特徴とする前記海中昇降装置。

[請求項18] 請求項15における前記海中昇降装置の経路誘導制御装置により前記海中昇降装置の下降時には前記海底支援装置との相対位置関係および接近速度を制御して、前記海中昇降装置と前記海底支援装置とをドッキングし、
前記海中昇降装置の上昇時には前記海上司令船との相対位置関係および接近速度を制御して、前記海中昇降装置と前記司令船とドッキングすることを特徴とする前記海中昇降装置。

[請求項19] 請求項1から3の前記海底資源採収装置の前記海中昇降装置および前記海底資源採収装置に搭載するトルエンとMCHと海底で充填する水素ガスの量を変更することにより
上下制限範囲内の任意の積荷積載量と、任意の深度に対応して上昇・下降制御が行える浮力制御装置を持つことを特徴とする海底資源採収装置。

[請求項20] 請求項1から3の前記海底資源採収装置の前記海底支援装置は、複数の海中昇降ユニット、水素ガス発生装置、海底資源回収ユニット着脱ポート、鉬物収集装置輸送ポート、推進装置、および制御装置を含む

装置を架台構造物である海底支援装置プラットフォーム機構で固定統合し、遠隔操縦の鉤物収集装置を加えて構成されることを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項21] 請求項20における前記海底支援装置の海中昇降ユニットは請求項1から3における前記海中昇降装置の前記海中昇降ユニットと、推進装置と一部の制御機能を除いて同一の構成と機能であり、前記海底支援装置プラットフォーム機構に固定されて、制御装置に制御されることを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項22] 請求項20における前記海底支援装置の前記水素ガス発生機構は固体高分子電解質膜形水電解式を含む水素ガス発生装置であり、前記海上司令船の電源より低損失高圧送電を可能とするため積層構造を直列に接続し、かつ水素ガス発生量を確保するために並列に接続する構造であることを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項23] 請求項20における前記海底支援装置は、前記水素ガス発生装置が発生し、前記海底支援装置の海中昇降ユニットに蓄積される水素ガスの浮力を用いて海底より離床し海底着床位置を変更して再度着床ができ、また、着床せずに海面まで上昇できることを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項24] 請求項20における前記海底支援装置の浮力タンク内の水素ガス量を制御して前記海底支援装置の姿勢が水平となるよう前記各海中昇降ユニットの浮力を均衡させ、さらに、前記海底支援装置の浮力タンク内の水素ガス圧力が周囲海水圧と同等になるよう推進装置を制御して深度および深度変化率を制御装置を有することを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項25] 請求項20における前記海底支援装置を海面より海底に降下させる運用において、前記海中昇降ユニットの前記浮力タンクの一部または全部に水素ガスを充填し、前記海底支援装置の比重を周囲海水と同等とし、前記推進装置および比重差を用いて降下させ、海底に至る過程で

水素ガスを追加発生させ浮力タンクに注入することにより、前記海底支援装置の比重を周囲海水と同等かつ前記海底支援装置の浮力タンク内の水素ガス圧力が周囲海水圧と同等になるよう制御することを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項26] 請求項20における前記海底支援装置を海面より海底に降下させる運用において、前記各海中昇降ユニットの浮力タンクに注入する水素ガスを制御して前記海底支援装置の姿勢が水平となるよう前記各海中昇降ユニットの浮力を均衡させ、さらに、前記海底支援装置の浮力タンク内の水素ガス圧力が周囲海水圧と同等になるよう推進装置を制御して深度および深度変化率を制御することを特徴とする海底支援装置。

[請求項27] 請求項20における前記海底支援装置の前記鉬物収集装置は電動のブルトーザ機能を有し、前記海上司令船から前記海底支援装置を介して遠隔操縦を行い、海底の鉬物資源を収集し、前記海底資源回収ユニット着脱ポートに固定された前記海底資源回収ユニットに投入する能力を有することを特徴とする鉬物収集装置。

[請求項28] 請求項20における前記海底支援装置の鉬物収集装置輸送ポートは前記鉬物収集装置を海底支援装置プラットフォーム機構に積載して前記海底支援装置ごと海底を離床して移動できる機能を有することを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項29] 請求項20における海底支援装置の前記制御装置は前記海底支援装置の複数の前記海中昇降ユニットによる浮力を協調制御して、海底着床点と前記海上支援船との間の移動経路を誘導制御し、前記海底支援装置と目標着床点の位置関係に応じて請求項15の前記海中昇降装置と同様の方法で 慣性航法と音響航法を切り替えることを特徴とし、音波伝搬が海中温度分布により音線が到達しないか直進性が悪い範囲では深度データと慣性航法データを用い、音響測定が可能な範囲では深度データと音響測定データを用い、航路制御を行うことを特徴とする

前記海底支援装置。

[請求項30] 請求項20における前記海底支援装置の前記制御装置は、事前に別手段で海底に配置した音響マーカの位置に着床することができることを特徴とする前記海底支援装置。

[請求項31] 請求項1における前記海上司令船は、前記海中昇降装置および前記海底支援装置さらに海底支援装置経由で前記鉱物収集装置に電源を供給し、光ファイバーによる通信を行い、海中昇降装置離着ポート、給電装置、総合監視制御装置、トルエンタンク、MCH液体タンク、純水タンク、前記海中昇降装置からの海底資源回収装置、前記海中昇降装置および前記海底支援装置に対するトルエン注入装置、前記海中昇降装置および前記海底支援装置からのMCH回収装置、前記海中昇降装置および前記海底支援装置に対する純水注入装置を有することを特徴とする海上司令船。

[請求項32] 請求項32の前記総合監視制御装置は前記海底支援装置の海底特定地点への着床を指揮管制し、海底特定地点から海底の他の特定地点への移動を指揮管制し、さらに、前記海上司令船への浮上を管制し、さらに、前記海上司令船の総合監視制御装置は前記海中昇降装置の前記海上司令船から前記海底支援装置への降下とドッキングを指揮管制し、前記海底支援装置からの離床と前記海上司令船への浮上とドッキングを指揮管制し、さらに、前記海上司令船の総合監視制御装置は前記海底支援装置を介して前記海底支援装置の前記鉱物収集装置輸送ポートから前記鉱物収集装置を発進させ海底で鉱物資源収集を行い、空荷の海底資源回収ユニットへ積載を行うことを遠隔操作で操縦し、指揮管制し、前記海底支援装置の移動時には前記鉱物収集装置輸送ポートに搭載收容し、さらに

、

前記海上司令船の総合監視制御装置は発電装置と前記海上司令船からの電源供給を管制し、

さらに、

前記海上司令船の総合監視制御装置は前記海中昇降装置の前記海底資源回収ユニット着脱ポートへのドッキングと離昇に対する管制を行い、さらに、

前記海上司令船の総合監視制御装置は

前記海中昇降装置および前記海底支援装置のトルエンタンクに対するトルエン注入の管制と、

前記海中昇降装置および前記海底支援装置のMCHタンクからのMCHの回収の管制と、

前記海中昇降装置および前記海底支援装置の純水タンクに対する純水注入の管制と、

前記海中昇降装置からの揚収鉱物の前記海上司令船への移送の管制を実施することを特徴とする前記監視制御装置。

[請求項33] 請求項31の前記給電装置は、発電機、洋上太陽電池、および二次電池および給電盤を含む給電能力を有することを特徴とする前記給電装置。

[請求項34] 請求項33の前記洋上太陽電池はフィルム状の太陽電池を柔軟な浮体に貼付した帯状の構造を持つ複数の太陽電池ユニットで構成され、各太陽電池ユニットは分散型インバータ装置と送電用AC母線により全帯状領域にわたって区分的に均一な構造を有し、前記区分ごとに保守交換が可能な太陽電池ユニットであって、自律型の自走式展開撤収装置を前記帯状構造の先端に装備することによって、潮流に沿って下流に展開・撤収できることを特徴とする太陽電池。

[請求項35] 請求項33の前記洋上太陽電池は複数の太陽電池ユニットから構成さ

れ、円筒状に巻取、司令船に積載し、洋上に展開・撤収が可能であり、牽引索により潮流の下流方向に扇状に展開・撤収が可能であることを特徴とする洋上太陽電池。

[請求項36] 請求項4の前記海底資源採収装置において、1台の前記海底支援装置に対して、複数の前記海中昇降装置を割り当て、前記海中昇降装置が順次実行するところの、

第一段階としての揚収鉱石とMCHの前記海上司令船への荷下ろし、トルエンおよび純水の前記海上司令船からの充填を含む降下準備、

第二段階としての海面から前記海底支援装置に向けた降下、

第三段階としての海底での空荷の前記海中昇降装置の前記空ポートへのドッキングによる前記海底資源回収ユニットの前記海中昇降装置からの切り離しと前記空ポートへの接続、および引き続いて、前記海中昇降装置の前記海中昇降ユニット部分の再浮上と水平移動と再降下による前記集荷ポートへのドッキングによる前記海中昇降ユニットと前記集荷ポートへの接続、および引き続いての前記海底支援装置から前記海中昇降装置への水素ガス充填による浮力付与と純水の前記海中昇降装置から前記海底支援装置への荷下ろしを含む浮上準備、

第四段階としての前記海中昇降装置の海底から海面へ向けての浮上、

に対して

前記複数の前記海中昇降装置を前記第一段階から前記第四段階の各々を重複しないで実行するように時間をずらして割り当て、

さらに、前記第三段階での前記海底支援装置の前記海底資源回収ユニット着脱ポートの対の前記空ポートと前記集荷ポートを一回ごとに交代で運用することにより、前記海底資源収集装置の資源収集及び前記海底支援装置への収集資源積込が、前記第一段階から第四段階の各々と重複しないで実行することができることを特徴とする前記海底資源

採収装置。

[請求項37] 請求項 1 から 3 の前記海底資源採収装置において、前記海底支援装置の着床深度に対応して、前記海中昇降装置の海底離床時に保有するトルエンの量と充填する水素ガスのモル数を調節し、海底における浮上開始時の前記海中昇降装置の比重が周囲海中と同等となり、海底より海面までの浮上過程で周囲海中と同等の圧力を維持するために水素ガスを吸収するために十分のトルエン量に調節することを特徴とする前記海底資源採収装置。

[請求項38] 請求項 1 から 3 の前記海底資源採収装置において、前記海中昇降装置の揚収重量に対応して、前記海中昇降装置の海底離床時に保有するトルエンの量と充填する水素ガスのモル数を調節し、海底における浮上開始時の前記海中昇降装置の比重が周囲海中と同等となり、海底より海面までの浮上過程で周囲海中と同等の圧力を維持するために水素ガスを吸収するために十分のトルエン量に調節することを特徴とする前記海底資源採収装置。

[請求項39] 請求項 3 7 の前記海底資源採収装置において、前記海底資源回収ユニット着脱ポートに重量計を設置し、搭載鉱石の水中重量を計測し、離床時の前記海中昇降装置の水中重量を計測して、前記海中昇降装置の海底離床時に保有するトルエンの量と充填する水素ガスのモル数を調節する前記海底資源採収装置

[請求項40] 請求項 2 3 から 2 8 の前記海底支援装置を含む請求項 3 6 の前記海底資源採集装置において、
第一段階としての前記海上司令船からの前記海底支援装置の海底への降下と海底での前記海底資源収集装置の展開
第二段階としての前記海上司令船から前記海中昇降装置へのトルエンと純水の充填
第三段階としての前記海中昇降装置の海底に展開している前記海底支援装置への降下

第四段階としての前記海中昇降装置の海底に展開している前記海底支援装置への純水の積卸とトルエンの一部の積卸と、前記海底支援装置での水素ガス発生と前記海底支援装置からの水素ガスの充填と収集鉱石の積載、および必要に応じてMCHの充填からなる浮上準備

第五段階としての前記海中昇降装置の海底に展開している前記海底支援装置から前記海上司令船へ向けての浮上

第六段階としての前記海中昇降装置から前記海上司令船への収集鉱石と水素ガスを吸収したMCHの積卸

第七段階としての前記海底支援装置の海底での前記海底資源収集装置の収容と前記海上司令船に向けての浮上

からなる運用において、

単数または複数の前記海中昇降装置を前記第二段階から前記第六段階までを繰り返し

連続的に切れ目なく運用できる機能を有することを特徴とする前記海底資源採収装置

[請求項41]

請求項40の前記海底資源採集装置において、

前記第二段階と前記第七段階の間に

第A1段階としての前記海底支援装置の海底での前記海底資源収集装置の収容と周囲海水と比重を同等とするための水素ガス発生による浮力増加

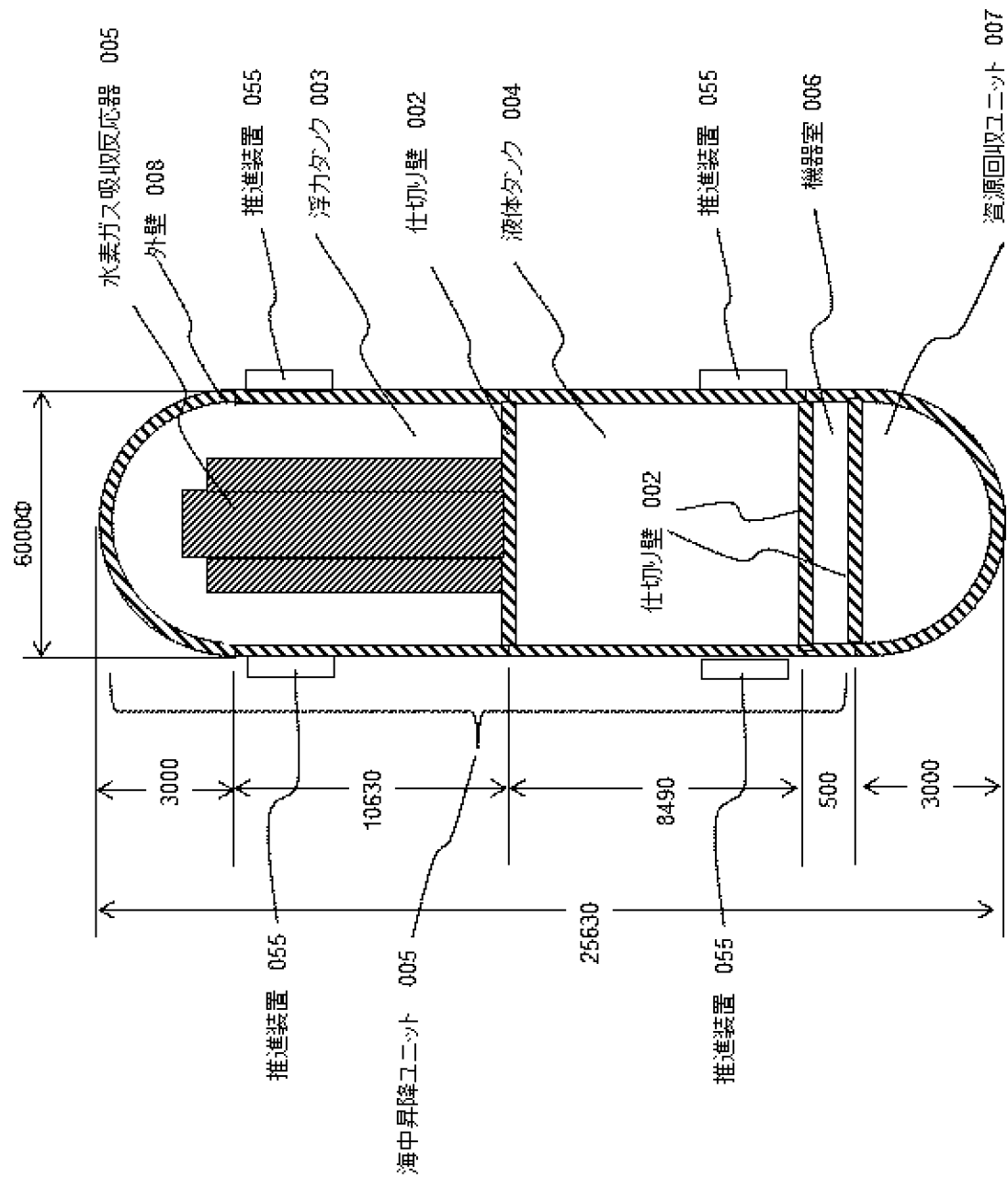
第A2段階としての前記海底支援装置の海底からの離床と位置変更

第A3段階としての前記海底支援装置の海底への着床と水素ガスのトルエンへの吸着とMCH生成により周囲海水より比重を大きくすることによる海底固定

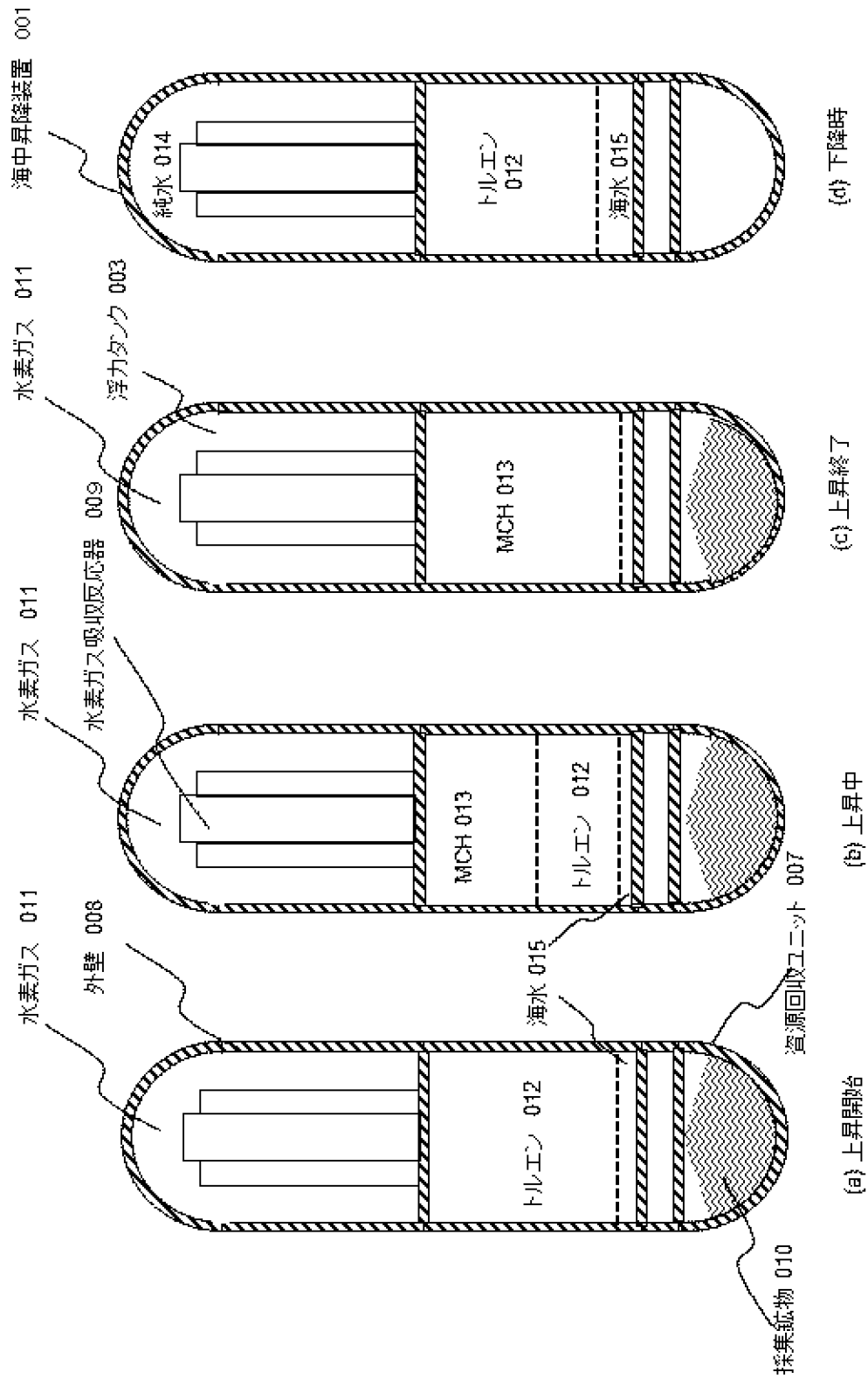
を行うことにより、前記海底支援装置の位置移動、深度変更を実施し、

連続的に切れ目なく運用できる機能を有することを特徴とする前記海底資源採収装置

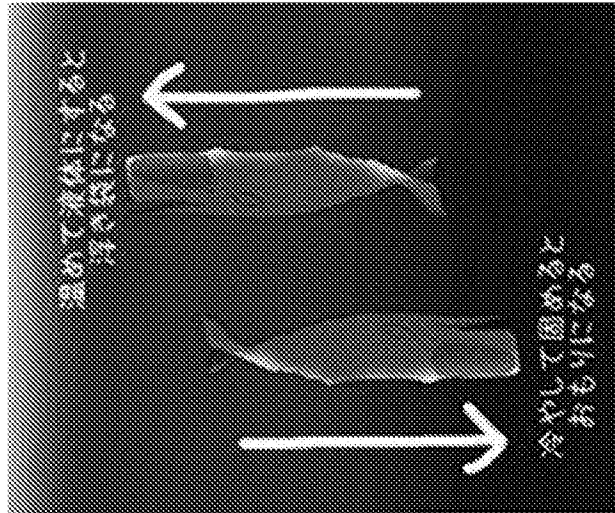
[図1]



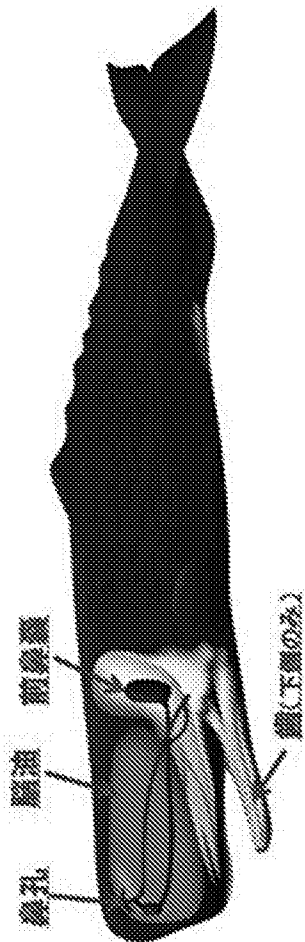
[図2]



[図3]

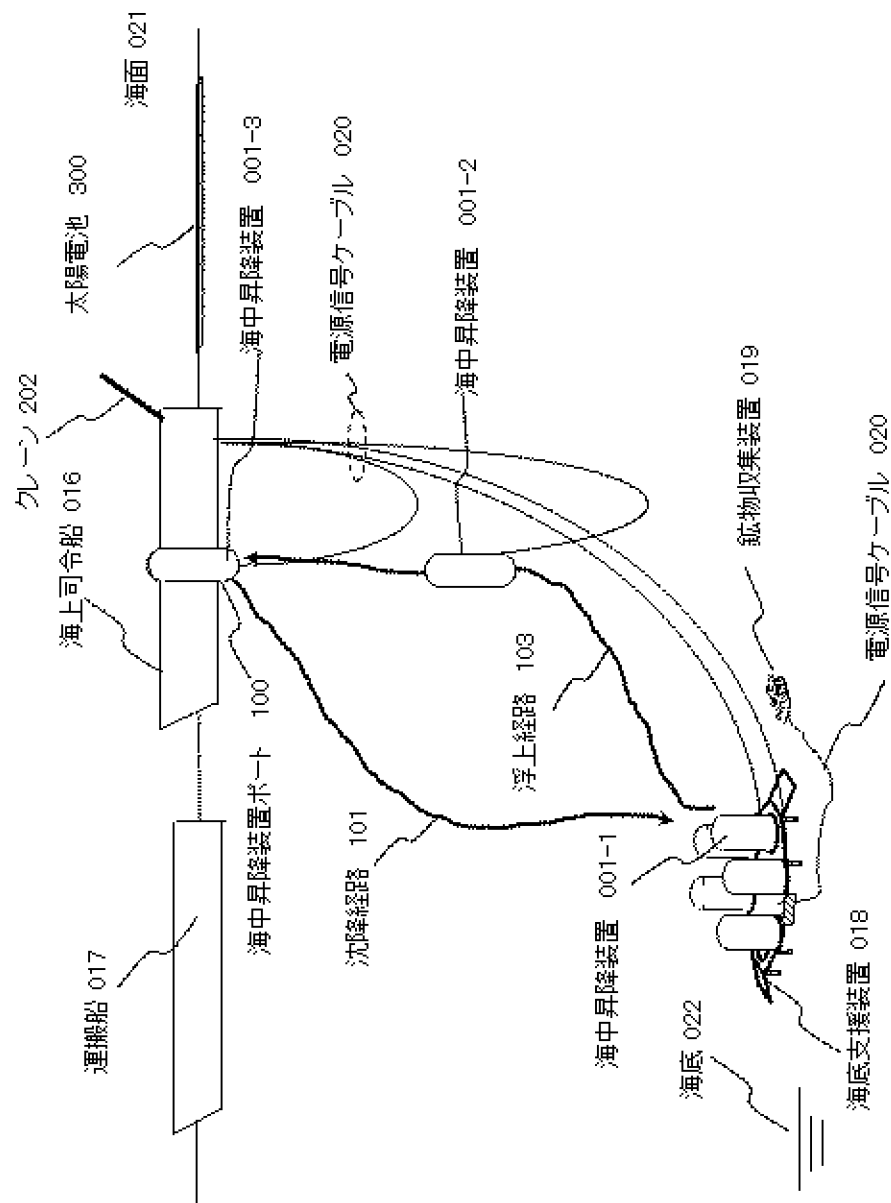


(b)



(a)

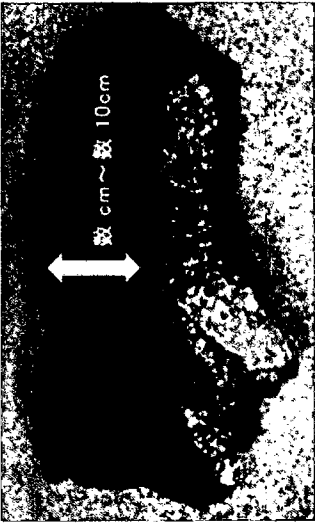
[図4]



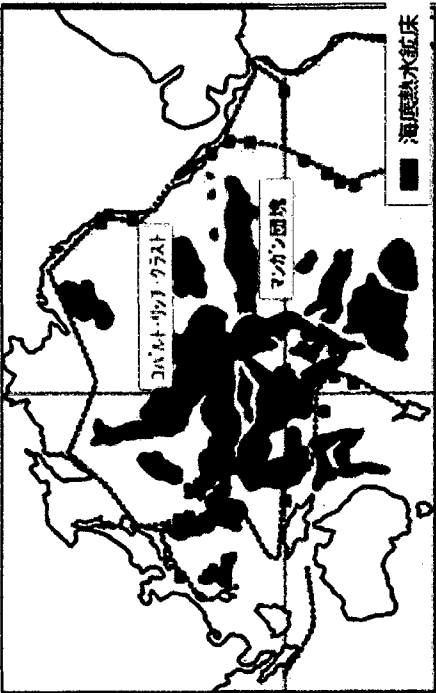
【図5】



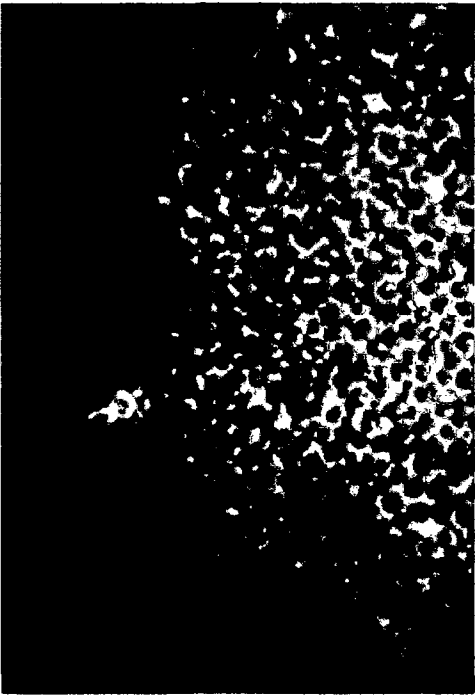
JOGMEC
(c-1) コバルトリッチクラスト海底堆積



JOGMEC
(c-1) コバルトリッチクラスト

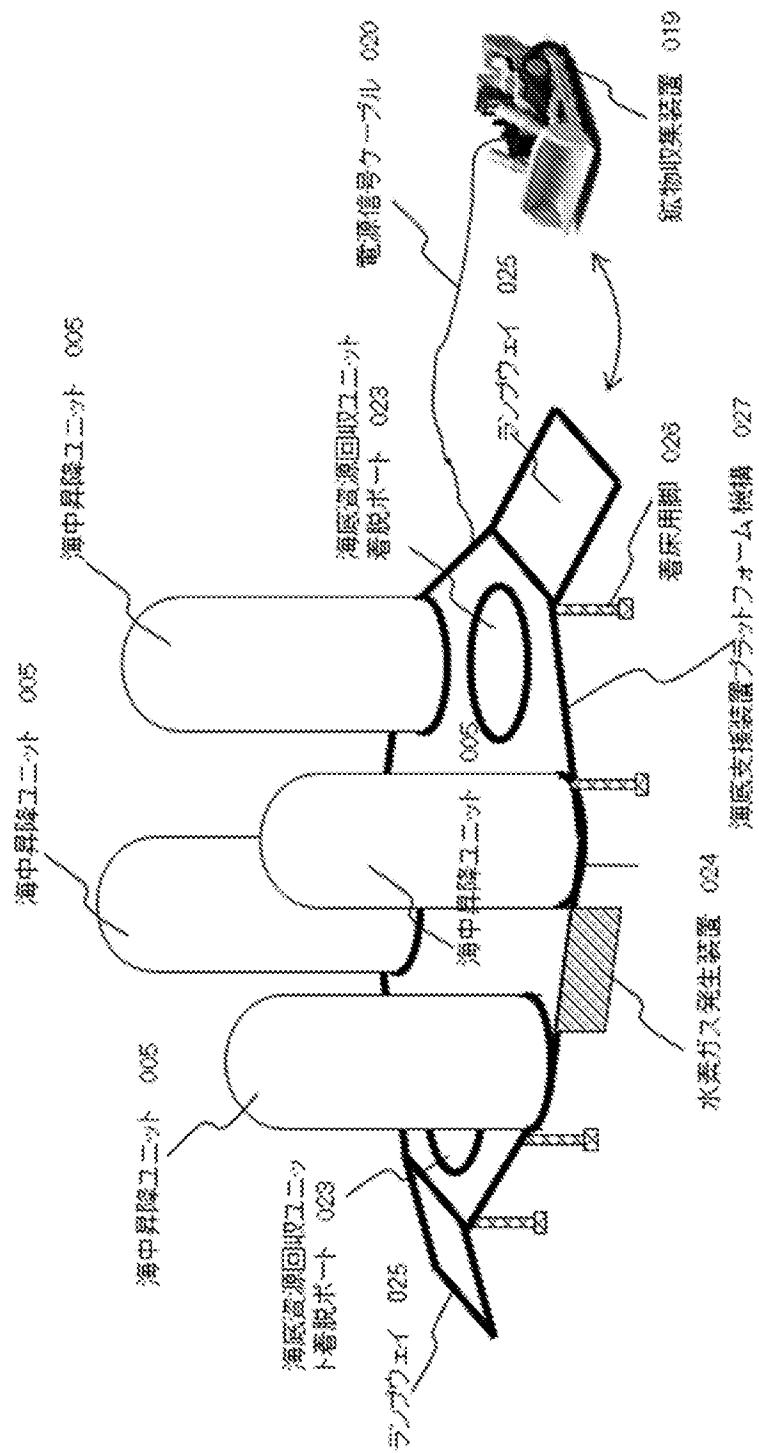


コバルトリッチクラストと南鳥島 - 『衆ノ難惑』田衆三のブログ - BLOGOS finance
(a) 資源分布

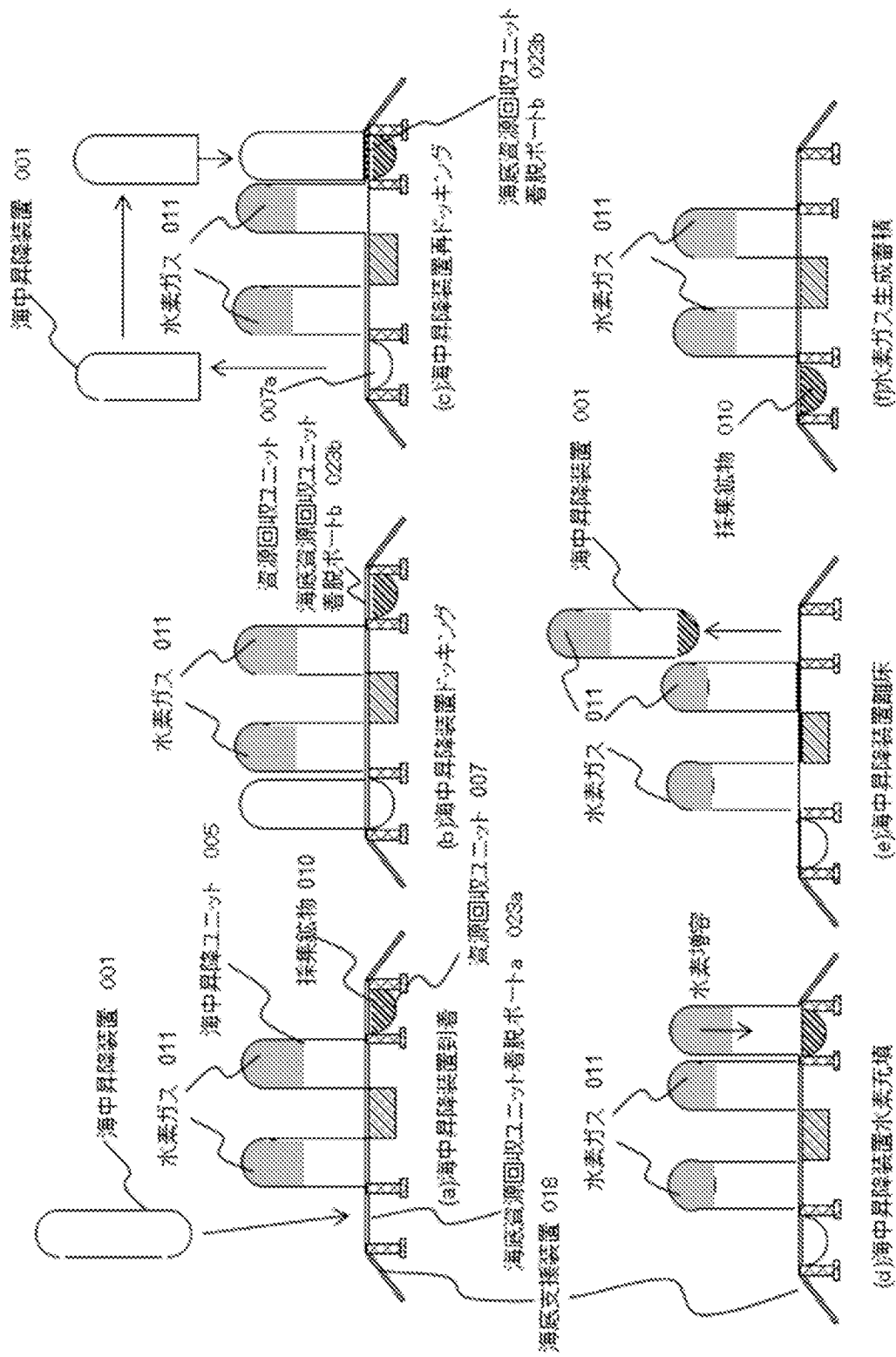


東京大学 海洋アライアンス
(b) マンガン団塊

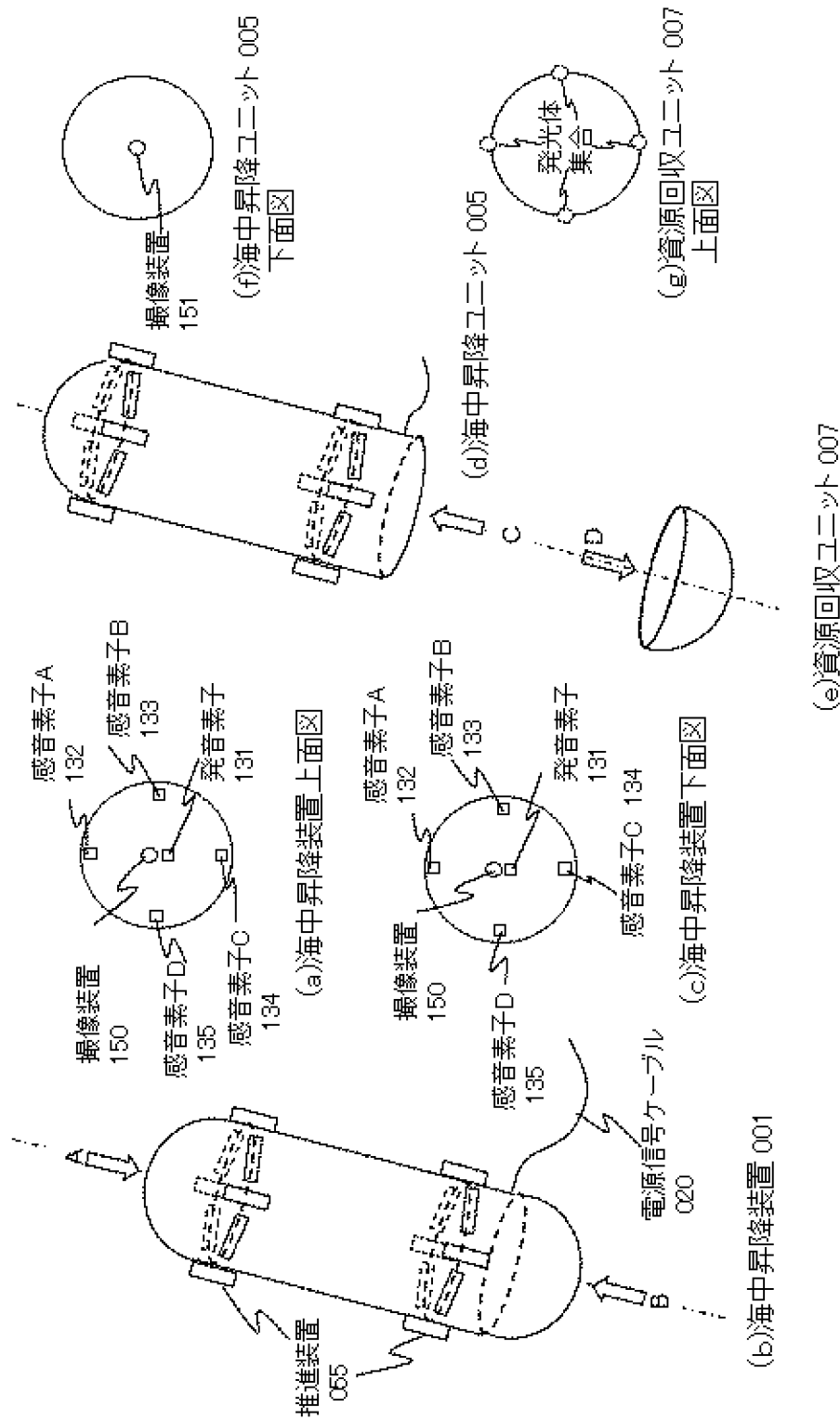
[図6]



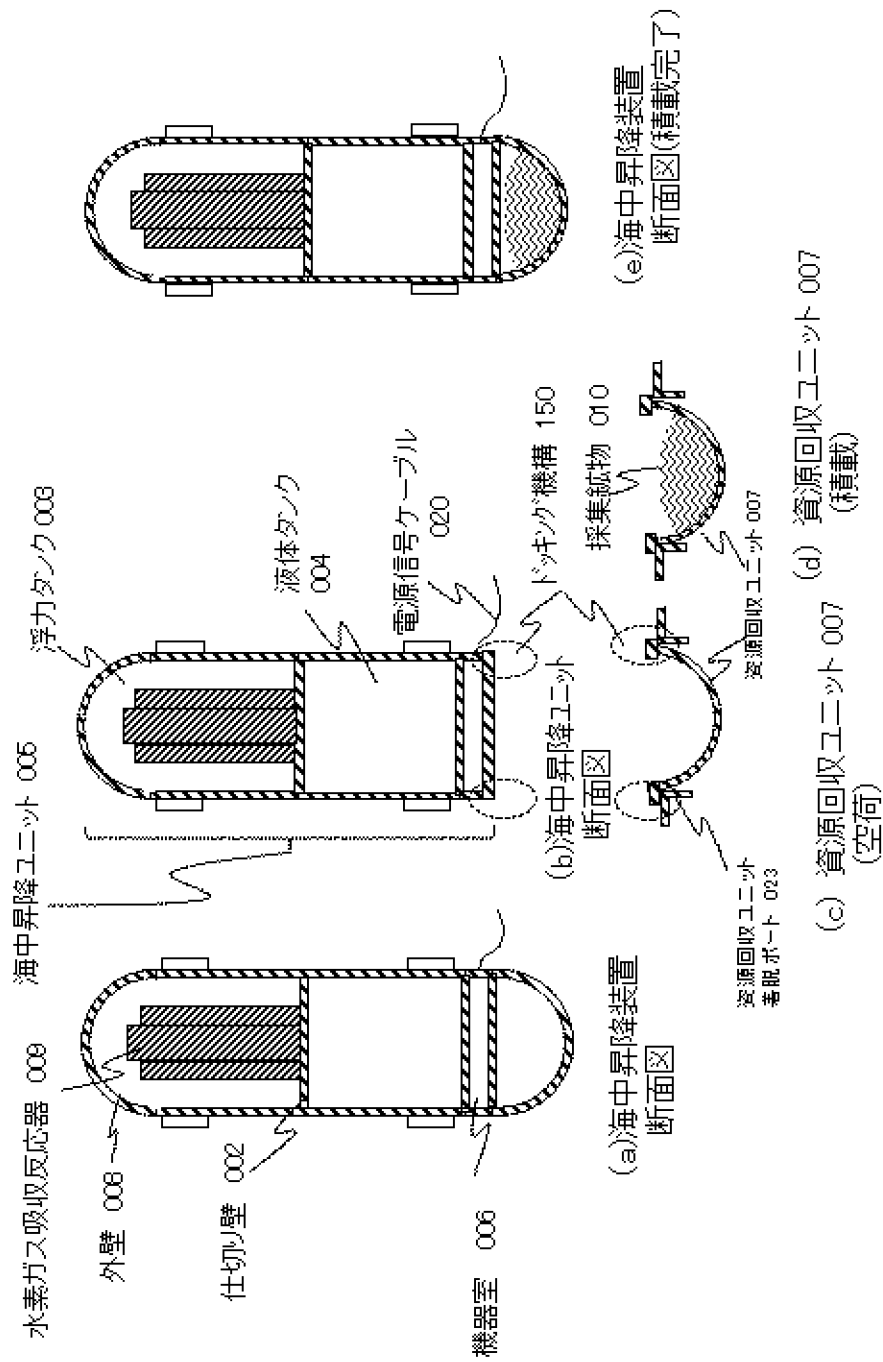
[図7]



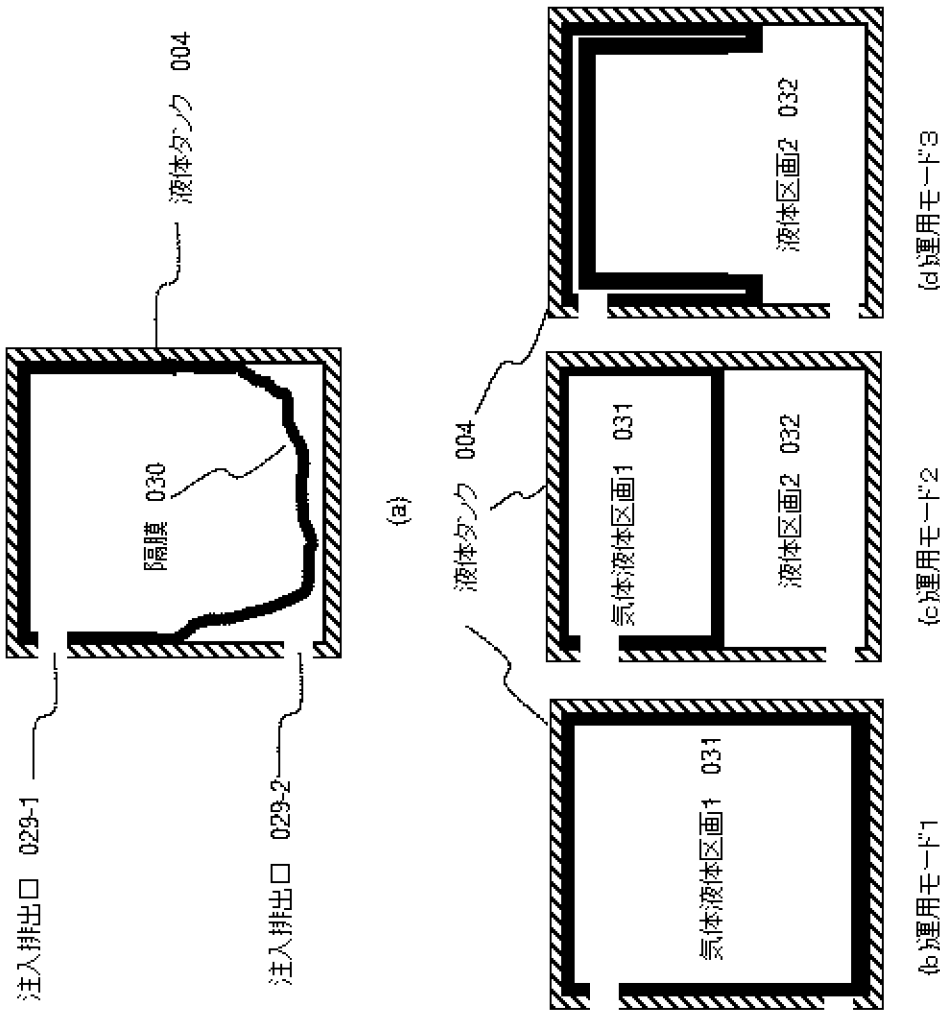
[図8]



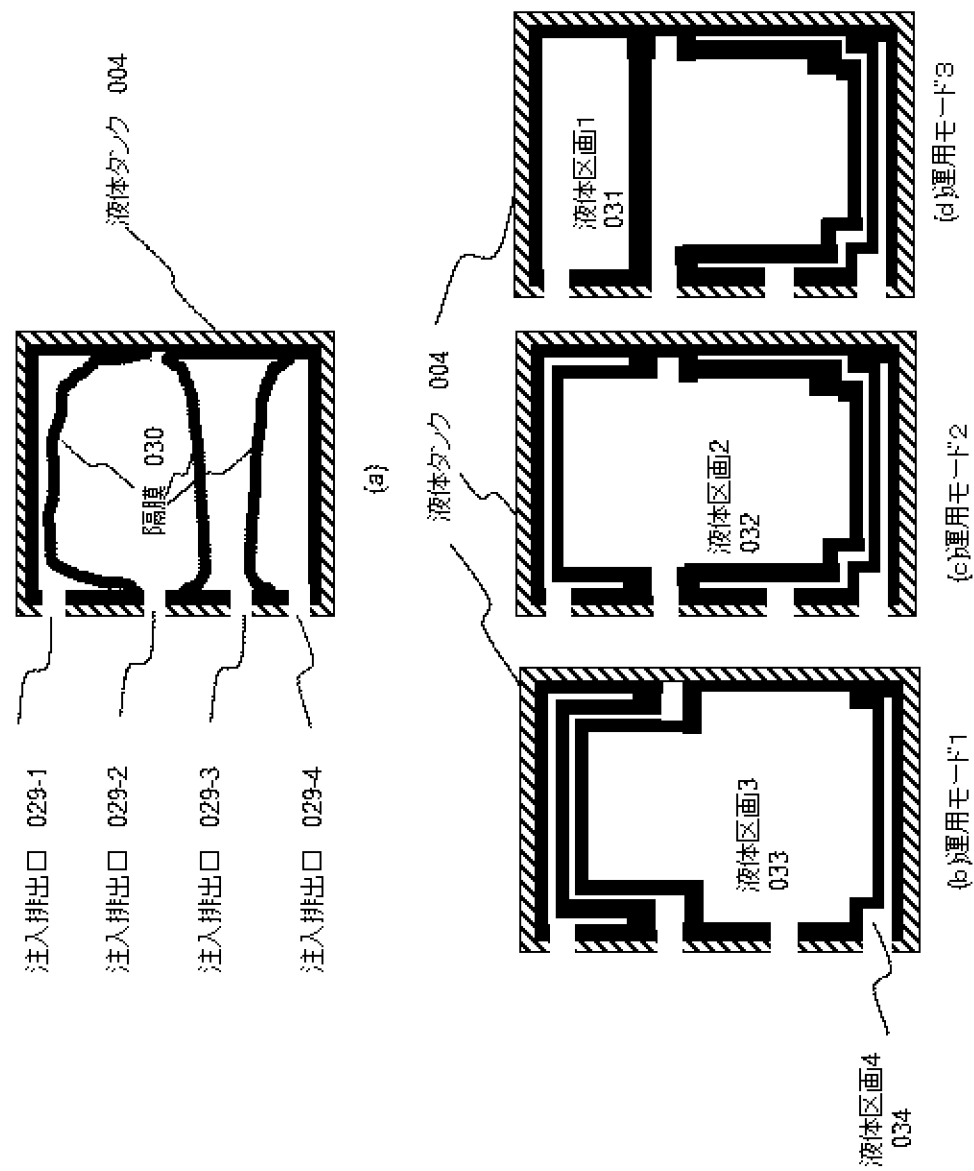
[図9]



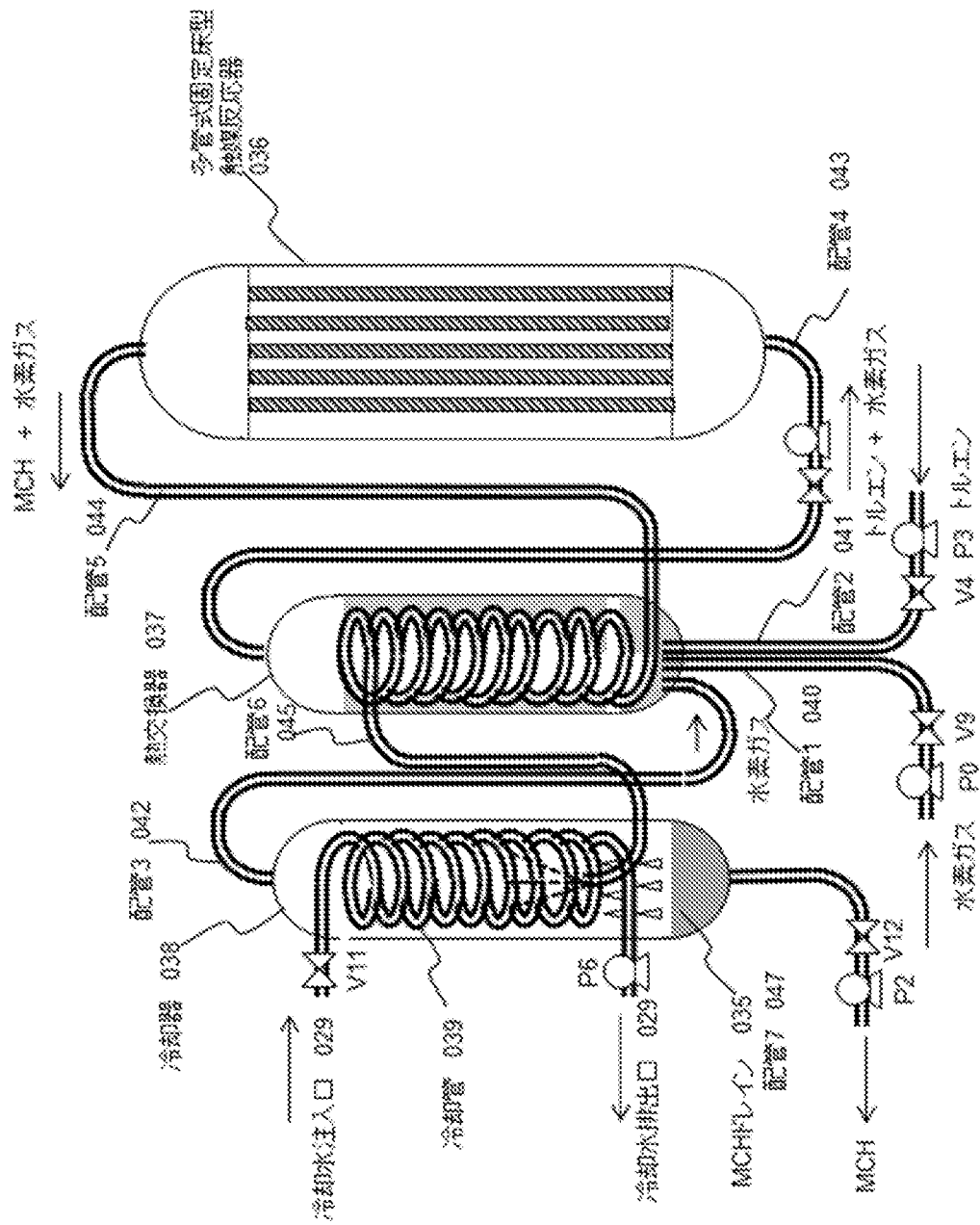
[図10]



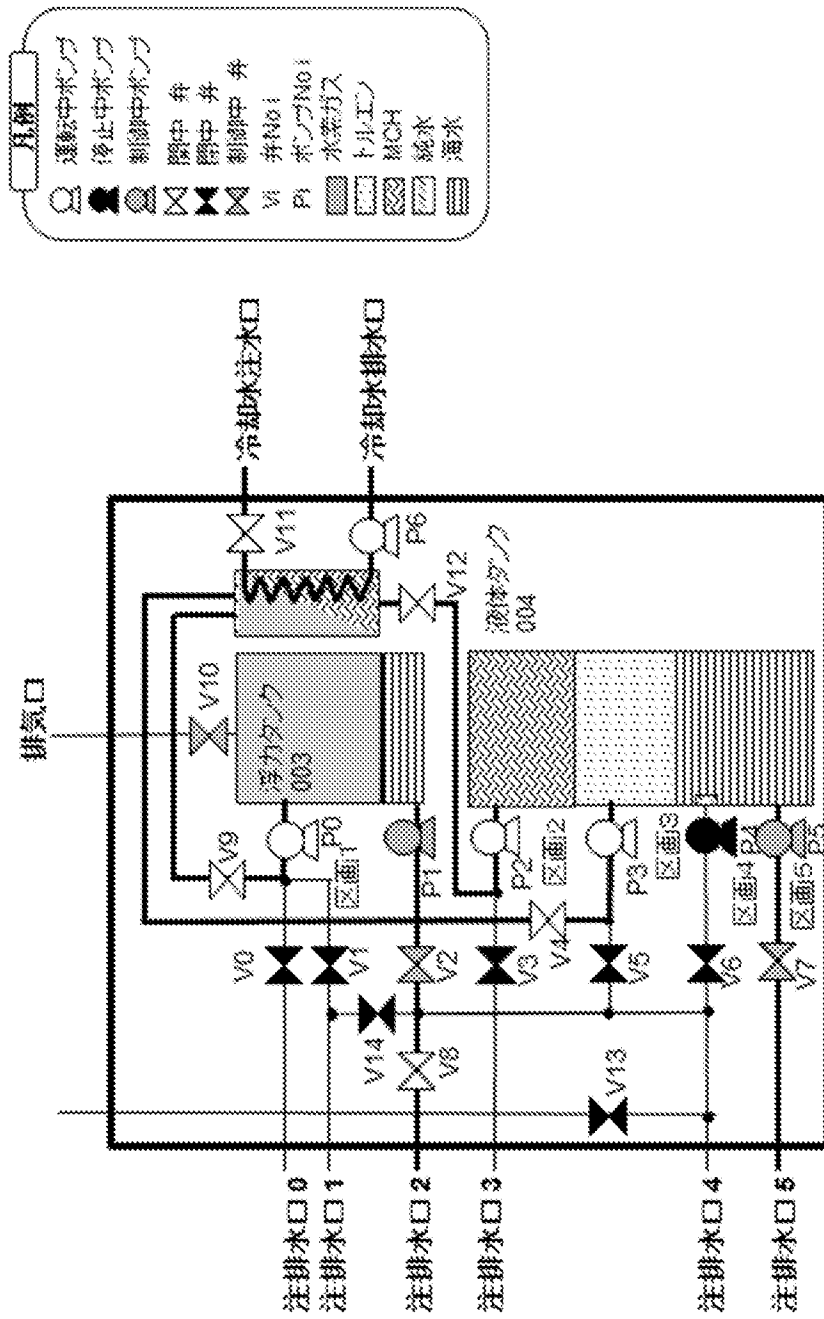
[図11]



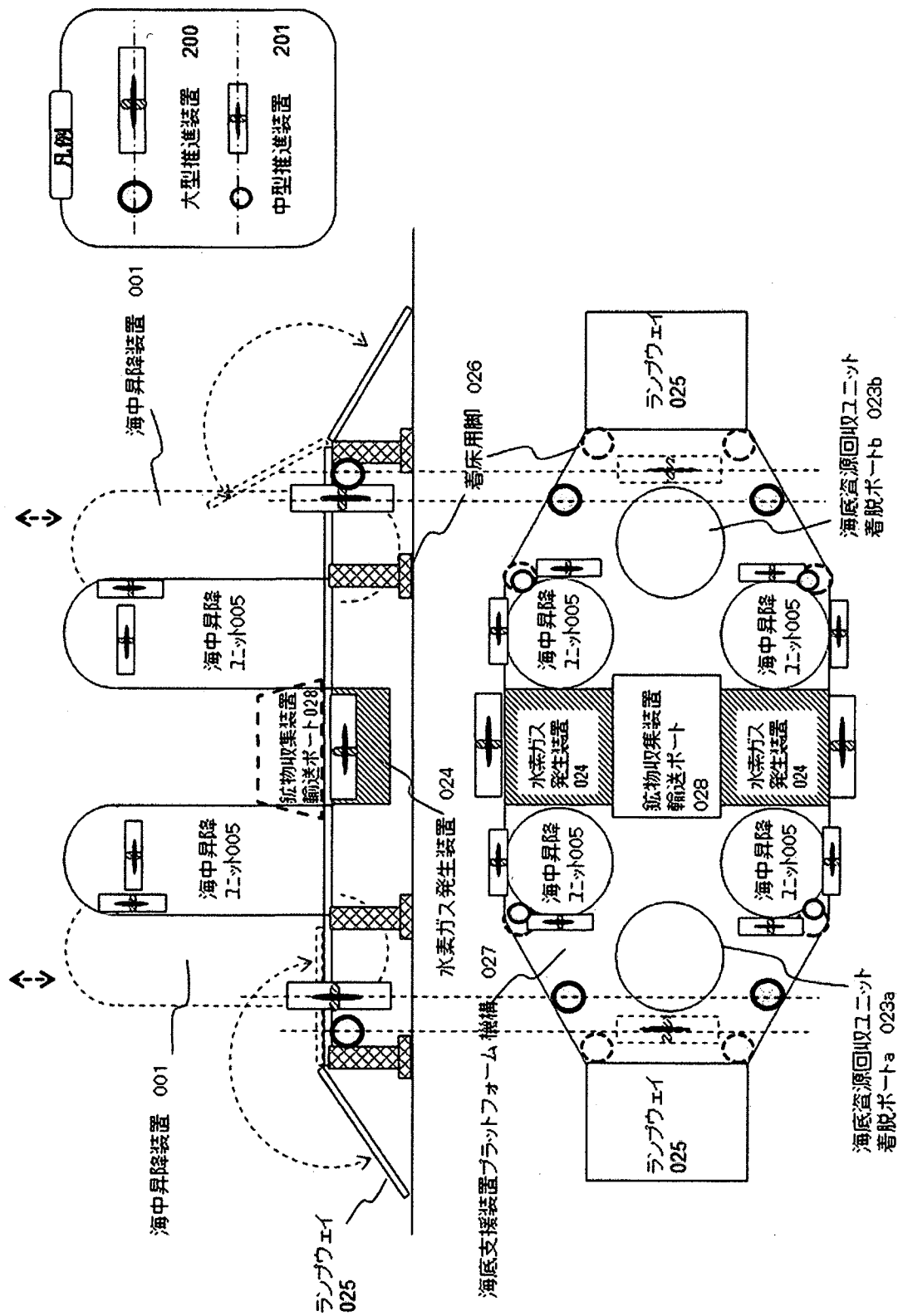
[図12]



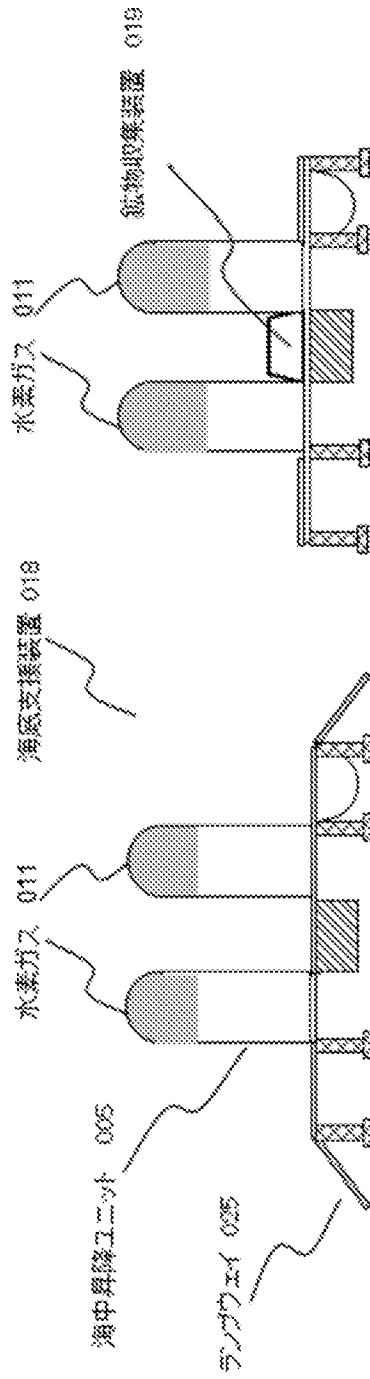
[図13]



【図14】

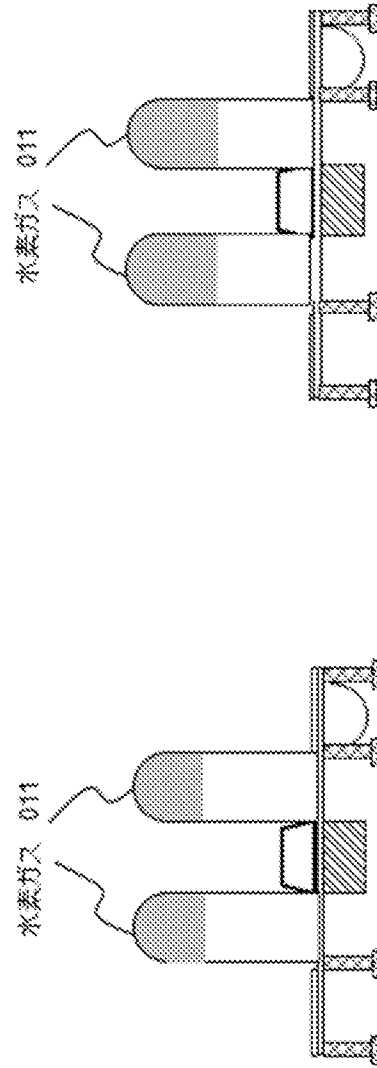


[図15]



(a) 海底支援装置通常運転

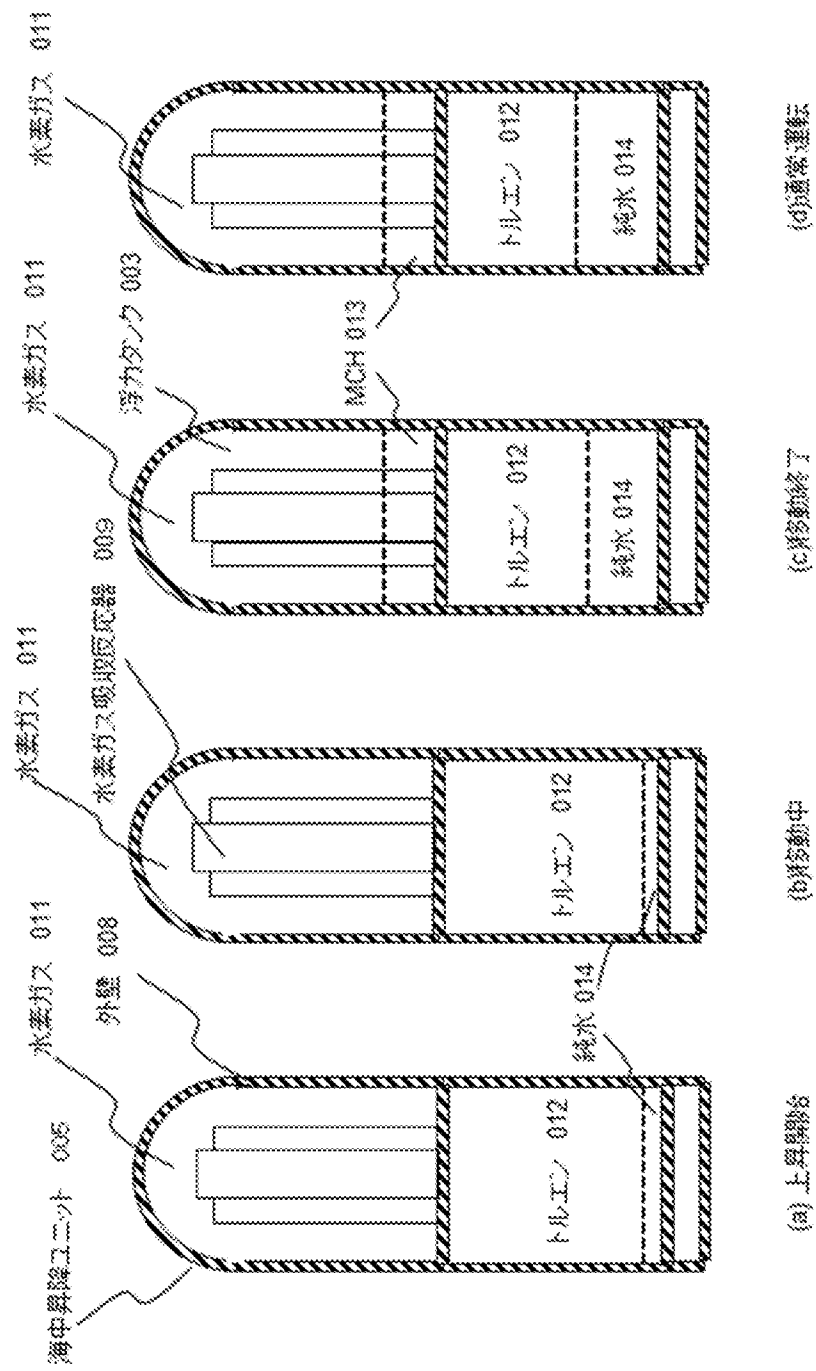
(b) 海底支援装置上昇開始



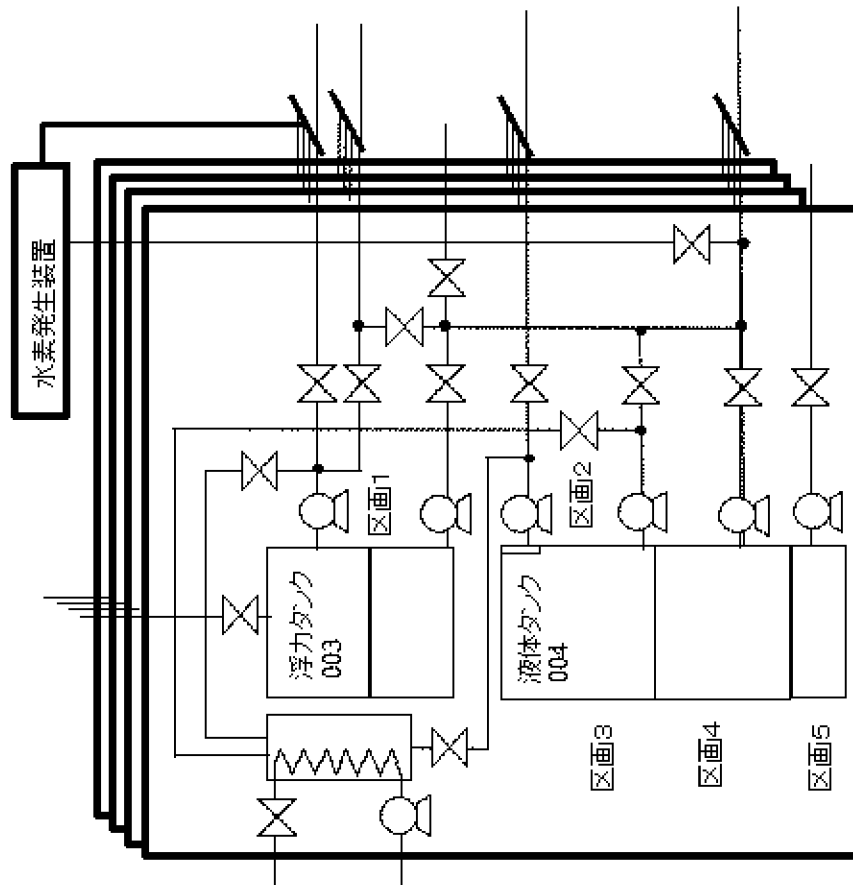
(c) 海底支援装置移動終了

(c) 海底支援装置移動中へ着床

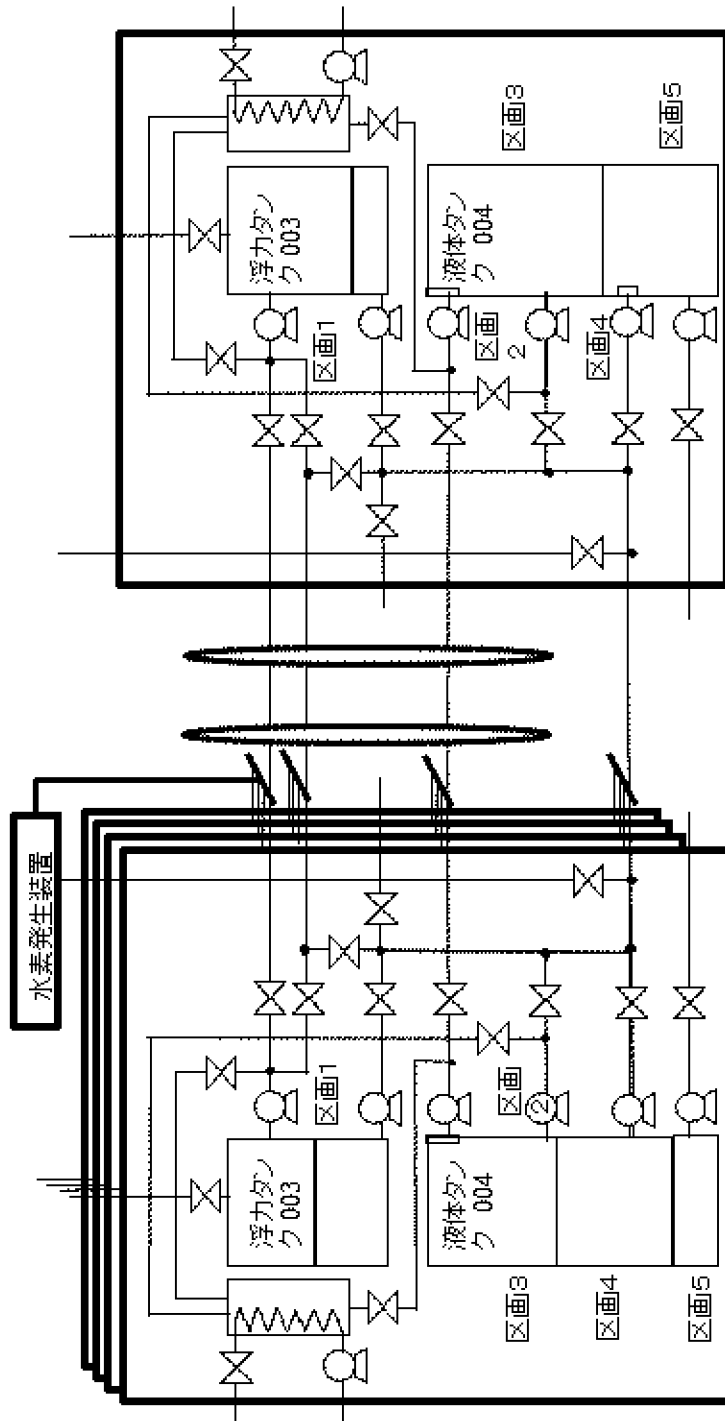
[図16]



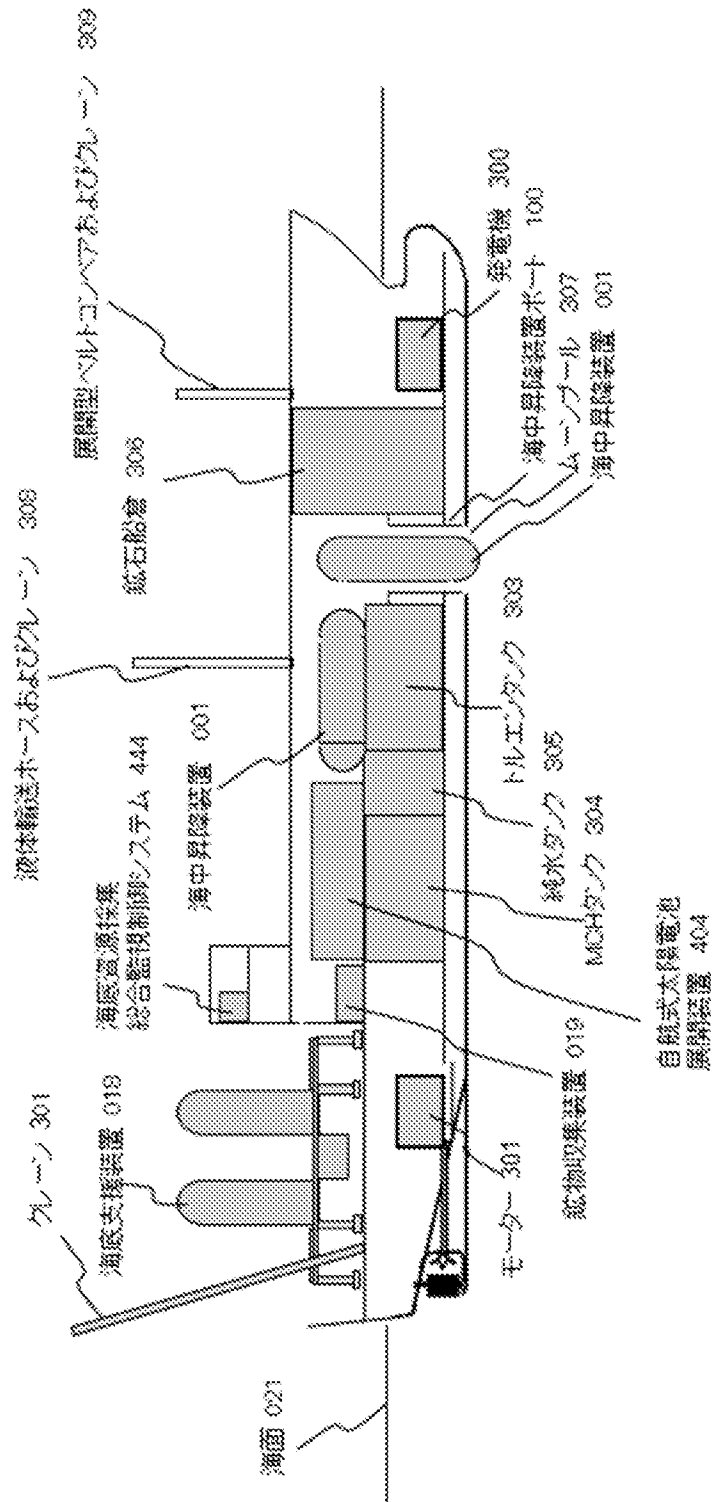
[図17]



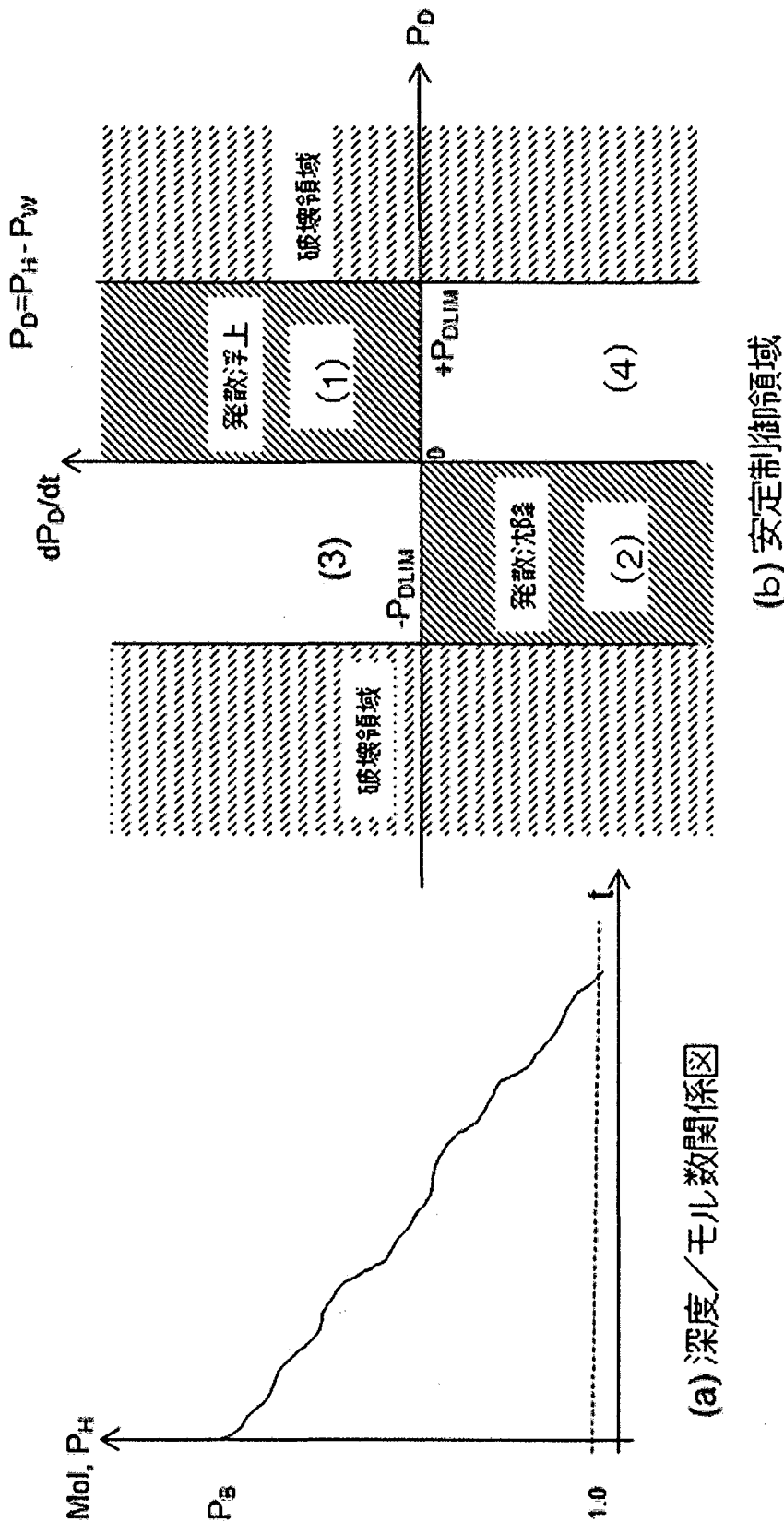
[図18]

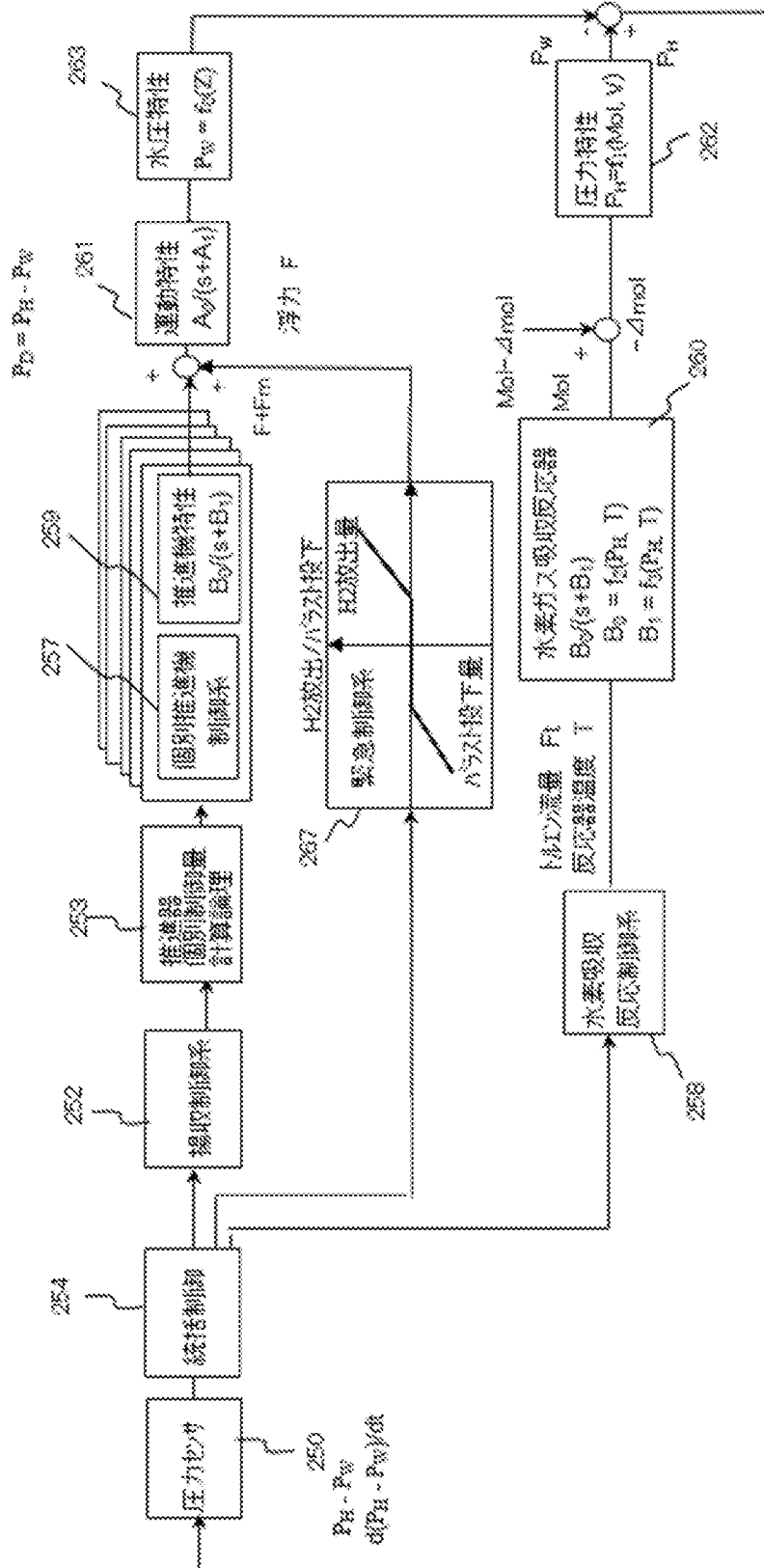


[図19]

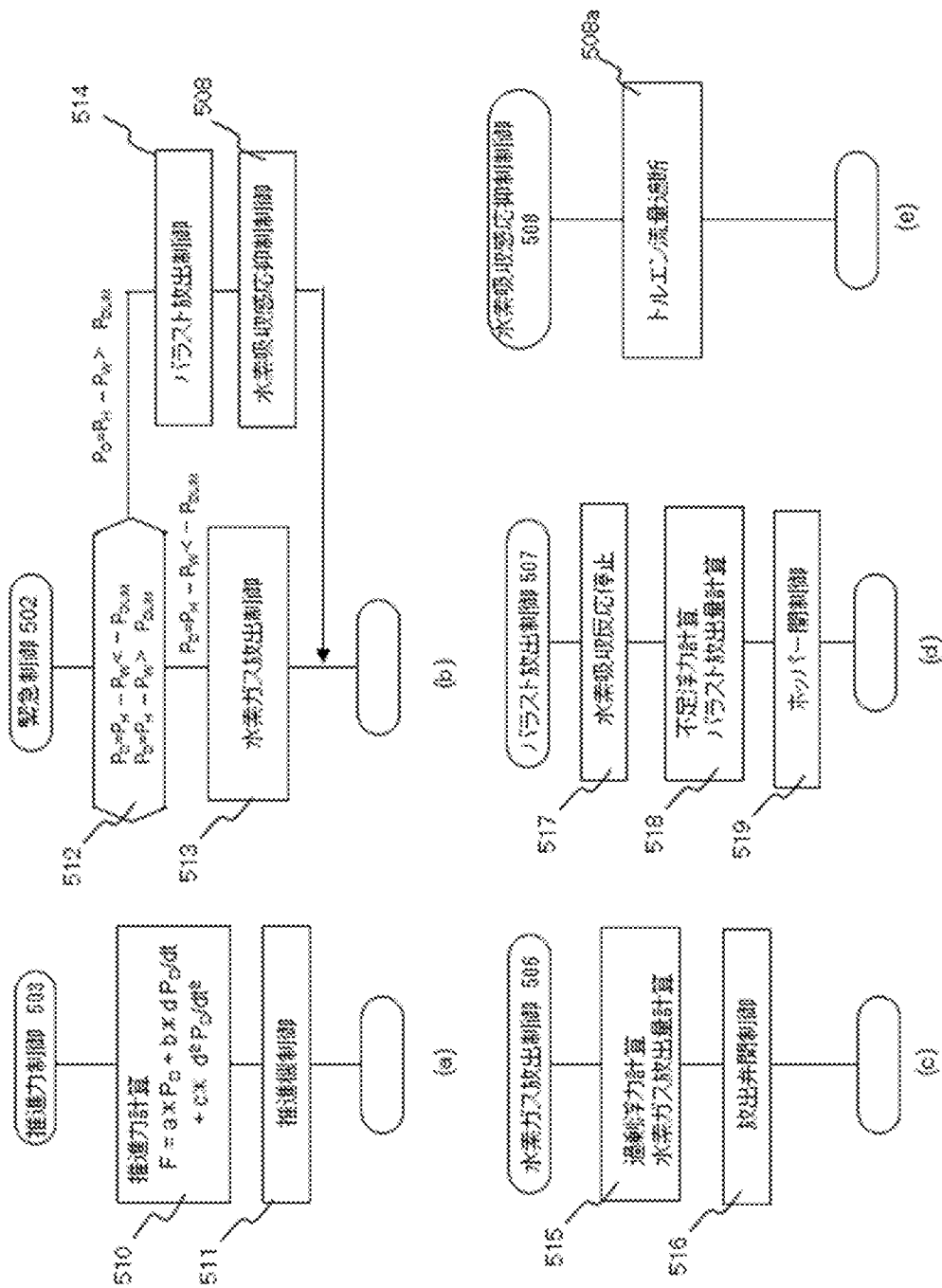


【図20】

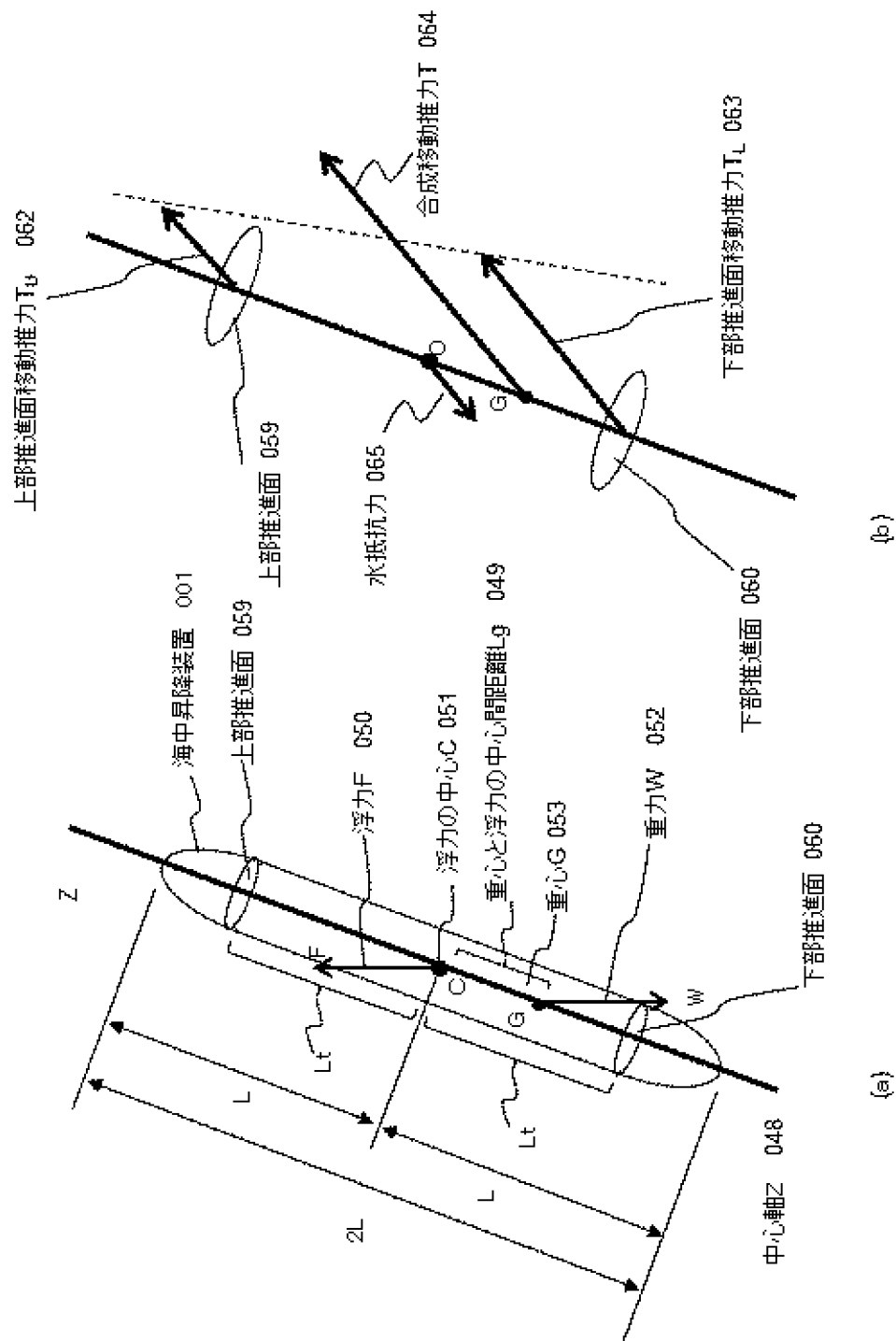




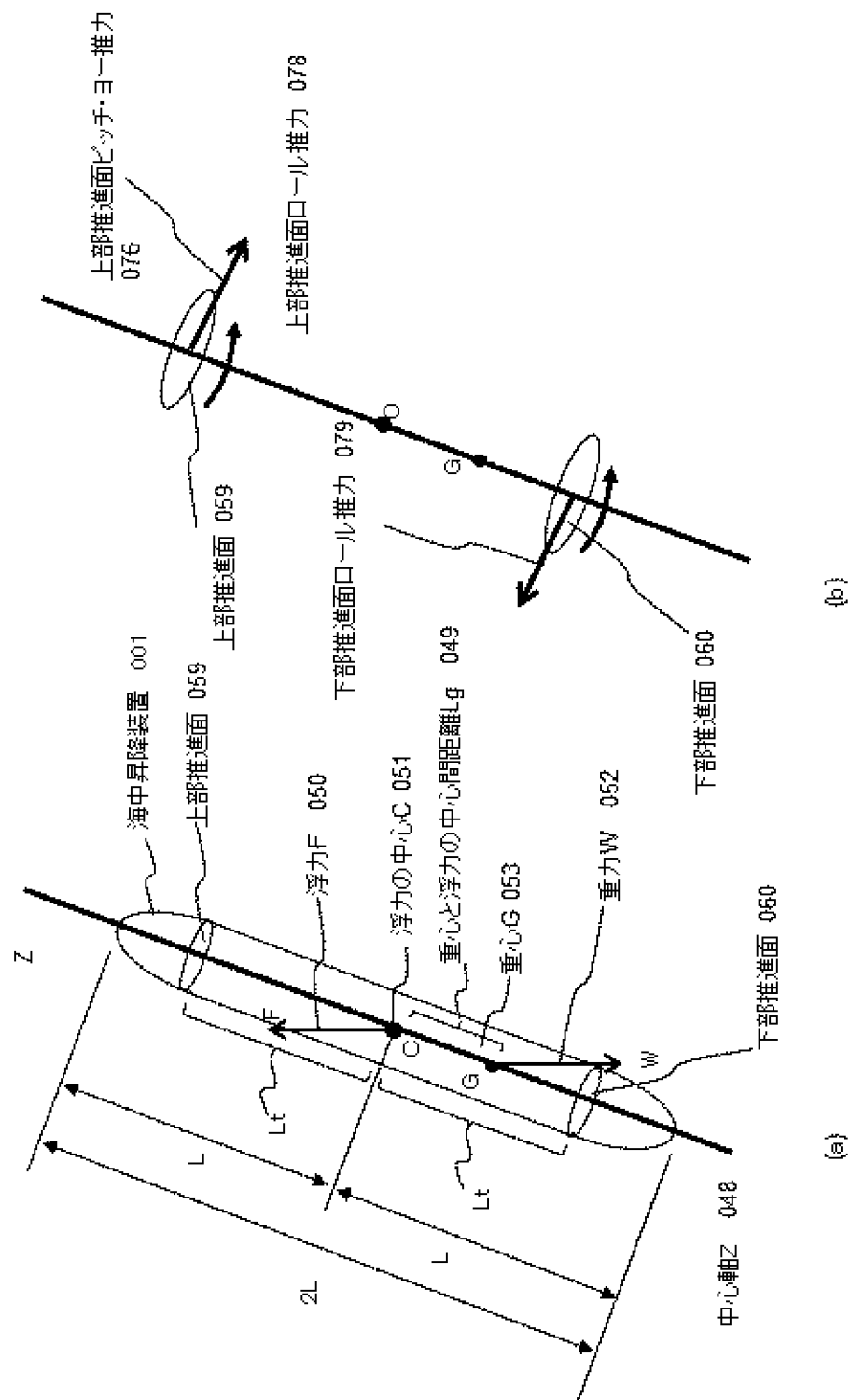
[図23]



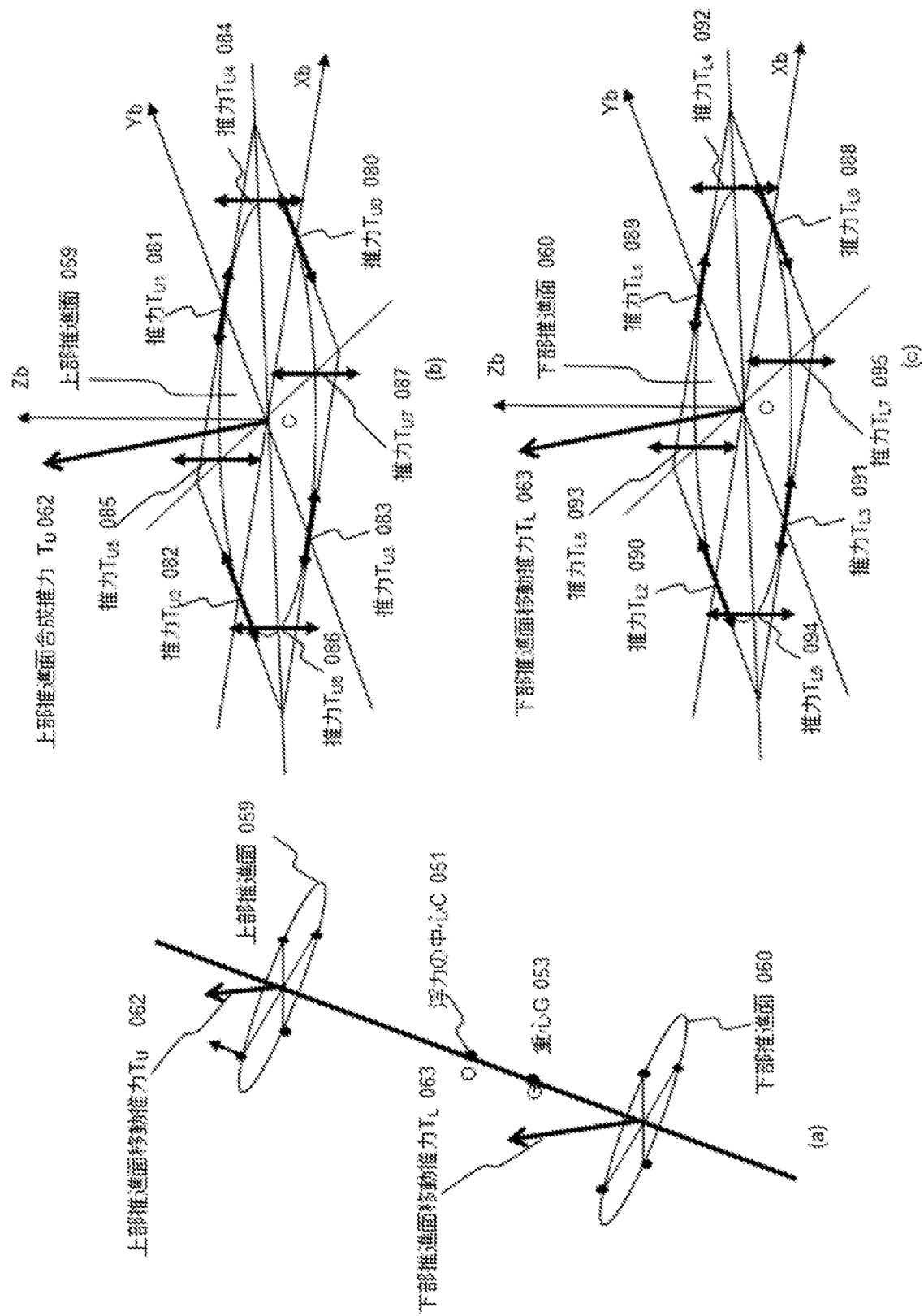
[図25]



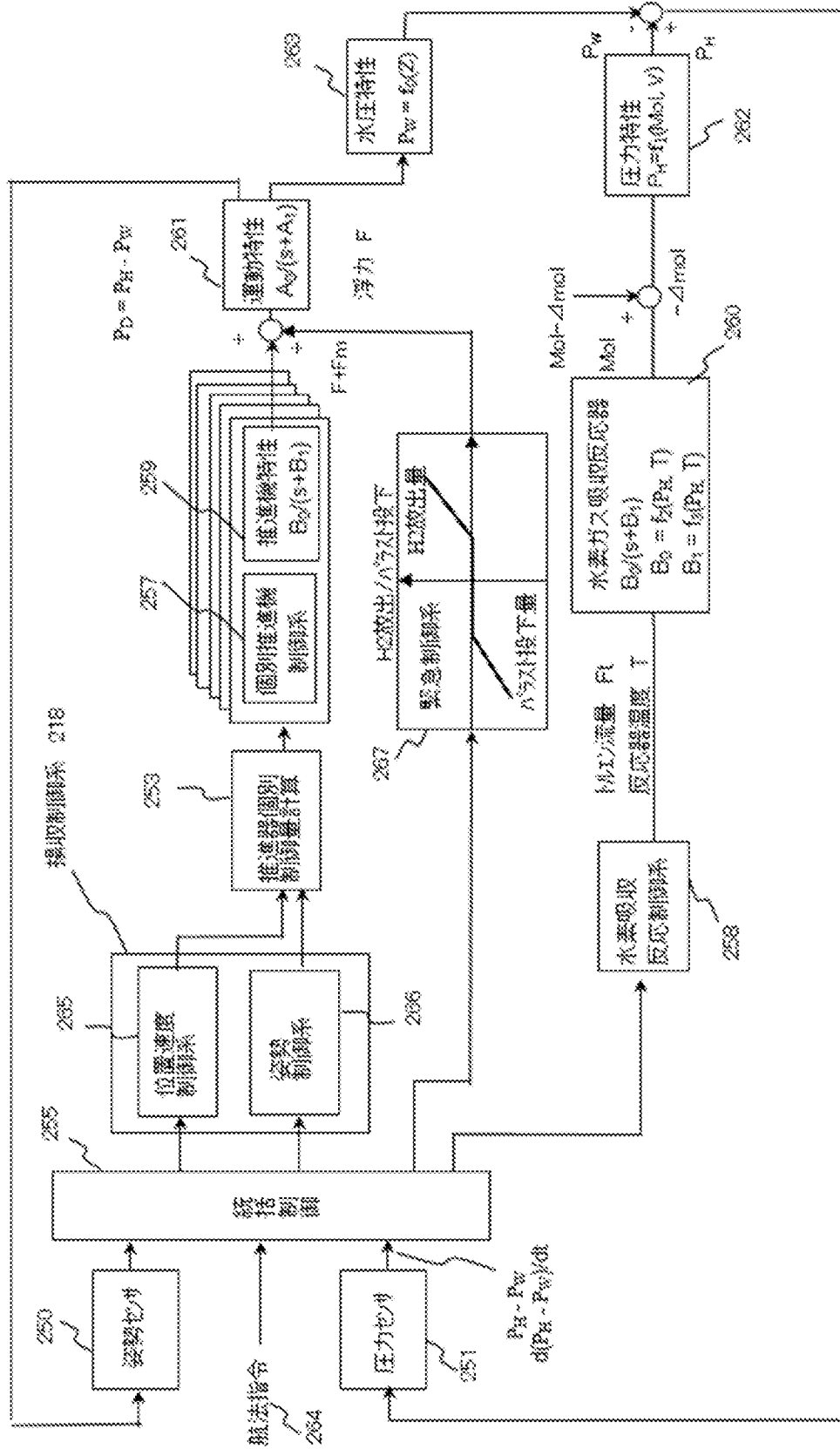
[図27]



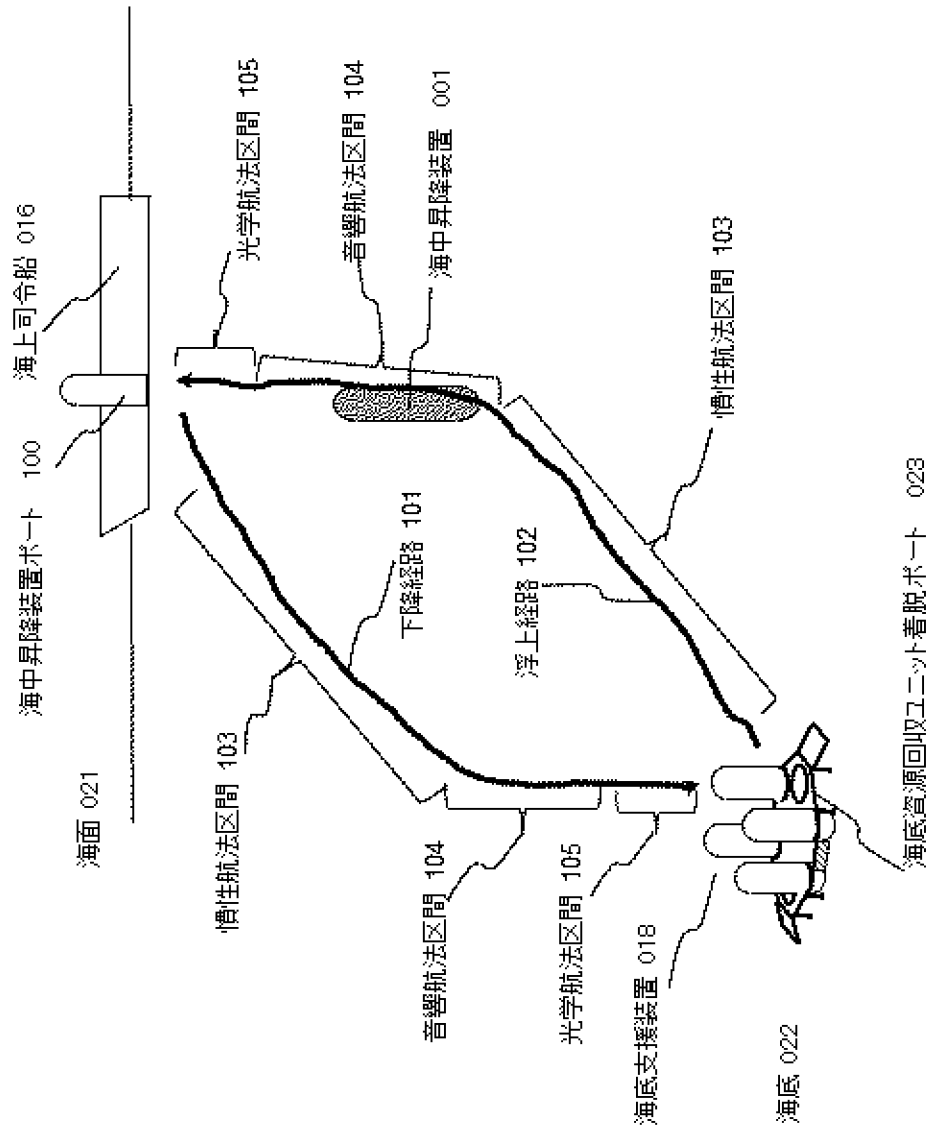
[図28]



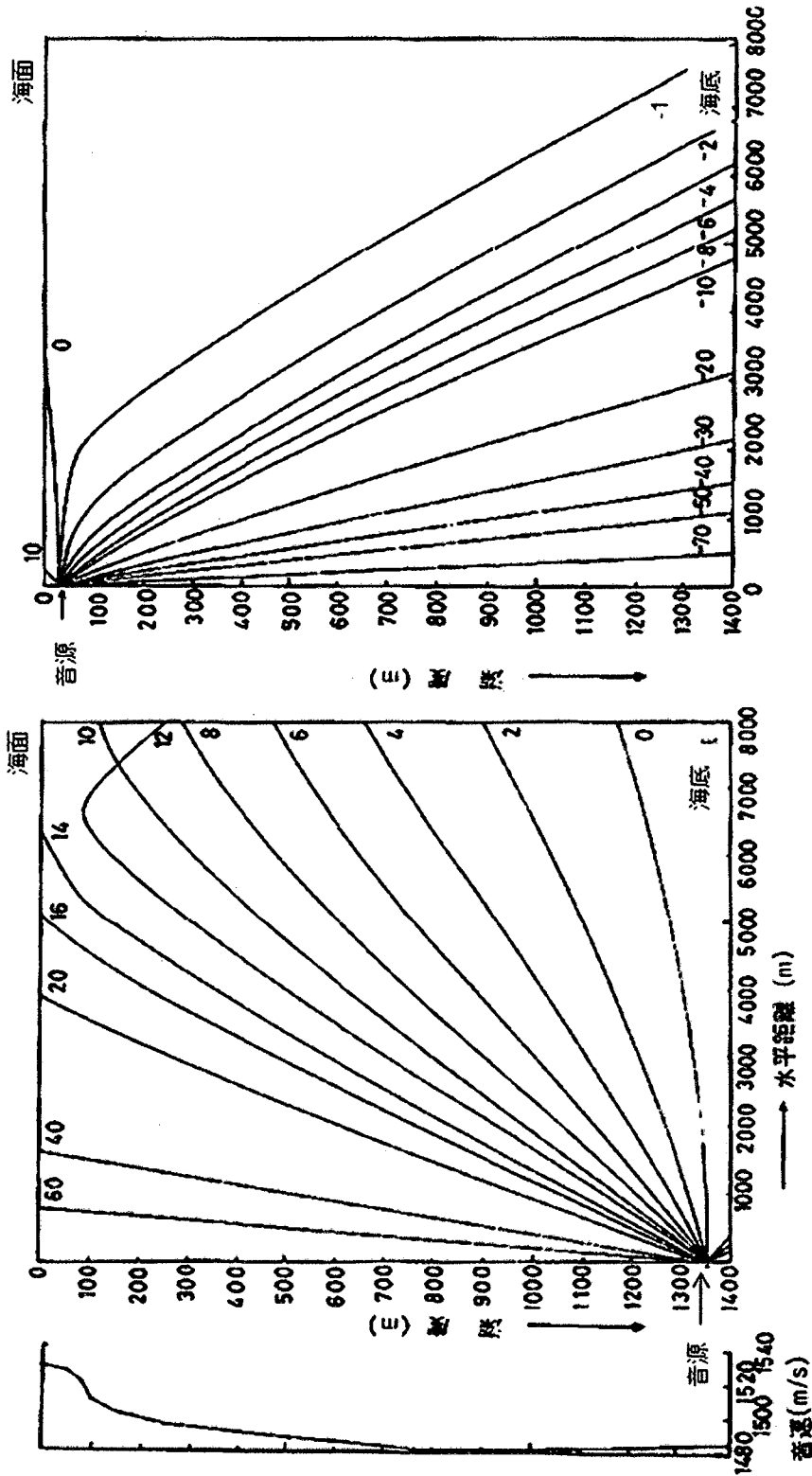
[図29]



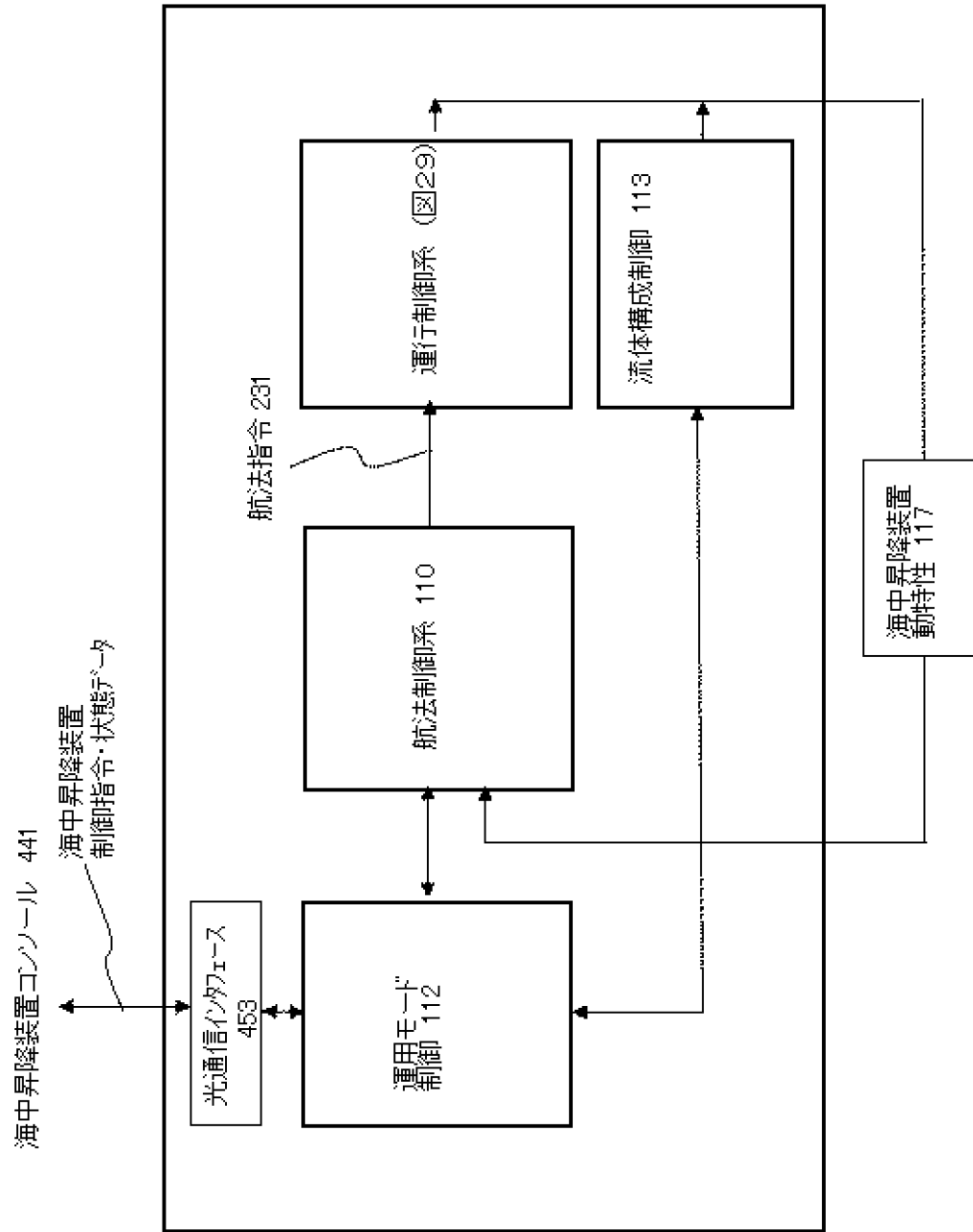
[図30]



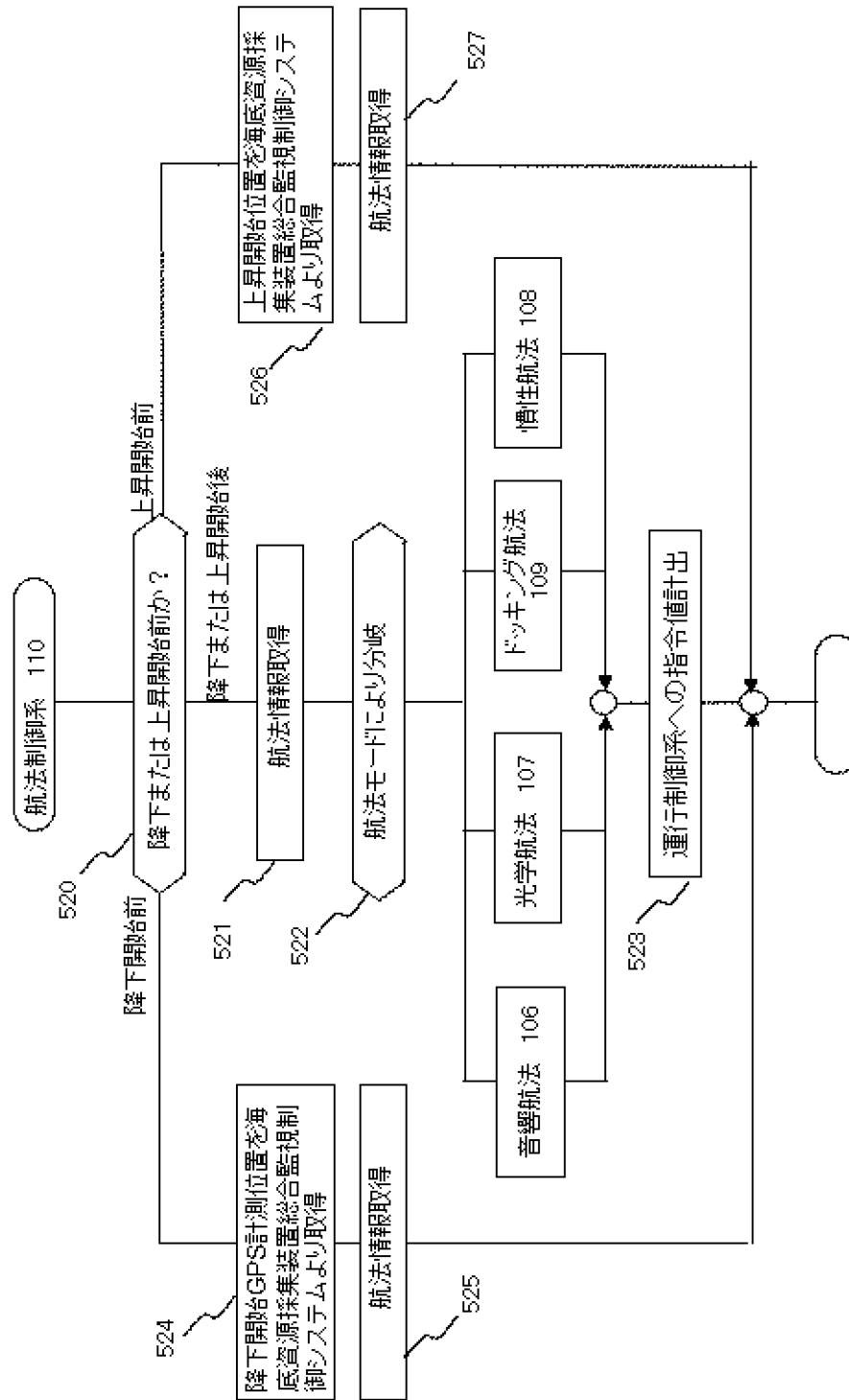
【図31】



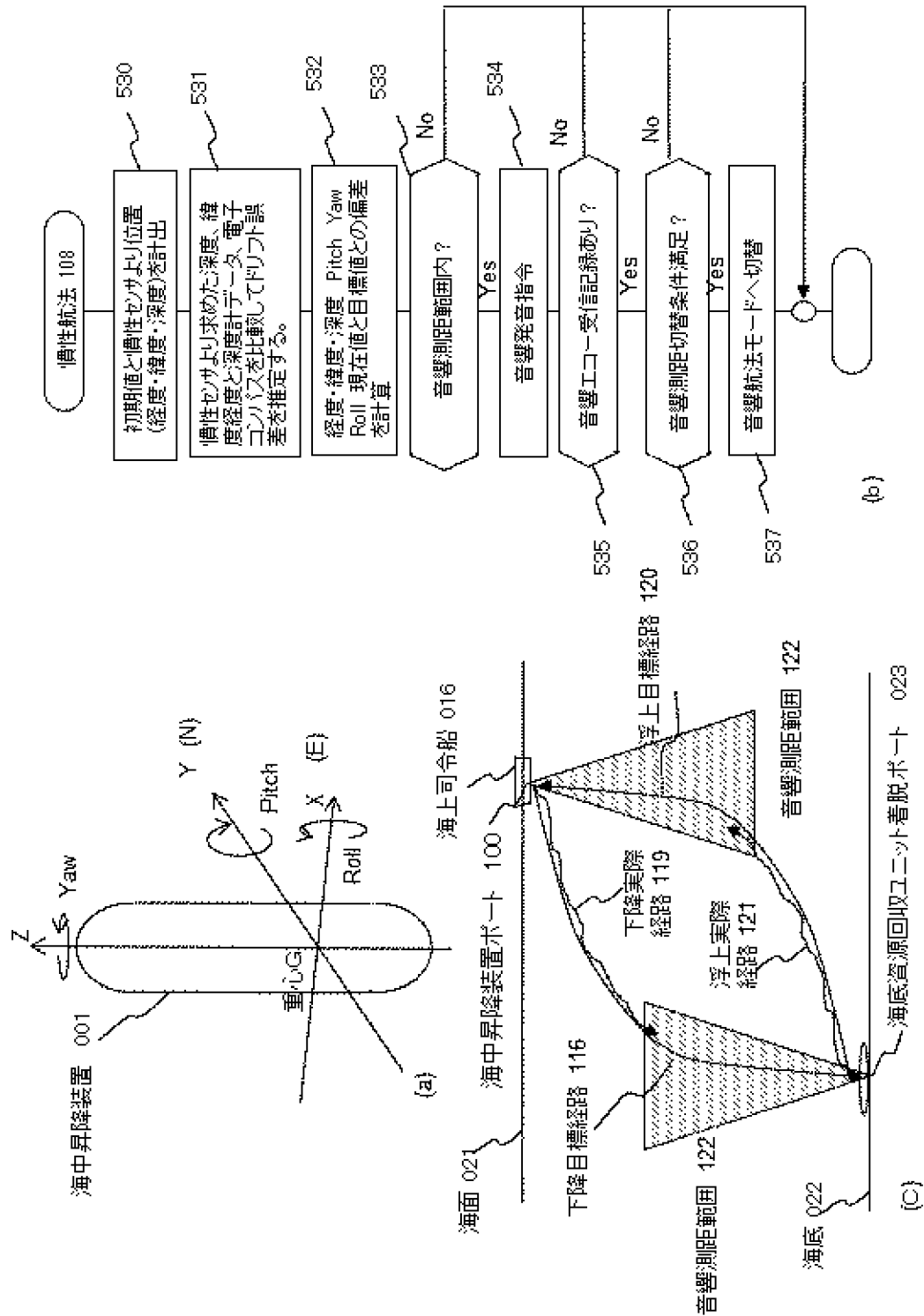
[図32]



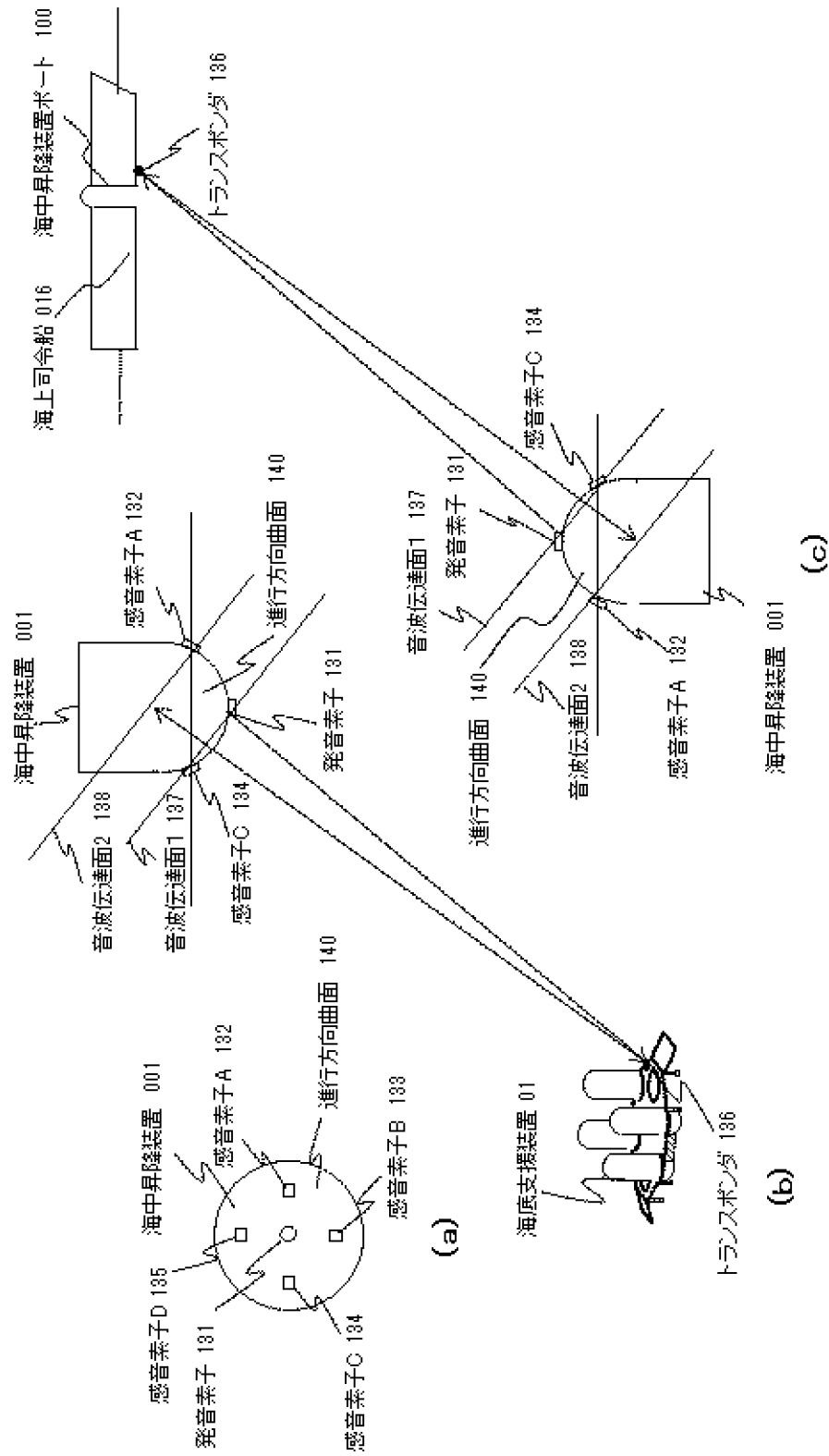
[図33]



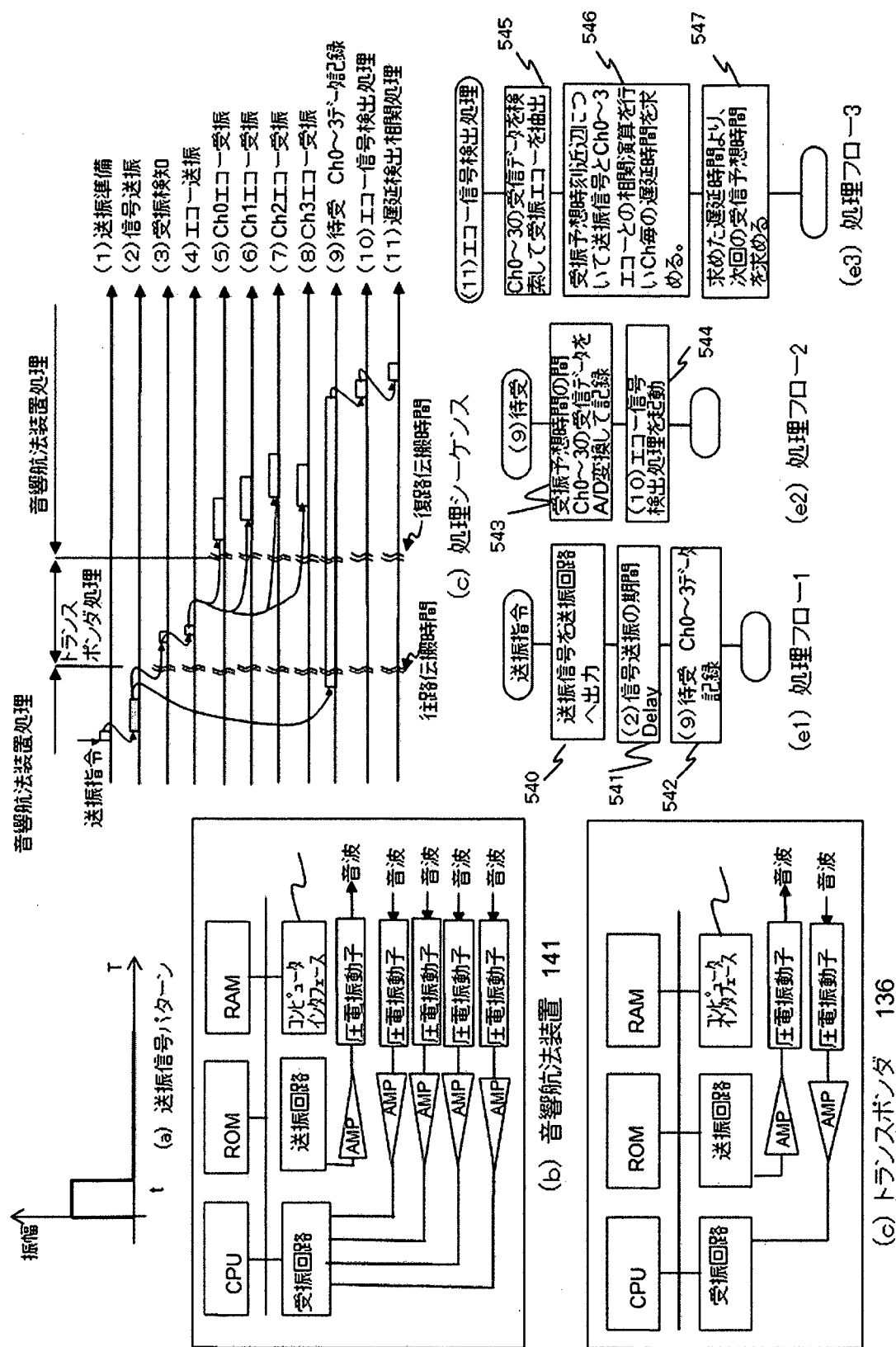
[図34]



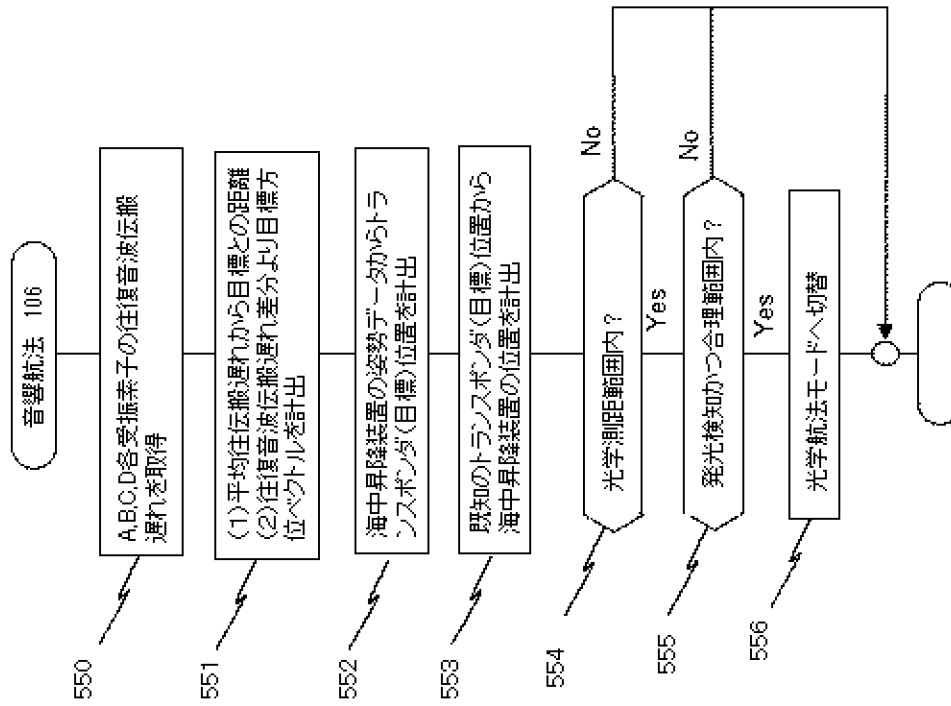
[図35]



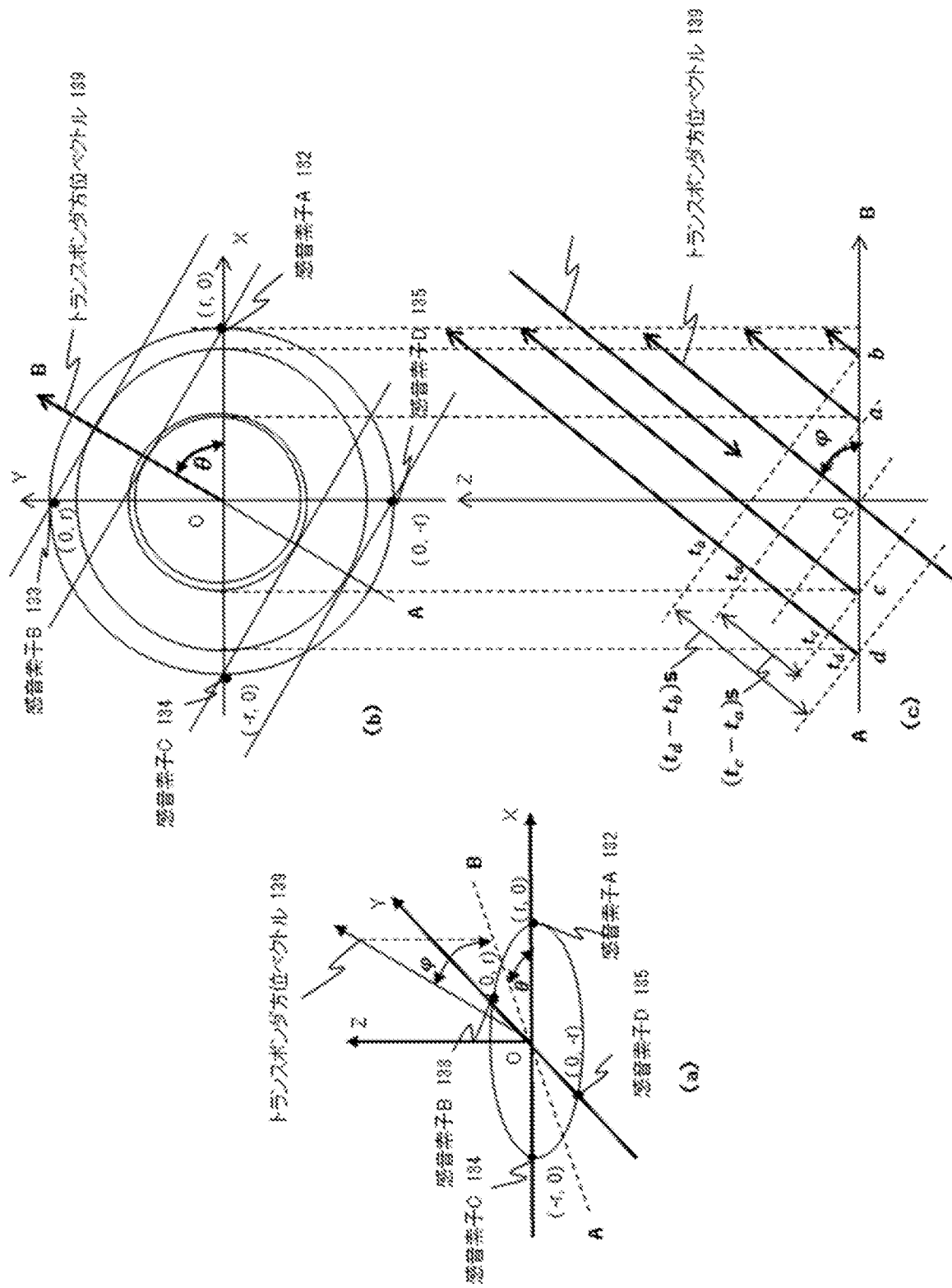
【图36】



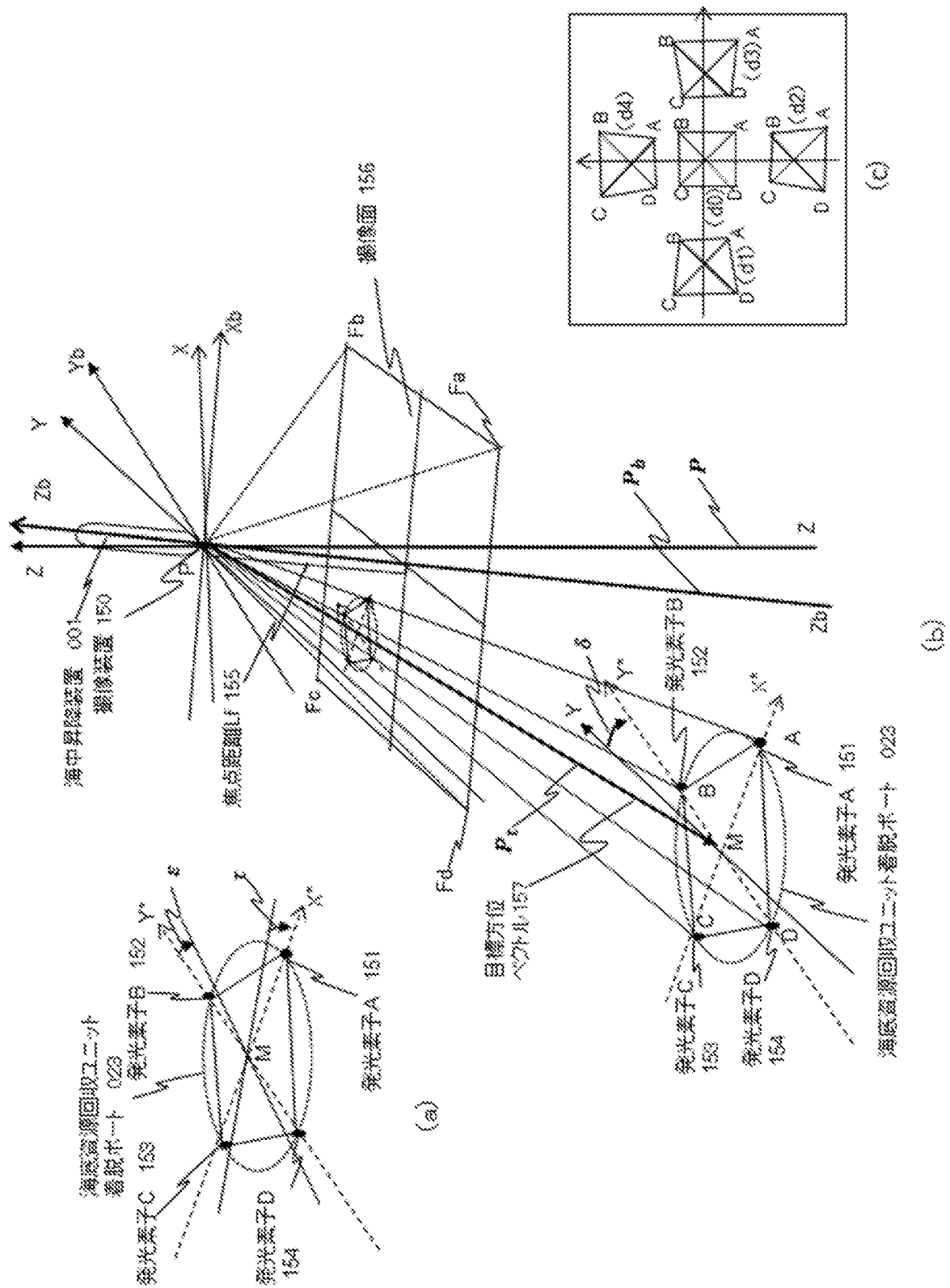
[図37]



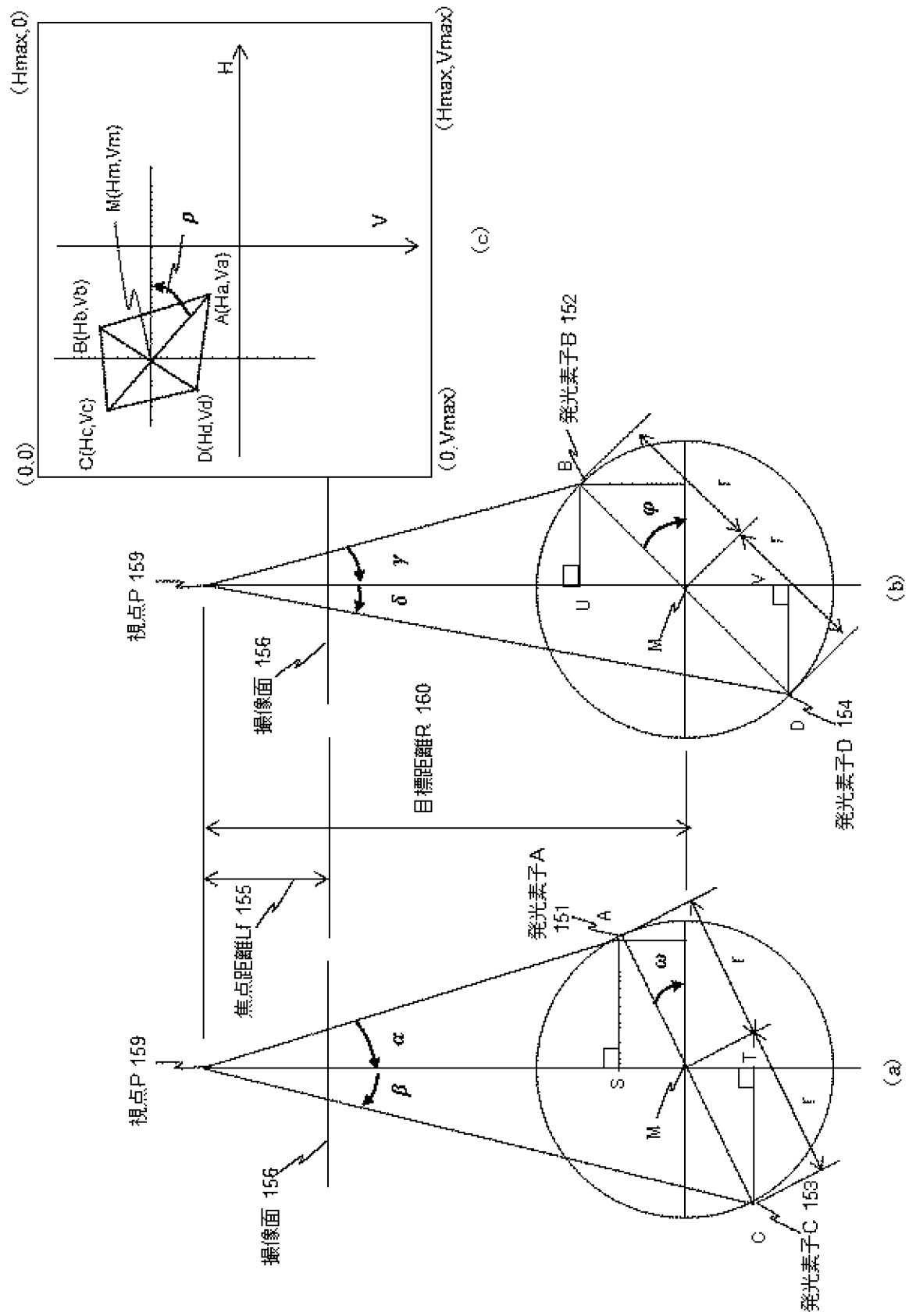
[図38]



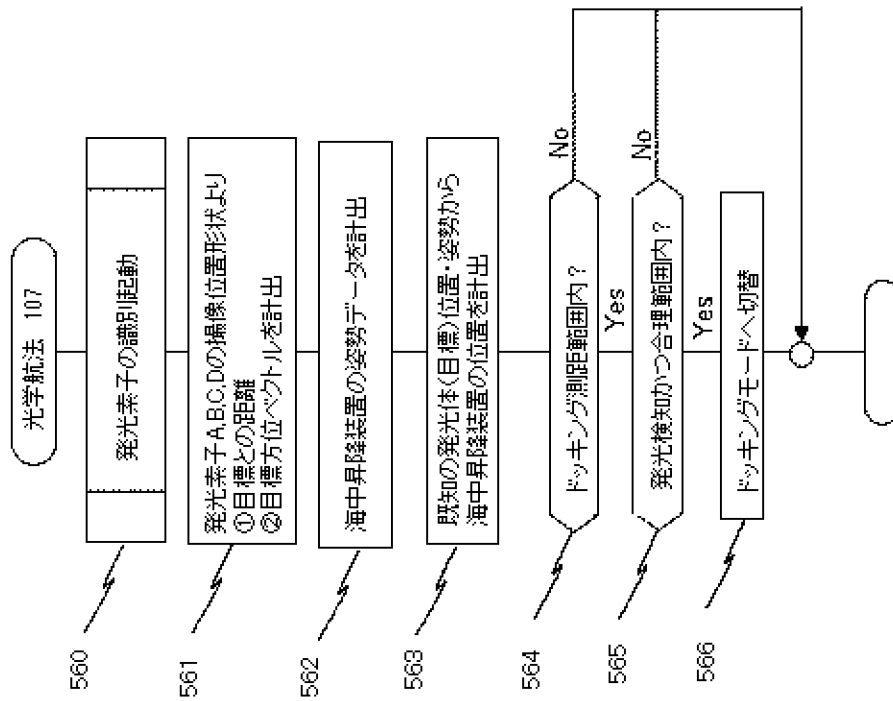
[図39]



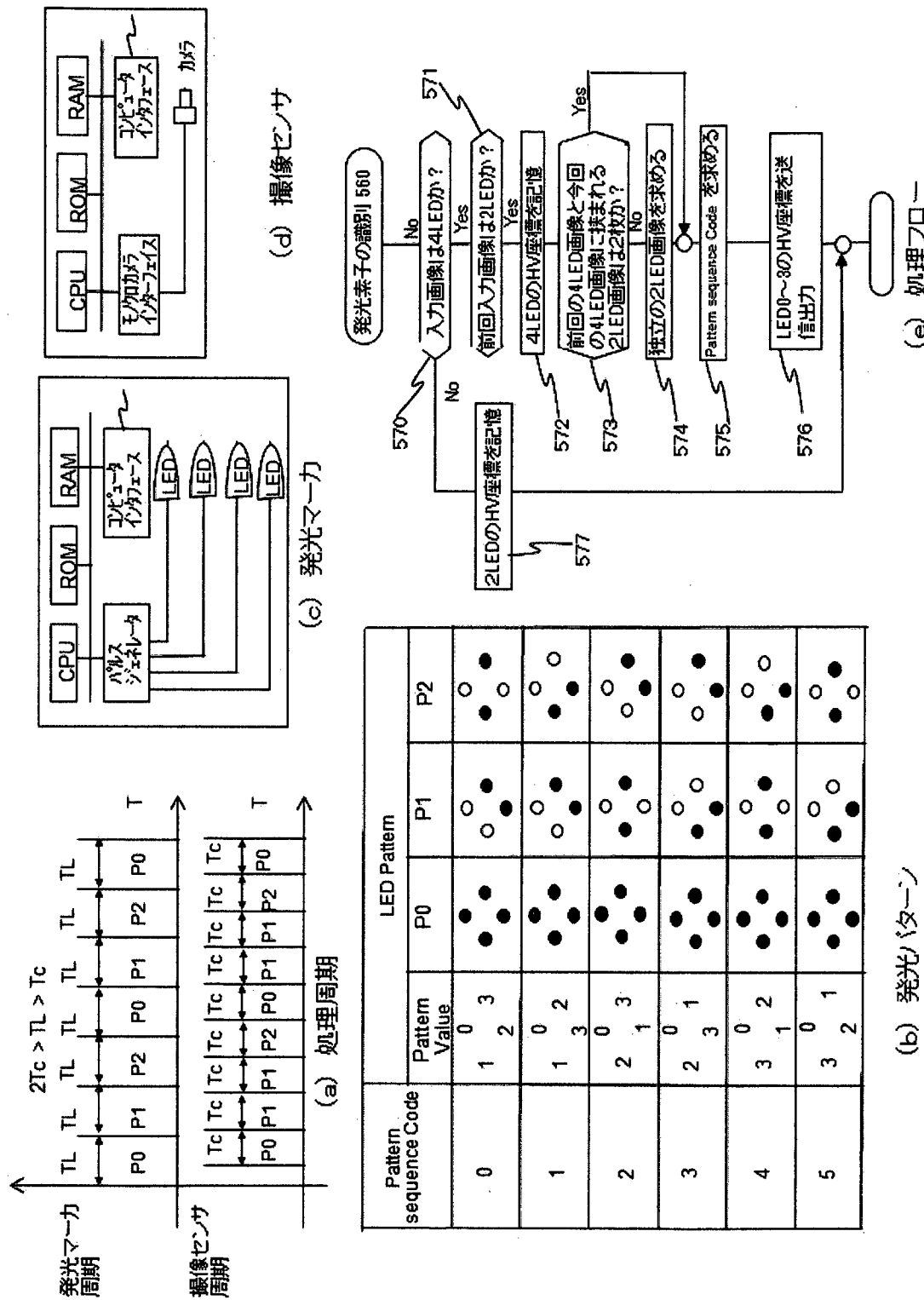
[図40]



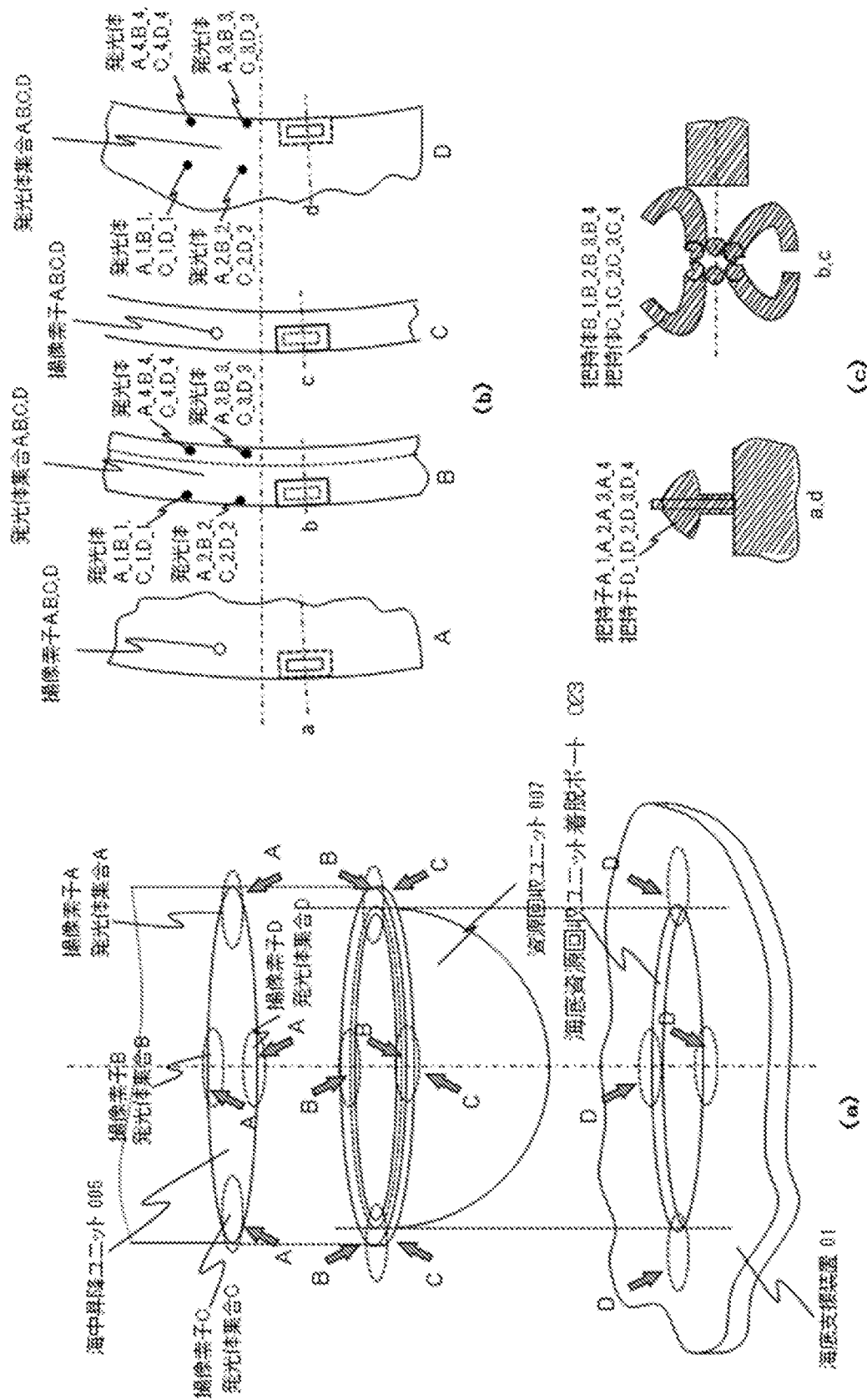
[図41]



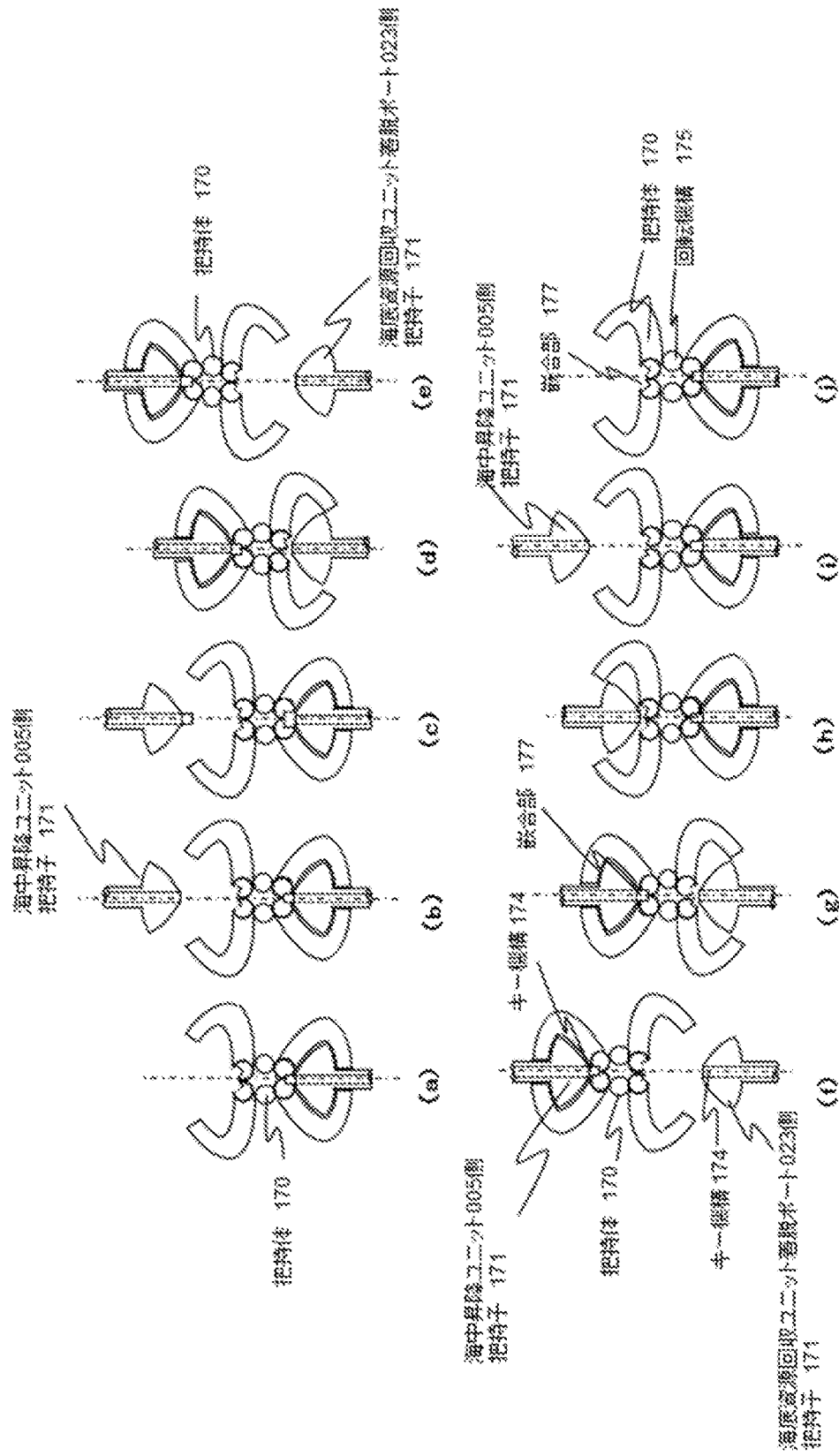
【図42】



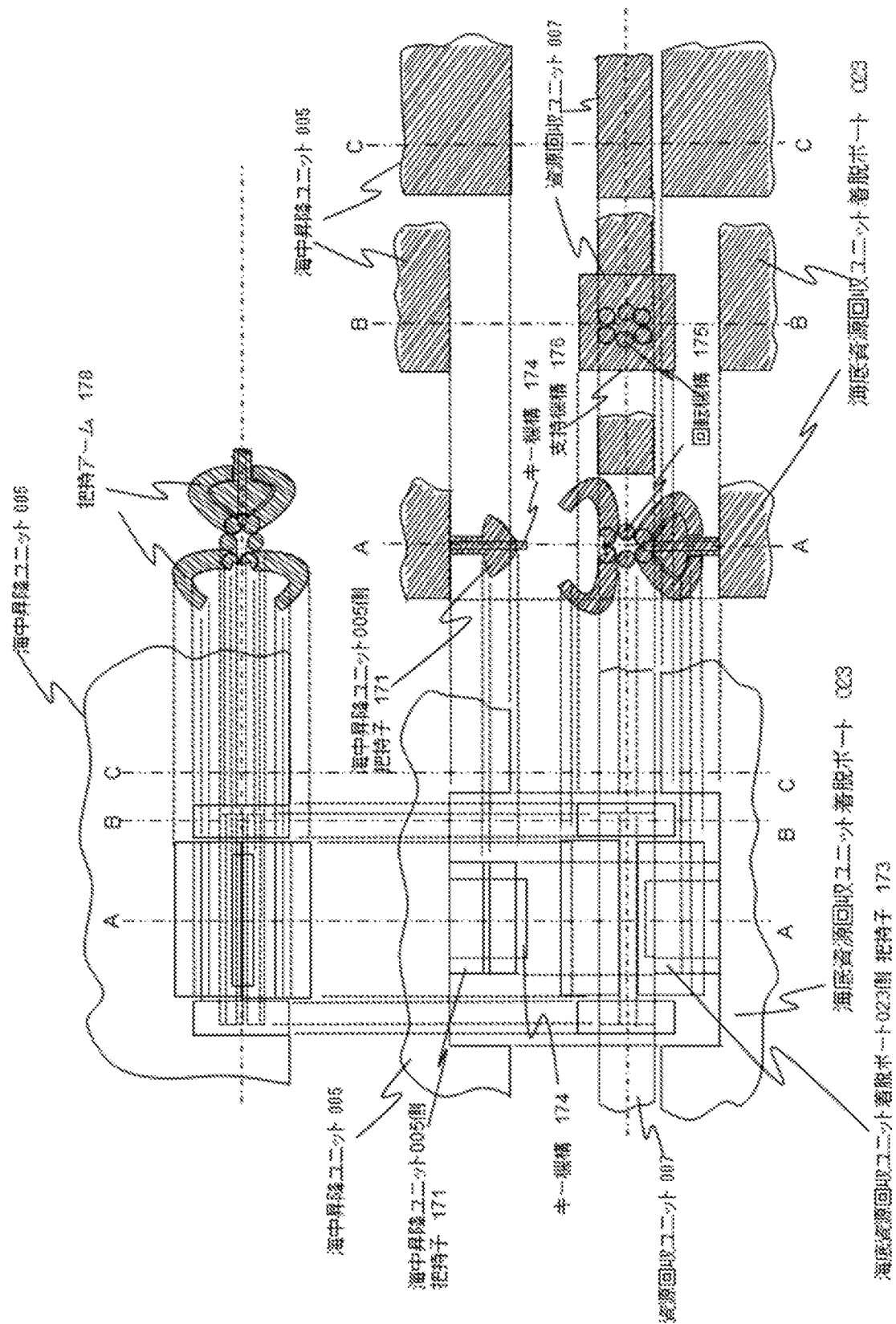
[図43]



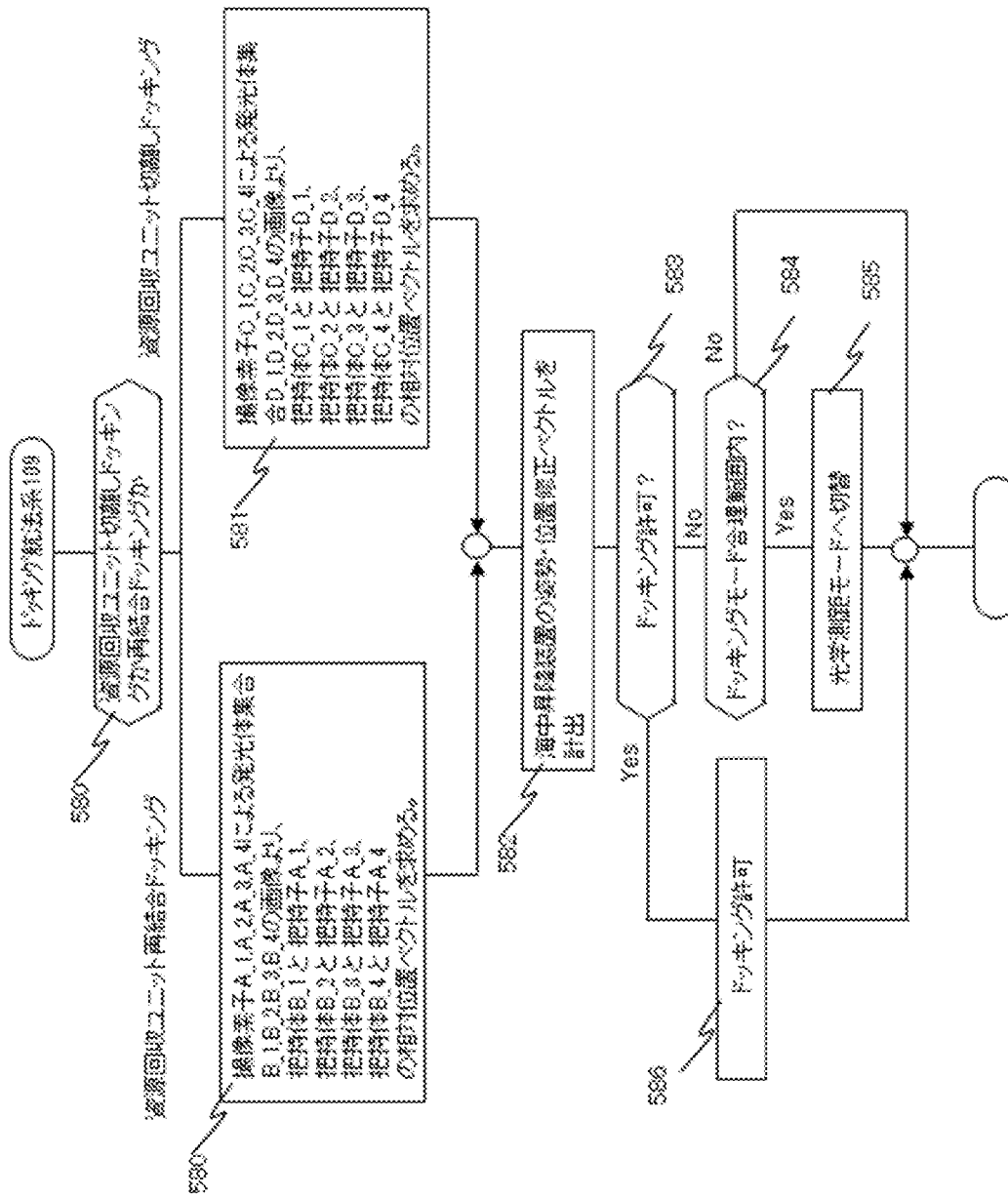
[図44]



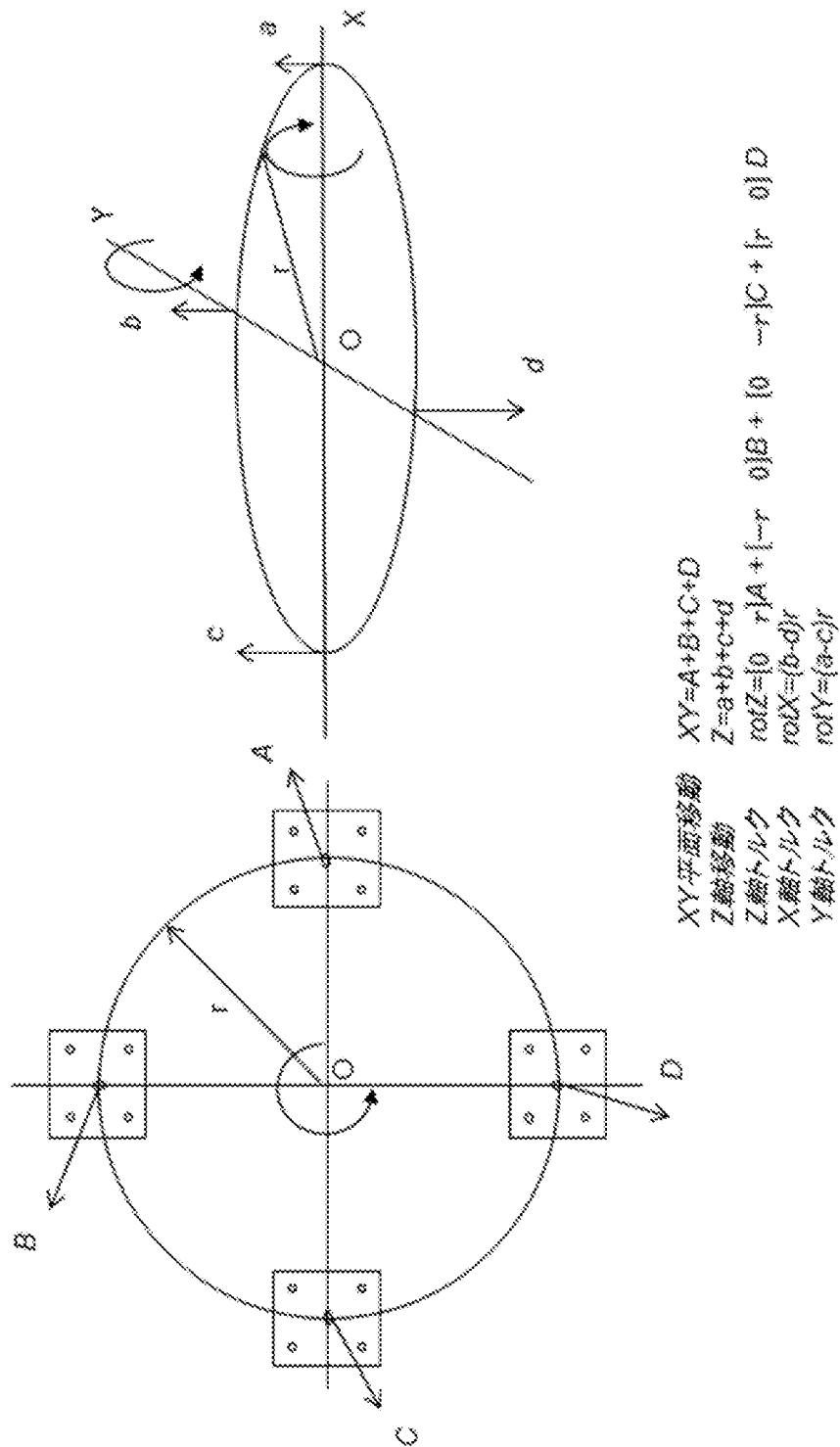
[図45]



[図46]



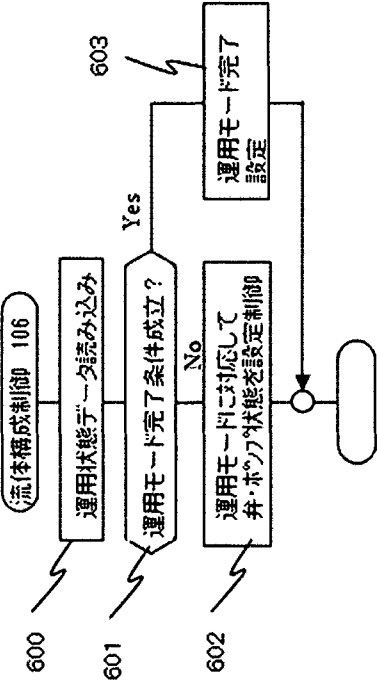
[図47]



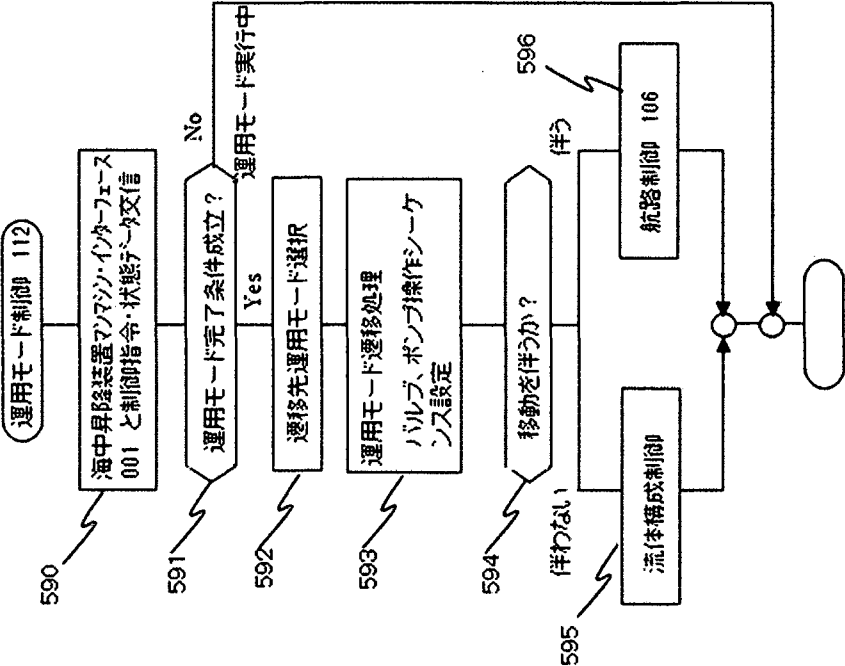
【図48】

No	運用モード	制御	完了条件
1	浮上	航路制御	海面到達
2	浮上終了水素バージ	流体構成制御	水素ガス放出完了
3	浮上終了MCH Unload	流体構成制御	MCH移送完了
4	降下準備(トルエン充填)	流体構成制御	トルエン充填完了
5	降下準備(純水充填)	流体構成制御	純水充填完了
6	降下	航路制御	海底到達
7	資源回収ユニット交換・移動	航路制御	再ドッキング完了
8	降下後処理(水素ガス充填トルエン純水移送)	流体構成制御	水素ガス充填完了
9	浮上準備(海水注水 浮力調整完了)	流体構成制御	比重1.0達成

(b) 運用モード一覧

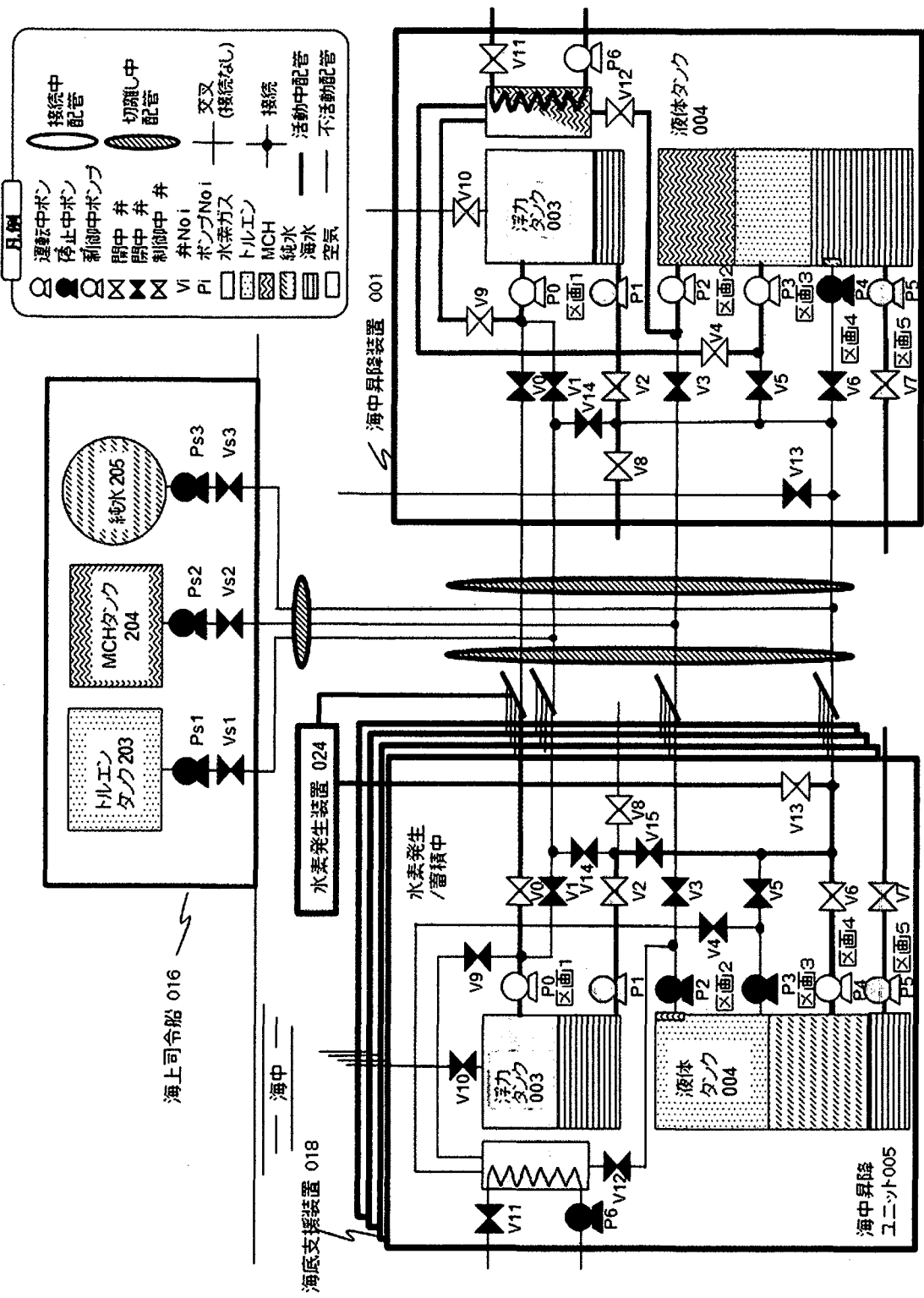


(c) 処理フロー 2

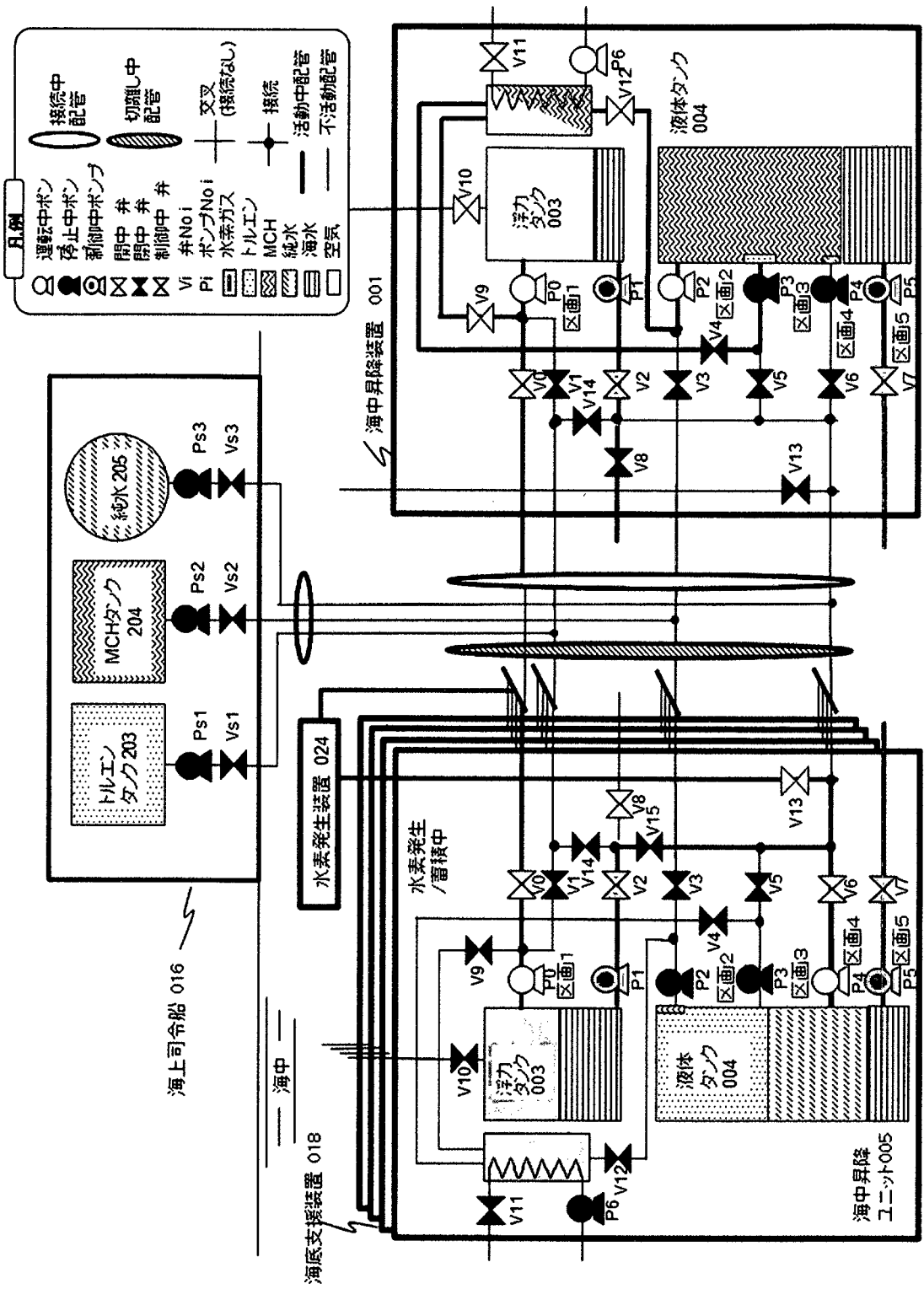


(a) 処理フロー 1

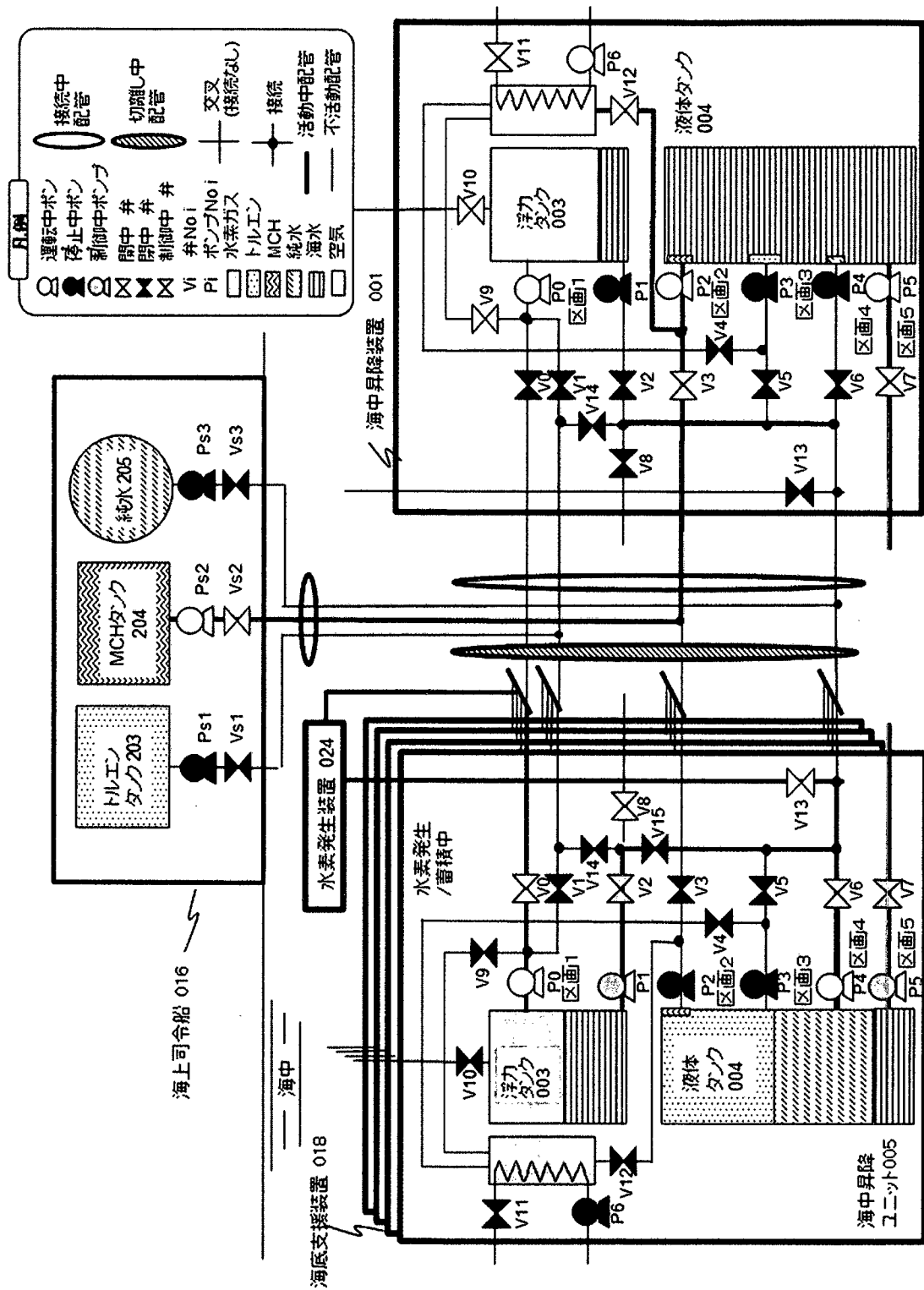
【図49】



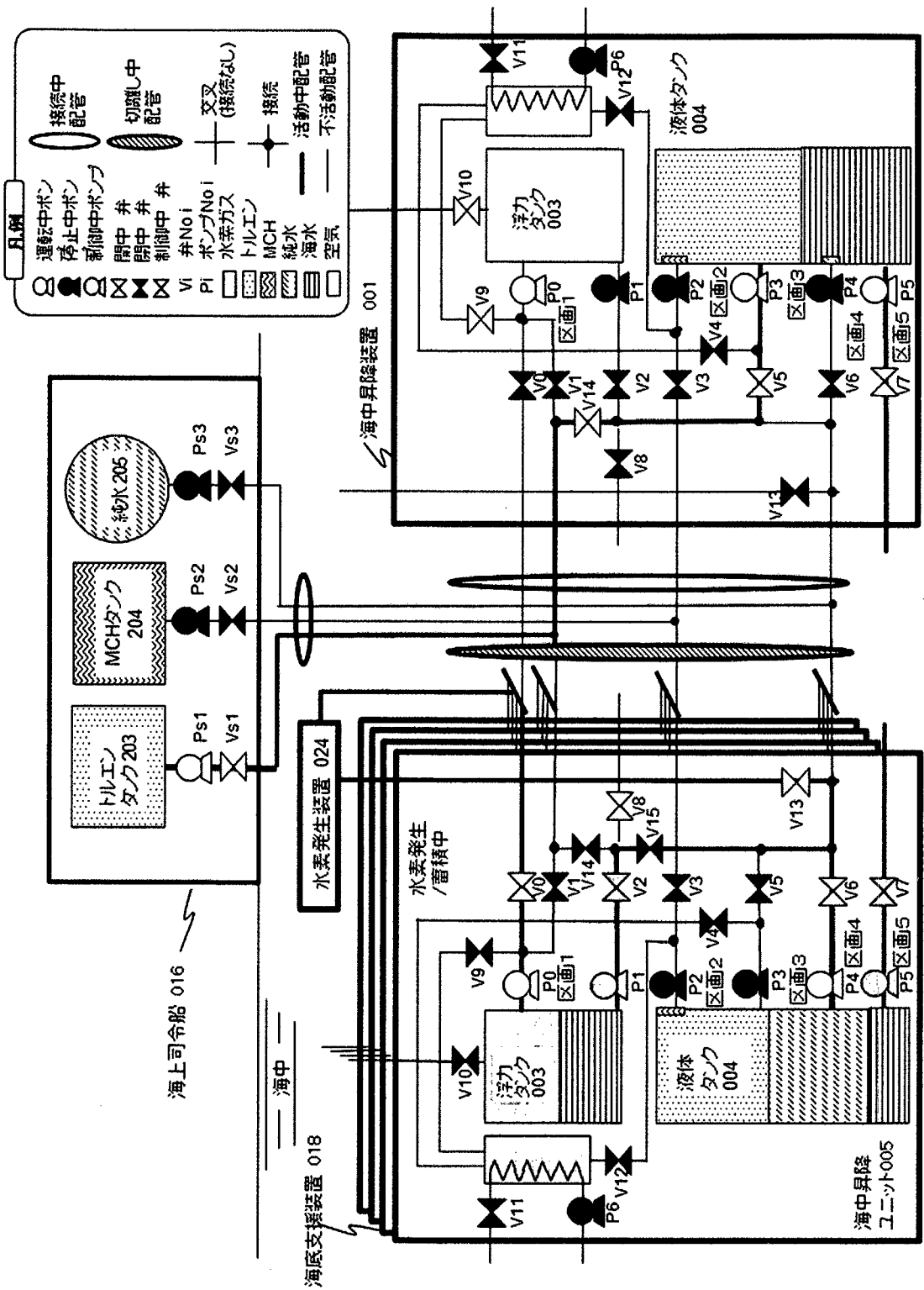
【図50】



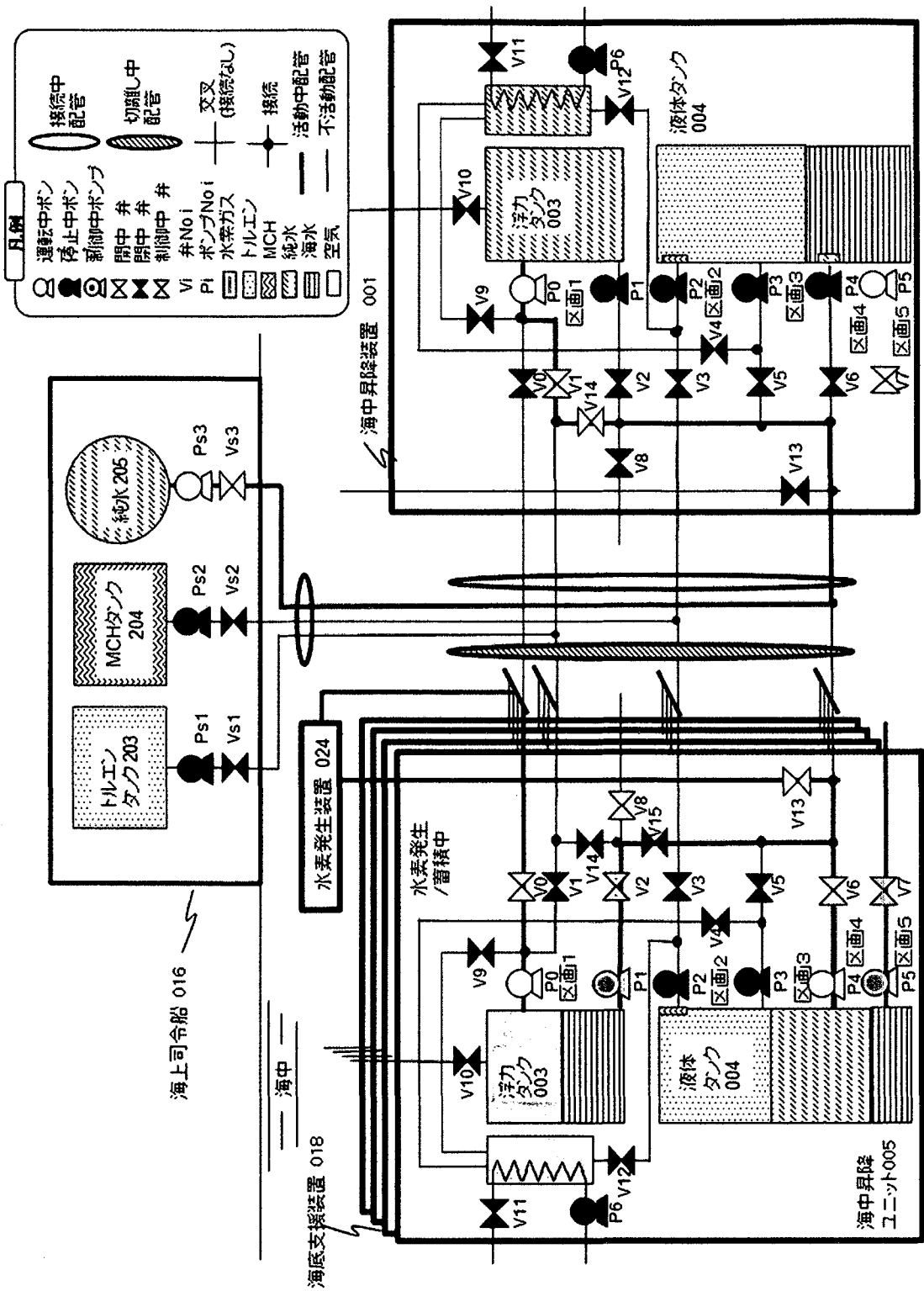
【図51】



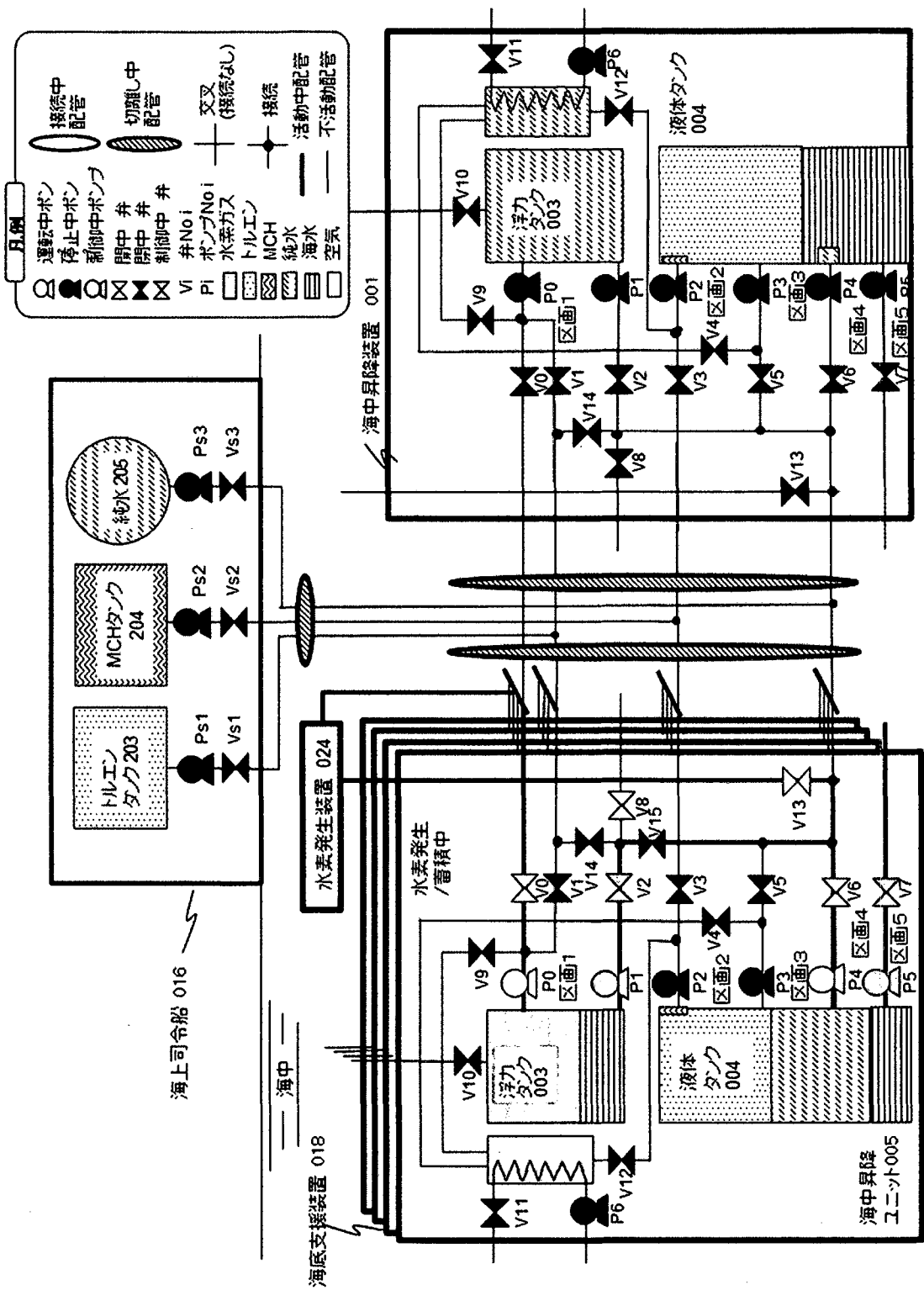
【図52】



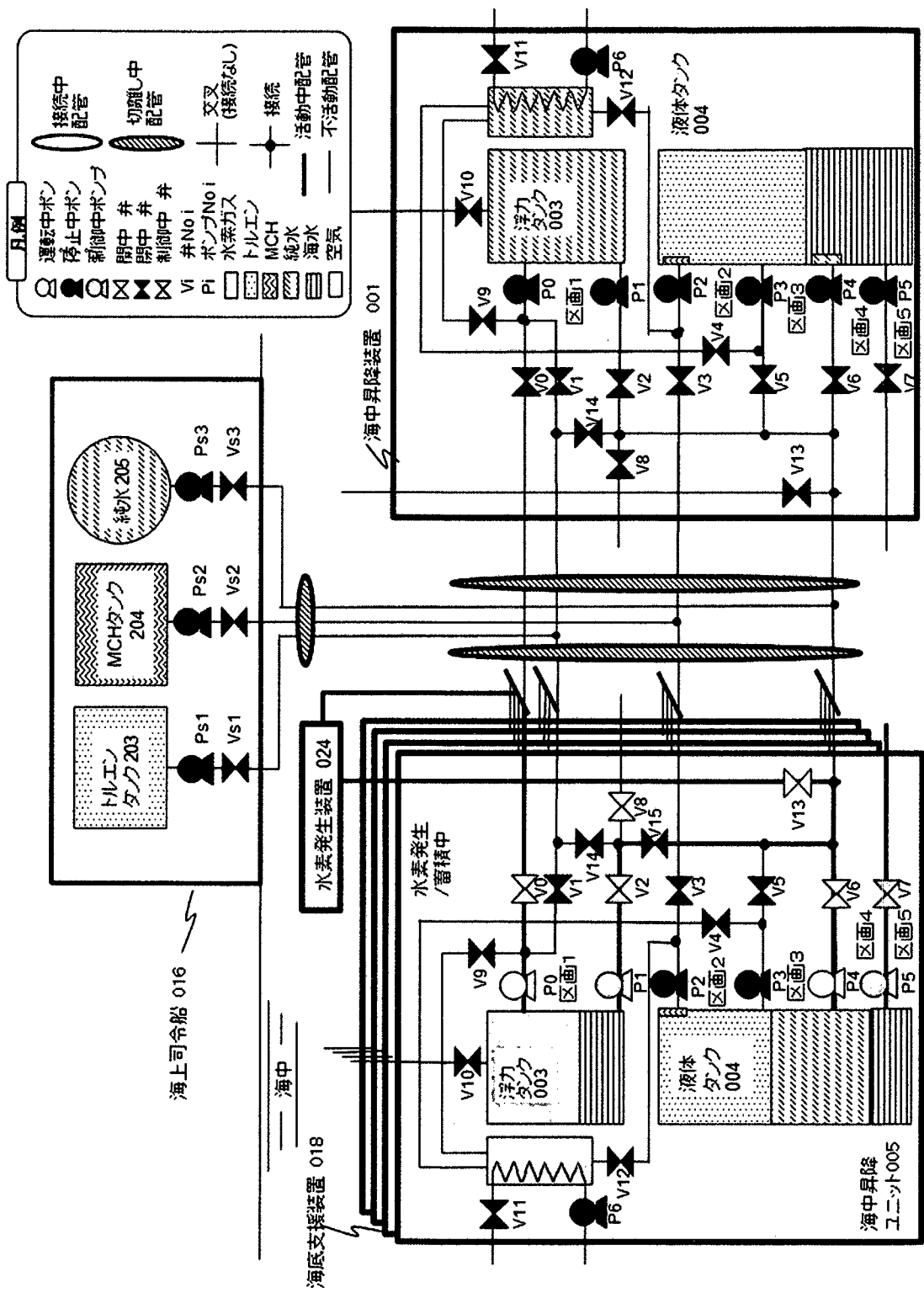
【図53】



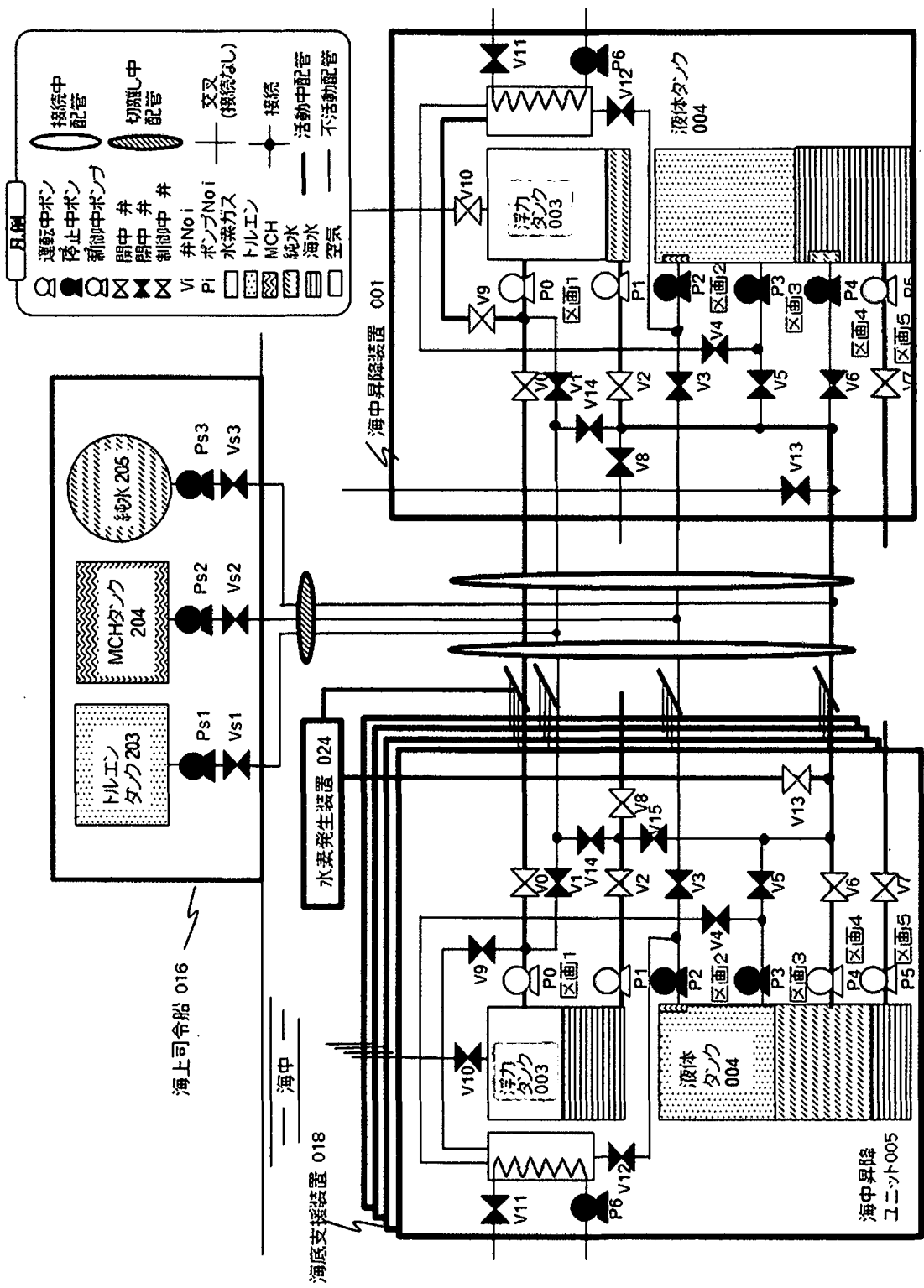
【図54】



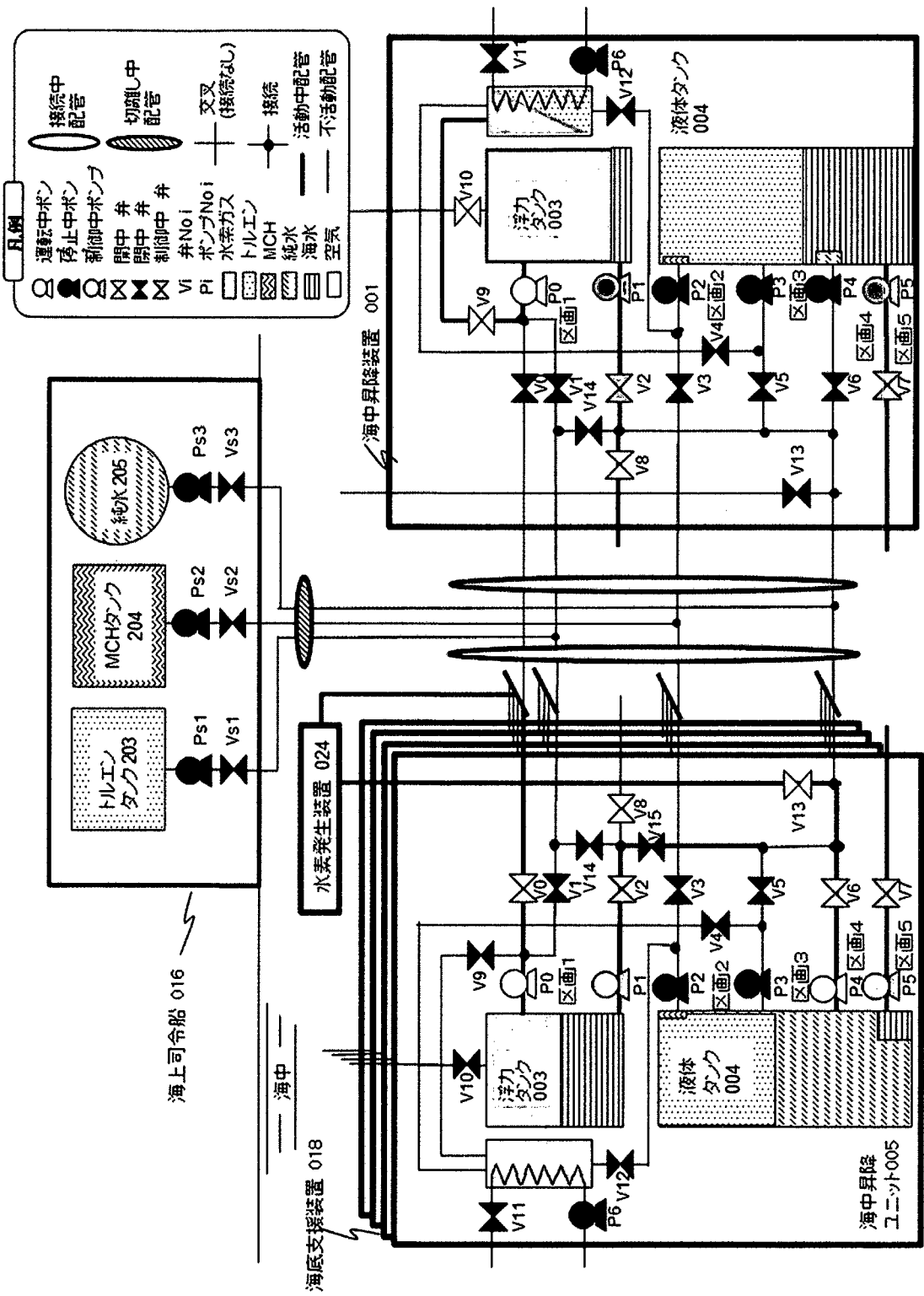
【図55】



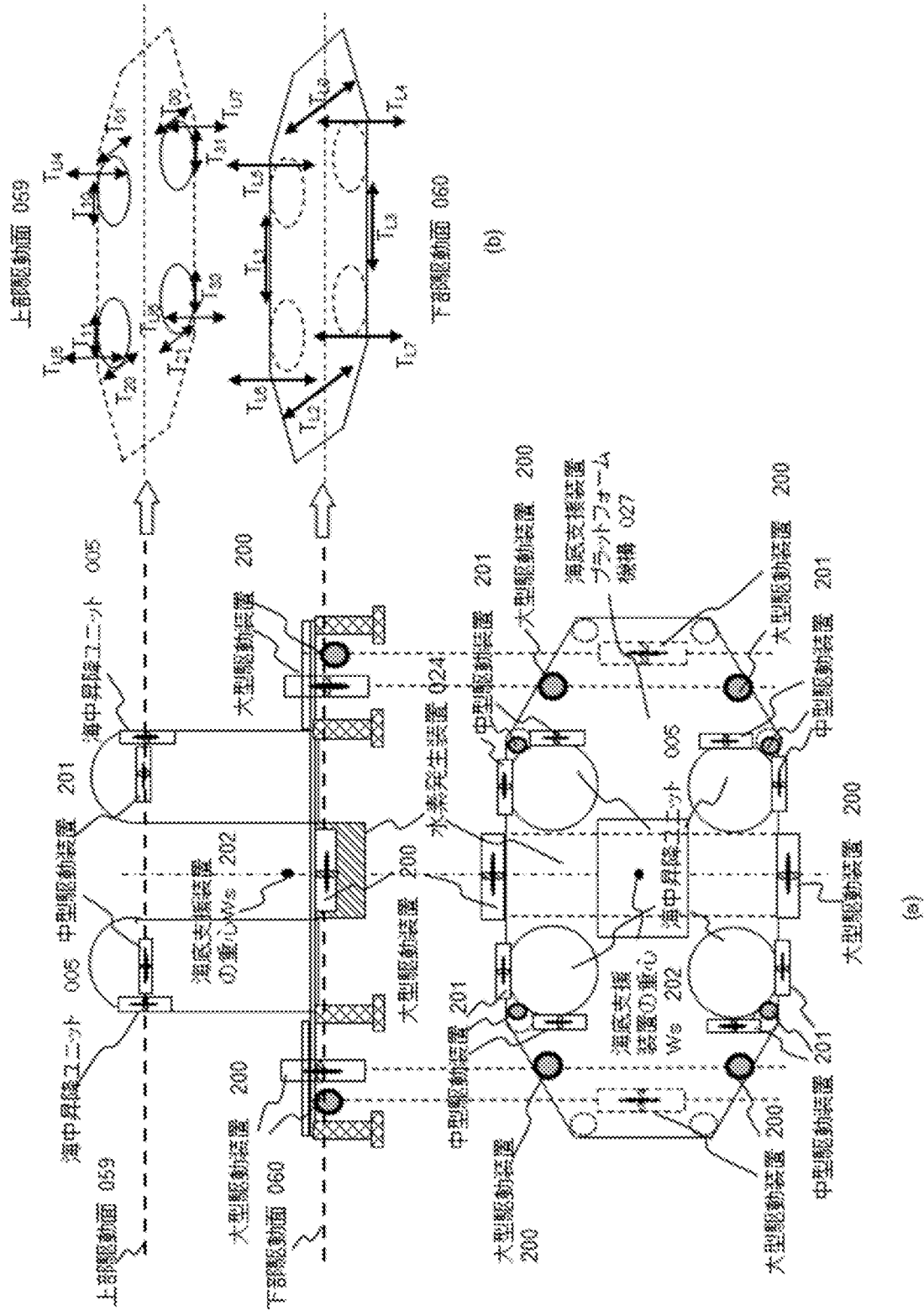
【図56】



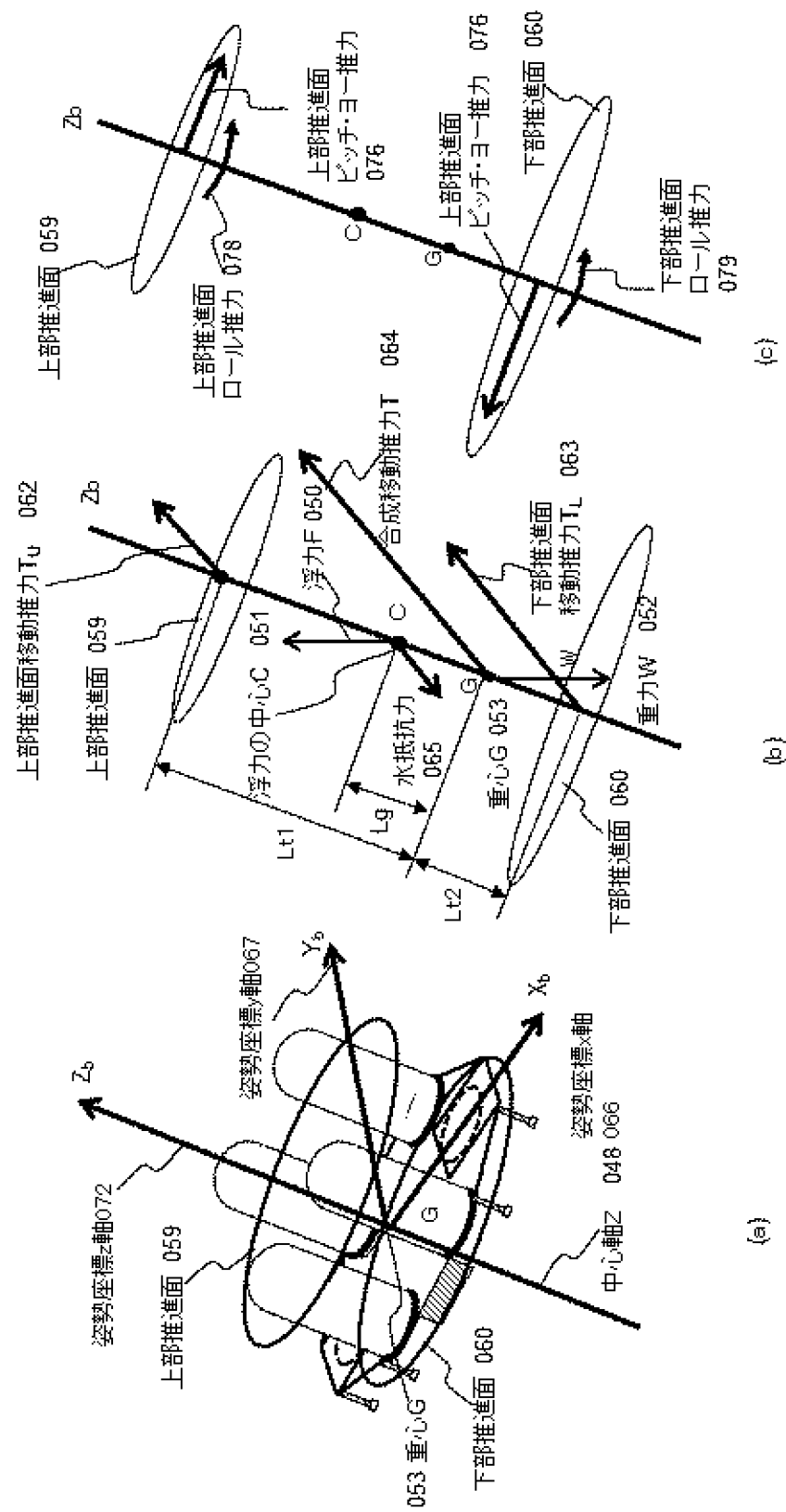
【図58】



[図59]

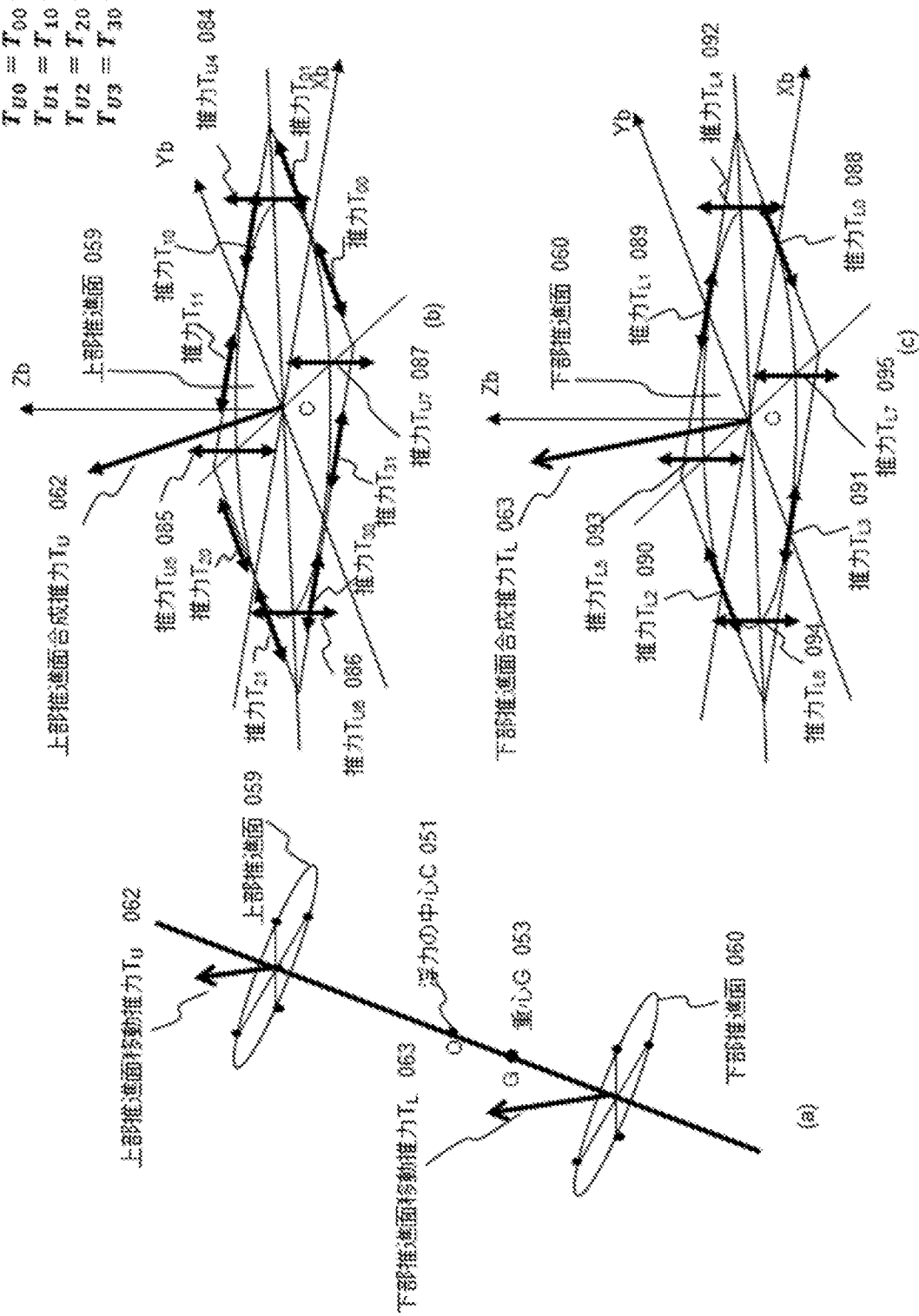


[図61]

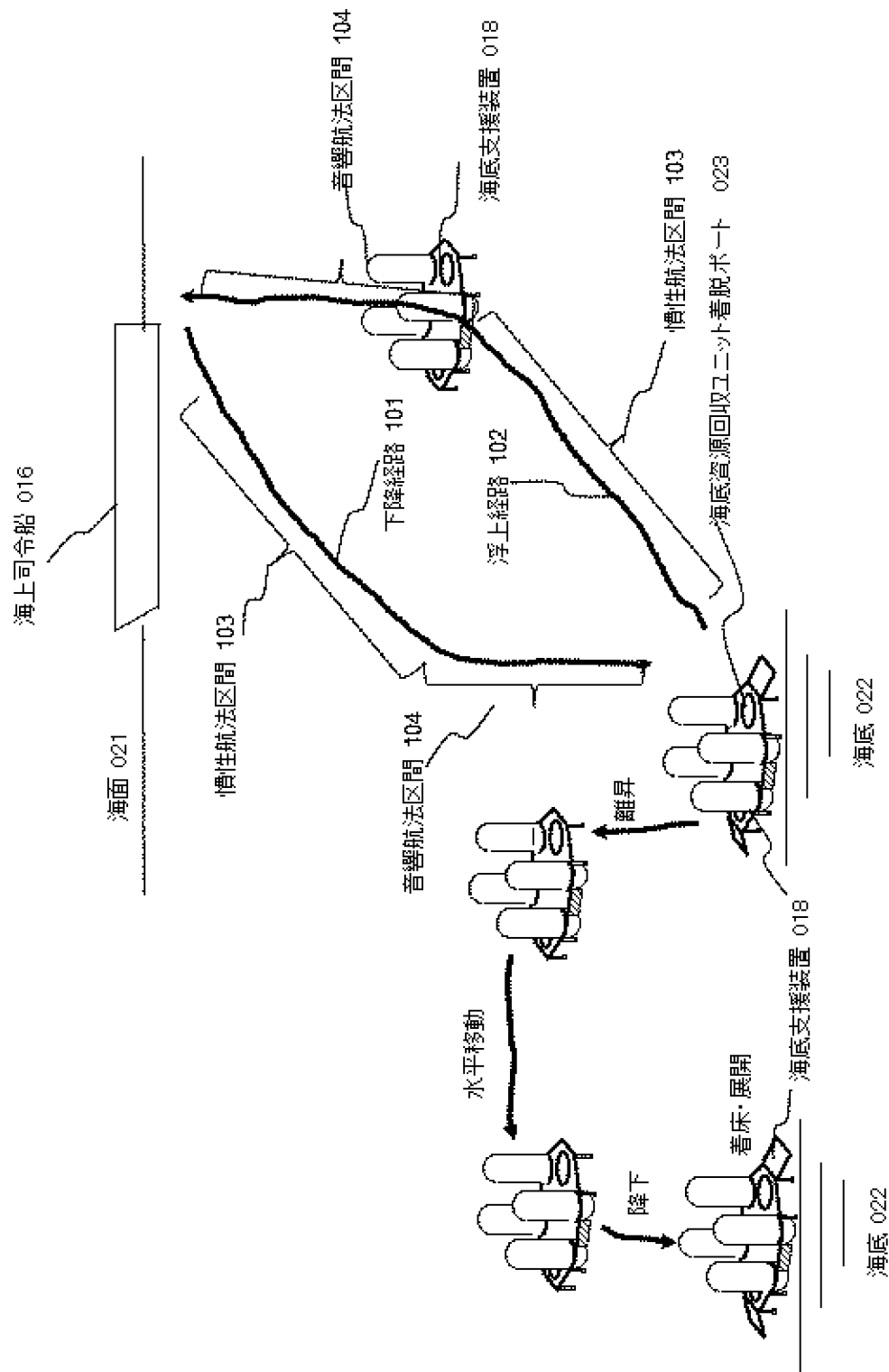


[図62]

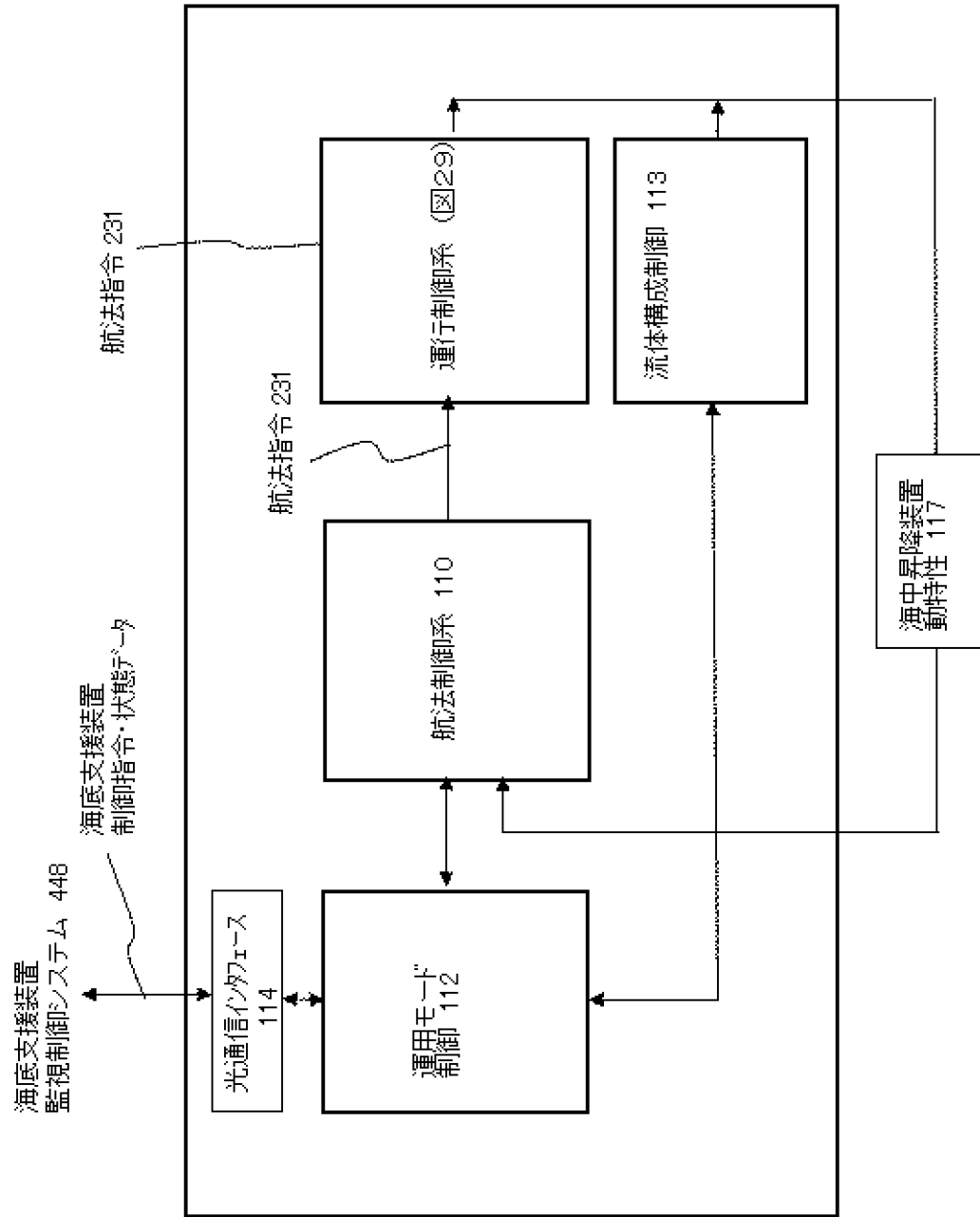
$$\begin{aligned}
 T_{U0} &= T_{00} + T_{01} \\
 T_{U1} &= T_{10} + T_{11} \\
 T_{U2} &= T_{20} + T_{21} \\
 T_{U3} &= T_{30} + T_{31}
 \end{aligned}$$



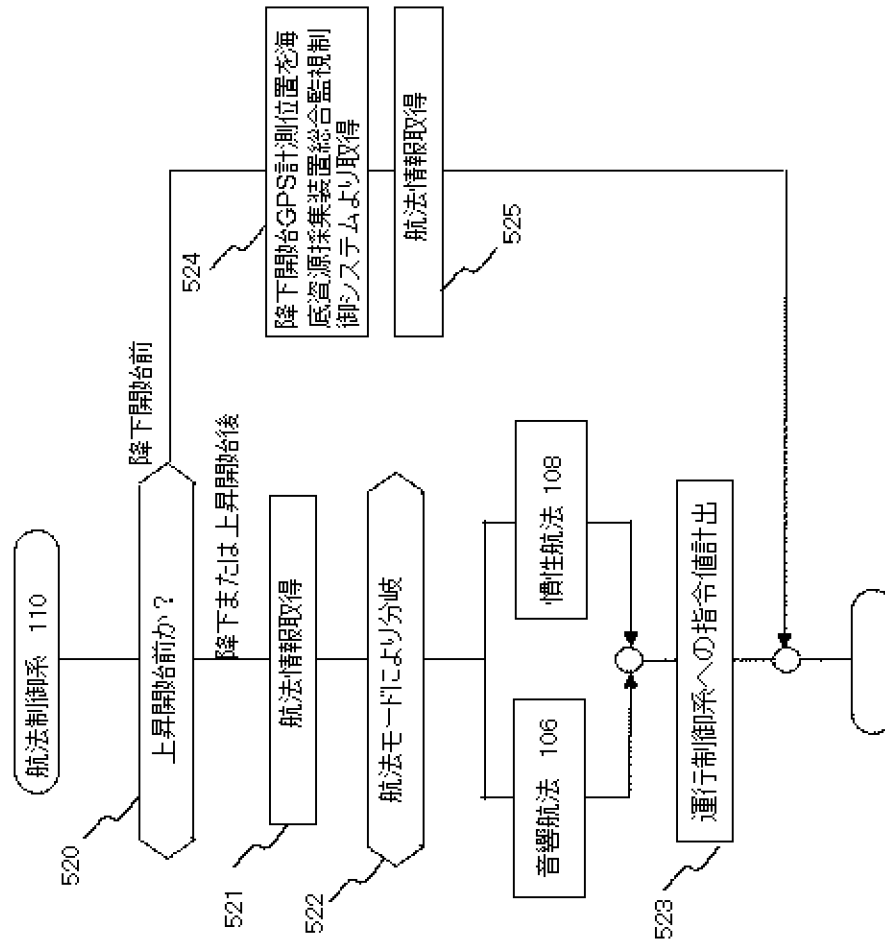
[図63]



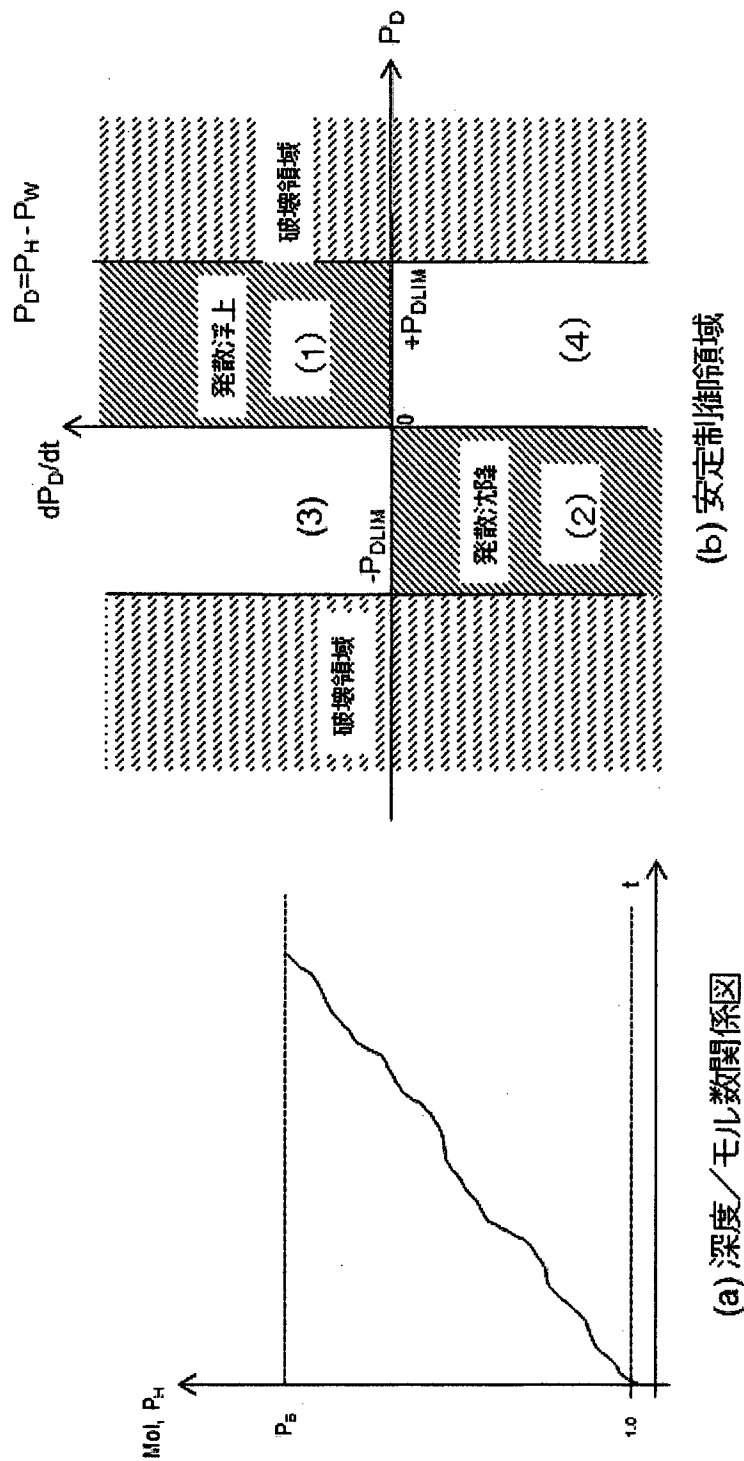
[図64]



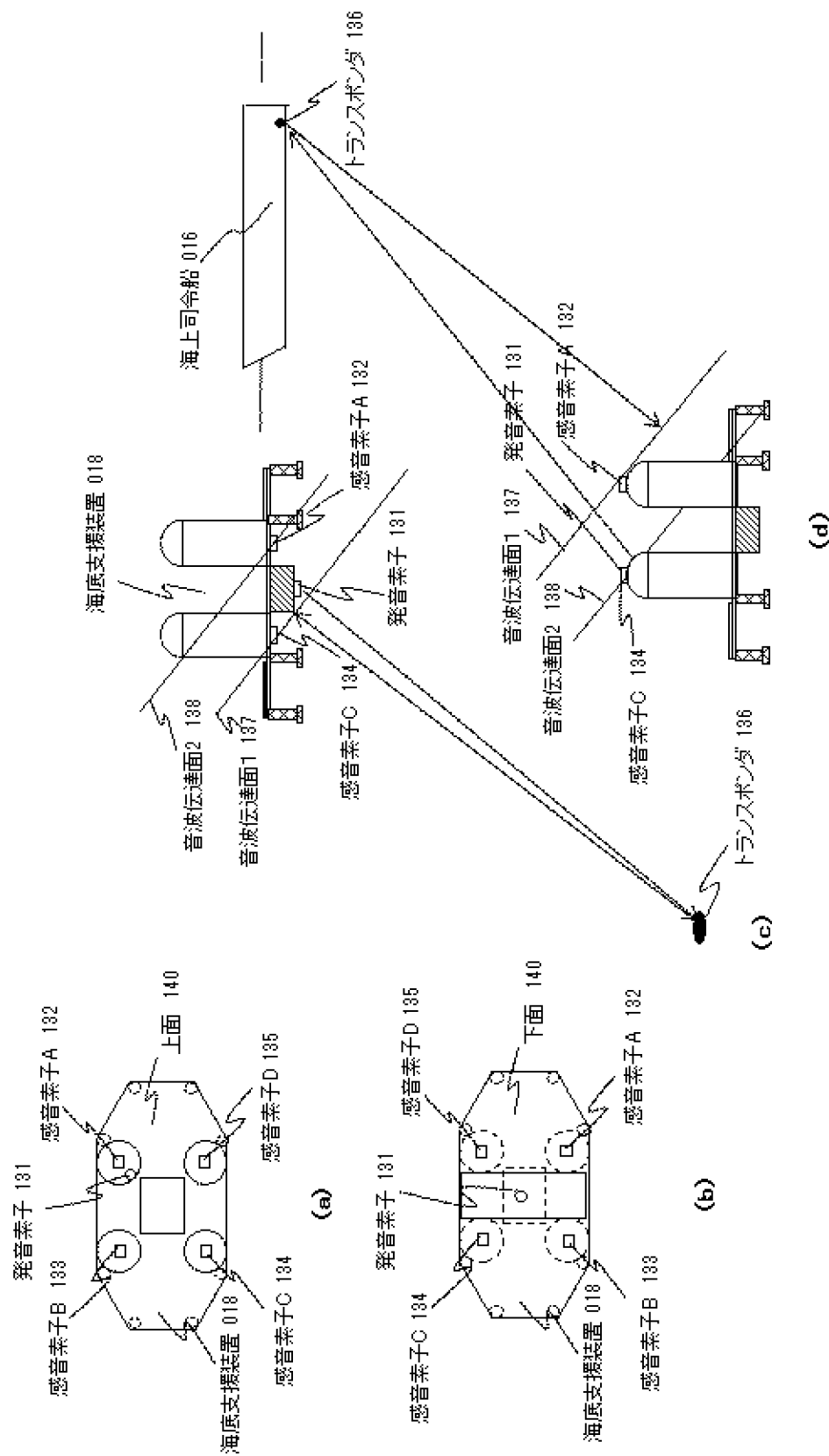
[図65]



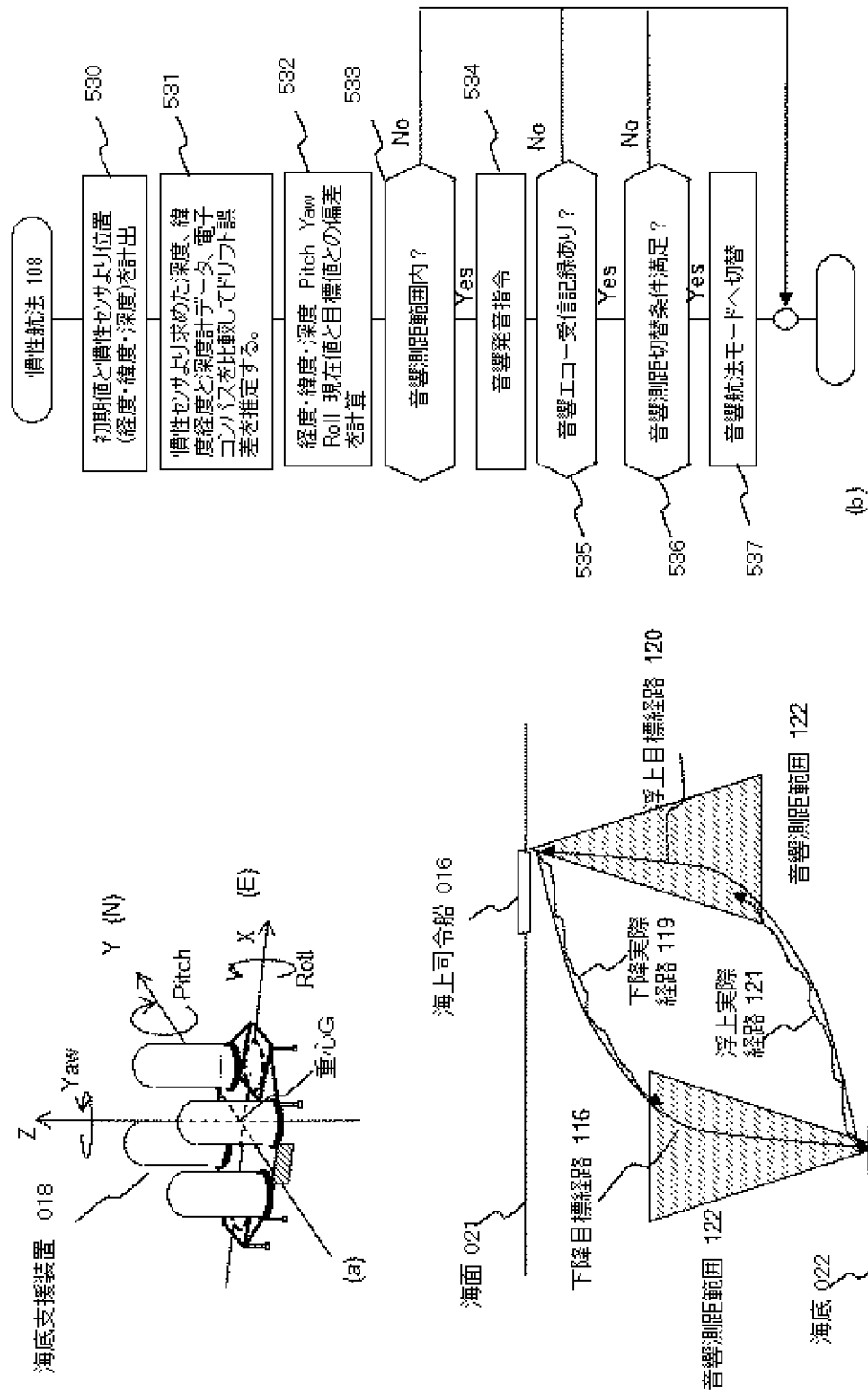
【図67】



[図68]



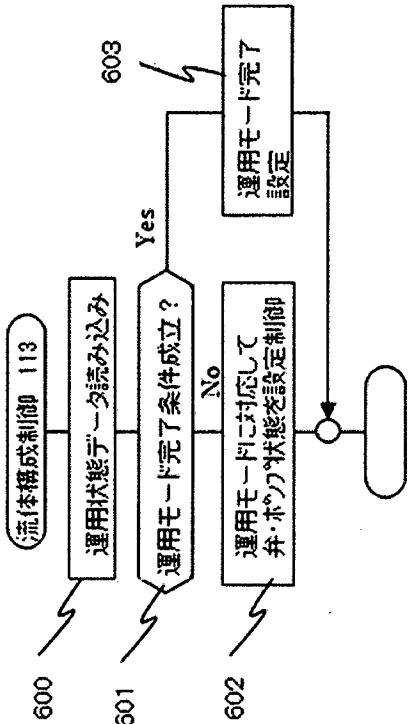
[図69]



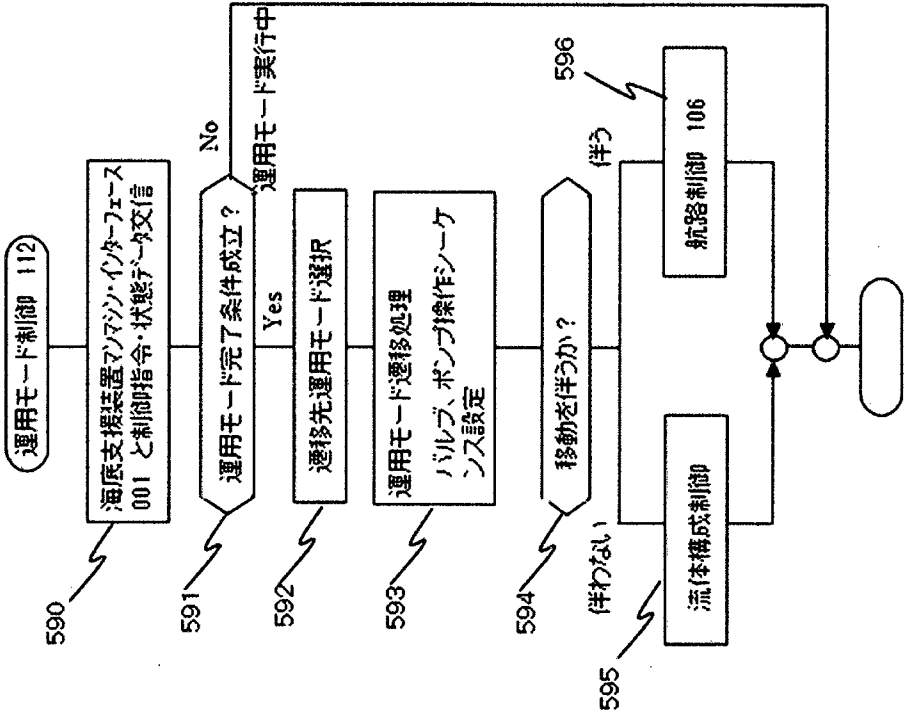
【図70】

No	運用モード	制御	完了条件
1	浮上	航路制御	海面到達
2	浮上終了MCH Unload	流体構成制御	MCH移送完了
3	降下準備(トルエン充填)	流体構成制御	トルエン充填完了
4	降下準備(純水充填)	流体構成制御	純水充填完了
5	降下	航路制御	海底到達
6	海底移動	航路制御	移動先へ着床
7	降下後処理(浮力削減)	流体構成制御	浮力減少完了
8	浮上準備(浮力増加)	流体構成制御	比重1.0達成

(b) 運用モード一覧

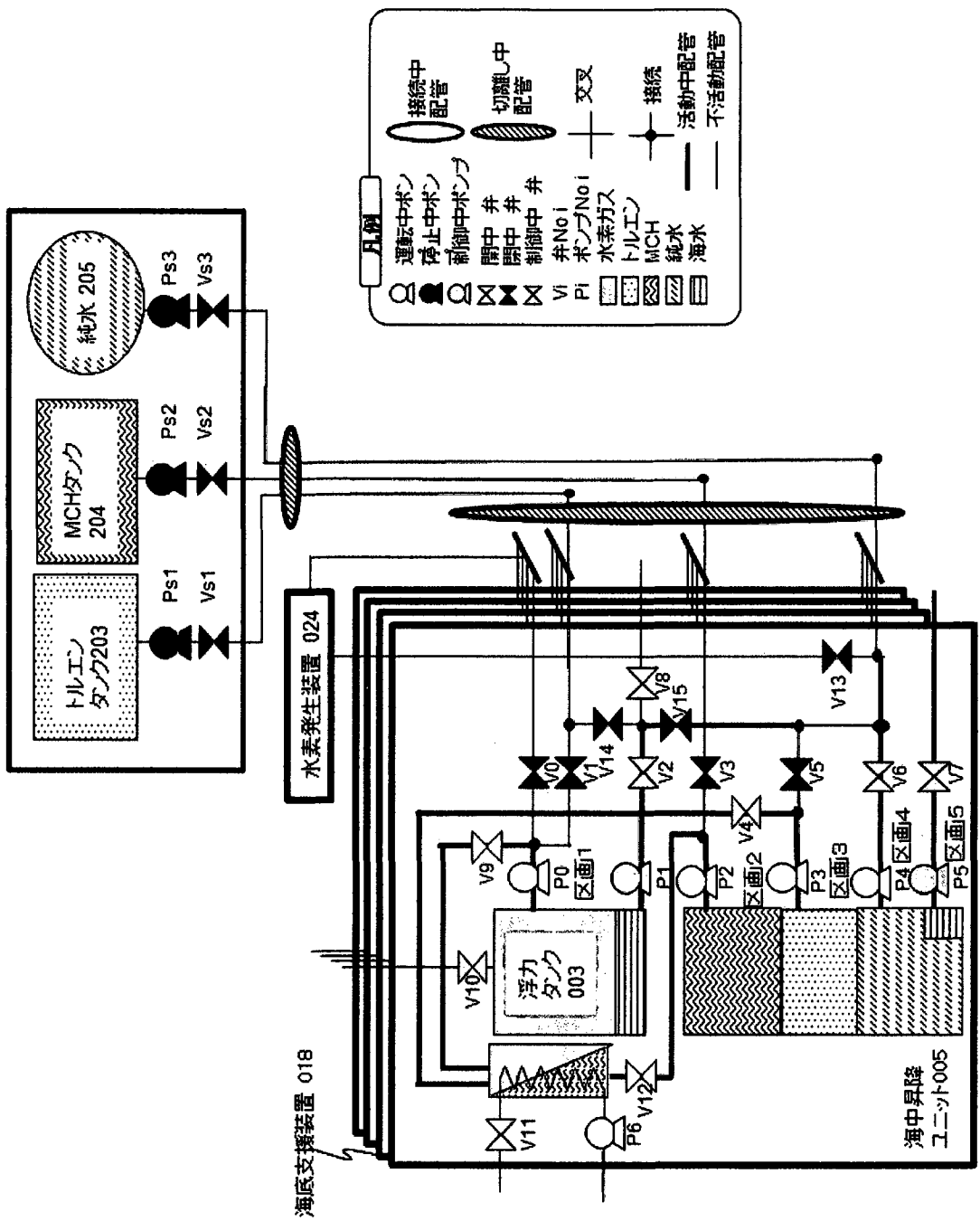


(c) 処理フロー - 2

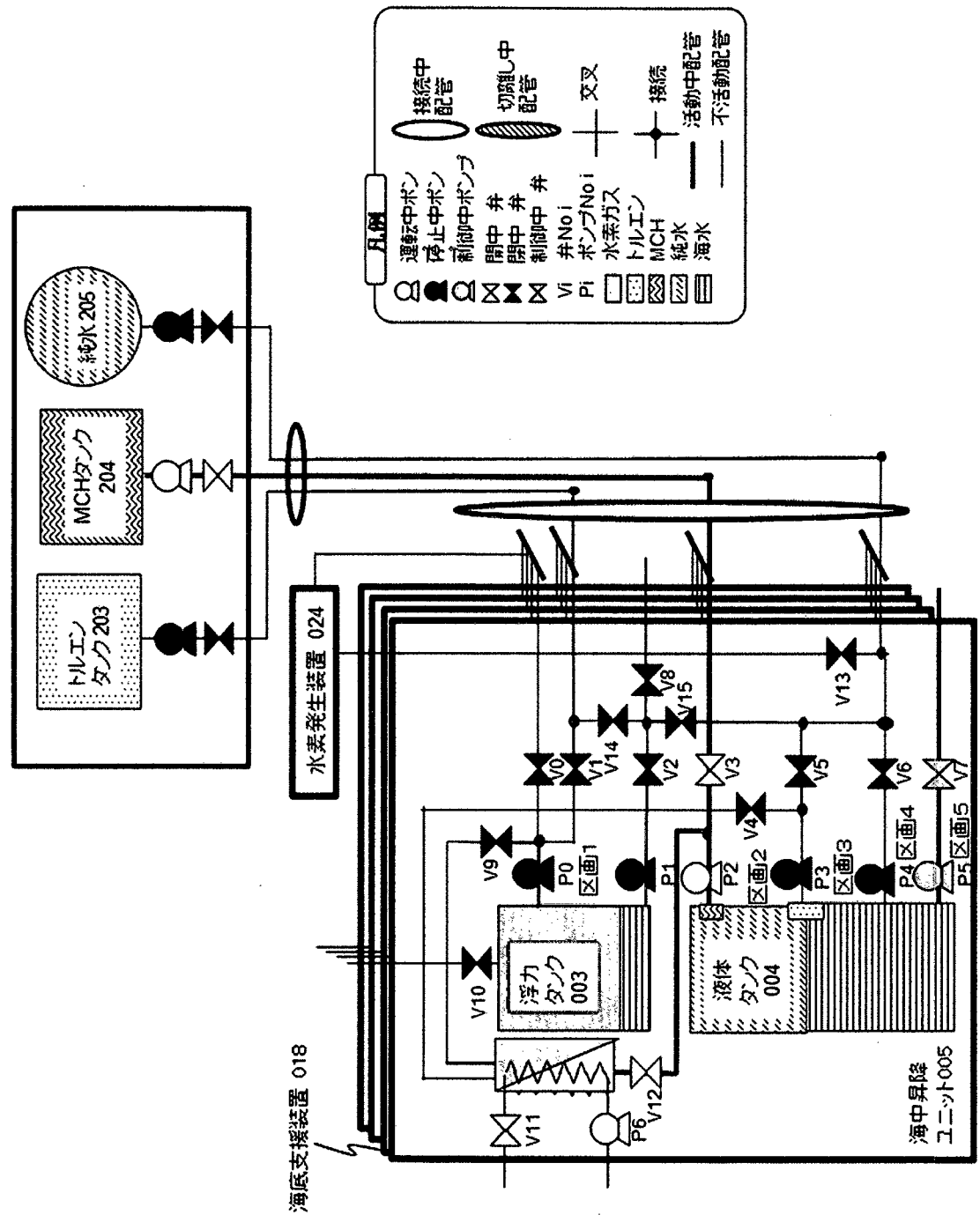


(a) 処理フロー - 1

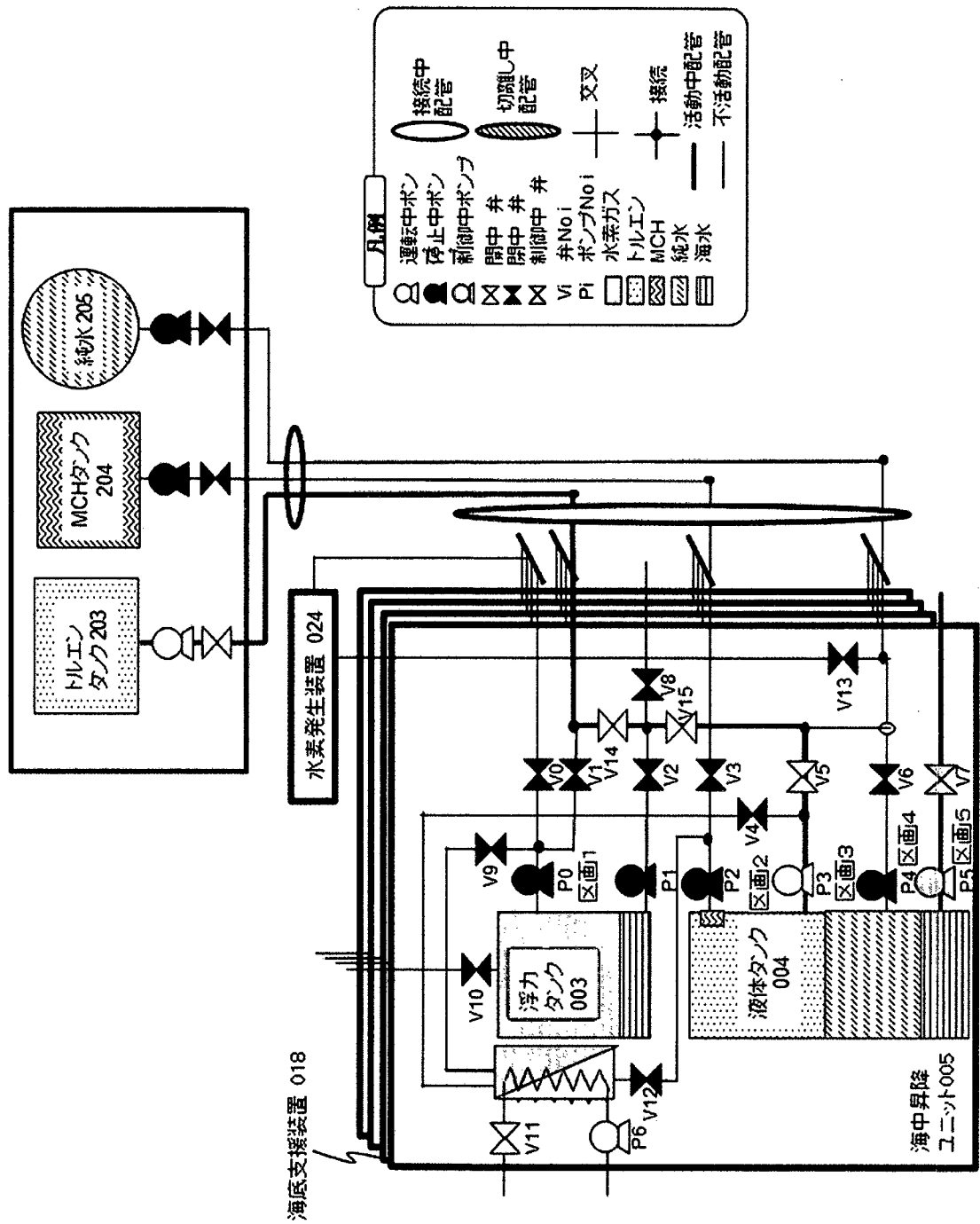
【図71】



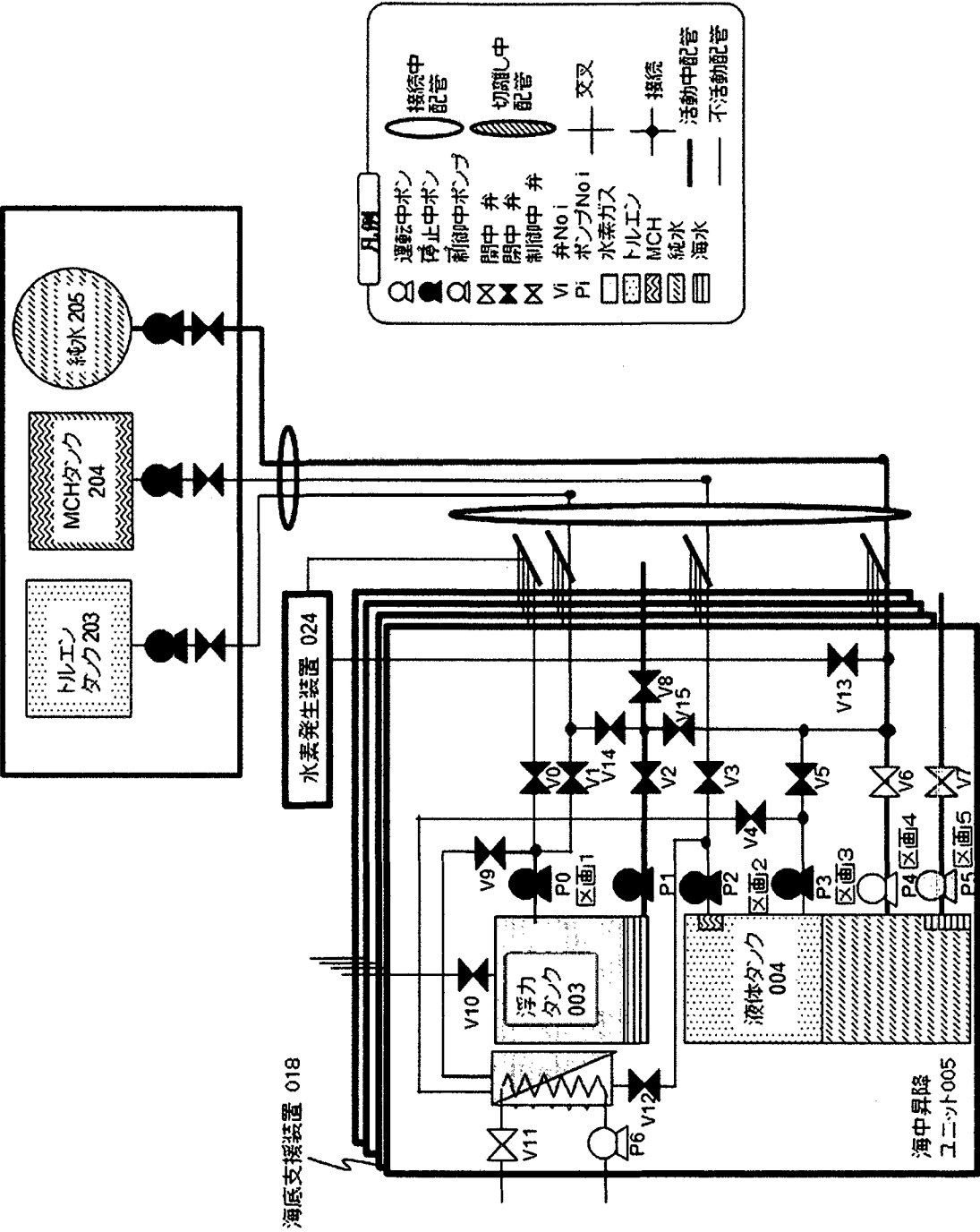
【図72】



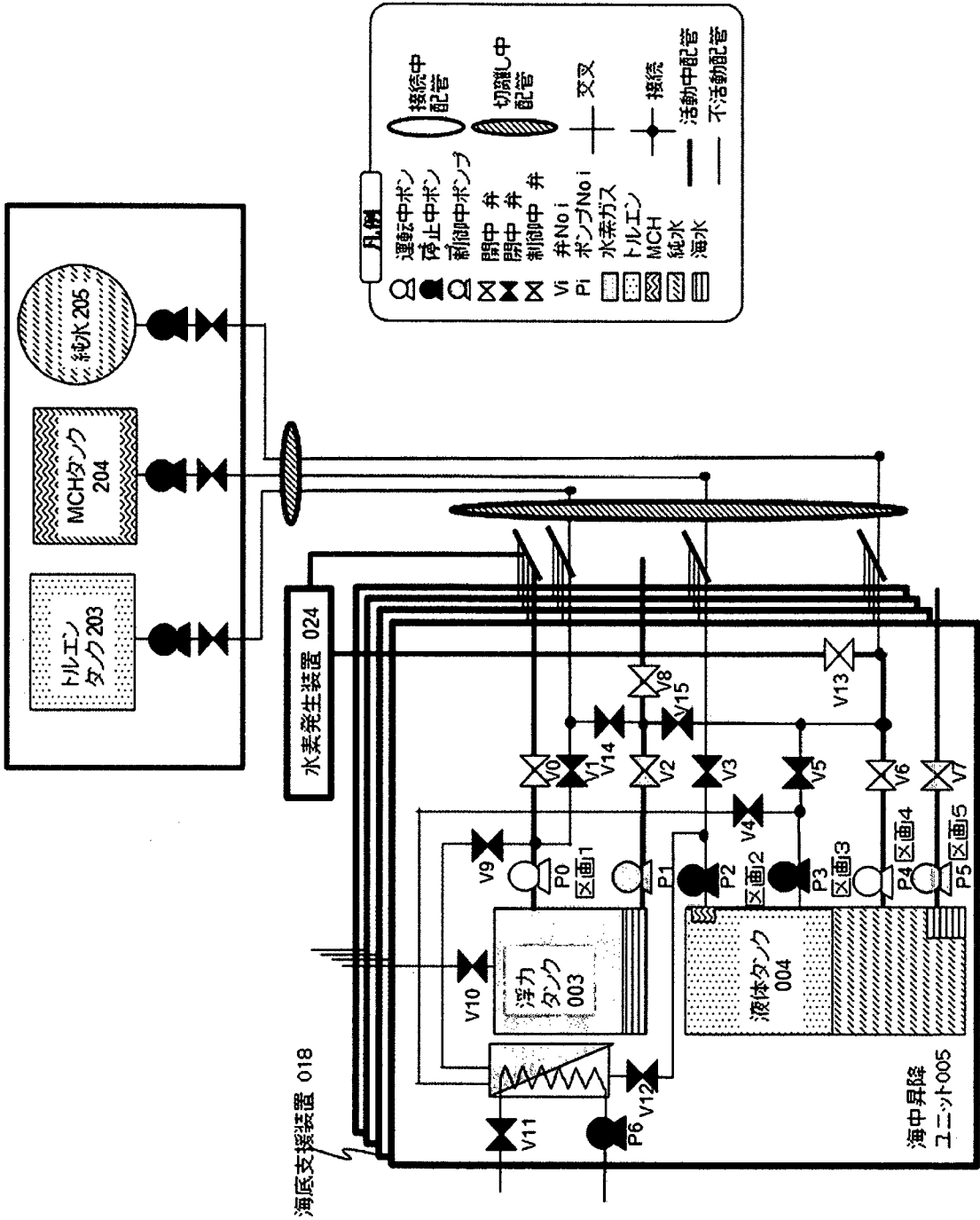
【図73】



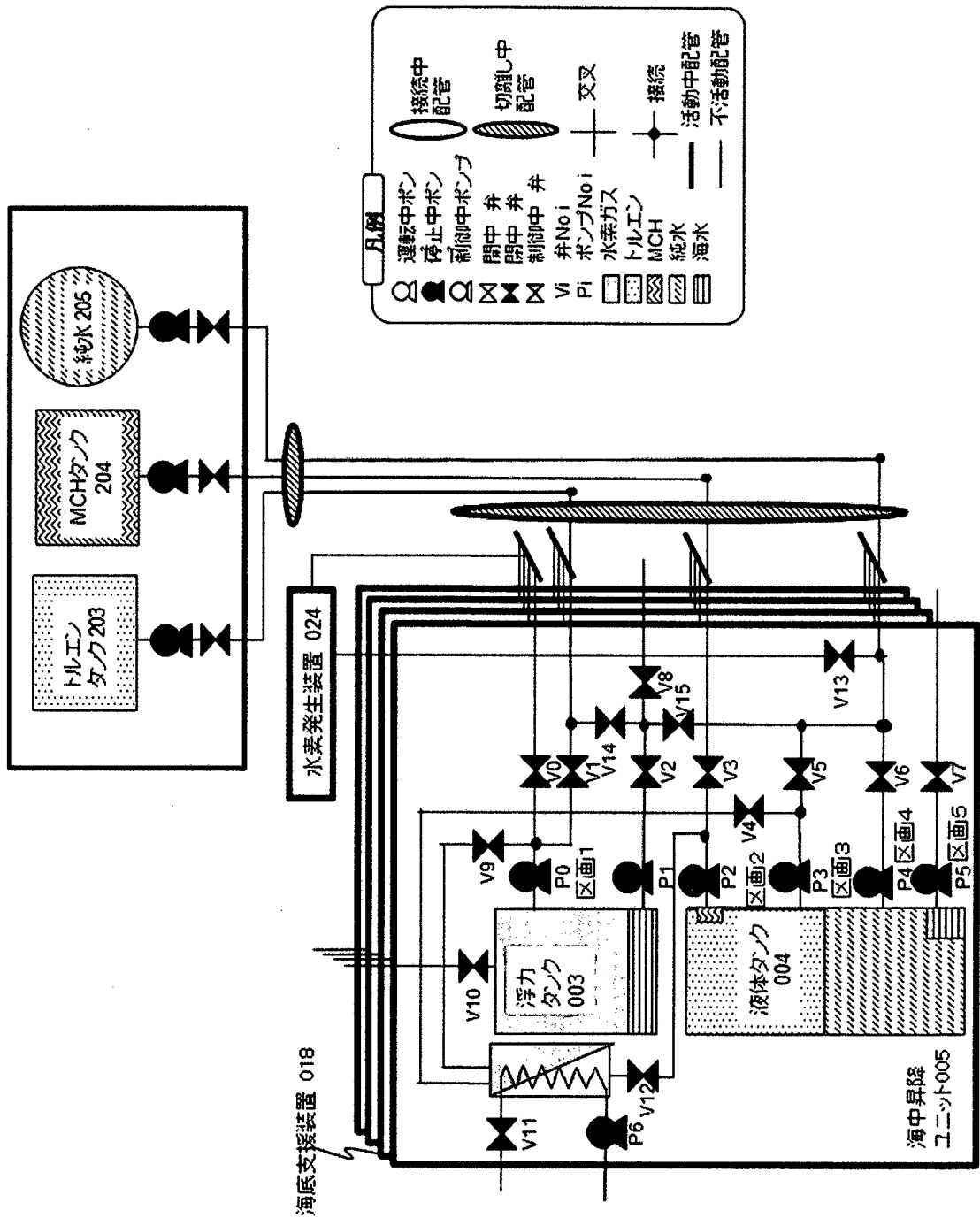
【図74】



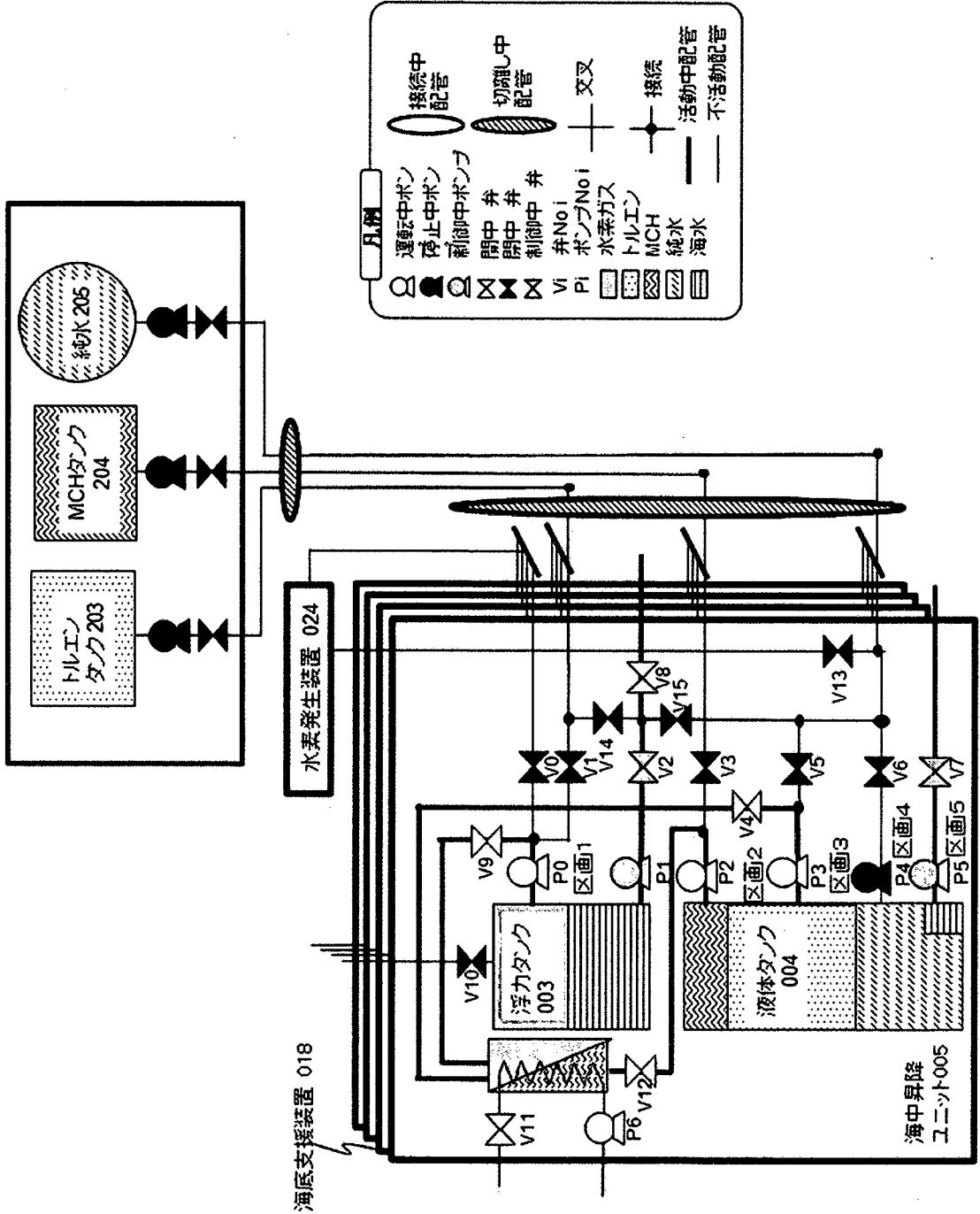
【図75】



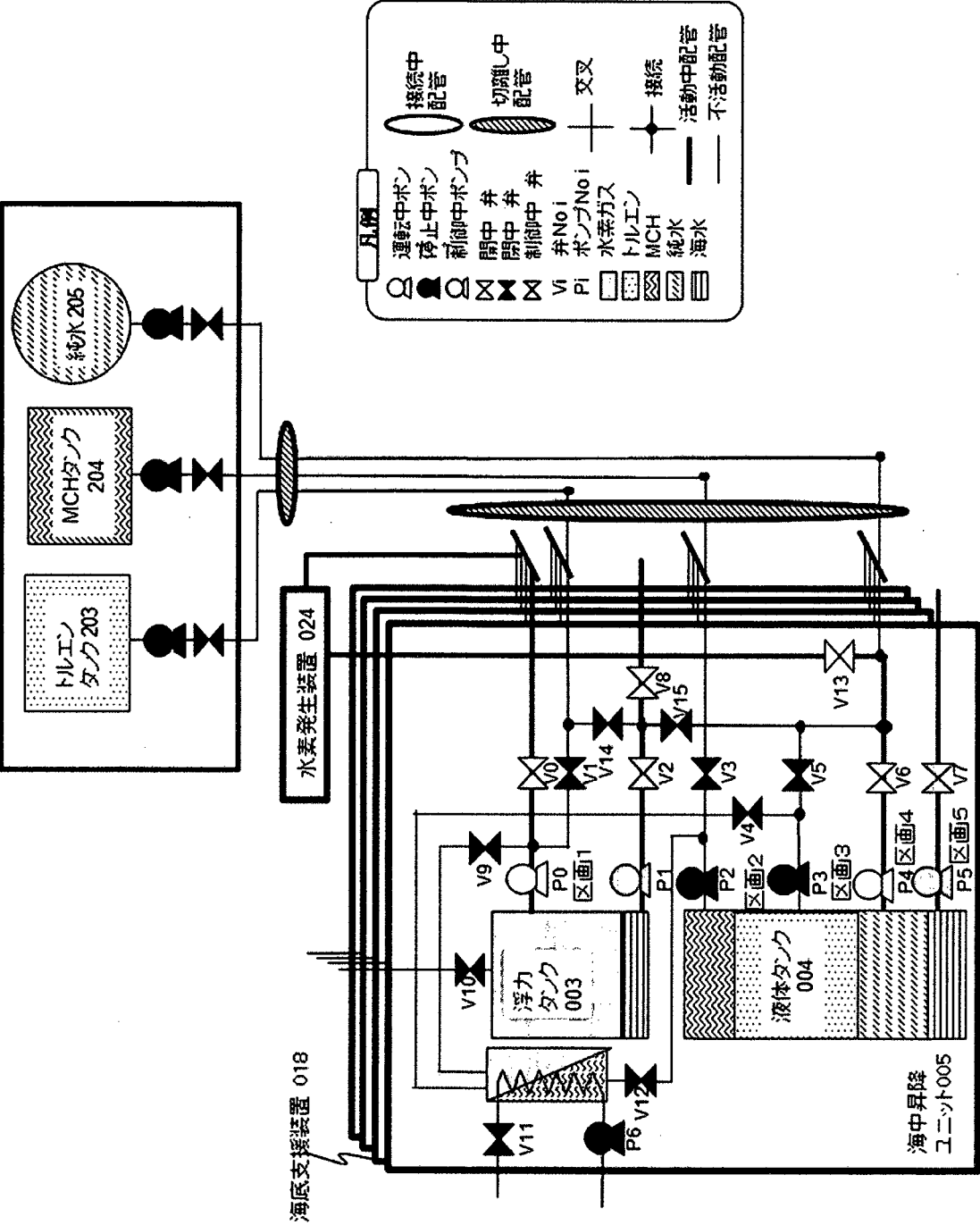
【図76】



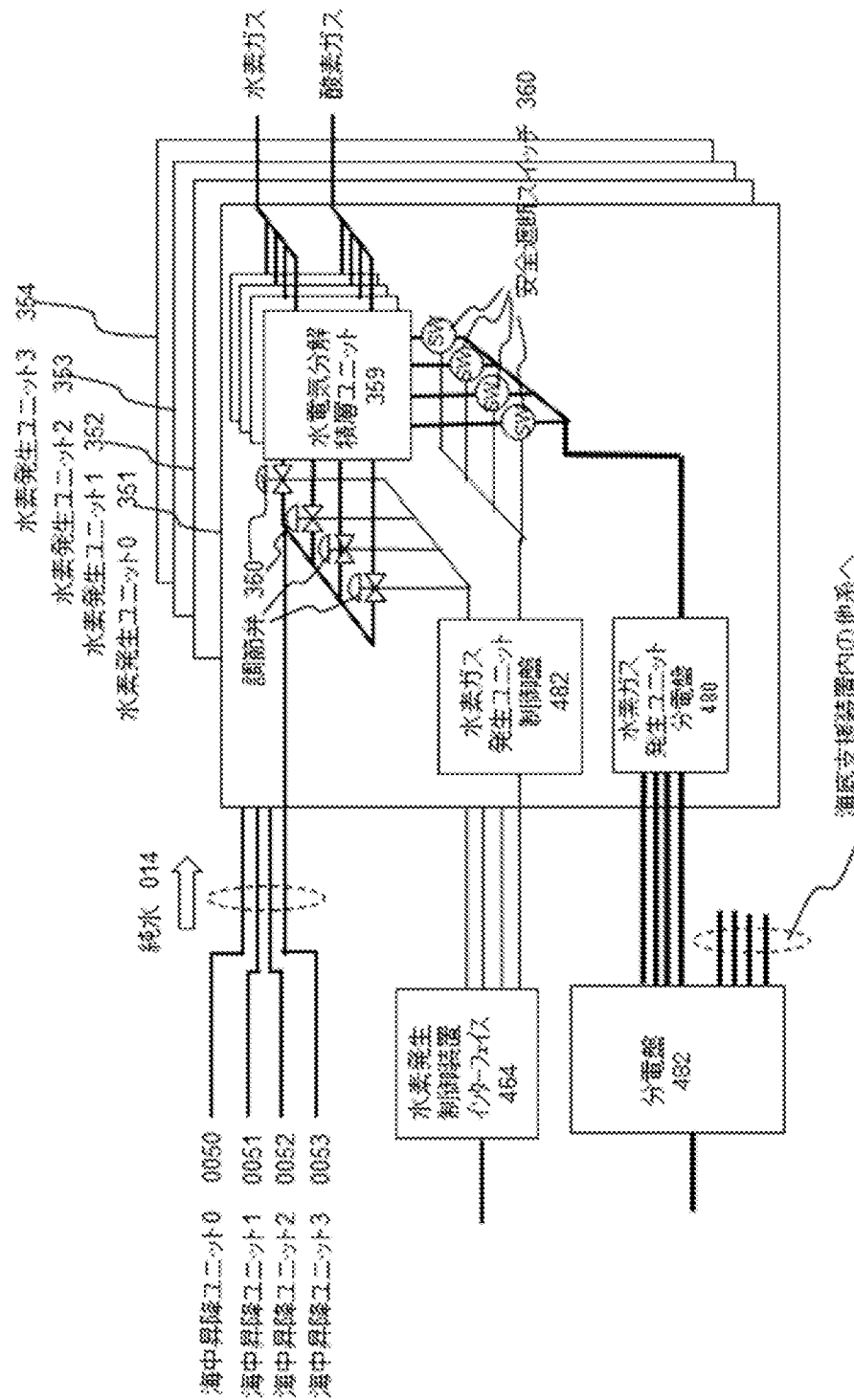
【図77】



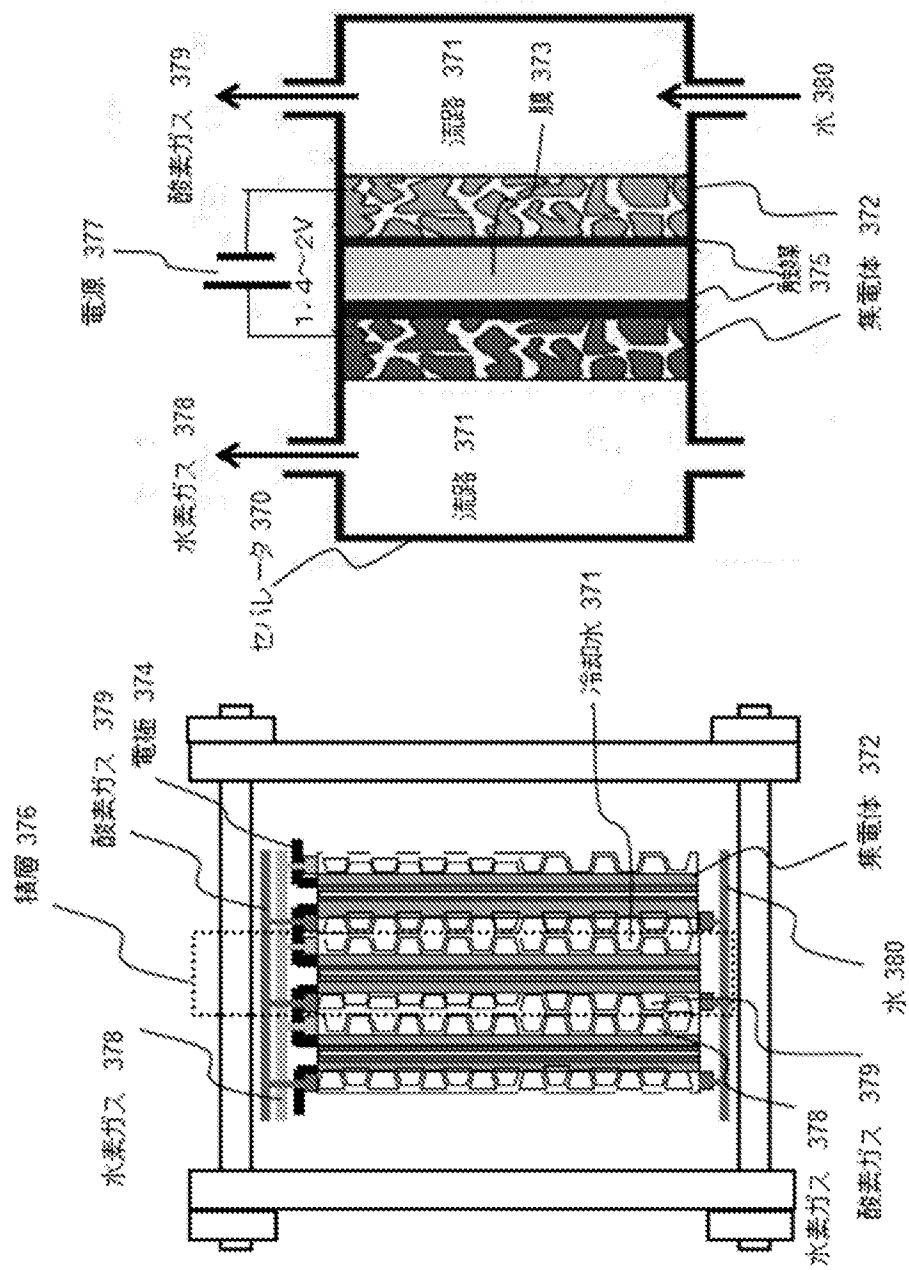
【図78】



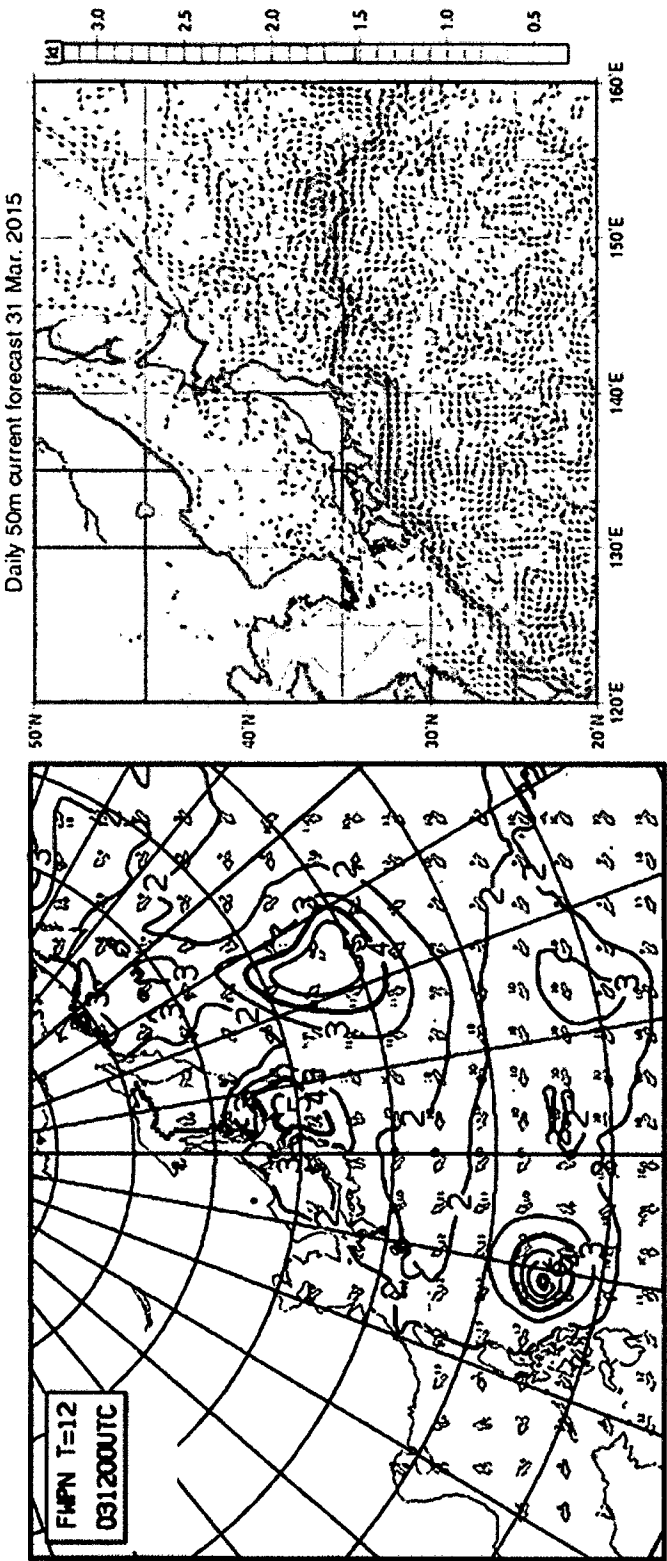
[図79]



[図80]

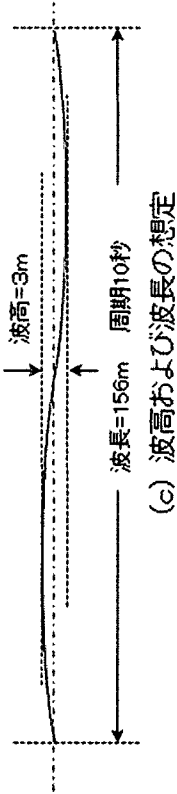


【図81】



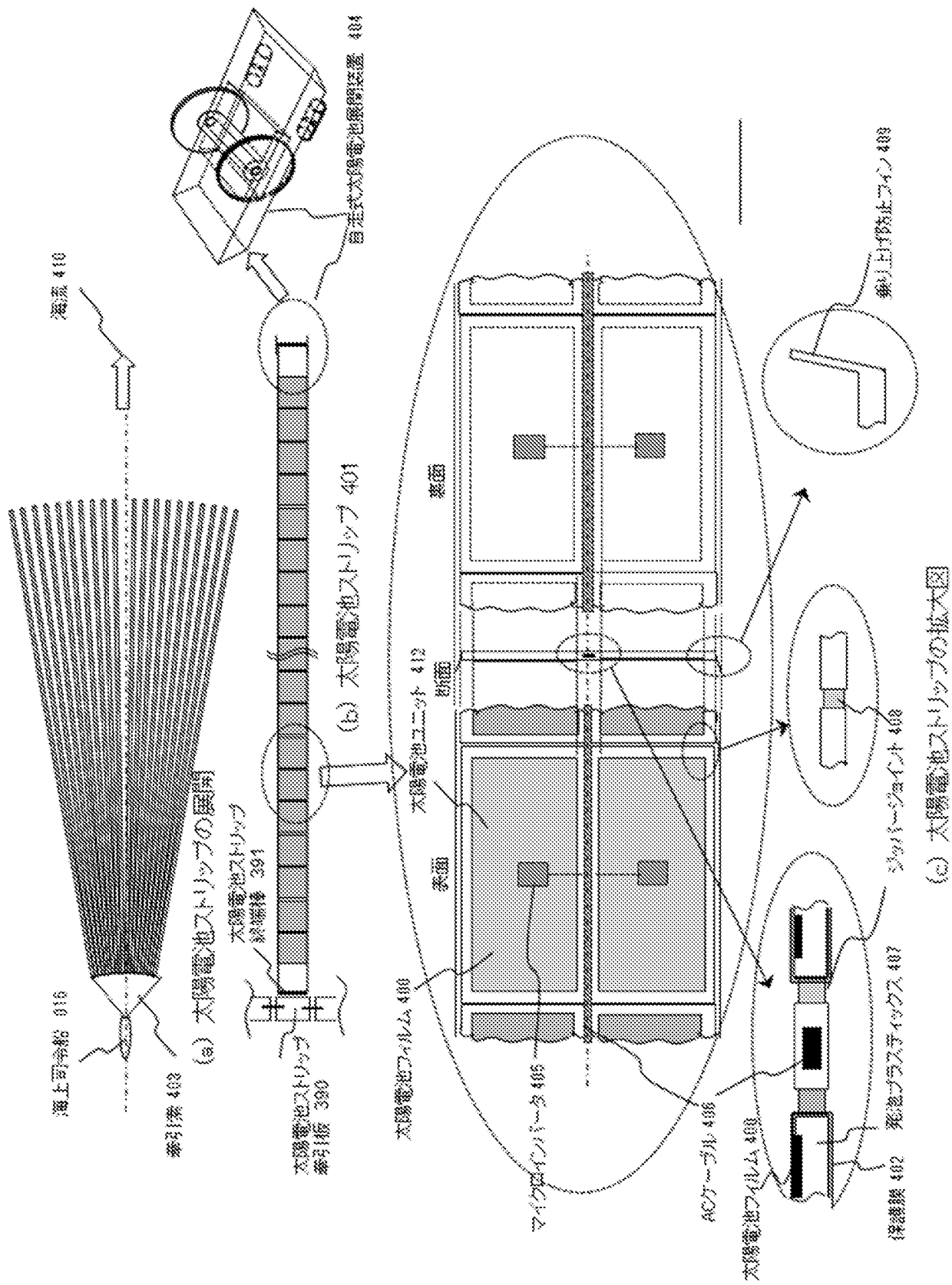
(b) 海流分布 (海上保安庁)

(a) 波高および波長 (気象庁予報)

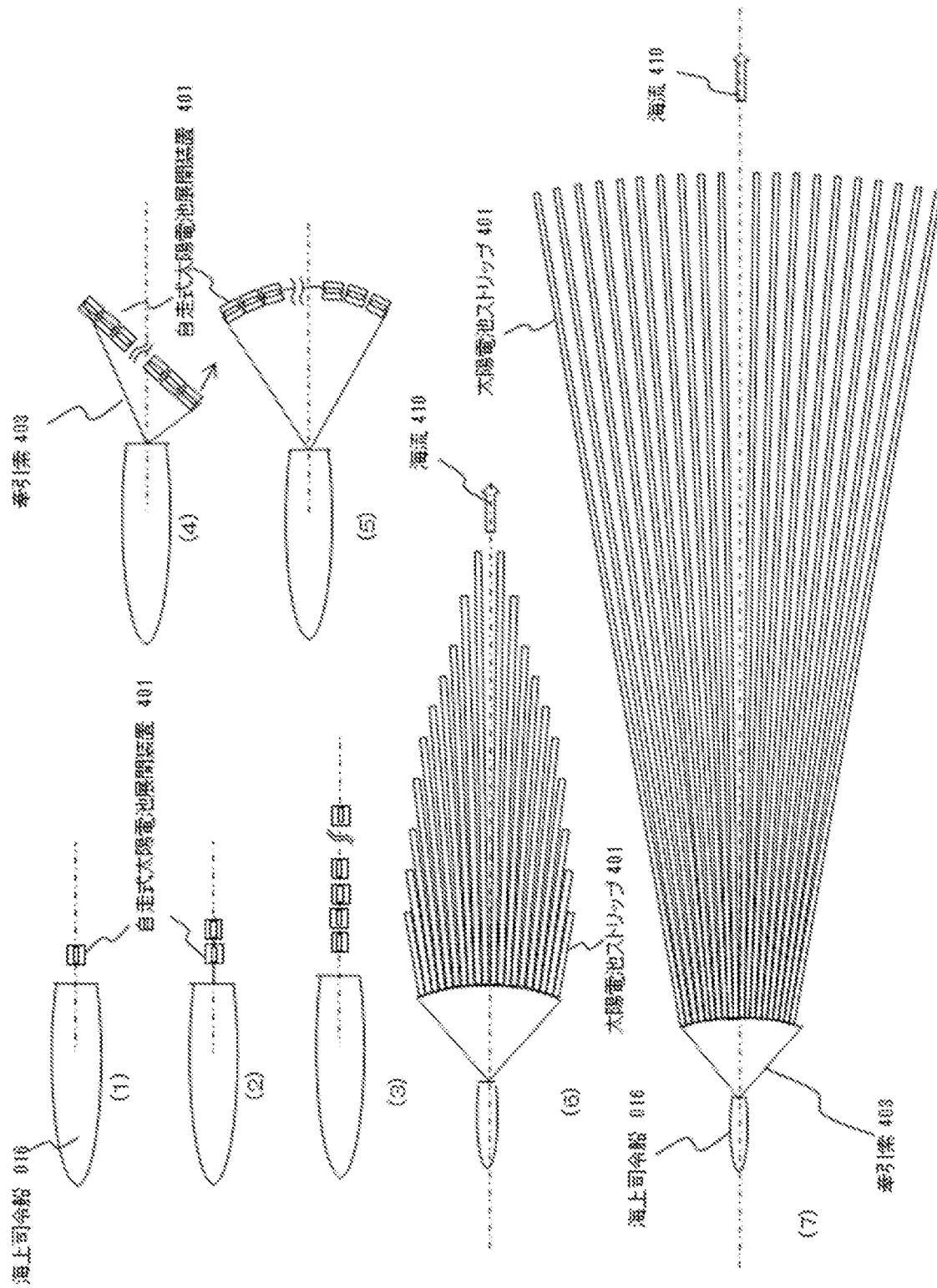


(c) 波高および波長の想定

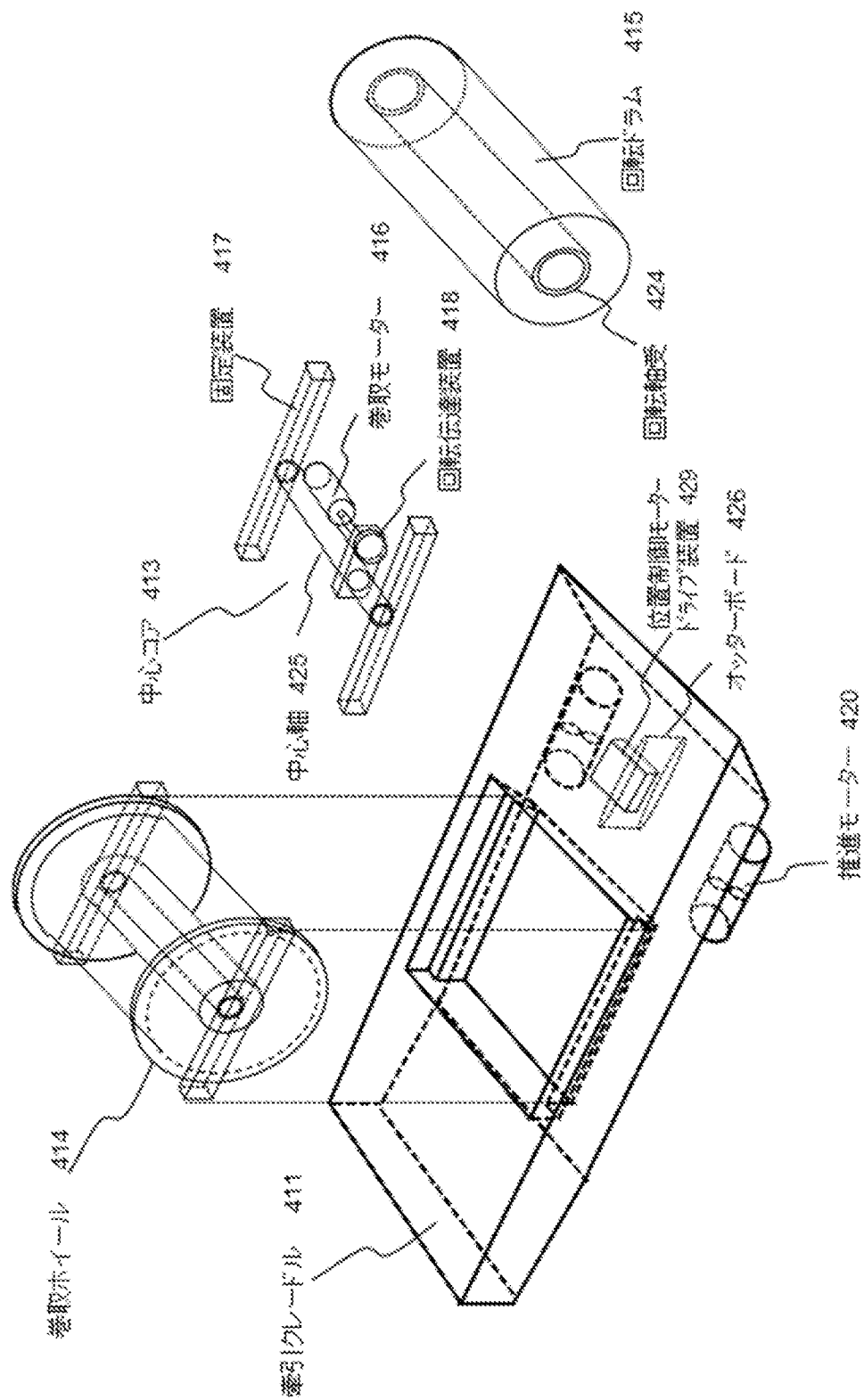
[図82]



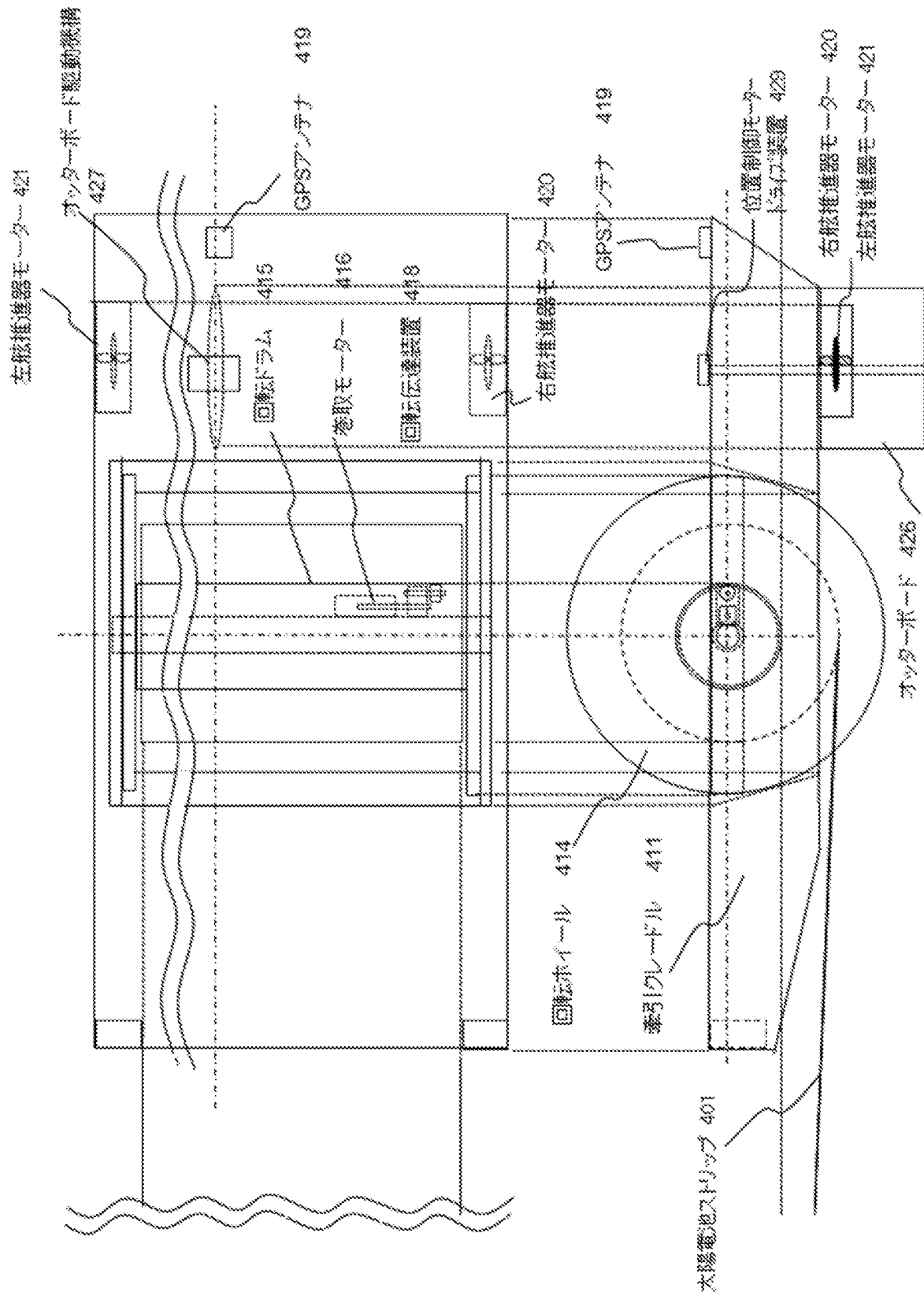
[図83]



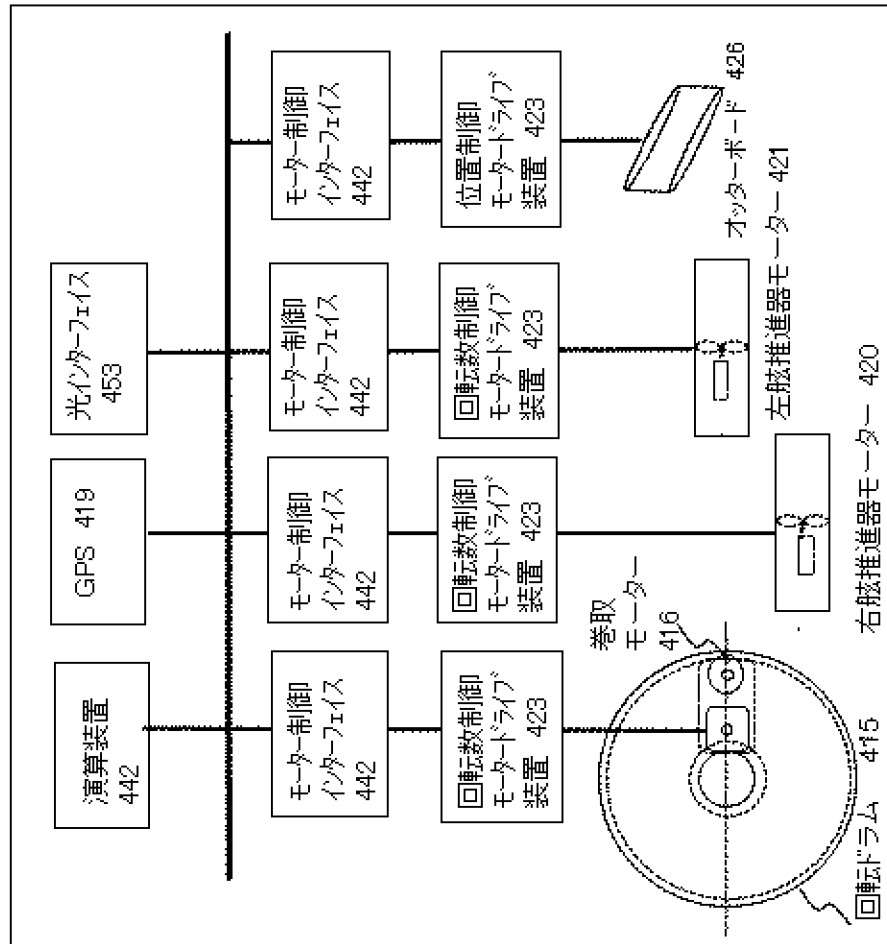
[図84]



[図85]

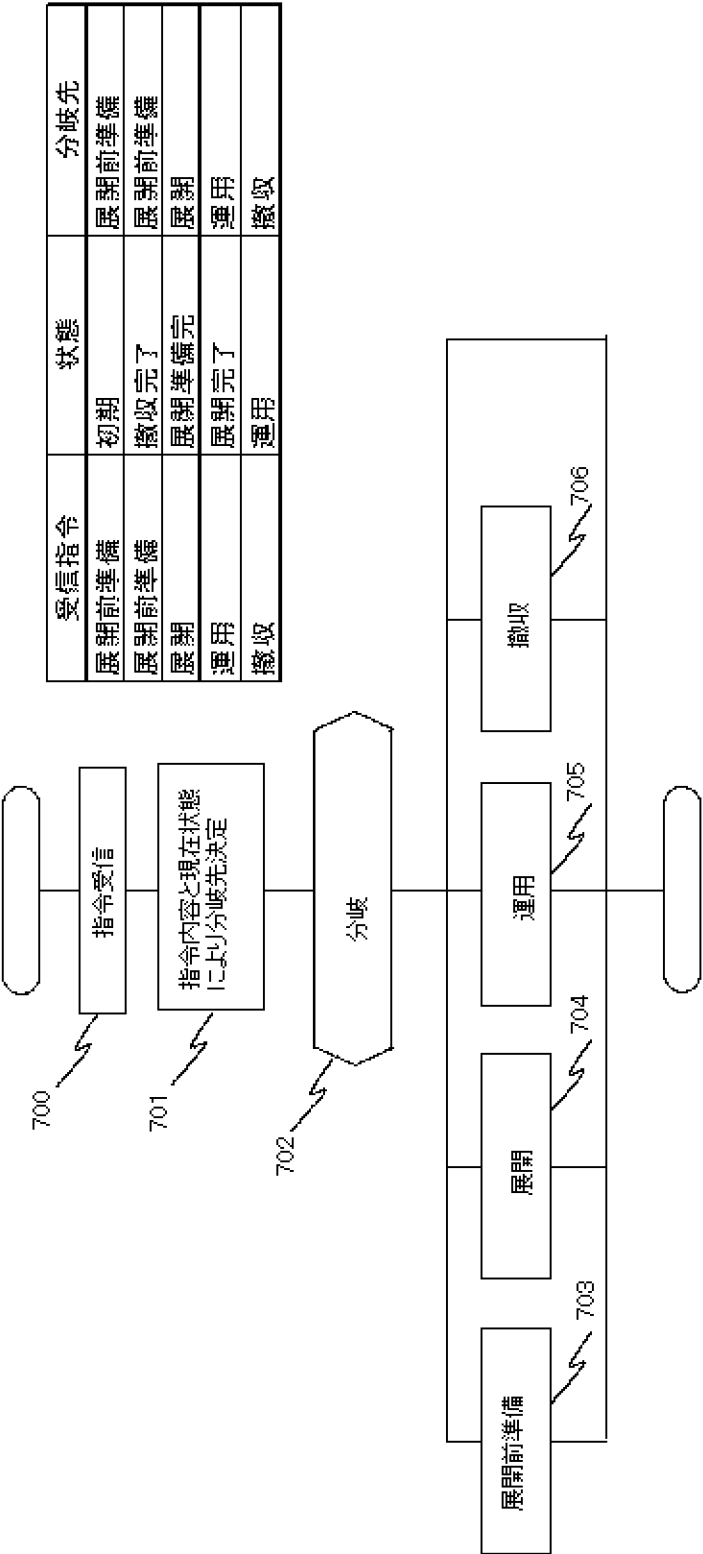


[図87]

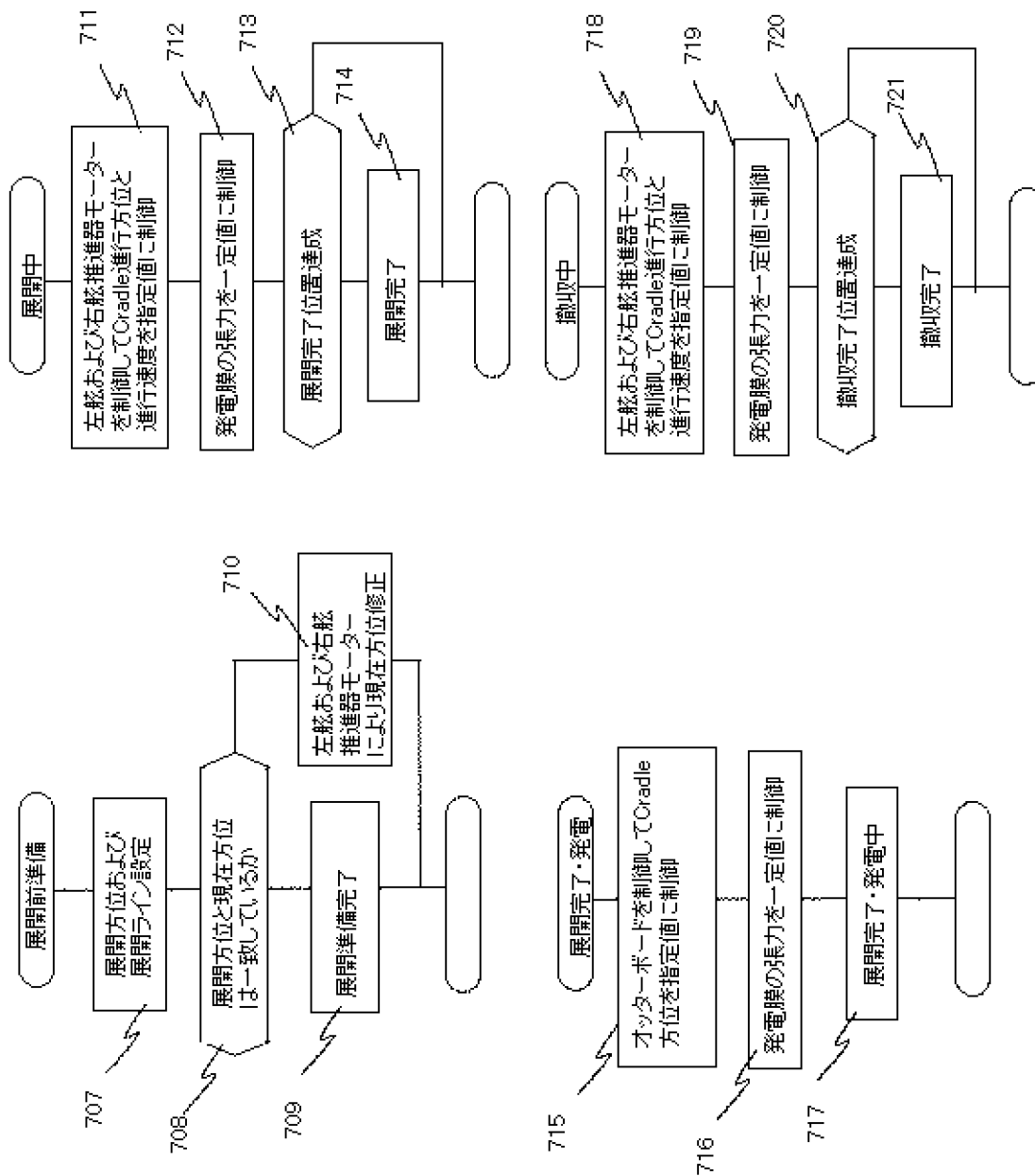


(a) システム構成

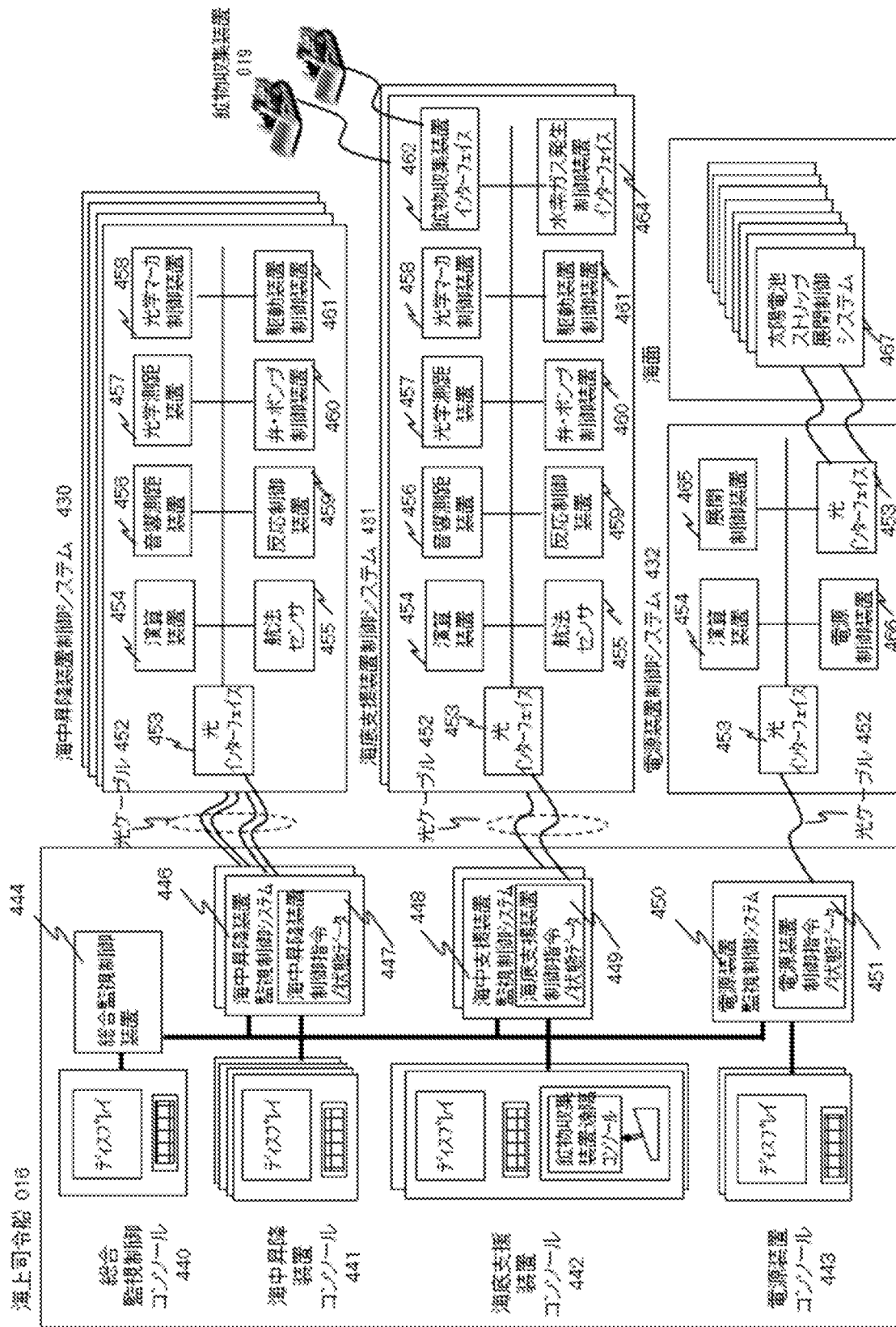
[図88]



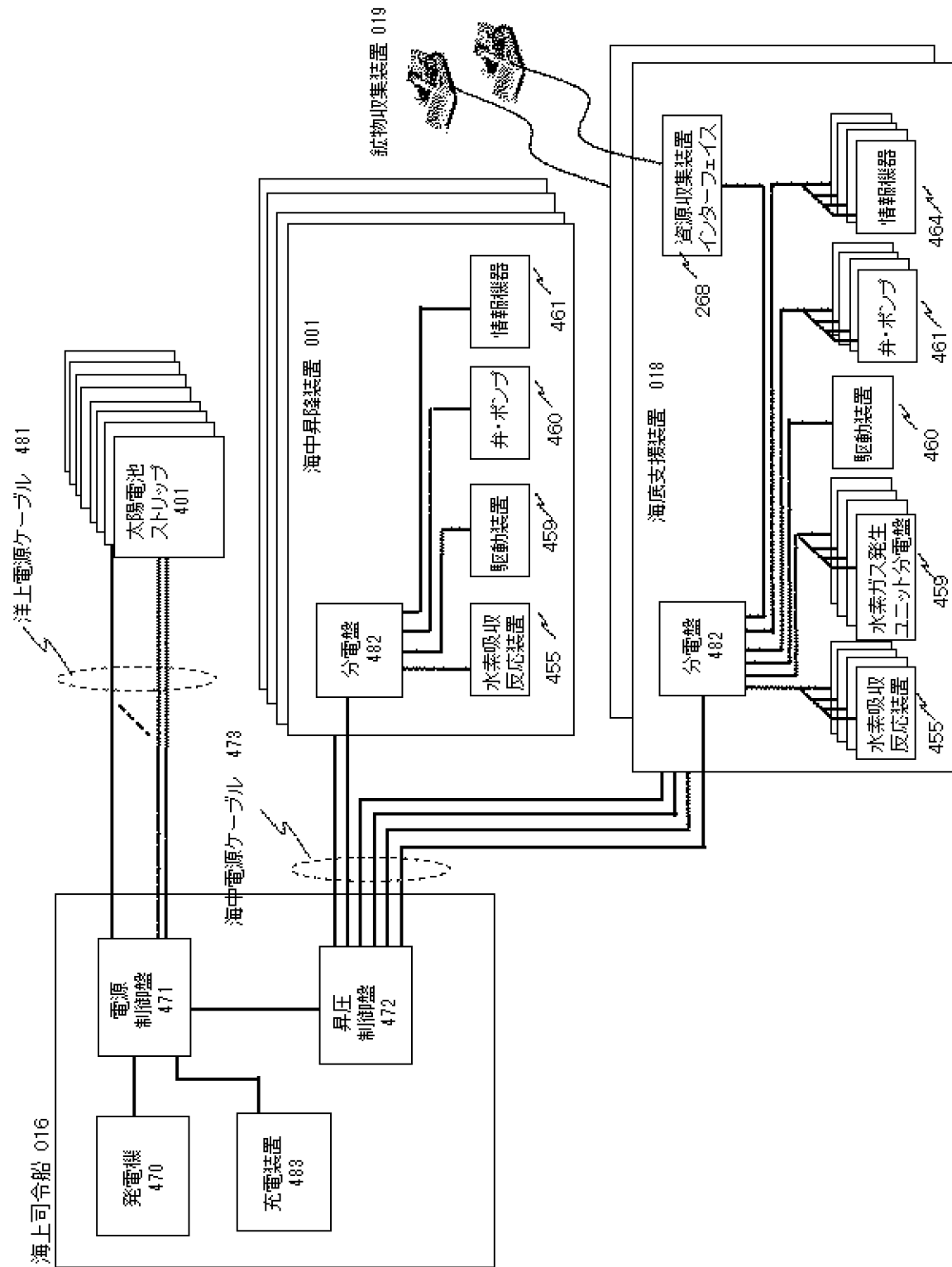
[図89]



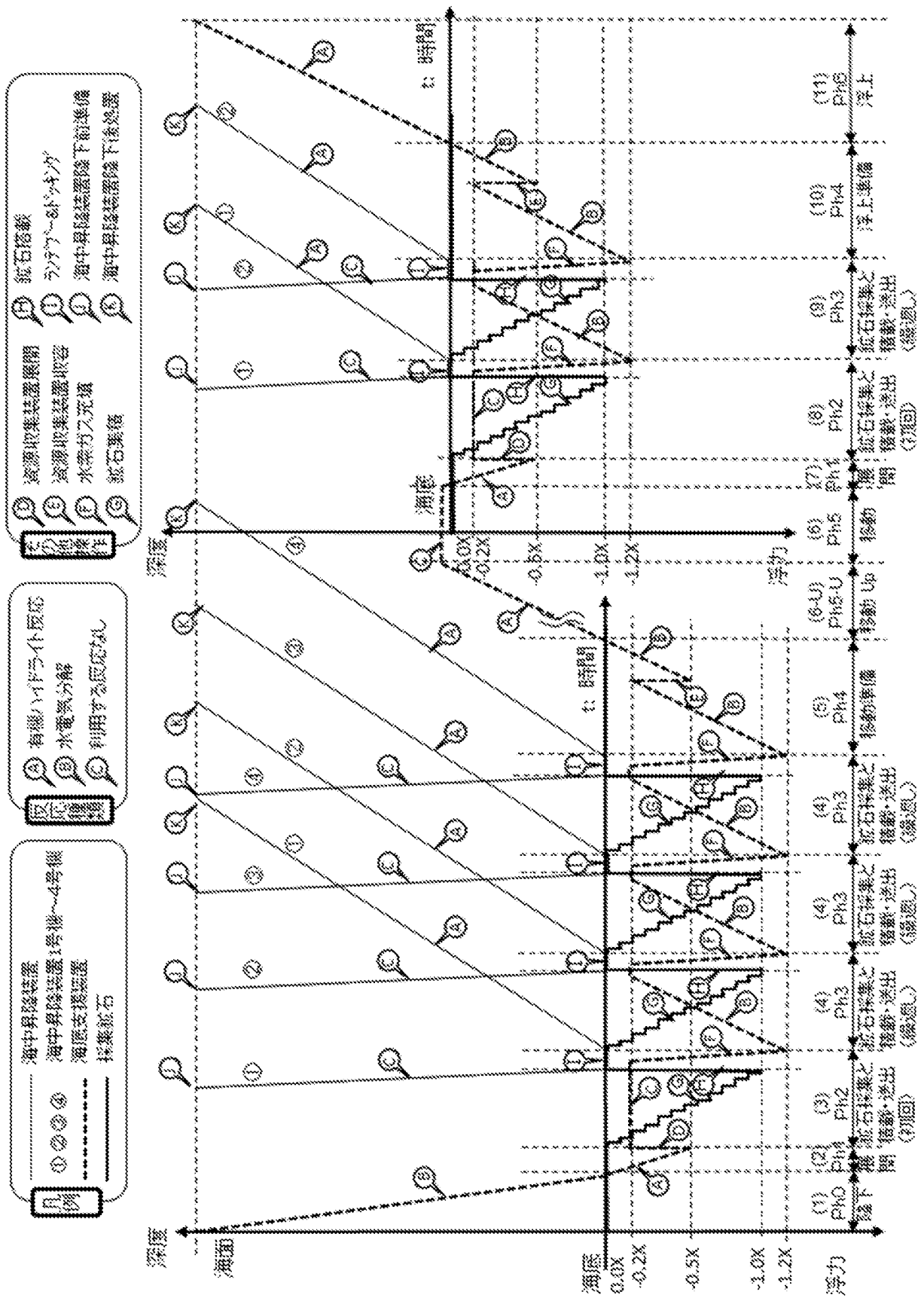
[図90]



[図91]

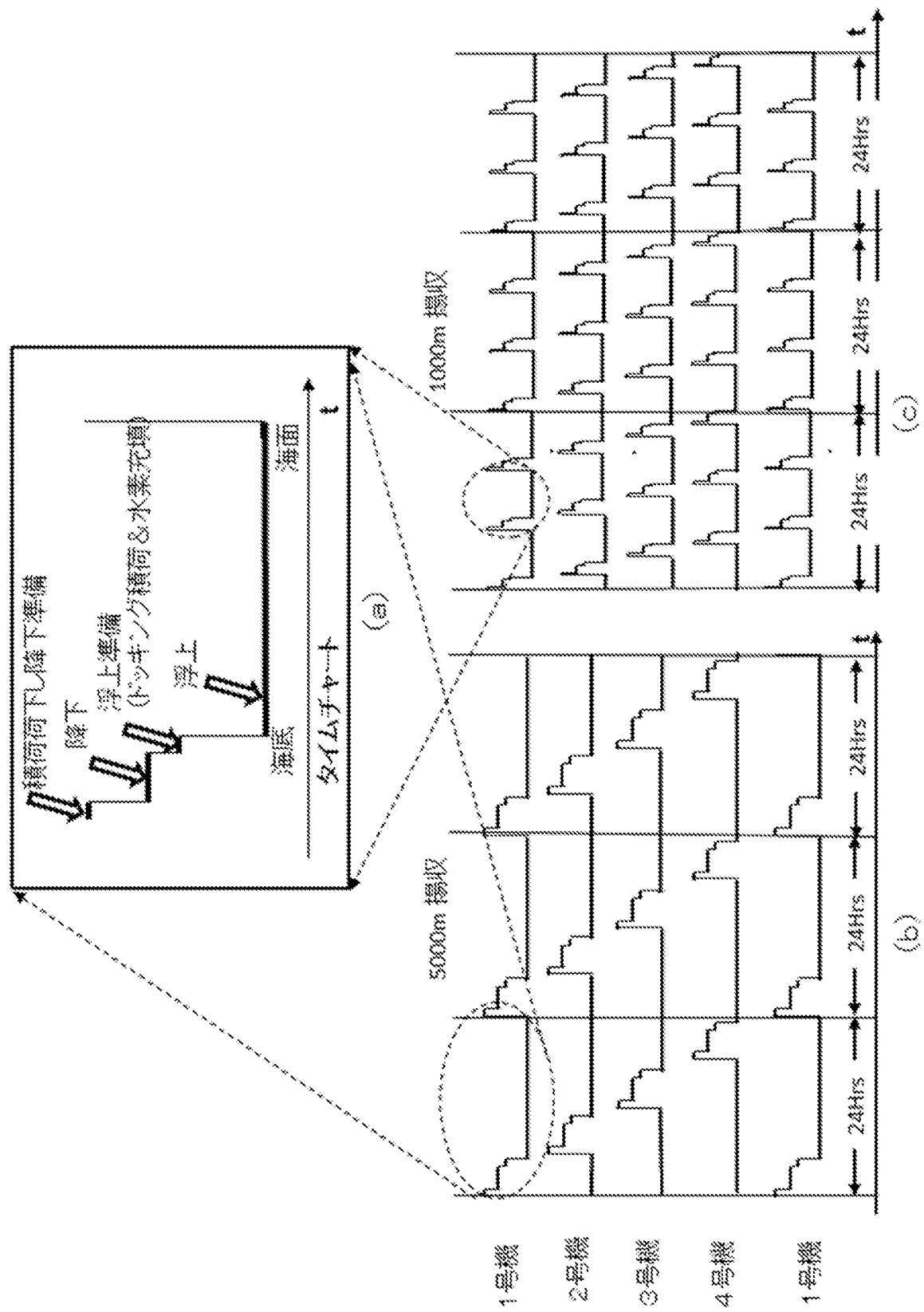


[図93]



[illegible]

[図95]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/083616

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21C50/00(2006.01)i, B63B35/00(2006.01)i, B63B35/44(2006.01)i, B63B49/00(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)

E21C50/00, B63B35/00, B63B35/44, B63B49/00

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 5713143 B1 (Kabushiki Kaisha Senryo), 20 March 2015 (20.03.2015), & JP 2016-117985 A	1-41
A	JP 2015-74925 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 20 April 2015 (20.04.2015), (Family: none)	1-41
A	WO 2014/157118 A1 (Miho SAKAMOTO), 02 October 2014 (02.10.2014), (Family: none)	1-41

☐ 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
04 January 2017 (04.01.17)

Date of mailing of the international search report
17 January 2017 (17.01.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. E21C50/00(2006.01)i, B63B35/00(2006.01)i, B63B35/44(2006.01)i, B63B49/00(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. E21C50/00, B63B35/00, B63B35/44, B63B49/00

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 5713143 B1 (株式会社センリョウ) 2015.03.20 & JP 2016-117985 A	1-41
A	JP 2015-74925 A (住友電気工業株式会社) 2015.04.20 (ファミリーなし)	1-41

☒ 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

04.01.2017

国際調査報告の発送日

17.01.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

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)

西田 光宏

2 B

3 6 0 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3237

C (続き) . 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	WO 2014/157118 A1 (坂本 美穂) 2014.10.02 (ファミリーなし)	1-41