

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6630876号  
(P6630876)

(45) 発行日 令和2年1月15日 (2020.1.15)

(24) 登録日 令和1年12月20日 (2019.12.20)

(51) Int.Cl.

F I

E 2 1 C 50/00 (2006.01)  
 B 6 3 B 35/00 (2020.01)  
 B 6 3 B 49/00 (2006.01)  
 B 6 3 B 35/44 (2006.01)

E 2 1 C 50/00  
 B 6 3 B 35/00 N  
 B 6 3 B 49/00 Z  
 B 6 3 B 49/00 B  
 B 6 3 B 35/00 T

請求項の数 41 (全 108 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-222542 (P2015-222542)  
 (22) 出願日 平成27年11月13日 (2015.11.13)  
 (65) 公開番号 特開2017-66850 (P2017-66850A)  
 (43) 公開日 平成29年4月6日 (2017.4.6)  
 審査請求日 平成30年11月12日 (2018.11.12)  
 (31) 優先権主張番号 特願2015-45368 (P2015-45368)  
 (32) 優先日 平成27年3月7日 (2015.3.7)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2015-197245 (P2015-197245)  
 (32) 優先日 平成27年10月2日 (2015.10.2)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 日本国 (JP)

(73) 特許権者 708002816  
 小平アソシエイツ株式会社  
 東京都武蔵野市境南町三丁目14番23号  
 (72) 発明者 小平 高敏  
 〒180-0023  
 東京都武蔵野市境南町3丁目14番23号  
 (72) 発明者 小平 高資  
 〒180-0023  
 東京都武蔵野市境南町3丁目14番23号  
 審査官 西田 光宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 海底資源揚収装置

(57) 【特許請求の範囲】

【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鉱物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ステーションと、海中を昇降する深海クレーンと、海上母船と各装置を制御する制御装置を含み、  
 前記海底ステーションに含まれる海底ブルドーザにより海底に存在する鉱物資源を収集して前記海底ステーションに集積した後、  
 前記深海クレーンに積載し、前記海底ステーションの前記水素ガス発生装置より供給される前記深海クレーン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、  
 前記海上母船に前記深海クレーンより積載している鉱物資源を移送することを特徴とする海底資源揚収装置であって、  
 前記深海クレーン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深海クレーンの全体の比重が周囲海水と同等かつ、前記深海クレーンの内部圧力が周囲海水と同等となるように制御し、  
 前記深海クレーン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、前記深海クレーンの内部の構成部分がすべて固体と液体であって、前記深海クレーンの内部圧力が周囲海水と同等にでき、前記深海クレーンの全体の比重が周囲海水と同等とすることができ

10

20

ることを特徴とする海底資源揚収装置。

【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母船より前記海底ステーションに送電し、前記海底ステーション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揚収装置。

【請求項 3】

請求項 1 において前記深海クレーンは、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 M C H (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深海クレーン。

10

【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、前記深海クレーンを、海中昇降を行う上部および中央部分(以下、「クレーンエンジン」と呼称する)と海底資源を積載収納する下部部分(以下、「貨物ユニット」と呼称する)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貨物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、前記貨物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深海クレーンに対して、

海底の前記海底ステーションに複数の前記貨物ユニットを受容する部分(以下、「貨物ユニットポート」と呼称する)を設け、前記貨物ユニットが存在しない貨物ユニットポート(以下、「空ポート」と呼称する)と、海底資源を集積し、前記貨物ユニットが存在する貨物ユニットポート(以下、「集荷ポート」と呼称する)と対を構成し、前記深海クレーンが空荷の前記貨物ユニットとともに降下し、前記空ポートに前記空荷の貨物ユニットを分離接続し、

20

分離後、前記深海クレーンのクレーンエンジンが前記海底ステーション上を離床移動して前記集荷ポートの前記貨物ユニットと接続し、水素ガスを前記深海クレーンの浮力タンクに充填して、前記深海クレーン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揚収装置。

【請求項 5】

請求項 4 において前記貨物ユニットを前記クレーンエンジンと接続した状態で、前記貨物ユニットポートにドッキングすると、前記貨物ユニットと前記クレーンエンジンの接続が外れ、前記貨物ユニットポートと前記貨物ユニットが接続し、前記貨物ユニットポートと前記貨物ユニットが接続している状態で、前記貨物ユニットに前記クレーンエンジンがドッキングすると、前記貨物ユニットポートと前記貨物ユニットの接続が外れ、前記貨物ユニットと前記クレーンエンジン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揚収装置。

30

【請求項 6】

請求項 1 から 3 の前記海底資源揚収装置の前記深海クレーンは2個の半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深海クレーンに液体のみを充填して前記深海クレーン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揚収装置。

40

【請求項 7】

請求項 1 から 3 の前記海底資源採収装置の前記深海クレーンは、水素ガス、トルエン、M C H、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(以下、総称して「配管機構」と呼称する)、推進装置、および制御装置を含むクレーンエンジンと前記貨物ユニットを含み、

前記保持区画は前記外壁および前記仕切り壁で前記クレーンエンジン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深海クレーン全体の比

50



重が所与の値となるよう浮力制御が可能なことを特徴とする海底資源揚収装置。

【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 M C H を生成し、前記液体タンクの M C H 区画に注入することを特徴とする深海クレーン。

【請求項 9】

請求項 7 の前記深海クレーンの外壁に、

前記深海クレーン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に平行な位置に、

および前記長軸と直交する面上の外壁表面円周方向を向く位置に、

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、前記深海クレーンの位置制御、速度制御および姿勢制御を行わせることを特徴とする深海クレーン。

【請求項 10】

請求項 1 から 3 の前記海底資源揚収装置の前記深海クレーン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、および海中への放出を含む方法による水素ガスのモル数減少に対応して前記深海クレーンを海中で上昇せしめ、前記深海クレーンの内部圧力が周囲海中水圧と同等で、前記深海クレーン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深海クレーン。

【請求項 11】

請求項 10 の前記深海クレーンの深度および深度変化率の制御は前記深海クレーン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深海クレーン。

【請求項 12】

請求項 10 における前記深海クレーン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深海クレーン。

【請求項 13】

請求項 10 における前記深海クレーン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クレーンエンジンの内部圧力と海水圧力の差が当該クレーンエンジン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深海クレーン。

【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深海クレーンの前記制御装置の制御機能は前記深海クレーン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位置速度制御機能と前記深海クレーン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深海クレーン。

【請求項 15】

請求項 14 において、前記深海クレーンの前記位置速度制御機能は、前記深海クレーンの海底着床点と前記海上母船との間の移動経路を誘導制御する機能で、前記深海クレーン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ステーション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、

前記深海クレーンが前記海底ステーション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母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目標方位を計測するのに十分な範囲では深度データと慣性航法データを用い、音響測定が目標方位を計測するのに十分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

10

20

30

40

50

は光学航法を行い、

前記深海クレーンが前記海上母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ステーション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目標方位を計測するのに十分でない範囲では深度データと慣性航法データを用い、音響測定が目標方位を計測するのに十分でない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深海クレーン。

【請求項 16】

請求項 15 における前記深海クレーンの音響航法は前記海底ステーションと前記海上母船に音響トランスポンダを設置し、前記深海クレーン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、

浮上時には前記深海クレーンと前記海上母船との距離が測定できるほか、前記深海クレーン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母船の存在方向を探知することができ、

下降時には前記深海クレーンと前記海底ステーションとの距離が測定できるほか、前記深海クレーン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ステーションの存在方向を探知することができることを特徴とする深海クレーン。

【請求項 17】

請求項 15 における前記深海クレーンの光学航法は前記海底ステーション上と前記海上母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、深海クレーン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、前記海底ステーション上または前記海上母船船底の発光体と前記深海クレーンとの位置関係を計出することを特徴とする前記深海クレーン。

【請求項 18】

請求項 15 における前記深海クレーンの経路誘導制御装置により

前記深海クレーンの下降時には前記海底ステーションとの相対位置関係および接近速度を制御して、前記深海クレーンと前記海底ステーションとをドッキングし、

前記深海クレーンの上昇時には前記海上母船との相対位置関係および接近速度を制御して、前記深海クレーンと前記司令船とドッキングすることを特徴とする前記深海クレーン。

【請求項 19】

請求項 1 から 3 の前記海底資源揚収装置の前記深海クレーンおよび前記海底ステーション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揚収装置。

【請求項 20】

請求項 1 から 3 の前記海底資源揚収装置の前記海底ステーションは、複数のクレーンエンジン、水素ガス発生装置、貨物ユニットポート、海底ブルドーザ輸送ポート、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ステーションプラットフォームで固定統合し、遠隔操縦の海底ブルドーザを加えて構成されることを特徴とする前記海底ステーション。

【請求項 21】

請求項 20 における前記海底ステーションのクレーンエンジンは請求項 1 から 3 における前記深海クレーンの前記クレーンエンジンと、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、前記海底ステーションプラットフォームに固定されて、制御装置に制御されることを特徴とする前記海底ステーション。

【請求項 22】

請求項 20 における前記海底ステーション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、前記海上母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ステーション。

10

20

30

40

50

## 【請求項 2 3】

請求項 2 0 における前記海底ステーションは、前記水素ガス発生装置が発生し、前記海底ステーションのクレーンエンジン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ステーション。

## 【請求項 2 4】

請求項 2 0 における前記海底ステーションの浮力タンク内の水素ガス量を制御して前記海底ステーションの姿勢が水平となるよう前記各クレーンエンジンの浮力を均衡させ、さらに、前記海底ステーション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装置を有することを特徴とする前記海底ステーション。

10

## 【請求項 2 5】

請求項 2 0 における前記海底ステーションを海面より海底に降下させる運用において、前記クレーンエンジン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、前記海底ステーション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、前記海底ステーションの比重を周囲海水と同等かつ前記海底ステーション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ステーション。

## 【請求項 2 6】

請求項 2 0 における前記海底ステーションを海面より海底に降下させる運用において、前記各クレーンエンジンの浮力タンクに注入する水素ガス量を制御して前記海底ステーションの姿勢が水平となるよう前記各クレーンエンジンの浮力を均衡させ、さらに、前記海底ステーション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ステーション。

20

## 【請求項 2 7】

請求項 2 0 における前記海底ステーションの前記海底ブルドーザは電動のブルドーザ機能を有し、前記海上母船から前記海底ステーションを介して遠隔操縦を行い、海底の鉱物資源を収集し、前記貨物ユニットポートに固定された前記貨物ユニットに投入する能力を有することを特徴とする海底ブルドーザ。

## 【請求項 2 8】

請求項 2 0 における前記海底ステーションの海底ブルドーザ輸送ポートは前記海底ブルドーザを海底ステーションプラットフォームに積載して前記海底ステーション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ステーション。

30

## 【請求項 2 9】

請求項 2 0 における海底ステーションの前記制御装置は前記海底ステーションの複数の前記クレーンエンジン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、前記海底ステーションと目標着床点の位置関係に応じて請求項 1 5 の前記深海クレーン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ステーション。

40

## 【請求項 3 0】

請求項 2 0 における前記海底ステーションの前記制御装置は、事前に別手段で海底に配置した音響マーカー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ステーション。

## 【請求項 3 1】

請求項 1 における前記海上母船は、前記深海クレーンおよび前記海底ステーションさらに海底ステーション経由で前記海底ブルドーザに電源を供給し、光ファイバーによる通信を行い、

深海クレーン離着ポート、給電装置、総合監視制御装置、トルエンタンク、MCH液体タ

50

ンク、純水タンク、  
前記深海クレーンからの海底鉱物資源回収装置、  
前記深海クレーンおよび前記海底ステーションに対するトルエン注入装置、  
前記深海クレーンおよび前記海底ステーションからのM C H回収装置、  
前記深海クレーンおよび前記海底ステーションに対する純水注入装置  
を有することを特徴とする海上母船。

【請求項 3 2】

請求項 3 1 の前記総合監視制御装置は

前記海底ステーション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、前記海上母船への浮上を管制し、さらに、

10

前記海上母船の総合監視制御装置は

前記深海クレーンの前記海上母船から前記海底ステーションへの降下とドッキングを指揮管制し、前記海底ステーションからの離床と前記海上母船への浮上とドッキングを指揮管制し、さらに、

前記海上母船の総合監視制御装置は前記海底ステーションを介して

前記海底ステーションの前記海底ブルドーザ輸送ポートから前記海底ブルドーザを発進させ海底で鉱物資源収集を行い、空荷の貨物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、前記海底ステーションの移動時には前記海底ブルドーザ輸送ポートに搭載収容し、さらに、

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

20

前記海上母船の総合監視制御装置は前記深海クレーンの前記貨物ユニット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、

前記海上母船の総合監視制御装置は

前記深海クレーンおよび前記海底ステーションのトルエンタンクに対するトルエン注入の管制と、

前記深海クレーンおよび前記海底ステーションのM C HタンクからのM C Hの回収の管制と、

前記深海クレーンおよび前記海底ステーションの純水タンクに対する純水注入の管制と、

前記深海クレーンからの揚収鉱物の前記海上母船への移送の管制

30

を実施することを特徴とする前記監視制御装置。

【請求項 3 3】

請求項 3 1 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 3 4】

請求項 3 3 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 A C 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、

40

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 3 5】

請求項 3 3 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 3 6】

請求項 4 の前記海底資源揚収装置において、1 台の前記海底ステーションに対して、複数

50

の前記深海クレーンを割り当て、  
 前記深海クレーンが順次実行するところの、  
 第一段階としての揚収鉬石とMCHの前記海上母船への荷下ろし、トルエンおよび純水の前記海上母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ステーションに向けた降下、  
 第三段階としての海底での空荷の前記深海クレーンの前記空ポートへのドッキングによる前記貨物ユニットの前記深海クレーン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、前記深海クレーンの前記クレーンエンジン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クレーンエンジン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ステーションから前記深海クレーンへの水素ガス充填による浮力付与と純水の前記深海クレーンから前記海底ステーションへの荷下ろしを含む浮上準備、  
 第四段階としての前記深海クレーンの海底から海面へ向けての浮上、  
 に対して  
 前記複数の前記深海クレーン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ステーションの前記貨物ユニット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、前記海底資源揚収装置の鉬物資源収集及び前記海底ステーションへの収集鉬物資源積込が、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揚収装置。

10

20

【請求項 37】

請求項 1 から 3 の前記海底資源揚収装置において、前記海底ステーションの着床深度に対応して、前記深海クレーン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深海クレーン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揚収装置。

【請求項 38】

請求項 1 から 2 の前記海底資源揚収装置において、前記深海クレーンの揚収重量に対応して、前記深海クレーンの海底離床時に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深海クレーン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海水中に放出する水素ガス量を調節することを特徴とする前記海底資源揚収装置。

30

【請求項 39】

請求項 37 の前記海底資源揚収装置において、前記貨物ユニットポートに重量計を設置し、搭載鉬石の水中重量を計測し、離床時の前記深海クレーンの水中重量を計測して、前記深海クレーン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揚収装置

【請求項 40】

請求項 23 から 28 の前記海底ステーションを含む請求項 36 の前記海底資源揚収装置において、  
 第一段階としての前記海上母船からの前記海底ステーションの海底への降下と海底での前記海底ブルドーザの展開  
 第二段階としての前記海上母船から前記深海クレーンへのトルエンと純水の充填  
 第三段階としての前記深海クレーンの海底に展開している前記海底ステーションへの降下  
 第四段階としての前記深海クレーンの海底に展開している前記海底ステーションへの純水の積卸しとトルエンの一部の積卸しと、前記海底ステーションでの水素ガス発生と前記海底ステーションからの水素ガスの充填と収集鉬石の積載、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深海クレーンの海底に展開している前記海底ステーションから前記

40

50

海上母船へ向けての浮上

第六段階としての前記深海クレーンから前記海上母船への収集鉱物資源と必要に応じて水素ガスを吸収したMCHの積卸し

第七段階としての前記海底ステーションの海底での前記海底ブルドーザの収容と前記海上母船に向けての浮上

からなる運用において、

単数または複数の前記深海クレーン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揚収装置

【請求項 4 1】

請求項 4 0 の前記海底資源揚収装置において、

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ステーションの海底での前記海底ブルドーザ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ステーション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ステーション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、および海中への放出を含む方法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、前記海底ステーションの位置移動、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揚収装置

【発明の詳細な説明】

【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、高压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】

10

20

30

40

50

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）

10

#### 【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、マンガン団塊、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）

20

#### 【0007】

【特許文献1】WO2013118876A1「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】「サルページ」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 2013年4月

30

【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】クオ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

40

#### 【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ページ技術、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ドーザで可能である。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

50

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無く、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. 深海クレーン
3. 海底ステーション
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 深海クレーン

1. 制御系
  - 1.1 目的と機能
  - 1.2 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	<u>海底ステーション</u>	
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	10
( 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	20
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	30
3	<u>深海クレーン</u> 制御システム	
4	<u>海底ステーション</u> 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	<u>深海クレーン</u>	40
2 . 2	<u>海底ステーション</u>	
3	連続運用の効率化	
【 0 0 1 0 】		
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。	50

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る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擦、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120 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揚げの方法に対し、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、海上船舶より引き揚げの方法もありうるが、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642g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338gに対して水素ガスは955g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。深海クレーン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499/500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。揚鉱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材として用いる。とくに、海中より採集鉱物を揚収する深海クレーンの実現においては、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る、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る重量増となる（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。

#### 【 0 0 1 7 】

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 2 0 0 トン程度の資源を 5 0 0 0 m の海底から回収する典型的な深海クレーンの諸元例（単位mm）図 1 に示す。

浮力源として水素ガスタンクが 2 5 0 m<sup>3</sup> 必要であり、5 0 0 atg（気圧）（深度 5 0 0 0 m 相当）で充満させるためのモル数は；

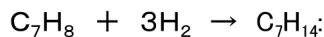
$250 \times 10^3 / 22.4 \times 500 = 5.58 \times 10^6$  モルとなり、  
 $11.16 \times 10^6 \text{ g}$ （11.16 トン）の重量となるので、238.8 トンの浮力を得られる。

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。

$$\text{C}_7\text{H}_8 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_7\text{H}_{14}$$
  
 $250 \times 10^3 / 22.4 \times 500 = 5.58 \times 10^6$  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/cm<sup>3</sup> 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  $5.58 / 3 \times 10^6$  モル  $\times 499 / 500 = 1.856 \times 10^6$  モル

トルエン重量は  $1.856 \times 10^6$  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/cm<sup>3</sup> であるので、

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

MCH（メチルシクロヘキサン）重量は  $1.856 \times 10^6$  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。

#### 【 0 0 1 8 】

浮力タンク 0 0 3 の容量は 3 5 7 . 1 m<sup>3</sup> で、液体タンク 0 0 4 の容量は 2 4 0 . 0 m<sup>3</sup> である。

深海クレーンの外壁 0 0 8、仕切り板 0 0 2 の重量は厚さ 1 0 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 1 0 mm の場合 1 8 8 5 cm<sup>2</sup> であり炭素繊維樹脂の代表的せん断応力を 1 5 0 kgf/mm<sup>2</sup> とすると 2 8 , 2 7 5 トンまで耐えられる。荷重に対して 1 0 0 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 5 mm とすると水中重量は 2.6 トンとなる。

#### 【 0 0 1 9 】

水素ガス吸収反応器 0 0 9 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Φ3mmペレット)		
流体	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> 、3H <sub>2</sub> 、C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>		
運転温度	200℃		
流量	「In」	H <sub>2</sub>	50,000Nm <sup>3</sup> /h
		C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	6.9ton/h
	「Out」	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.05ton/h
		C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	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 t1.0mm		
	内管 外径 Φ40mm×長さ10m t0.3mm × 500本		
触媒量	4.5m <sup>3</sup>		

10

SUS304 密度は7.93g/cm<sup>3</sup>で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 密度を7.93g/cm<sup>3</sup>、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	計15.4ton
	胴部	0.6ton	
	触媒	13.3ton	

20

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C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>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5000m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。

30

【0020】

(b) 下降時

下降時は液体タンクにトルエンを196.8m<sup>3</sup>充填し、残りの43.2m<sup>3</sup>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、貨物ユニット007を空荷にして海水を充填すると、トルエンにより196.8×(1-0.8678)=26.0トンの浮力が得られるので、深海クレーンの機材重量が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+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))

40

【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。

深海クレーン 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、深海クレーン 001に加えて海底資源を海底

50

で収集して深海クレーン 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、海底ステーション 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1000mから6500mの海底に存在する。マンガング塊は、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グ塊やコバルトリッチクラストをブルドーザで収集できるが、海底では、揚収手段である深海クレーン 001に積み込む手段がないので、海底ステーション 018を用いる。深海クレーン 001の下部半球は貨物ユニット 007として深海クレーン 001より分離可能とし、貨物ユニット 007を分離した深海クレーン 001を

10

クレーンエンジン 005と呼ぶ。貨物ユニット 007を図6の海底ステーション 018の貨物ユニットポート 023に設置可能なように深海クレーン 001を構築する。深海クレーン 001は図7(a)で示すように海底ステーション 018の貨物ユニットポート 023aに降着して、図7(b)に示すようにドッキングし、空荷の貨物ユニット 007を切り離して浮上し移動し、海底ステーション 018の反対側のもう一つの貨物ユニットポート 023bに再ドッキングする(図7(c))。

再ドッキングした貨物ユニット 007には無人のリモコン電動ブルドーザである海底ブルドーザ 019により収集された採集鉱物010が積み込まれているので、海底ステーション 018より深海クレーン 001に水素ガスを充填して(図7(d))、浮力を得たところで、海底ステーション 018より離床、浮上させる(図7(e))。このような方式を

20

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。海底ステーション 018では、次の深海クレーン 001の到着に備えて水素ガスの蓄積と貨物ユニットポート a 023aにある空荷の貨物ユニット 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、海底ステーション 018を離床した 深海クレーン 001-3は海上母船 016に向かって上昇し、深海クレーンポート 100に到着する。海上母船 016は深海クレーン 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、深海クレーン 001-3の次のミッションのために、浮力タンク003に純水 014を充填し、液体タンクの区画にトルエン 012と充填用の海水を注入して海底に降下させる(図2(d))。

30

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、海上母船 016に提供し、採集鉱物010とメチルシクロヘキサン(MCH)を海上母船 016から回収して出港地にもどり、この往復を繰り返す。

#### 【0024】

海上母船 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。複数の深海クレーン 001、海底ステーション 018、海底ブルドーザ 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、海底ステーション 018、海底ブルドーザ 019、太陽電池ストリップ401を海中および海面に展開する。海上母船 016には、初期動作のためのトルエン、純水も搭載する。海上母船 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。

40

海上母船 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。深海クレーン 001および海底ステーション 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、海底ステーション 018に海底ブルドーザ 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

50

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

本発明になる深海クレーン001および海底ステーション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、深海クレーン001をクレーンエンジン005 + 貨物ユニット007で構成し、海底ステーションを クレーンエンジン×4セット（実施例の場合） + 架台である海底ステーションプラットフォーム027 + 水素ガス発生装置024で構成することにより、クレーンエンジン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. 深海クレーン

図8は、深海クレーン001の外部構造図であり、図9は、深海クレーン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。深海クレーン001は浮力タンク003、液体タンク004、機器室006、貨物ユニット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009を設ける。貨物ユニット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からなるクレーンエンジン005と着脱ができる。図8(b)の深海クレーン001において、A方向より見た図が(a) 深海クレーン上面図であり、浮上時に海上母船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) 深海クレーン001において、B方向より見た(c) 深海クレーン下面図に、降下時に海底ステーション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)深海クレーン001は採集鉱物010を積載するために図8(d)クレーンエンジン005と図8(e)貨物ユニット007に分離できる。図8(d)クレーンエンジン005を単独で誘導制御するために、C方向より見た(f)クレーンエンジン005下面図に示すように撮像装置150を設置する。図8(d)クレーンエンジン005のドッキング相手である(e)貨物ユニット007には、D方向より見た(g)貨物ユニット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)深海クレーン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)深海クレーン001は比重が1.0であり、移動速度も1m/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)深海クレーン断面図で機械室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009のヒータ、および深海クレーン制御システム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母船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。深海クレーン001は図9(b),(c)に示すように貨物ユニット007を分離することができる。図9(a)の状態では海底ステーション018の貨物ユニットポート023にドッキングすると、貨物ユニット007とクレーンエンジン005の接続が外れ、貨物ユニット007と貨物ユニットポート023が接続される(図9(b)(c))。クレーンエンジン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。移動先の貨物ユニットポート023の貨物ユニット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。この状態でクレーンエンジン005を再度ドッキングすると貨物ユニット007と貨物ユニットポート023の接続が外れ、貨物ユニット007とクレーンエンジン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、「V3 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】

本発明になる深海クレーン001および海底ステーション018はクレーンエンジン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、深海クレーン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

10

20

30

40

50



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10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、本発明のクレーンエンジン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009を設けるため、隔膜030を設けない。水素ガスと液体1種で使用し、隔膜030を必要としない運用を行う。

10

#### 【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)は深海クレーン001が採集鉱物010を貨物ユニット007に搭載して、海底ステーション018より海上母船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の浮力が貨物ユニット007内の採集鉱物010にバランスして深海クレーン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)は深海クレーン001が海上母船016に向けて浮上中の状態を示したものである。「IV 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。

20

#### 【0035】

図2(c)は深海クレーン001が海面の海上母船016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、貨物ユニット007内の採集鉱物010は海上母船016回収される。また、MCHは水素ガス生成源として海上母船016に回収され、採集鉱物010とともに目的地に輸送される。

30

#### 【0036】

採集鉱物010とMCHを海上母船016に移した深海クレーン001は図2(d)の状態にして海底に向け降下させる。貨物ユニット007は空荷であり、貨物ユニット007は構造的に外部と自由に海水が出入りするので、内部は海水の比重となる。図2(d)の状態は深海クレーン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は海上母船016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10および図11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は海底ステーション018で電気分解により水素ガス発生のために海底ステーション018に持ち込むものであり、海上母船016より注入される。

40

#### 【0037】

水素ガス吸収反応器009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5 044を経由して熱交換器036に導き、配管4 043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2 041より熱交換器に注入さ

50

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】

深海クレーン 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 009 相互間および深海クレーン 001 外の海底ステーション 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、「V5. 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、海底ステーション 018 または海上母船 016 との気体・液体の授受について詳述する。

10

#### 【0039】

##### 3. 海底ステーション

図 6 に海底ステーション 018 の外形を示す。海底ステーション 018 の役割は、海底ブルドーザ 019 により海底鉱物を収集し、ランブウェイ 025 を経由して貨物ユニットポート 023 に設置されている貨物ユニット 007 に採集鉱物 010 を投入する。海底ステーション 018 は海底ステーションプラットフォーム機構 027 と称される台座構造にクレーンエンジン 005 を図 6 の例の場合、4 ユニット固定設置し、ランブウェイ 025 を 2 個、貨物ユニットポート 023 を 2 個設置したものである。海底ステーションプラットフォーム 027 には海底着床用の着床用脚 026 が複数個設置される。

20

#### 【0040】

海底ステーション 018 に設置されるクレーンエンジン 005 は、深海クレーン 001 から貨物ユニット 007 を除外したものである。同一の構造の貨物ユニット 007 を海底ステーション 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、深海クレーン 001 に対して上昇用に供給するためである。第 2 に深海クレーン 001 が上昇時に使用するトルエンを深海クレーン 001 に供給するために液体タンク 004 に蓄積し、供給する。第三にクレーンエンジン 005 は貨物ユニット 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ステーションプラットフォーム 027 に設置されている水素ガス発生装置 024、貨物ユニットポート 023、ランブウェイ 025、着床用脚 026、さらに海底ブルドーザ 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。

30

#### 【0041】

図 14 に海底ステーション 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 114 Kw の出力のものが体積 37 リットル、重量 56 kg で量産実用化されている。電気分解所要電力は 4.1 ~ 5.3 kWh / Nm<sup>3</sup> (以下、5.0 kWh / Nm<sup>3</sup> として計算) であるので、4 基の深海クレーン 001 を海底ステーション 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 atg において 1000 m<sup>3</sup> である。これに必要な電力は 500 x 1000 x 5 kWh となり、自動車用 114 Kw の燃料電池相当の水分分解装置であれば、500 x 1000 x 5 kWh / 114 Kw = 914 x 24 h となり、914 台分

40

50

で水素ガスを発生できる。重量は単純に 9 1 4 倍して 5 1 トンとなる。この数値はクレーンエンジン 0 0 5 が 1 ユニットあたり発生する浮力 2 0 0 トンに比べて十分小さい数字である。

#### 【 0 0 4 2 】

図 1 4 で貨物ユニットポート 0 2 3 aは降着する深海クレーン 0 0 1をドッキングさせ空荷の貨物ユニット 0 0 7 aを収納する穴状のポートである。貨物ユニットポート 0 2 3は海底ステーション 0 1 8に図 6 の構成例では 2 基、左右に設置される。図 7 の貨物ユニットポート 0 2 3 aに降着した深海クレーン 0 0 1は貨物ユニットポート 0 2 3 aに空荷の貨物ユニット 0 0 7 aを切り離し、再浮上して貨物ユニットポート 0 2 3 bにあるすでに海底資源を積載した貨物ユニット 0 0 7 b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ドーザのみで行える利点がある。貨物ユニット 0 0 7 bには海底ブルドーザ 0 1 9により採集鉱物 0 1 0 が搭載されているので、ドッキング後深海クレーン 0 0 1の浮力タンク 0 0 3 に海底ステーション 0 1 8のクレーンエンジン 0 0 5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。

10

#### 【 0 0 4 3 】

図 6 において海底ブルドーザ 0 1 9は海上母船 0 1 6から遠隔操縦する電動ブルドーザであり、地上で動作する機材と同様レベルの 3 0 ~ 5 0 トンである。採集した鉱物は海底ブルドーザ 0 1 9がランプウェイ 0 2 5 を上がって貨物ユニットポート 0 2 3に設置されている空荷の貨物ユニット 0 0 7に投入する。海底ステーション 0 1 8は海底での移動機能があり、海底ステーション 0 1 8のクレーンエンジン 0 0 5内の浮力タンク 0 0 3 内の水素ガスを増やして浮力を得て離床し、クレーンエンジン 0 0 5に設置されている図 1 4 の大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 により水平方向推進力を得て移動する。この際、海底ブルドーザ 0 1 9は電源および操作監視信号を電源信号ケーブル 0 2 0 経由（図 6）で海底ステーション 0 1 8より得ているので、海底ステーション 0 1 8の海底ブルドーザ輸送ポート 0 2 8に搭載収容して移動する。この際、図 1 4 に示すようにランプウェイ 0 2 5 は海中移動のため上方に跳ね上げる。

20

#### 【 0 0 4 4 】

図 7 は海底ステーション 0 1 8の運用を深海クレーン 0 0 1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 ) は空荷の深海クレーン 0 0 1が到着して貨物ユニットポート 0 2 3 aにドッキングする局面である。深海クレーン 0 0 1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 ) の海底ステーション 0 1 8のクレーンエンジン 0 0 5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 ) は深海クレーン 0 0 1が着床して海底ステーション 0 1 8にドッキングした状態である。図 7 ( c ) は空荷の貨物ユニット 0 0 7 aを貨物ユニットポート 0 2 3 aに残して離床し、反対側の貨物ユニットポート 0 2 3 bに移動しドッキングする運用を示す。貨物ユニットポート 0 2 3 bにある貨物ユニット 0 0 7 bには収集鉱物 0 1 0 が搭載されている。ドッキングした状態では収集鉱物 0 1 0 の分だけ浮上には浮力が不足する。

30

40

#### 【 0 0 4 5 】

図 7 ( d ) は海底ステーション 0 1 8のクレーンエンジン 0 0 5の浮力タンク 0 0 3 内の水素ガスを深海クレーン 0 0 1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 0 0 3 に水素ガスを上方より純水を押し出ししながら注入し、図 2 ( d ) 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。深海クレーン 0 0 1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 ) は深海クレーン 0 0 1離床後の状態で、クレーンエンジン 0 0 5の浮力タンク 0 0 3 内に水素を蓄積する。貨物ユニットポート 0 2 3 aの貨物ユニット 0 0 7 aに収集鉱物 0 1 0 を蓄積して図 7 ( a ) の状態に戻る。

50

## 【 0 0 4 6 】

図 1 5 に海底ステーション 0 1 8の海底での水平移動と海面への浮上の運用を示す。図 1 5 ( a ) は海底ステーション 0 1 8の定常運転時を示す。この状態では海底ステーション 0 1 8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 基のクレーンエンジン 005を海底ステーション 0 1 8に設置してあるので、すでに述べた例では、クレーンエンジン 005の浮力タンク 0 0 3 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、海底ブルドーザ 0 1 9が 30 ~ 50 トン、電気分解装置が 51 トンであるので、海底ステーションプラットフォーム 0 2 7を含む海底ステーション 0 1 8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、海底ステーション 0 1 8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。

10

## 【 0 0 4 7 】

図 1 5 ( b ) は海底ステーション 0 1 8が離床する時の状態を示す。海底ブルドーザ 0 1 9を搭載し、水素ガス発生装置 0 2 4 を運転して、クレーンエンジン 0 0 5の浮力タンク 0 0 3 内の水素ガス量を海底ステーション 0 1 8全体の比重が 1 . 0 になるまで増加させる。その後、図 1 4 の大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 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 1 5 ( b )、( c ) は比重が 1 . 0 の状態で図 8 の推進装置 0 5 5 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 1 5 ( 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 1 5 ( b ) の状態が移動中から着床までである。

20

## 【 0 0 4 8 】

図 1 5 ( b ) の状態は大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 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「EV 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、海底ステーション 0 1 8の比重を 1 . 0 に保つ。海底ステーション 0 1 8であってもクレーンエンジン 0 0 5の部分は深海クレーン 0 0 1と同一であるので深海クレーン 0 0 1と同様の運用を行う。すなわち、図 2 ( a ) ( b ) ( c ) において貨物ユニット 0 0 7、採集鉱物 0 1 0 の代わりの荷重となるのが図 5 における海底ステーションプラットフォーム 0 2 7、水素ガス発生装置 0 2 4、海底ブルドーザ 0 1 9および海底ステーションプラットフォーム 0 2 7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。

30

## 【 0 0 4 9 】

深海クレーン 0 0 1および海底ステーション 0 1 8を海底から海面に離床させたり、海底に降下させたり、あるいは海底ステーション 0 1 8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 1 4 の大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 で行う。

40

## 【 0 0 5 0 】

## 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。基地である海上母船 0 1 6の持つべき機能は下記である。

( 1 ) 母港より、複数の深海クレーン 0 0 1、海底ステーション 0 1 8、海底ブルドーザ 0 1 9、自航式太陽電池展開装置 4 0 4 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ステーション 0 1 8を設置する適地を探索し、海底ステーション 0 1 8を誘導するための音響マーカーを投下設置する。

50

- (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) 深海クレーン001、海底ステーション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) 深海クレーン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、深海クレーン001、海底ステーション018用に蓄積し、深海クレーン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。

10

#### 【0051】

##### 4.1 海上母船

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、深海クレーンは図1の規模となる。海底5000mであると、上昇に1日かかるので、

20

1基の海底ステーション018に対して深海クレーン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。海底ステーション018は長さ30m、幅20m、高さ25m、ドライ重量約300トンである。

海上母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、発電機又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。

30

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10m長さ4km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5mmの浮体シートにし、ロール状に巻き上げ直径4m、長さ10mの円筒100本にして海上母船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、海上母船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、海上母船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、深海クレーン001および海底ステーション018に供給するため目的で一時保管用に設け、MCHタンク204は深海クレーン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、深海クレーン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。

40

##### 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、海上母船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

50

## 1. 原理

## 1.1 水素化反応

深海クレーン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とができる。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。

## 【 0 0 5 3 】

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	
深海クレーン水中重量	$W_s$	[kg]	
採集鉱物水中重量	$W_L$	[kg]	20
トルエン重量	$W_T$	[kg]	
MCH(メチルシクロヘキサン)重量	$W_M$	[kg]	
H <sub>2</sub> 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]	
水圧	$P(z)$	[atg]	
トルエン密度	$\rho_T$	[g/cm <sup>3</sup> ]	30
MCH(メチルシクロヘキサン)密度	$\rho_M$	[g/cm <sup>3</sup> ]	
1モル標準気体容積	$m$	[L]	=22.4

## 【 0 0 5 4 】

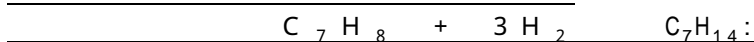
定数として下記を使用する。

	分子式	分子量	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	1モル液体体積[cm <sup>3</sup> ]	
水	H <sub>2</sub> O	$\mu_W$ 18	$\rho_W$ 1.0	$v_W = \mu_W / \rho_W$ 18	
トルエン	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	$\mu_T$ 92	$\rho_T$ 0.867	$v_T = \mu_T / \rho_T$ 127.44	
MCH	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	$\mu_M$ 98	$\rho_M$ 0.769	$v_C = \mu_M / \rho_M$ 106.01	
水素	H <sub>2</sub>	$\mu_H$ 2	$\rho_H$		40

## 【 0 0 5 5 】

トルエン容量 $V_T$ 、MCH容量 $V_M$ を海中深度 $z$ の関数として $V_T(z)$ 、 $V_M(z)$ と表現する。

水素ガスは当初（海底出発時）はすべて気体で保持され、この量を $M_H$ モルとする。水素ガスは上昇に伴いトルエンに吸収される。



深度 $z$ における水素ガス（気体）を $m_H(z)$ モルとすると、 $M_H - m_H(z)$ モルがトルエンに吸着されて、 $(M_H - m_H(z)) / 3$ モルのMCHが生成される。

深度 $z$ における水圧を $P(z)$ とすると、 $P(z) = z / 10$  [atg] (atg：気圧)

10

20

30

40

50

である。

水素ガスの体積  $V_H(z)$  は；

$$V_H(z) = (m_H(z) \times m \times 10^{-3}) / P(z) \quad [m^3]$$

海底における水素ガスの重量  $W_{HH}(z_B)$  は、

$$W_{HH}(z_B) = m_H(z_B) \times 2 \times 10^{-3} \quad [kg]$$

となる。

【 0 0 5 6 】

MCHによる浮力は；

$$W_M(z) - V_M(z) \times 10^3$$

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

10

トルエンによる浮力は；

$$W_T(z) - V_T(z) \times 10^3$$

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

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

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

20

深度  $z$  に依存する項としない項を整理して

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

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。

30

【 0 0 5 7 】

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。

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

40

$m_H(z)$  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。

【 0 0 5 8 】

## 1.2 水圧変化への対応

海底より深海クレーン 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深海クレーン 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) に示す上昇中の深海クレーン 001 のに対応する配管系統図である。

50

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 . V2, V8, V7 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 . V2, V8, V7 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 5000 m 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  $\pm 1$  ( a t g ) あれば十分であるので  $1 / 10000$  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。

10

#### 【 0 0 6 2 】

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)

20

#### 【 0 0 6 3 】

図 20 ( b ) において、 $P_D < 0$   $d P_D / dt > 0$  ( 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、 $P_D > 0$   $d P_D / dt < 0$  ( 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)

30

#### 【 0 0 6 4 】

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  $5 . 5 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm} / \text{秒}$  と微速である。

。

( 2 ) 深海クレーン 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)

40

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压の深度と深度変化率を実現する。ただし、深海クレーン 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。深海クレーン 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ので増容する。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。

#### 【 0 0 6 5 】

以上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 21 である。

50

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<sup>258</sup>、推進機制御系<sup>257</sup>、および緊急制御系<sup>267</sup>と、これらを統括する制御マスタ<sup>254</sup>より構成される。

水素吸収反応制御系<sup>224</sup>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、4 0 0 以下、1 0 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、 $Pt / Al_2O_3$  ( 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 1 3 区画 2)に導かれる。水素ガス吸収反応器260では図 1 2 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。

【 0 0 6 6 】

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 2 0 (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内圧力を保つには深海クレーン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 ~ 1 0 c m / 秒の微速であるため、推進器制御系<sup>253</sup>により、深海クレーン001の周囲に設置された推進装置055により推進力を得て $P_D(t) = 0$ となるよう  $d P_D(t)/dt$ を制御する。推進装置055は、図 2 4 ( a ) に示すように深海クレーン001の上部および下部に図 2 4 ( 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駆動のスクリー056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推力を得る。推進器特性<sup>259</sup>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<sup>261</sup>は深海クレーン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<sup>261</sup>により、深海クレーン001の深度が変わり、水圧特性<sup>263</sup>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<sup>253</sup>で推進器を制御する。推進器制御系<sup>254</sup>は図 2 3 ( 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、深海クレーン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。しかし深海クレーン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。

【 0 0 6 7 】

10

20

30

40

50

図 2 1 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 2 0 ( b ) の発散領域、破壊領域に深海クレーン001が入らないよう制御を行う。図 2 2 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 2 3 ( 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。統括制御254の機能は図 2 0 ( b ) に対応したもので、 $P_0$ およびその変化に対応して図 2 2 の処理を行う。処理ブロック500では図 2 0 ( 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。

10

#### 【 0 0 6 8 】

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 P I D 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。

20

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ト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）

#### 【 0 0 6 9 】

図 2 は浮上過程の深海クレーン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は貨物ユニット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 M C H となる。M C H 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 M C H となると増容するので浮力タンクの下部にも余剰 M C H を入れてもよい。浮力タンクには高圧水素ガスがあるが M C H 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 M C H に吸収された。

30

#### 【 0 0 7 0 】

##### V深海クレーン

40

##### 1 制御系

##### ( 1 ) 目的と機能

制御する対象は深海クレーン 0 0 1と海底ステーション 0 1 8であるが、海底ステーション018については、深海クレーン 0 0 1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 0 1 8 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はあるが、深海クレーン 0 0 1ほどの精度を要しないので、以下、深海クレーン 0 0 1について詳述し、海底ステーション018については深海クレーン 0 0 1の延長として「VI 海底ステーション」の章で説明する。深海クレーン 0 0 1は海面の海上司令船 0 1 6 と海底ステーション 0 1 8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。

50

## (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深海クレーン 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0055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ステーションにドッキングする。

【0071】

## a. 2 移動制御

一方、海底ステーション018の設置位置は海上司令船016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の制約はない。

## (b) 姿勢制御

深海クレーン 001は水素ガス吸収反応器009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ステーション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1cm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（海上母船 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、深海クレーン 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100cm/秒としている。

推進機構としては図24 深海クレーンの推進装置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。深海クレーン 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で軸方向の中心点Cである。重心は液体構成および、機器配置により中心点CよりLgだけ低い重心Gとなる。

推進装置055は図24(a)(b)に示すように深海クレーン 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。

## 【 0 0 7 4 】

図 2 5 ~ 2 7 は深海クレーン 0 0 1の動特性を説明するための図である。

図 2 5 ( a ) は、深海クレーン 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  $C_{051}$  は深海クレーン 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。

深海クレーン 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。深海クレーン 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 ) は深海クレーン中心軸 069 を姿勢座標  $Z$  軸 ( $Z_b$ ) 072 とし、深海クレーン 0 0 1に固有の座標として姿勢座標  $X$   $b$  軸 070 と姿勢座標  $Y$   $b$  軸 071 を定義し、姿勢制御に用いる。

10

## 【 0 0 7 5 】

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。

## 【 0 0 7 6 】

20

位置速度制御系と姿勢制御系の分離は、

深海クレーン 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。

30

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。

## 【 0 0 7 7 】

( a ) 位置速度制御

図 2 5 ( b ) は位置速度制御において深海クレーン 0 0 1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 2 4 ( 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  $T_{U062}$  および下部推進面移動推力  $T_{L063}$  を発生させる。このためには ( 数 0 0 1 ) 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。

40

【数 0 0 1】

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

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

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

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

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

【0 0 7 8】

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が与える推力は水抵抗力065を打ち消すものでなくてはならない。水抵抗065は深海クレーン 0 0 1 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 $T$ 、水抵抗065を打ち消すための推進力を $T'$ 、とすると、図 2 5 ( b ) において ( 数 0 0 2 ) が成り立つ。

【数 0 0 2】

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

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

$$T = T_U + T_L$$

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

$R = a(V)T$   $R$ は水抵抗であり、移動速度  $V$ 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 0 0 3 ) が得られる。

【0 0 7 9】

【数 0 0 3】

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

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

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

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

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

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 0 5 9、および下部推進面 0 6 0 に対する所要推進力である。

【0 0 8 0】

次に、図 2 8 で推進力 $T_L, T_U$ が上部推進面 0 5 9 および下部推進面 0 6 0 に対する回転ト

10

20

30

40

50

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 $T_U$ および下部推進面合成推力 $T_L$ はそれぞれ各推進面外周で深海クレーン 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】

$$T_{Ui} = \begin{bmatrix} T_{Uix} \\ T_{Uiy} \\ T_{Uiz} \end{bmatrix} \quad T_{Li} = \begin{bmatrix} T_{Lix} \\ T_{Liy} \\ T_{Liz} \end{bmatrix} \quad i = 0, 7 \quad 10$$

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

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

$$T_{L0} = \begin{bmatrix} 0 \\ T_{L0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{L1} = \begin{bmatrix} T_{L1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{L2} = \begin{bmatrix} 0 \\ T_{L2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad T_{L3} = \begin{bmatrix} T_{L3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad 20$$

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

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

【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】

$$T_{U0} = T_{U2} \quad T_{U1} = T_{U3} \quad T_{U4} = T_{U6} \quad T_{U5} = T_{U7} \quad 30$$

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

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

推進面合成推力  $T_L$  063 は推力  $T_{L,i} \neq 0, 7$  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】

$$T_U = \begin{bmatrix} T_{Ux} \\ T_{Uy} \\ T_{Uz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{U1} + T_{U3} \\ T_{U0} + T_{U2} \\ T_{U4} + T_{U5} + T_{U6} + T_{U7} \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} T_{U1} \\ T_{U0} \\ T_{U4} + T_{U5} \end{bmatrix} \quad 40$$

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

(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 0 0 7】

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

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

【0 0 8 2】

深海クレーン 0 0 1、および海底ステーション 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 0 0 8 ) で表現できる。

10

【数 0 0 8】

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

ここで、M は深海クレーン 0 0 1 の質量、R は抵抗係数、X ( t ) は重心 G 053 の基準座標系 ( 図 2 6 ( a ) ) での位置を示す。T ( t ) は深海クレーン 0 0 1 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 0 0 8 ) 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、貨物ユニット 007 内の荷重のばらつき、深海クレーン 0 0 1 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、

20

( 数 0 0 9 ) の誤差関数に対して、ローバスト性の強い 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 0 0 9】

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

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

30

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

A は対角成分が  $a_{ii} > 0 \quad i=0,5$  である 6x6 定数行列である。

( 数 0 0 9 ) 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。

【0 0 8 3】

(b) 姿勢制御

図 2 6 ( 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。

40



## 【数 0 1 0】

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

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

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

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

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

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

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

$$q^* = q^{-1} \quad \text{逆クオタニオン}$$

10

## 【0 0 8 4】

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。

## 【数 0 1 1】

20

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

(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 0 1 2】

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

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

30

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

## 【0 0 8 5】

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 0 1 3)の関係があり、これを解くと(数 0 1 4)が得られる。

## 【数 0 1 3】

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

40

## 【数 0 1 4】

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

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、

$q_e = [\pm 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T$  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、

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

$x$  の微分を求めると(数 0 1 5)となる。

50

【 0 0 8 6 】

【 数 0 1 5 】

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

$$= \begin{bmatrix} -1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix} \times \frac{1}{2} D(q_d) \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & -I_{3 \times 3} \end{bmatrix} D(q_r^b) \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_b \end{bmatrix}$$

ここで、( 数 0 1 6 ) とおけば、

【 数 0 1 6 】

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

10

【 0 0 8 7 】

( 数 0 1 5 ) は ( 数 0 1 7 ) と表すことができる。

【 数 0 1 7 】

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

( 数 0 1 7 ) に対するリアプノフ関数の候補を ( 数 0 1 8 ) とする。

【 数 0 1 8 】

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

20

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

【 0 0 8 8 】

ここで、( 数 0 1 9 ) なる  $x$  に関する安定化フィードバック則を与えると、( 数 0 2 0 ) が成り立ち

【 数 0 1 9 】

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

【 数 0 2 0 】

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

30

$K_1 > 0$  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。

$\omega_b$  が  $\alpha_1$  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 0 1 7 ) ( 数 0 1 8 ) は ( 数 0 2 1 ) となる。

【 数 0 2 1 】

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

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

【 0 0 8 9 】

40

( 数 0 1 2 ) の  $J \dot{\omega}_b = -S(\omega_b) J \omega_b + T$  を用いれば ( 数 0 2 2 ) が成り立ち、

【 数 0 2 2 】

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

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 0 2 3 ) となる。

【数 0 2 3】

$$\begin{aligned}
 V_2(x, z_1) &= V_1(x) + \frac{1}{2} z_1^T J z_1 \\
 \dot{V}_2(x, z_1) &= \dot{V}_1(x) + z_1^T J \dot{z}_1 \\
 &= -x^T G^T K_1 G x + x^T G^T z_1 + z_1^T \{-S(\omega_b) J \omega_b + T - J \dot{\alpha}_1\}
 \end{aligned}$$

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 0 2 4】

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

【数 0 2 5】

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

10

$K_1 > 0, K_2 > 0$  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。

【 0 0 9 0】

(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めたので、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

20

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

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

30

さらに(数 0 0 8)で  $T_{L4} = T_{L5}$  ,  $T_{U4} = T_{U5}$  としてよいから、(数 0 0 8)より(数 0 2 6)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 0 2 6】

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} T_{L1} \\ T_{L0} \\ T_{L4} \end{bmatrix} &= \left(1 + \frac{L_g}{L_t} + r\right) \begin{bmatrix} B_x/2 \\ B_y/2 \\ B_z/4 \end{bmatrix} & T_{L2} &= T_{L0} & T_{L3} &= T_{L1} & T_{L5} &= T_{L6} = T_{L7} = T_{L4} \\
 \begin{bmatrix} T_{U1} \\ T_{U0} \\ T_{U4} \end{bmatrix} &= \left(1 - \frac{L_g}{L_t} + r\right) \begin{bmatrix} B_x/2 \\ B_y/2 \\ B_z/4 \end{bmatrix} & T_{U2} &= T_{U0} & T_{U3} &= T_{U1} & T_{U5} &= T_{U6} = T_{U7} = T_{U4}
 \end{aligned}$$

40

【 0 0 9 1】

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 2 6 の座標系に従い成分を定義する。図 2 6 (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。

50

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。

【 0 0 9 2 】

図28の推力 $T_{Li}$  ,  $T_{Ui}$  が機体が回転運動以外を行わない条件より

$$(t_{AL2} + t_{AL0})(L_t - L_g) = -(t_{AU2} + t_{AU0})(L_t + L_g)$$

$$(t_{AL3} + t_{AL1})(L_t - L_g) = -(t_{AU3} + t_{AU1})(L_t + L_g)$$

さらに、 $Z_b$  軸周リトルクを重心からの距離に反比例して按分する。

$$(s_{AL0} - s_{AL1} - s_{AL2} + s_{AL3})(L_t - L_g) = (s_{AU0} - s_{AU1} - s_{AU2} + s_{AU3})(L_t + L_g)$$

各軸トルクは下記となるので

$$T_A = \begin{bmatrix} T_{Ax} \\ T_{Ay} \\ T_{Az} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (t_{AL2} + t_{AL0})(L_t - L_g) - (t_{AU2} + t_{AU0})(L_t + L_g) \\ (t_{AL3} + t_{AL1})(L_t - L_g) - (t_{AU3} + t_{AU1})(L_t + L_g) \\ (s_{AL0} - s_{AL1} - s_{AL2} + s_{AL3})r + (s_{AU0} - s_{AU1} - s_{AU2} + s_{AU3})r \end{bmatrix}$$

となり、これらより(数027)が得られる。

【 0 0 9 3 】

【 数 0 2 7 】

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

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

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

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

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

$$T_{AU4} = T_{AU5} = T_{AU6} = T_{AU7} = 0$$

各推進装置に対して、(数 0 2 6 )と(数 0 2 7 )を加算すると各推進装置への指令値が決まる。

【 0 0 9 4 】

(d) 制御系の構成

図 2 9 は(数 0 2 7 )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 2 1 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 2 9 である。位置速度制御系 265は(数 0 2 6 )による制御量を計出し、姿勢制御系 266は(数 0 2 7 )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。

深海クレーン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 0 0 9 )の対角行列Aの状態変数に対応した対角成分、(数 0 2 0 )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。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 5 】

## 3 . 航法制御

## ( 1 ) 構成

航法制御系は深海クレーン 0 0 1の全体制御系(図 3 2)において運行制御系(図 2 9)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、深海クレーン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出てくる。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母船 0 1 6の船体中央部に海中に向けたムーンプール 3 0 7 と呼ばれる離着ポートを設ける。

10

## 【 0 0 9 6 】

図 3 0 は深海クレーン 0 0 1を海底ステーション 0 1 8と海上母船 0 1 6間で往復誘導する方法を示している。深海クレーン 0 0 1を海上母船 0 1 6より海底ステーション 0 1 8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。

20

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 1 0 1 は初期の慣性航法区間103で目標の海底ステーション 0 1 8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ステーション 0 1 8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。海底ステーション 0 1 8の直近では光学航法区間105とし、正確な位置・速度・姿勢制御により貨物ユニットポート 0 2 3にドッキングする。

## 【 0 0 9 7 】

図 3 2 の航法制御系110は図 3 3 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、深海クレーン 0 0 1が海底ステーション 0 1 8または海上母船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により海上母船016にある海底資源揚収装置総合監視制御システム 4 8 4 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、海底ステーション 0 1 8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。

30

## 【 0 0 9 8 】

## ( 2 ) 慣性航法

40

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)、水平面内で深海クレーン 0 0 1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。

50

## 【 0 0 9 9 】

慣性航法 1 0 8 の処理は図 3 4 慣性航法系の動作の処理フローに従う。GPS は使用できないので

図 3 3 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(貨物ユニットポート023、深海クレーンポート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の範囲に深海クレーン 0 0 1 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。

## 【 0 1 0 0 】

## ( 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 3 1 に音波伝搬経路の例を示したが、直上ないし直下より 2 0 ° 以上離れると目標への到達が確実でなくなる。

## 【 0 1 0 1 】

音響航法 1 0 6 の原理と実現方法を図 3 5 に示す。深海クレーン 0 0 1 の進行方向曲面 14 0 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。貨物ユニットポート 0 2 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O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 3 7 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ーナール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。

## 【 0 1 0 2 】

図 3 6 に音響航法で用いる装置の構成と動作を示す。

図 3 6 ( 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ーナールで用いられている圧電セラミックスであり、図 3 6 ( 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 3 6 ( 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 3 6 ( b ) 音響航法装置は深海クレーン001に設置し、図 3 6 ( c ) トランスポンダは海上母船016、海底支

10

20

30

40

50

援装置 018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 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】

図38(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  $\theta$  とし、XY面への投影がX軸となす角を  $\phi$  とする。ABが音波の到来方向で、図38(b)はZ軸上方より見た図である。図38(b)を音波到来方向ABとZ軸を含む面で切断したのが図38(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  $\cos \phi = 0$  となつて  $\sin \theta$  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深海クレーン001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 ~ 30°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。深海クレーン001が貨物ユニットポート023の上方で貨物ユニットポート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を深海クレーン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。深海クレーン001の中心軸が発光素子AB側にずれている場合は図39(c)の(d1)の画像となり、

発光素子 B C 側にずれている場合は図 3 9 ( c ) の ( d 2 ) の画像となり、  
 発光素子 C D 側にずれている場合は図 3 9 ( c ) の ( d 3 ) の画像となり、  
 発光素子 D A 側にずれている場合は図 3 9 ( c ) の ( d 4 ) の画像となり、  
 中心軸にずれがないときは図 3 9 ( c ) の ( d 0 ) の画像となる。

#### 【 0 1 0 7 】

図 3 9 ( b ) は光学航法の原理を示す。深海クレーン 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、1000x1000～4000x4000pixelで視野角24～35°程度のものでよい。図 3 9 ( b ) の FaFbFcFd が撮像面 156 であり、発光素子 A ～ D 151～154の像が図 4 0 ( c ) のように結像する。

光学航法では図 4 0 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 (Ha,Va)、発光素子 B (Hb,Vb)、発光素子 C (Hc,Vc)、発光素子 D (Hd,Vd)

( 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Lf 155

( 4 ) 撮像装置 150の縦横画角 (  $\theta_v, \theta_h$  ) と縦横画素数 (Vmax, Hmax)

( 5 ) 発光素子 A ～ D 151～154の中心点緯度経度 (LatT, LonT)、深度 (DpT)

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

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

( 8 ) 直線BDが南北 (Y軸) となす角

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 ) は海底ステーション 018または海上母船016での実計測データであり、すべて既知である。

( A ) 深海クレーン 001の位置 (緯度経度 (LatT, LonT)、深度 (DpT))

( B ) 深海クレーン 001の姿勢 (ピッチpb、ヨーyb、ロールrb)

#### 【 0 1 0 8 】

クオテリオンを用いて上記 ( A ) ( B ) を求める。

深海クレーン 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、深海クレーン 001の姿勢を表す座標系 (X<sub>b</sub>Y<sub>b</sub>Z<sub>b</sub>) P<sub>b</sub>を定義する。

図 3 9 ( b ) における貨物ユニットポート 023は基準座標P に対してクオテリオンQ<sub>T</sub> 回転させて目標方位ベクトル157の視界座標 P<sub>t</sub> となったものとする。

#### 【 数 0 2 9 】

$$P_t = Q_T P Q_T^*$$

この座標系における貨物ユニットポート 023が撮像面 156に投影されて図 3 9 ( c ) の像が得られる。貨物ユニットポート 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と貨物ユニットポート023のなす面は垂直とならない。図 3 9 ( b ) のPAC およびPBDを詳しく書いたのが図 4 0 ( a ) ( b ) である。

#### 【 0 1 0 9 】

A は発光素子A 151の存在する点であり、B C D も以下同様である。M は A C と B D 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 4 0 ( 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 0 3 0 】

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

図 4 0 ( a ) ( b ) において視点 P より、線分 A M, M C を見込む角度を  $\theta_1, \theta_2$ 、線分 B M, M D を見込む角度を  $\theta_3, \theta_4$  とすると (数 0 3 1) で与えられる。ここで、R は視点 P から A C と B D の交点 M までの距離、r は発光素子と M までの距離、 $\theta$  は視線ベ

10

20

30

40

50



クトル P M に対する直交面に対して線分 A C、B D がなす角とすると ( 数 0 3 1 ) で与えられる。

【 0 1 1 0 】

【 数 0 3 1 】

$$\begin{aligned}\tan\alpha &= \frac{r\cos\omega}{R - r\sin\omega} \\ \tan\beta &= \frac{r\cos\omega}{R + r\sin\omega} \\ \tan\gamma &= \frac{r\cos\varphi}{R - r\sin\varphi} \\ \tan\delta &= \frac{r\cos\varphi}{R + r\sin\varphi} \\ R &= \frac{r(\tan\alpha + \tan\beta)}{\sqrt{(\tan\alpha - \tan\beta)^2 + 4\tan^2\alpha\tan^2\beta}}\end{aligned}\quad 10$$

または、

$$R = \frac{r(\tan\gamma + \tan\delta)}{\sqrt{(\tan\gamma - \tan\delta)^2 + 4\tan^2\gamma\tan^2\delta}}\quad 20$$

平均をとって

$$\begin{aligned}R &= \frac{1}{2} \left( \frac{r(\tan\alpha + \tan\beta)}{\sqrt{(\tan\alpha - \tan\beta)^2 + 4\tan^2\alpha\tan^2\beta}} + \frac{r(\tan\gamma + \tan\delta)}{\sqrt{(\tan\gamma - \tan\delta)^2 + 4\tan^2\gamma\tan^2\delta}} \right) \\ \sin\omega &= \frac{R \tan\alpha - \tan\beta}{r \tan\alpha + \tan\beta} \\ \sin\varphi &= \frac{R \tan\gamma - \tan\delta}{r \tan\gamma + \tan\delta}\end{aligned}\quad 30$$

【 0 1 1 1 】

一方、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$  は、( 数 0 3 2 ) 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 0 3 2 ) の R、 $\omega$ 、 $\varphi$  は値が確定する。

【数 0 3 2】

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

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

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

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

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

10

なお、 $\rho$  は、視線ベクトル P M 周りの基準座標に対する回転を示す。

(数 0 3 1) では貨物ユニットポート 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 3 9 ( a ) に示すように  $X^*$  軸が水平に対して、 $Y^*$  軸が水平に対して傾いている場合には、 $r$  の替りに  $r \cos \theta$ 、 $r \sin \theta$  を用いればよい。

20

【0 1 1 2】

図 4 0 ( c ) より、深海クレーン 001 の姿勢を表す座標系  $(X_b, Y_b, Z_b)$  で  $P_b$  と目標方位ベクトル 157 の視界座標  $P_t$  の (数 0 3 4) の関係を求めることができる。Pitch, Yaw, Roll の定義は図 2 6 に従う。

【数 0 3 3】

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

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

30

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

(数 0 3 3) の回転のクオテリオンを  $Q_t$  とすれば (数 0 3 5) となる。

【数 0 3 4】

$$P_t = Q_t P_b Q_t^*$$

【0 1 1 3】

(数 0 3 5) と (数 0 3 0) より (数 0 3 6) が得られ、基準座標 P に対する深海クレーン 001 の姿勢が明らかとなる。

40

【数 0 3 5】

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

(数 0 3 1) (数 0 3 2) より図 4 1 処理ブロック 561 が求まり、(数 0 3 5) 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 0 3 0) より導いた (数 0 3 6) より処理ブロック 563 の深海クレーンの位置 P が求まる。

【数 0 3 6】

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

50

## 【0114】

光学航法 107 の結果、図 3 3 処理ブロック 5 2 3 で運行制御系への指令値計出が行われ、図 2 9 の運行制御系により、深海クレーン 0 0 1 は貨物ユニットポート 023に近接する。処理ブロック 564 は図 4 3 ドッキング用 LED の到達範囲を想定しており、例えば数 m ~ 1 0 m 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 5 6 5 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えを行わない。

## 【0115】

図 4 2 発光素子の識別方式は図 4 1 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 4 2 ( c ) 発光マーカーおよび図 4 2 ( d ) 撮像センサで示す構成であり、図 4 2 ( a ) 処理周期で示すように周期 T L で発光パターン P 0 , P 1 , P 2 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 4 2 ( 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 57 1 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 5 7 2 ~ 5 7 6 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。深海クレーン 0 0 1 はに貨物ユニットポート 023に近接する最終段階で、精密位置制御を行い、空荷の貨物ユニット 007を切り離して、貨物ユニットポート 023に設置し、1 0 ~ 2 0 m 再浮上し、水平移動の後、海底ステーション 018の反対側に位置する積荷を積載した貨物ユニット 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 4 3 , 4 4 , 4 5 を用いて説明する。

## 【0118】

図 4 3 ( a ) はドッキング運用における、クレーンエンジン 005、貨物ユニット 007海底ステーション 018の貨物ユニットポート 023の関係を図示したものである。いま、降下の最終段階で、貨物ユニットポート 023に空荷の貨物ユニット 007を設置する場合を例に説明する。

貨物ユニット 007とクレーンエンジン 005は着脱可能であり、貨物ユニット 007の円周部に装着されている把持体(この例では 4 個)とクレーンエンジン 005下部および貨物ユニットポート 023に設置されている把持子(この例では 4 個)により貨物ユニット 007がクレーンエンジン 005に接続されるか、貨物ユニットポート 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】

貨物ユニット 007の下縁部には図 4 3 ( 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貨物ユニットポート 023の周辺部に図 4 3 ( 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 3 9 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

10

20

30

40

50

光LEDの中央にくるように深海クレーン 001の位置と姿勢を制御する。貨物ユニット 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)は空荷の貨物ユニット007をクレーンエンジン 005が切り離して、貨物ユニットポート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)は貨物ユニット007とクレーンエンジン005をクレーンエンジン005側把持子171と貨物ユニット007の把持体170が接続された状態で貨物ユニットポート023にドッキングする直前を示す。クレーンエンジン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)で貨物ユニットポート023側把持子171が把持体170の下側に貫入すると(g)→(h)でクレーンエンジン005側把持子171のキー機構174を引き抜き、貨物ユニットポート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。貨物ユニット007は貨物ユニットポート023側把持子171に接続された状態となり、クレーンエンジン005と貨物ユニット007が切離された状態となる。(i)はクレーンエンジン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。

貨物ユニット007を切離したクレーンエンジン005を15~20m離昇させ、10~20m水平移動させて反対側の貨物ユニットポート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クレーンエンジン005と海底資源を積載した貨物ユニットポート023上の貨物ユニット007をドッキングさせる。図43で貨物ユニット007が貨物ユニットポート023に接続されている状態でクレーンエンジン005を降下させ、図43(a) AとBをドッキングさせる。クレーンエンジン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、対向する貨物ユニット007上面Bには図43(b) Bに示す発光LEDを配置して、貨物ユニット007切離しのドッキングと同様のドッキング制御を行う。

図43で貨物ユニット007が貨物ユニットポート023に接続されている状態でクレーンエンジン005を降下させ、図43(a) AとBをドッキングさせる。クレーンエンジン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、対向する貨物ユニット007上面Bには図43(b) Bに示す発光LEDを配置して、貨物ユニット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、貨物ユニットポート023に接続されている積荷積載の貨物ユニット007をクレーンエンジン005と接続して、貨物ユニットポート023から切離して、再度離昇するまでの動作を示す。(a)では、貨物ユニット007の把持体170と貨物ユニットポート023側把持子171が接続している。(b)~(d)でクレーンエンジン005側把持子171を把持体170にドッキングさせ、(c)(d)で貨物ユニットポート023側把持子171のキー機構174を引き抜き、貨物ユニットポート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。クレーンエンジン005側把持子171と貨物ユニット007の把持体170が接続する。図45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46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41の処理ブロック560~563の処理と同様の処理を行

10

20

30

40

50

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、クレーンエンジン 005または深海クレーン 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に深海クレーンの制御系全体構成を示したが、制御には深海クレーン 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は深海クレーン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を介して海上母船016の深海クレーン監視制御システム446からの制御指令を受けとる。

深海クレーン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4-8（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7-0（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4-9～図5-8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

深海クレーン 001の構成要素であるクレーンエンジン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4-8（c）処理フロー2は図4-9から図5-8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4-9）

（a）深海クレーン001

前記の、「V 深海クレーン 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、深海クレーン 001が海底ステーション018、海上母船016と配管接続がない状態で独立に行う。深海クレーン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009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）海底ステーション018

深海クレーン001と切り離された状態で水素ガス発生と蓄積を行う。

海底ステーション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4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

10

20

30

40

50

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) 深海クレーン001

深海クレーン001が浮上し海上母船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) 海底ステーション018

深海クレーン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。

10

(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) 深海クレーン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。海上母船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) 海底ステーション018

深海クレーン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。

20

(c) 海上司令船

深海クレーン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) 深海クレーン001

海上母船016のトルエンタンク203よりVs1を経由してPs1によりトルエンを深海クレーン001の液体タンク004区画3にV13, V1, P3経由で注入する。

(b) 海底ステーション018

深海クレーン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

深海クレーン001と接続しトルエンを移送。

30

(5) 下降準備(純水充填) (運用モード5 図53)

(a) 深海クレーン001

海上母船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深海クレーン001の浮力タンク003にV14, V1, P0経由で注入する。

(b) 海底ステーション018

深海クレーン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

深海クレーン001と接続し純水を移送

【0130】

(6) 下降 (運用モード6 図54)

40

(a) 深海クレーン001

深海クレーン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) 海底ステーション018

深海クレーン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。

(7) 資源回収ユニット交換・移動 (運用モード7 図55)

(a) 深海クレーン001

深海クレーン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

50

する。

(b) 海底ステーション018

深海クレーン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) 深海クレーン001

海底ステーション018の浮力タンク003に蓄積された水素ガスを海底ステーション018のV0, P0經由で深海クレーン001のV0, P0經由で深海クレーン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經由でP1により海底ステーション018の液体タンク004区画3に送出する。

(b) 海底ステーション018

深海クレーン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) 深海クレーン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) 海底ステーション018

深海クレーン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海底ステーション

1 制御系

(1) 目的と機能

海底ステーション018は図6の実施例ではクレーンエンジン005の4ユニットを海底ステーションプラットフォーム027で結合したものであり、深海クレーン001の貨物ユニット007の替りに海底ステーションプラットフォーム027、水素ガス発生装置024、海底ブルドーザ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。移動原理は深海クレーン001と同じで、深海クレーン001の複合系としてとらえて制御系を構成する。

【0134】

深海クレーン001との相違点を分析し、パラメタの変更で深海クレーン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

海底ステーション018 図59

深海クレーン001 図24

に示すように、海底ステーション018は、深海クレーン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. 海底ステーションプラットフォーム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。

10

20

30

40

50

e. 重心  $W_s$  202は海底ステーションプラットフォーム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

海底ステーション018 図 6 0

深海クレーン001 図 2 6

とすることで、深海クレーン001と統一的に扱えるようにする。

【0 1 3 5】

(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深海クレーン001と同様に図 6 1 (a) (b) (c) のようになり、動特性を深海クレーン001と統一的に扱えるようにする。

海底ステーション018 図 6 1

深海クレーン001 図 2 5 図 2 7

にすなわち、

a. 深海クレーン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、 $z$ 軸に対して深海クレーン001と同様の位置関係で配置する。

【0 1 3 6】

b. 下部推進面060の推進装置は、海底ステーションプラットフォーム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  $L_{t1}$ 、 $L_{t2}$  とする。

深海クレーン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、深海クレーン001の(数 0 0 1)から(数 0 3 7)はそのまま)海底ステーション018に適用可能となる。

【0 1 3 7】

【数 0 3 7】

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = T_U + T_L$$

$$\text{ただし、} T_U = \begin{bmatrix} T_{Ux} \\ T_{Uy} \\ T_{Uz} \end{bmatrix} = T_U I_b$$

$$T_L = \begin{bmatrix} T_{Lx} \\ T_{Ly} \\ T_{Lz} \end{bmatrix} = T_L I_b$$

$$T = T I_b$$

ここで、 $I_b$ は $T$ の方向を示す単位ベクトルである。



【数 0 3 8】

$$L_{t1}T_U = L_{t2}T_L$$

$$T'_L = \frac{L_{t1}}{L_{t1} + L_{t2}} T + \frac{R}{2}$$

$$T'_U = \frac{L_{t2}}{L_{t1} + L_{t2}} T + \frac{R}{2}$$

【0 1 3 8】

(a) 位置・速度制御

10

a . 1 深度制御

浮上時は構成要素としてクレーンエンジン 0 0 5を用いているので深海クレーン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、クレーンエンジン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底ステーション018の比重を海水と同じ比重を維持しているの  
で、海底ステーション018の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。海底ステーション018の比重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）となるように浮力タンク003に1気圧の水素ガスを充  
填し、推進装置0055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、浮力を維持しつつ海底ステーション018を降下  
させる。

20

【0 1 3 9】

a . 2 移動制御

深海クレーン 0 0 1と同様の制御を行う。

(b) 姿勢制御

深海クレーン 0 0 1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 0 1 8 のクレーン近辺  
への浮上であるため実施要求はない

30

【0 1 4 0】

制御系の構築手順は深海クレーン 0 0 1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

海底ステーション018 図 6 6

深海クレーン001 図 2 9

40

に対比する。

海底ステーション018は下記の a . b . において、深海クレーン001にない制御を行う必要  
があるため、図 6 6 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ステーションプラットフォーム 0  
2 7で統合しているため、

深海クレーン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。

【0 1 4 1】

50

a. 項への対応として、図 6 6 においてクレーンエンジン 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

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

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

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

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

であり、0 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、海底ステーションプラットフォーム 0 2 7 の水平が保てなくなる。海底ステーションプラットフォーム 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。

【 0 1 4 2 】

b. 項への対応としては、水素ガス発生装置 024 を使い、図 7 7 の配管接続で、図 6 6 海底ステーション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 26 8 と、個別のクレーンエンジン 005 対応の弁・ポンプ ( V 0 , P 0 ) 制御系により各クレーンエンジン 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 59 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海底ステーション 018 の深度を制御して浮上することであり、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モル数を増やし、個別のクレーンエンジン 005 対応の弁・ポンプ ( V 0 , P 0 ) 制御系により各クレーンエンジン 005 の浮力タンク 003 内の水素ガスモル数を増加させ、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 により海底ステーション 018 の深度を増加させるという浮上時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

海底ステーション 018 図 6 7

深海クレーン 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モ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 気圧相当のモ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モル数になるように水素ガスモル数を増加させる運用を示している。

【 0 1 4 3 】

3. 航法制御

( 1 ) 構成

航法制御の全容については

海底ステーション 018 図 6 3

深海クレーン 001 図 3 0

に対比する。海底ステーション 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。

海底ステーション 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、深海クレーン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、

海底ステーション018 図 6 4

深海クレーン001 図 3 2

に対比する。航法制御系の内容が深海クレーン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、

海底ステーション018 図 6 5

深海クレーン001 図 3 3

に対比する。深海クレーン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、海底ステーション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。

#### 【 0 1 4 4 】

##### （ 2 ） 慣性航法

慣性航法系の動作については、

海底ステーション018 図 6 9

深海クレーン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、ロールを深海クレーン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、

海底ステーション018 図 6 8

深海クレーン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 台のクレーンエンジンの 0 0 5の頂部と、海底ステーションプラットフォーム 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 ）に記すように深海クレーン001と同様に扱えるため、深海クレーン001と同一の音響航法を利用できる。

##### （ 4 ） 光学航法

海底ステーション018には適用しない。

##### （ 5 ） ドッキング航法

海底ステーション018には適用しない。

#### 【 0 1 4 5 】

##### 4 運用モード制御

深海クレーン 0 0 1との対比は下記である。

海底ステーション018 図 7 0

深海クレーン001 図 4 8

海底ステーション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深海クレーン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。

#### 【 0 1 4 6 】

##### 5 . 流体構成制御

深海クレーン 0 0 1と共通の構成要素であるクレーンエンジン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、

原理は深海クレーン 0 0 1と同一である。

ただし運用が深海クレーン 0 0 1と異なるので図 4 8 に替り図 7 0 を適用する。図 7 0 (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) 海底ステーション018

深海クレーン 0 0 1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。

10

【0147】

(2) 浮上終了 MCH Unload (運用モード 2 図 7 2)

(a) 海底ステーション018

深海クレーン 0 0 1と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

海底ステーション018と接続しMCH移送。

20

(3) 降下準備 (トルエン充填) (運用モード 3 図 7 3)

(a) 海底ステーション18

深海クレーン 0 0 1と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

海底ステーション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 7 4)

(a) 海底ステーション018

深海クレーン 0 0 1と同じ制御を行う。

(b) 海上司令船

海底ステーション018と接続し純水を移送

30

【0148】

(5) 降下中 (運用モード 5 図 7 5)

(a) 海底ステーション018

海底ステーション018は、海底より採集鉱石の替りに海底ステーションプラットフォーム027、水素ガス発生装置024、海底ブルドーザ 019を荷重として浮上しているので、海面で積み下ろす荷重はない。海底ステーション018は、クレーンエンジン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、浮力タンク003に液体を充填すると海底ステーション018は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。

40

海底ステーション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、海底ステーション 0 1 8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 海底ステーション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と異なり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】

50

( 6 ) 海底移動中 ( 運用モード 6 図 7 6 )

( a ) 海底ステーション018

( 1 ) 移動準備として海底ステーション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 ) クレーンエンジン005を密閉状態にして大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 により上昇し、その後、大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 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。

10

図 1 5 ( a ) は通常運転時の状態を示しており、海底ブルドーザ019用のランプウェイ025は展開された状態であり、クレーンエンジン005内の水素ガスは海底ステーション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 ) は移動に備えて海底ブルドーザ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、海底ステーション018の比重を 1 . 0 とする。

海底ステーション018は大型推進装置 2 0 0、中型推進装置 2 0 1 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ステーション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

20

他系と配管接続はなく、独立運用。

【 0 1 5 0 】

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

( a ) 海底ステーション018

海底ステーション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 0 0 9 に導きトルエンに吸収させてMCHに変え、V 1 2 , P 2 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 0 0 3 に注入する。

( b ) 海上司令船

30

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 7 8 )

( a ) 海底ステーション018

水素ガス発生装置 0 2 4 を起動して、浮力タンク003内の水素ガスを増容し海底ステーション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。

40

【 0 1 5 1 】

VI I 水素ガス発生装置

海底ステーション 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 8 0 に示す通りで、本発明の実施例では、海底ステーション 018に4セットのクレーンエンジン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 3 5 1 ~ 3 5 4 が設置される。海底ステーション018の各海中昇降ユニットは図 7 1 ~ 7 8 に示すようにバルブ 6、1 3 ( V 6 , V 1 3 ) 経由でポンプ 4 ( P 4 ) 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 7 9 のクレーンエンジン0 ~ 3 0050 ~ 0053の対応する海中昇降ユニットから調節弁361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ステーション 018の

50

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 361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、海底ステーション制御システム 431の水素ガス発生制御装置インターフェイス464を介して海底ステーション監視制御システム 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7 1～7 8の海中昇降ユニットのバルブ0 (V0) 経由でポンプ0 (P0) 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8 0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8 0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 m<sup>3</sup>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、37m<sup>3</sup>となる。海底ステーション 018としては、水電気分解積層ユニット4000台となるが、海底ステーション 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、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。MIRAI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母船 016より海中電力ケーブルで供給するので、海底ステーション 018、深海クレーン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】

### VIII 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。

海上母船 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または搭載発電機による発電を行えば、

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回収し運搬できるため

エネルギー効率向上が図れ、送電と用地確保の必要性も発生しない。

太陽電池を電源として採用する場合、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 8 1 ( 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 8 1 ( 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。

#### 【 0 1 5 5 】

### 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。

10

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 8 1 ( 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 . 0 5 % 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 2000 kWh / m<sup>2</sup> とされているので 1 日では 5.5 kWh / m<sup>2</sup> となる。

発電効率 10% ( 2 0 2 0 年 ) で 0.55 kWh / m<sup>2</sup> となる。

海底 5 0 0 0 m から日量 1 0 0 0 トン揚収するとすると 500 atm の水素を 1 0 0 0 m<sup>3</sup> 発生する必要がある。所要電力は 2500 MWh であるので、発電面積は 4 . 5 k m<sup>2</sup> となる。

海底 5000 m からの揚収を 1/3 として 1700 m とし、回収鉱石量を 1/4 の 2 5 0 トン / 日に削減すれば、発電面積は 0 . 3 8 k m<sup>2</sup> となる。

20

#### ( 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。

#### 【 0 1 5 6 】

### 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 8 2 ~ 8 9 に示す。なお、洋上太陽光発電装置は海上司令船 0 1 8 に搭載される発電機で代替することができる。

30

#### ( 1 ) 太陽電池の構造

図 8 2 ( a ) に太陽電池の展開状態を示す。海上母船 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。海上母船 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母船 016に連繋される。

図 8 2 ( 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。海上母船 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。

40

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。

#### 【 0 1 5 7 】

50

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、海上母船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母船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り、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420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は固定装置417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用いられる)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(図87)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1m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404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で海上母船016に牽引される(図83(a4))。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

10

20

30

40

50



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。

10

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ートラップ装置 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。位置制御モータードライブ装置 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。

20

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)。

30

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。

40

#### 【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、海上母船016以外は無人であるので、海上母船016ですべての監視制御を行う。

深海クレーンコンソール441は各深海クレーン001の監視制御を各深海クレーン001ごとに

50

設置されている深海クレーン制御システム430を介して行う。

海底ステーションコンソール442は海底ステーション018の監視制御を各海底ステーション018ごとに設置されている海底ステーション制御システム431を介して行う。海底ブルドーザ019は海底ステーションコンソール442より海底ステーション監視制御システム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。海上母船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。

10

## 【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取装置の運用においては、海上母船016より継続的にトルエンと純水と電力を供給して、深海クレーン001より継続的に採集鉱物とMCHを継続的に回収し、さらに、海底ステーション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。

20

(1) 対象海域の海底に海底ステーション018を海上母船016より降下させて着床させる。

(2) 海底ステーション018の比重を海水より大きくして、海底に定位し、海底ブルドーザ019を海底に展開する。

(3) 海上母船016より、深海クレーン001を海底ステーション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深海クレーン001に搭載し、水素ガスを充填して海上母船016に向けて浮上させる。(3)は海底ブルドーザ019が海底ステーション018周辺の鉱物を採集し終わるまで繰り返す)

## 【0163】

(4) 海底ステーション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を海底ステーション018に回収して、海底ステーション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。

30

(5) 上記の(2)(3)(4)の運用は海底ステーション018を海上母船016に回収して保守・整備を行うまで繰り返す。

(6) 海底ステーション018を海底から離床させて海上母船016に回収する。

深海クレーン001と海底ステーション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、深海クレーン001と海底ステーション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。

40

## 【0164】

#### 1.1 略号と諸元の定義

(1) 物理定数は表01(a)に従う。

(2) 深海クレーン001と海底ステーション018の機器重量と寸法は、以下の例では「I 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。

50

深海クレーン 0 0 1 の諸元は表 0 1 ( b ) であり、海底ステーション 0 1 8 の諸元は表 0 1 ( c ) である。

【 0 1 6 5 】

【表 0 1】

(b)		
海中昇降装置 諸元		略号
単位	略号	
浮力タンク+反応器	m3	Vfr
反応器体積	m3	Vr
液体タンク	m3	VI
浮力タンク	m3	Vf
反応器補機重量	ton	Wfr
外壁構造体	ton	Ws
		2.0

(c)		
海底支援装置諸元		略号
単位	略号	
浮力タンク+反応器	m3	
反応器体積	m3	
液体タンク	m3	
浮力タンク	m3	
反応器補機重量	ton	
外壁構造体	ton	
プラットフォーム機構	ton	
水素発生装置	ton	
		56.0

(a)		
定数表		略号
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	18.0153
水素ガス分子量	mh	2.01588
Mol体積	L	22.4
トルエン浮力		0.15354
MCH浮力		0.29870

【 0 1 6 6 】

## 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)  $M_H$

$$\begin{aligned} \text{b. 重量(ton)} \quad W_H &= M_H * m_H \\ \text{c. 体積(m3)} \quad V_H &= (M_H / P) * M_{ol} * 1000 \end{aligned}$$

( 2 ) トルエン

$$\begin{aligned} \text{a. モル数(10E6)} \quad M_T \\ \text{b. 重量(ton)} \quad W_T &= M_T * m_T \\ \text{c. 体積(m3)} \quad V_T &= M_T * m_T / T \end{aligned}$$

【 0 1 6 7 】

( 3 ) MCH

$$\begin{aligned} \text{a. モル数(10E6)} \quad M_M \\ \text{b. 重量(ton)} \quad W_M &= M_M * m_M \\ \text{c. 体積(m3)} \quad V_M &= M_M * m_M / M \end{aligned}$$

10

( 4 ) 純水

$$\begin{aligned} \text{a. モル数(10E6)} \quad M_W \\ \text{b. 重量(ton)} \quad W_W &= M_W * m_W \\ \text{c. 体積(m3)} \quad V_W &= M_W * m_W \end{aligned}$$

【 0 1 6 8 】

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。

20

( 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、 は初期値からの変化分を示す。

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

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

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

反応条件より、

$$M_T = M_H / 3$$

$$M_M = - M_H / 3$$

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

$$F + (X_B + X_L) = M_H (1000 * M_{ol} / P - m_H) + (1 / T - 1) M_T * m_T + (1 / M - 1) M_M * m_M$$

が成り立つ。

40

【 0 1 6 9 】

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

$$F_0 + (X_B + X_L) = M_{H0} (1000 * M_{ol} / P_0 - m_H) + (1 / T - 1) M_{T0} * m_T + (1 / M - 1) M_{M0} * m_M$$

$$F_1 + (X_B + X_L) = (M_{H0} + M_H) (1000 * M_{ol} / (P_0 + P) - m_H)$$

$$+ (1 / T - 1) (M_{T0} + M_T) * m_T$$

$$+ (1 / M - 1) (M_{M0} + M_M) * m_M$$

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。

【 0 1 7 0 】

50

(数 0 3 8)

$$M_H = \left( (1000 * MoI * P * M_{H0}) / (P_0 * (P_0 + P)) + (F_1 - F_0) \right) / \left( (1000 * MoI / (P_0 + P) + m_H) + (1 / T - 1) * m_T / 3 + (1 / M - 1) * m_M / 3 \right)$$

$P_0$ ,  $M_{H0}$  は初期値として与えられ、 $P$  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。

10

【0 1 7 1】

(2) 水電気分解

以下で添え字 0 は初期値、 は初期値からの変化分を示す。

異なる深度の圧力  $P_0$ ,  $P_0 + P$  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。

$$F_0 + (X_B + X_L) = M_{H0} (1000 * MoI / P_0 - m_H) + (1 / T - 1) M_{T0} * m_T + (1 / M - 1) M_{M0} * m_M$$

$$F_1 + (X_B + X_L) = (M_{H0} + M_H) (1000 * MoI / (P_0 + P) - m_H) + (1 / T - 1) (M_{T0} + M_T) * m_T + (1 / M - 1) (M_{M0} + M_M) * m_M$$

20

水の電気分解の反応条件である、

$$M_T = 0$$

$$M_M = 0$$

$$M_W = M_{W0} \quad M_W$$

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

を組み込んで次式を得る。

(数 0 3 9)

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

30

初期値として

(数 0 4 0)

$$M_{H0} = (F_0 + (X_B + X_L) - (1 / T - 1) M_{T0} * m_T - (1 / M - 1) M_{M0} * m_M) / (1000 * MoI / P_0 - m_H)$$

$P_0$ ,  $M_{H0}$  は初期値として与えられ、 $P$  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。

【0 1 7 2】

2. 連続運用の構成

(数 0 3 8) (数 0 3 9) (数 0 4 0) で規定される拘束条件のもとで、1. 連続運用の要件 (1) ~ (6) に従い連続的に深海クレーンと海底ステーションを運用して海底から鉱物を揚収する運用を構成する。図 9 2 ~ 9 4 はこの運用例を図示し、表 0 2 ~ 表 0 9 は対応する数値を示したものである。

40

図 9 2 は海底ステーション 0 1 8の移動先が同一深度の場合 (1500 m - > 1500 m) であり、

図 9 3 は海底ステーション 0 1 8の移動先がより浅い深度である場合 (1500 m - > 1200 m) であり、図 9 4 は海底ステーション 0 1 8の移動先がより深い深度である場合 (1500 m - > 1800 m) である。図 9 2 から図 9 4 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

50

中重量が正であり、重力で着床していることを意味する。海底ステーション 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 - 1.0 X で 深海クレーン 001 の定格負荷荷重相当を表す。深海クレーン 001 への水素ガス充填、鉍石の積載で浮力がそれぞれ約 1.0 X 変動するので、海底ステーション 018 の浮力を - 0.2 X から - 1.5 X (水中重量としては 0.2 X から 1.5 X) 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】

深海クレーン 001 の浮上と 海底ステーション 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、海底ステーション 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 深海クレーン 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 深海クレーン 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、海底ステーション 018 と 海上母船 016 の間を往復し ランデブー & ドッキング (図中、印に I) の期間、海底ステーション 018 の位置にとどまる。

図 92 ~ 94 で 海底ステーション 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) Ph 0 “降下” で海底に着床後は、“移動” の期間 ((6 - U) Ph 5 - U “移動 Up”、(6) Ph 5 “移動” および ((6 - U) Ph 5 - D “移動 Down”) 以外は、(11) Ph 6 “浮上” まで水中重量が正 (負の浮力) の状態で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) Ph 0 ~ (11) Ph 6 までに分割して説明する。

#### 【0174】

##### 2. 1 深海クレーン

図 92 ~ 94 で 深海クレーン 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、海底より鉍石を揚収する。

表 02 は深度 1500 m の海底に対する運用、

表 03 は深度 1200 m の海底に対する運用、

表 04 は深度 1800 m 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) “深海クレーン 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 深海クレーン 001 および 海底ステーション 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、海上母船 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)

深海クレーン 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)

深海クレーン 001 が 海底ステーション 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 海底ステーション 018 に全部移送し、トルエンを一部移送する。

MCHは海底ステーション018の移動時と浮力調整時に蓄積されるので浮上時に深海クレーン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深海クレーン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” | 10 |
| (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200m<sup>3</sup>揚収する運用であり、(h)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200m<sup>3</sup>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)

深海クレーン001は海底の海底ステーション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。深海クレーン001の気体・液体構成は下記に従う。

- |     |     |         |              |            |          |          |
|-----|-----|---------|--------------|------------|----------|----------|
| (a) | 表02 | 深度1500m | 積荷重量100ton   | 通常モード      | “浮上開始”   | >        |
|     |     |         |              |            | “海面到着”   |          |
| (b) | 表02 | 深度1500m | 積荷重量100ton   | MCH回収モード   | “浮上開始”   |          |
|     |     |         |              |            | > “海面到着” |          |
| (c) | 表03 | 深度1200m | 積荷重量100ton   | 通常モード      | “浮上開始”   | >        |
|     |     |         |              |            | “海面到着”   |          |
| (d) | 表03 | 深度1200m | 積荷重量100ton   | MCH回収モード   | “浮上開始”   |          |
|     |     |         |              |            | > “海面到着” | 40       |
| (e) | 表04 | 深度1800m | 積荷重量100ton   | 通常モード      | “浮上開始”   | >        |
|     |     |         |              |            | “海面到着”   |          |
| (f) | 表04 | 深度1800m | 積荷重量100ton   | MCH回収モード   | “浮上開始”   |          |
|     |     |         |              |            | > “海面到着” |          |
| (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”   | > “海面到着” |
| (h) | 表05 | 深度1500m | 積荷重量31.00ton | MCH全回収モード  | “浮上開始”   | > “海面到着” |

(5) 深海クレーン浮上後処理(図中、印にK)

海上母船016に深海クレーン001が到着すると揚収鉱物の積荷とMCHを積降し、運

10

20

30

40

50

用深度に応じて表 0 2 ～ 0 5 の “ 下降開始 ” の液体構成に調節して海底ステーション 0 1 8 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。

【 0 1 7 8 】

【表 0 2 】

海中昇降装置 深度1500m

運転パラメータ			通常モード		下降開始		MCH回収モード	
現在深度	単位	略号	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着
周囲海水圧	m	D	1500.000	0.000	1500.000	0.000	1500.000	0.000
機体総重量	atg	P	1.000	1.000	1.000	1.000	151.000	1.000
荷積部	ton	XB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
精荷重量	ton	XL	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000	0.000
総重量	ton	X	15.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
水中重量	ton	F	0.000	0.000	115.000	115.000	115.000	115.000
純水精留体積(精+)	ton		-15.000	0.000	-15.000	0.000	-15.000	0.000
純水精留体積(精+)	m3		-20.000	44.478	4.000	-33.367	30.000	-58.409
MCH精留体積(精+)	m3		0.000	0.695	0.004	0.673	0.004	0.004
H2モル (10E6)	Mol	Mh	0.000	103.144	98.254	99.780	95.050	95.050
H2体積	m3	Vh	0.000	1.402	0.008	1.356	0.009	0.009
H2重量	ton	Wh	0.000	0.941	0.753	0.522	0.565	0.342
純水モル (10E6)	Mol	Mt	100.000	80.000	55.522	60.000	36.320	36.320
純水体積	m3	Vt	100.000	86.690	69.352	48.132	52.014	31.486
純水重量	ton	Wt	86.690	0.068	0.319	0.293	0.516	0.516
MCHモル (10E6)	Mol	Mm	0.058	7.348	11.348	40.715	37.348	65.757
MCH体積	m3	Vm	0.000	0.058	0.069	0.293	0.293	0.516
MCH重量	ton	Wm	5.658	8.738	31.350	28.758	50.633	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	2.872	2.872	2.873
海水重量	m3	Vws	92.652	5.509	5.509	2.872	2.872	2.873
純水海水体積	m3							
純水使用量体積(-)	m3							
MCH生成量体積(+)	m3							

10

20

【 0 1 7 9 】

【表 0 3 】

海中昇降装置 深度1200m

運転パラメータ			通常モード		下降開始		MCH回収モード	
現在深度	単位	略号	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着
周囲海水圧	m	D	1200.000	0.000	1200.000	0.000	1200.000	0.000
機体総重量	atg	P	1.000	1.000	121.000	1.000	121.000	1.000
荷積部	ton	XB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
精荷重量	ton	XL	0.000	0.000	100.000	0.000	100.000	0.000
総重量	ton	X	15.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
水中重量	ton	F	0.000	0.000	115.000	115.000	115.000	115.000
純水精留体積(精+)	ton		-15.000	0.000	-15.000	0.000	-15.000	0.000
純水精留体積(精+)	m3		-15.000	34.401	-40.000	58.892	-40.000	58.892
MCH精留体積(精+)	m3		0.000	0.552	0.004	0.538	0.004	0.538
H2モル (10E6)	Mol	Mh	0.000	102.189	98.314	99.508	95.734	95.734
H2体積	m3	Vh	0.000	1.113	0.008	1.084	0.009	0.009
H2重量	ton	Wh	0.000	0.941	0.753	0.522	0.565	0.342
純水モル (10E6)	Mol	Mt	100.000	85.000	65.599	60.000	41.108	41.108
純水体積	m3	Vt	100.000	86.690	73.687	56.897	52.014	35.636
純水重量	ton	Wt	86.690	0.068	0.319	0.293	0.516	0.516
MCHモル (10E6)	Mol	Mm	0.058	7.348	11.348	34.624	37.348	60.013
MCH体積	m3	Vm	0.000	0.058	0.069	0.293	0.293	0.516
MCH重量	ton	Wm	5.658	8.738	28.661	28.758	46.210	46.210
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	1.463	1.463	3.145	3.145	3.145
海水重量	m3	Vws	92.652	1.463	1.463	3.145	3.145	3.145
純水海水体積	m3							
純水使用量体積(-)	m3							
MCH生成量体積(+)	m3							

30

40

【 0 1 8 0 】



【表 0 4】

海中昇降装置 深度1800m									
運転パラメータ		下降開始		通常モード		MCH回収モード			
単位	略号	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着		
m	D	0.000	0.000	1800.000	0.000	1800.000	0.000		
atg	P	1.000	1.000	181.000	1.000	181.000	1.000		
ton	XB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000		
ton	X	0.000	0.000	100.000	0.000	100.000	0.000		
ton	XL	0.000	0.000	100.000	100.000	100.000	100.000		
ton	X	15.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000		
ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3		15.000	-15.000	-20.000	49.455	-40.000	68.494		
m3				4.000	-39.337	30.000	-64.185		
Mol	Mh	0.000	0.000	0.836	0.004	0.808	0.004		
m3	Vh	0.000	0.000	103.427	97.544	100.054	94.363		
ton	Wh	0.000	0.008	1.685	0.008	1.530	0.008		
Mol	Mt	0.941	0.753	0.476	0.565	0.565	0.295		
m3	Vt	100.000	80.000	50.545	60.000	31.506	31.506		
ton	Vt	86.690	69.352	43.818	52.014	27.313	27.313		
Mol	Mm	0.058	0.089	0.366	0.293	0.293	0.293		
m3	Vm	7.348	11.348	46.685	37.348	71.533	71.533		
ton	Wm	5.658	8.738	35.947	28.758	55.080	55.080		
Mol	Mw	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3	Vw	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3	Vs	77.652	5.225	5.225	2.598	2.598	2.598		
m3	Vws	92.652	5.225	5.225	2.598	2.598	2.598		
m3					-29.455		-28.494		
m3					35.337		34.185		

10

【 0 1 8 1】

【表 0 5】

海中昇降装置 深度1500m 余剰トルエン 余剰MCH回収運用									
運転パラメータ		下降開始		通常モード		MCH回収モード			
単位	略号	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着	浮上開始	海面到着		
m	D	0.000	0.000	1500.000	0.000	1500.000	0.000		
atg	P	1.000	1.000	151.000	1.000	151.000	1.000		
ton	XB	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000		
ton	X	0.000	0.000	11.620	0.000	0.000	0.000		
ton	XL	0.000	11.620	31.000	31.000	31.000	31.000		
ton	X	15.000	26.620	46.000	46.000	46.000	46.000		
ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3		15.000	-15.000	-100.000	7.348	-40.000	100.000		
m3				4.000	7.348	30.000	-192.652		
Mol	Mh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3	Vh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
ton	Wh	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Mol	Mt	0.941	1.882	1.882	0.000	0.000	0.000		
m3	Vt	100.000	200.000	200.000	0.000	0.000	0.000		
ton	Vt	86.690	173.380	173.380	0.000	0.000	0.000		
Mol	Mm	0.058	0.000	0.000	1.568	1.568	1.568		
m3	Vm	7.348	0.000	0.000	200.000	200.000	200.000		
ton	Wm	5.658	0.000	0.000	154.000	154.000	154.000		
Mol	Mw	0.833	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3	Vw	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3	Vs	77.652	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3	Vws	92.652	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
m3					0.000		0.000		
m3					0.000		0.000		

20

【 0 1 8 2】

## 2. 2 海底ステーション

海底ステーション 0 1 8 の海中での挙動は図 9 2 ~ 9 4 ( 1 ) Ph 0 “ 降下 ” から ( 1 1 ) Ph 6 “ 浮上 ” までを太点線で示す。

( 1 ) Ph 0 “ 降下 ”

図 9 2 ~ 9 4 ( 1 ) Ph 0 “ 降下 ” 部分では海底ステーション 0 1 8 は水分解反応 ( 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。海底ステーション 0 1 8 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、降下中に海底ステーション 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 0 6 において、( 1 ) Ph 0 “ 下降開始 ” の気体・液体構成から ( 1 ) Ph 0 “ 海底到着 ” の気体・液体構成に変化する。

30

50

( 2 ) P h 1 “ 展開 ”

図 9 2 ~ 9 4 ( 2 ) P h 1 “ 展開 ” 部分 ( 図中、 印に A、 D ) に対応する。海底ステーション018は海底着床後、海底ブルドーザ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、海底ブルドーザ019を積下しても海底ステーション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。( M C H が発生 )

表 0 6 ( 1 ) P h 0 の “ 海底到着 ” の気体・液体構成から、( 2 ) P h 1 の “ 浮力削減 ” の気体・液体構成に変化する。図 9 2 ~ 9 4 ( 2 ) P h 1 “ 展開 ” 部分 ( 図中、 印に D ) で海底ブルドーザ019を海底ステーション018より自力走行させて海底に下す。( “ ブルドーザ展開 ” )

表 0 6 ( 2 ) P h 1 の “ ブルドーザ展開 ” で海底ステーション018の総重量が海底ブルドーザ019の分軽くなる。

【 0 1 8 3 】

( 3 ) P h 2 “ 鉱石採集と積載・送出 ( 初回 ) ”

図 9 2 ~ 9 4 ( 3 ) P h 2 “ 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、海底ステーション018の水中重量は海底ブルドーザ019が海底ステーション018に設置された貨物ユニット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の分増大する。

表 0 6 ( 3 ) P h 2 において “ 鉱石積載 ” から “ 深海クレーン到着 ” に、海底ステーション018の状態が移行するが、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貨物ユニット007にクレーンエンジン005がドッキングすることにより深海クレーン001への採集鉱石の積載が行われ、荷重が海底ステーション018から深海クレーン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 ii 印に F の部分では、海底ステーション018に蓄積されている水素ガスを深海クレーン001に充填することにより深海クレーン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、海底ステーション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 9 2 ~ 9 4 ( 3 ) P h 2 では、深海クレーン001に充填する水素ガスは ( 1 ) P h 0 で降下時に発生した水素ガスを使用する点が ( 4 ) P h 3 との相違であり、海底着床後1回目のみの運用である。表 0 6 ( 3 ) P h 2 において “ 到着 ” から “ 水素充填 / 発進 ” までは到着した深海クレーン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。

【 0 1 8 4 】

( 4 ) P h 3 “ 鉱石採集と積載・送出 ( 繰返し ) ”

図 9 2 ~ 9 4 ( 5 ) P h 3 “ 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 ) により海底ステーション018に水素ガスを蓄積する以外は「 ( 3 ) P h 2 “ 鉱石採集と積載・送出 ( 初回 ) ” 」と同一である。深海クレーン001への充填用水素ガスを深海クレーン001到着ごとに供給する必要があることに対応する。( 4 ) P h 3 は海底ステーション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 ) P h 4 “ 移動準備 ” 」へ移行する。海面に浮上して海上母船016に海底ステーション018を収容する場合は、 「 ( 1 0 ) P h 4 “ 浮上準備 ” 」へ移行する。

【 0 1 8 5 】

( 5 ) P h 4 “ 移動準備 ”

図 9 2 ~ 9 4 ( 5 ) P h 4 “ 移動準備 ” 部分 ( 図中、 印に B、 E、 B ) に対応し、 「 ( 2 ) P h 1 “ 展開 ” 」と逆の運用を行う。すなわち、海底ステーション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

10

20

30

40

50

B)、海底ブルドーザ019を自力走行させて、海底ステーション018に搭載収容する(図中、印にE 鉱物収集装置収容)。海底ブルドーザ019を海底ステーション018に搭載すると海底ステーション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ステーション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、“ブルドーザ収容”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。

10

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、海底ステーション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。

20

【0187】

【表 0 6】

海底支援装置 深度1500m 一定深度運用

シークス/No 運用区分	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	
	Pho	Ph1	浮力削減	アト-グ 展開	底石積載	底石積載 /水素発生	底石積載 /水素発生	底石積載 /水素発生	浮力増加	アト-グ 収容
現在深度	0.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000
周囲海水圧	1.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000
フィル-ザ	30.000	30.000	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000
機体総重量	194.000	194.000	194.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000
荷積卸	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000
積荷重量	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000
総重量	194.000	194.000	194.000	164.000	264.000	264.000	264.000	264.000	164.000	194.000
水中重量	0.000	0.000	50.000	20.000	120.000	118.258	120.000	118.258	20.000	50.000
純水積卸体積					15.000		15.000			
H2積卸体積(積+)							-103.144			
バルブ積卸体積(積+)							20.000			
MOH積卸体積(積+)							-4.000			
H2モル(10E6)	0.007	1.144	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.766	1.108
H2体積	167.395	169.686	117.181	117.181	117.181	117.181	117.181	117.181	113.649	164.338
H2重量	0.015	2.306	1.592	1.592	1.592	1.592	1.592	1.592	1.544	2.233
バルブモル(10E6)	1.882	1.882	1.764	1.764	1.764	1.764	1.764	1.764	2.140	2.140
バルブ体積	200.000	200.000	187.460	187.460	187.460	187.460	187.460	187.460	227.460	227.460
バルブ重量	173.380	173.380	162.509	162.509	162.509	162.509	162.509	162.509	197.185	197.185
MOHEd(10E6)	0.000	0.000	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.055	0.055
MOH体積	0.000	0.000	15.044	15.044	15.044	15.044	15.044	15.044	7.044	7.044
MOH重量	0.000	0.000	11.584	11.584	11.584	11.584	11.584	11.584	5.424	5.424
純水モル(10E6)	11.102	9.965	9.965	9.965	9.965	10.798	10.798	10.798	10.240	10.240
純水体積	200.000	179.528	179.528	179.528	179.528	194.528	194.528	194.528	184.476	184.476
純水重量	232.605	250.767	300.787	300.787	300.787	282.313	282.313	282.313	267.371	267.371
海水海水体積	432.605	430.314	480.314	480.314	480.314	567.458	567.458	567.458	451.846	451.846
H2発生量									99.612	50.689
純水使用量体積(-)		-20.472							-12.526	-6.156
バルブ使用量体積(-)										
MOH生成量体積(+)										

【 0 1 8 8 】

【表 07】

海底支援装置 深度1500m 一定深度運用 (続き)											
船名/装置名		(6)		(7)		(8)		(9)		(10)	
		PH5	移動	浮力削減	浮力増大	船体積載	到着	水素充填/発通	到着	水素充填/発通	浮力増加
運転パラメータ		単位	略号	浮力削減	浮力増大	船体積載	到着	水素充填/発通	船体積載	到着	水素充填/発通
現在深度	m	D	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000	1500.000
周囲海水圧	atg	P	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000	151.000
浮力増大	ton		30.000	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000
機体総重量	ton	Wb	184.000	184.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	164.000	194.000
荷積卸	ton		0.000	0.000	0.000	100.000	0.000	-100.000	100.000	0.000	0.000
積荷重量	ton		0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	0.000	100.000	0.000	0.000
総重量	ton	W	184.000	184.000	164.000	264.000	264.000	164.000	264.000	164.000	194.000
水中重量	ton	F	0.000	50.000	20.000	120.000	118.258	120.000	118.258	118.258	20.000
純水精卸体積	m3						15.000	-103.144			
H2精卸体積(精+)	m3										
純水精卸体積(精+)	m3						20.000	-4.000			
MOH精卸体積(精+)	m3										
H2体積	Mol	Mh	1.108	0.754	0.754	0.754	0.754	0.059	0.754	0.742	1.084
H2モル(10E6)	m3	Nh	164.338	111.834	111.834	111.834	111.834	8.690	111.834	110.068	160.756
H2重量	ton		2.233	1.520	1.520	1.520	1.520	0.118	1.520	1.496	2.185
純水モル(10E6)	Mol	Mt	2.140	2.022	2.022	2.022	2.210	2.398	2.210	2.210	2.210
純水モル体積	m3	Vt	227.460	214.921	214.921	214.921	234.921	254.921	234.921	234.921	234.921
純水重量	ton		197.165	186.315	186.315	186.315	203.653	220.991	203.653	203.653	203.653
MOHモル(10E6)	Mol	Mm	0.055	0.173	0.173	0.173	0.142	0.110	0.142	0.142	0.142
MOH体積	m3	Vm	7.044	22.088	22.088	22.088	18.088	14.088	18.088	18.088	18.088
MOH重量	ton	Wm	5.424	17.008	17.008	17.008	13.928	10.848	13.928	13.928	13.928
純水モル(10E6)	Mol	Mw	9.898	9.898	9.898	10.731	10.731	10.036	10.036	10.047	9.706
純水体積	m3	Vw	178.320	178.320	178.320	178.320	183.320	193.320	180.794	180.794	181.008
海水体積	m3	Vs	222.838	272.838	272.838	272.838	241.838	344.981	254.364	255.915	211.382
海水重量	m3	Vws	401.157	451.158	451.158	451.158	435.158	538.301	435.158	436.924	386.235
純水海水体積	m3								103.144	101.378	50.689
H2発生量	m3								-12.526	-12.312	-6.156
純水使用量体積	m3			-12.540							
純水/使用量体積(-)	m3			15.044							
MOH生成量体積(+)	m3										45.771

【 0 1 8 9 】

10

20

30

海底支援装置 深度1500m～>1200m 深度変更運用

運用区分	船名	(6-U)		(6)		浮力削減	7/10-9/展開	(8)		(9)		(10)		(11)
		移動開始	移動Up	PH5	移動			PH2	磁石積載 /水素充填	到着	PH3	PH4	浮力増加	
		移動開始	移動Up	移動	移動	移動開始	移動Up	移動	移動	移動	移動	移動	移動	移動
運搬バラメータ	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
周囲海水圧	atg	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
プルロー	ton		30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
機体総重量	ton	Wb	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000
吊钩重量	ton		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
積込重量	ton		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
総重量	ton	W	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000	194.000
水中重量	ton	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
純水積卸体積	m3													
7/10-9/積卸体積(積+)	m3													
7/10-9/積卸体積(積+)	m3													
MOH積卸体積(積+)	m3													
PEモル(10E6)	Mol	Mh	1.108	0.879	0.879	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.046	0.046	0.057	0.057
PE体積	m3	Nh	164.338	162.719	162.719	110.732	110.732	110.732	110.732	110.732	8.542	8.542	10.561	10.561
PE重量	ton		2.233	1.772	1.772	1.206	1.206	1.206	1.206	1.206	0.093	0.093	0.115	0.115
7/10-9/PE(10E6)	Mol	Mt	2.140	2.064	2.064	1.970	1.970	1.970	1.970	1.970	1.970	1.970	1.970	1.970
7/10-9/体積	m3	Vt	227.460	219.353	219.353	209.403	209.403	209.403	209.403	209.403	229.403	229.403	209.403	209.403
7/10-9/重量	ton	Wt	197.185	190.157	190.157	181.532	181.532	181.532	181.532	181.532	186.870	186.870	181.532	181.532
MOHモル(10E6)	Mol	Mm	0.065	0.132	0.132	0.225	0.225	0.225	0.225	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
MOH体積	m3	Vm	7.044	16.771	16.771	28.707	28.707	28.707	28.707	24.707	24.707	20.707	24.707	24.707
MOH重量	ton	Wm	5.424	12.914	12.914	22.105	22.105	22.105	22.105	19.025	19.025	15.945	19.025	19.025
純水モル(10E6)	Mol	Mw	9.898	9.898	9.898	9.898	9.898	9.898	9.898	10.731	10.731	10.731	10.720	10.720
純水体積	m3	Vw	178.320	178.320	178.320	178.320	178.320	178.320	178.320	193.320	183.375	183.375	193.123	178.365
海水体積	m3	Vs	222.838	222.838	222.838	272.838	272.838	272.838	272.838	261.838	364.027	357.972	362.205	225.312
純水海水体積	m3	Vws	401.157	401.158	401.158	451.158	451.158	451.158	451.158	455.158	557.347	541.347	555.329	403.677
PE発生量	m3		50.689										2.018	151.651
純水使用量体積	m3		-8.156										-0.196	-14.758
7/10-9/使用量体積(-)	m3			-8.108		-9.949								
MOH使用量体積(-)	m3			9.727		11.936								



「(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 ” “ ブルドーザ収容 ” “ 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機の海底ステーション018に対して複数の深海クレーン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。深海クレーン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。深海クレーン001を鉱石の揚収に繰返し使用する場合、深海クレーン001の運用を時間的に区分して、複数の深海クレーン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)。

深海クレーン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)

海面から前記海底ステーションへの移動

(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、海底ステーション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95(b)は深度5000mから揚収の例であり、図95(c)は深度1000m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95(a)の各段階が図95(c)の深度1000mに対比して図95(b)の深度5000mでは長い時間を要する。いずれの場合も海底ステーション018 1機に対して深海クレーン001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1000未満から5000m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

10

20

30

40

50



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。

10

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【 0 1 9 5 】

【図 1】本発明の深海クレーンの構成例を示す図である。

【図 2】本発明の深海クレーン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。

20

【図 6】本発明の海底ステーションの構成例を示す図である。

【図 7】本発明の深海クレーンと海底ステーションの運用を示す図である。

【図 8】本発明の深海クレーンの外部構造を示す図である。

【図 9】本発明の深海クレーンの内部構造を示す図である。

【図 10】本発明のクレーンエンジンの液体タンクの構造を示す図である。

【図 11】本発明のクレーンエンジンの液体タンクの構造を示すもう一つの図である。

【図 12】本発明のクレーンエンジンの水素ガス吸収反応器の構造を示す図である。

【図 13】本発明の深海クレーンの配管系統図である。

【図 14】本発明の海底ステーションの構造を示す図である。

【図 15】本発明の海底ステーションの移動の運用シーケンスを示す図である。

30

【図 16】本発明の海底ステーション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】本発明の海底ステーションの配管系統図である。

【図 18】本発明の海底ステーションの深海クレーン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。

40

【図 24】本発明の深海クレーンの推進装置を示す図である。

【図 25】本発明の深海クレーンの位置・速度動特性を示す図である。

【図 26】本発明の深海クレーンの姿勢動特性（その 1 ）を示す図である。

【図 27】本発明の深海クレーンの姿勢動特性（その 2 ）を示す図である。

【図 28】本発明の深海クレーンの推進装置の制御ベクトルを示す図である。

【図 29】本発明の深海クレーン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】本発明の深海クレーン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】本発明の深海クレーンの制御系全体構成を示す図である。

【図 33】本発明の深海クレーンの航法制御系の動作を示すフローチャートである。

50

- 【図 3 4】本発明の深海クレーンの慣性航法系の動作を示すフローチャートである。
- 【図 3 5】本発明の深海クレーンの音響測距の原理と実現方法を示す図である。
- 【図 3 6】本発明の深海クレーンの音響測距の原理と動作を示す図である。
- 【図 3 7】本発明の深海クレーンの音響航法系の動作を示すフローチャートである。
- 【図 3 8】本発明の深海クレーンの音響測距の原理（その 2）を示す図である。
- 【図 3 9】本発明の深海クレーンの光学測距の原理（1）を示す図である。
- 【図 4 0】本発明の深海クレーンの光学測距の原理（2）を示す図である。
- 【図 4 1】本発明の深海クレーンの光学航法系の動作を示すフローチャートである。
- 【図 4 2】本発明の深海クレーンの発光素子の識別方式を示す図である。
- 【図 4 3】本発明の深海クレーンのドッキング装置の構造を示す図である。 10
- 【図 4 4】本発明の深海クレーンのドッキング装置の把持機構の動作を示す図である。
- 【図 4 5】本発明の深海クレーンのドッキング装置の把持機構の構造を示す図である。
- 【図 4 6】本発明の深海クレーン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 4 7】本発明の深海クレーン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 4 8】本発明の深海クレーン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 4 9】本発明の深海クレーンの浮上時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 0】本発明の深海クレーンの浮上終了水素ガスパージ時の配管接続と運用を示す図である。 20
- 【図 5 1】本発明の深海クレーンの浮上終了 M C H Unload時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 2】本発明の深海クレーンの下降準備（トルエン充填）時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 3】本発明の深海クレーンの下降準備（純水充填）時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 4】本発明の深海クレーンの下降時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 5】本発明の深海クレーンの貨物ユニットの交換・移動時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 6】本発明の深海クレーンの下降後処理（水素ガス充填、純水移送）時の配管接続と運用を示す図である。 30
- 【図 5 7】本発明の深海クレーンの下降後処理（水素ガス充填 純水移送 完）時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 8】本発明の深海クレーンの浮上準備（海水注水 浮力調整完）時の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 5 9】本発明の海底ステーションの姿勢制御推進機構を示す図である。
- 【図 6 0】本発明の海底ステーションの姿勢動特性を示す図である。
- 【図 6 1】本発明の海底ステーションの位置・速度動特性を示す図である。
- 【図 6 2】本発明の海底ステーションの推進装置の制御ベクトルを示す図である。
- 【図 6 3】本発明の海底ステーションの航法制御の全容を示す図である。 40
- 【図 6 4】本発明の海底ステーションの制御系全体構成を示す図である。
- 【図 6 5】本発明の海底ステーションの航法制御系の動作を示すフローチャートである。
- 【図 6 6】本発明の海底ステーションの制御系のブロックダイアグラムを示す図である。
- 【図 6 7】本発明の海底ステーションの降下時の浮力制御の特性を示す図である。
- 【図 6 8】本発明の海底ステーションの音響航法の原理と実現方法を示す図である。
- 【図 6 9】本発明の海底ステーションの慣性航法系の動作を示すフローチャートである。
- 【図 7 0】本発明の海底ステーション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 7 1】本発明の海底ステーションの浮上中の配管接続と運用を示す図である。
- 【図 7 2】本発明の海底ステーションの浮上終了時の M C H Unloadの配管接続と運用を示す図である。 50

示す図である。

【図 7 3】本発明の海底ステーションの降下準備（トルエン充填）の配管接続と運用を示す図である。

【図 7 4】本発明の海底ステーションの降下準備（純水充填）の配管接続と運用を示す図である。

【図 7 5】本発明の海底ステーションの降下中の配管接続と運用を示す図である。

【図 7 6】本発明の海底ステーションの海底移動の配管接続と運用を示す図である。

【図 7 7】本発明の海底ステーションの下降後 浮力削減処理（水素ガス吸収）の配管接続と運用を示す図である。

【図 7 8】本発明の海底ステーションの浮上準備（浮力増加）時の配管接続と運用を示す図である。

10

【図 7 9】本発明の海底ステーションの水素発生装置の構造を示す図である。

【図 8 0】本発明の海底ステーション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 8 1】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 8 2】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 8 3】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 8 4】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。

20

【図 8 5】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 8 6】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 8 7】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 8 8】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 8 9】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。

30

【図 9 0】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 9 1】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 9 2】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 9 3】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 9 4】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 9 5】本発明の海底資源採集装置の複数の深海クレーンによる並列運用を示す図である。。

40

【符号の説明】

【 0 1 9 6 】

001 深海クレーン

002 仕切り壁

003 浮力タンク

004 液体タンク

005 クレーンエンジン

0050 クレーンエンジン 0

0051 クレーンエンジン 1

0052 クレーンエンジン 2

50

0053	<u>クレーンエンジン</u> 3	
006	機器室	
007	<u>貨物ユニット</u>	
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	M C H (メチルシクロヘキサン)	
014	純水	10
015	海水	
016	<u>海上母船</u>	
017	運搬船	
018	<u>海底ステーション</u>	
019	<u>海底ブルドーザ</u>	
020	電源信号ケーブル	
021	海面	
022	海底	
023	<u>貨物ユニットポート</u>	
024	水素ガス発生装置	20
025	ランブウェイ	
026	着床用脚	
027	<u>海底ステーションプラットフォーム</u>	
028	<u>海底ブルドーザ輸送ポート</u>	
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	30
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	40
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Lg	
050	浮力F	
051	浮力の中心C	
052	重力W	
053	重心G	
054	推力方向	50

055	推進装置	
056	スクリュウ	
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 Lt	
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 $T_L$	10
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	深海クレーン中心軸	
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	20
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	30
098	下部推進面合成推力	
	【 0 1 9 7 】	
100	深海クレーンポート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	40
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	深海クレーン動特性	50

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	10
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	20
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	30
170	把持体	
171	把持子	
172	<u>クレーンエンジン005側</u> 把持子	
173	<u>貨物ユニットポート023側</u> 把持子	
174	キー機構	
175	回転機構	
176	支持機構	
177	嵌合部	
	【 0 1 9 8 】	
200	大型推進装置	40
201	中型推進装置	
202	<u>海底ステーション</u> 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	統括制御	
255	統括制御	
256	緊急制御系	50

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	10
267	H <sub>2</sub> 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	
	【 0 1 9 9 】	
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	20
305	純水タンク	
306	鉱石船倉	
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	
310	発電機	
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	30
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	40
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	50

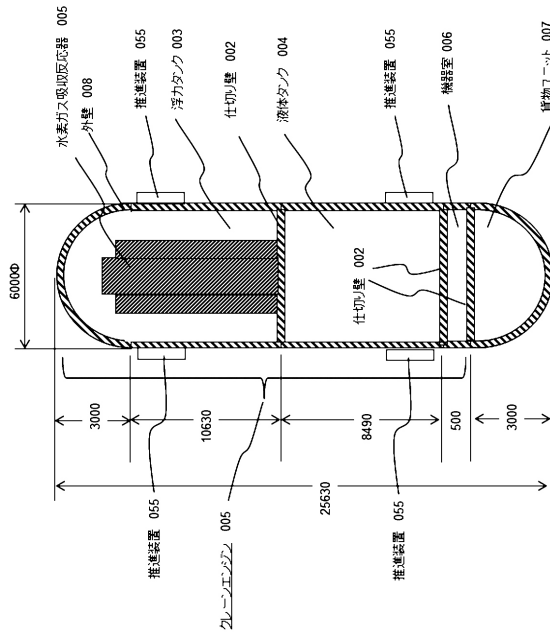
394	牽引クレードル把持アーム駆動機構	
395	太陽電池ストリップ終端棒把持アーム	
396	太陽電池ストリップ終端棒把持アーム駆動機構	
397	集電ケーブル	
	【 0 2 0 0 】	
400	太陽電池フィルム	
401	太陽電池ストリップ	
402	保護膜	
403	牽引索	
404	自走式太陽電池展開装置	10
405	マイクロインバータ	
406	ACケーブル	
407	発泡プラスチック	
408	ジッパージョイント	
409	乗り上げ防止フィン	
410	海流	
411	牽引クレードル	
412		
413	中心コア	
414	巻取ホイール	20
415	回転ドラム	
416	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ドライブ装置	
424	回転軸受	30
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	深海クレーン制御システム	
431	海底ステーション制御システム	
432	電源装置制御システム	
440	総合監視制御コンソール	
441	深海クレーンコンソール	40
442	海底ステーションコンソール	
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	深海クレーン監視制御システム	
447	深海クレーン制御指令/状態データ	
448	海底ステーション監視制御システム	
449	海底ステーション制御指令/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	50



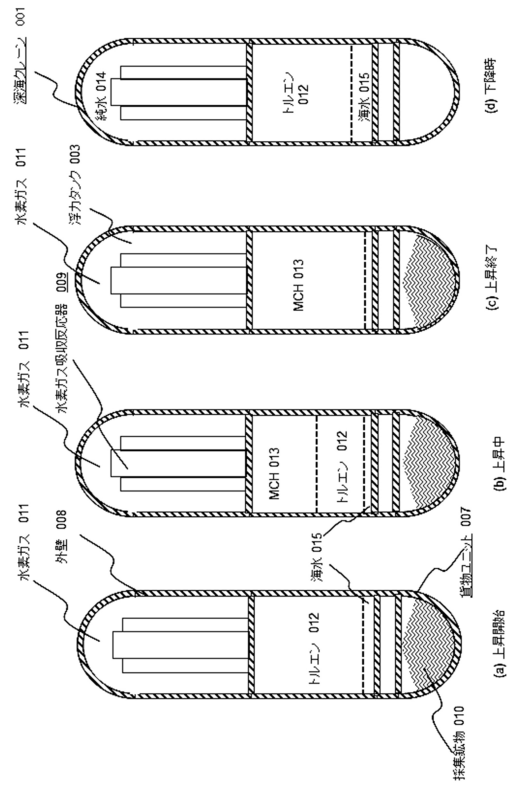
453	光インターフェイス	
454	演算装置	
455	航法センサ	
456	音響測距装置	
457	光学測距装置	
458	光学マーカー制御装置	
459	反応制御装置	
460	弁・ポンプ制御装置	
461	推進装置制御装置	
462	鉱物収集装置インターフェイス	10
463	反応制御装置	
464	水素発生制御装置	
465	展開制御装置	
466	電源制御装置	
467	太陽電池ストリップ展開制御システム	
470	発電機	
471	電源制御盤	
472	昇圧制御盤	
473	海中電源ケーブル	
474	降圧交直変換分電盤	20
475	水素吸収反応装置	
476	推進装置	
477	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	30
485	<u>分電盤</u>	

500 ~ 721 処理ブロック

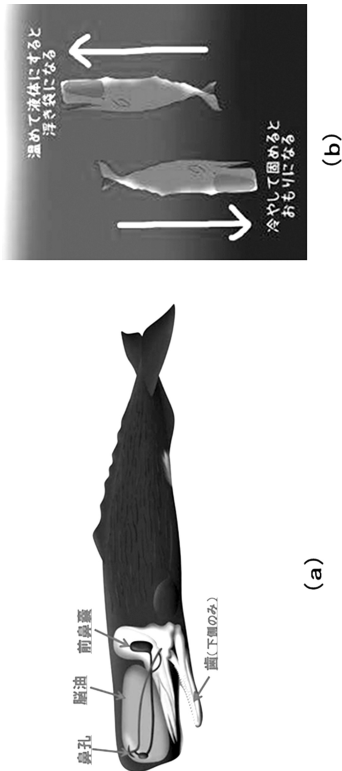
【 図 1 】



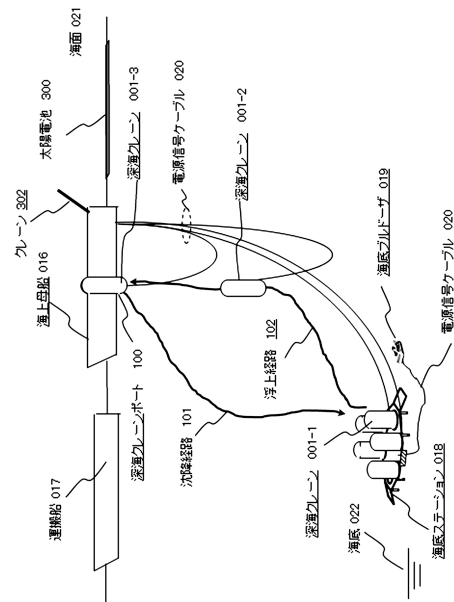
【 図 2 】



【 図 3 】

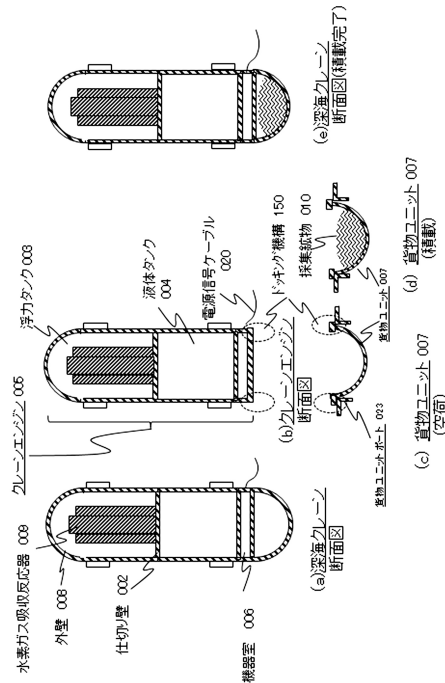


【 図 4 】

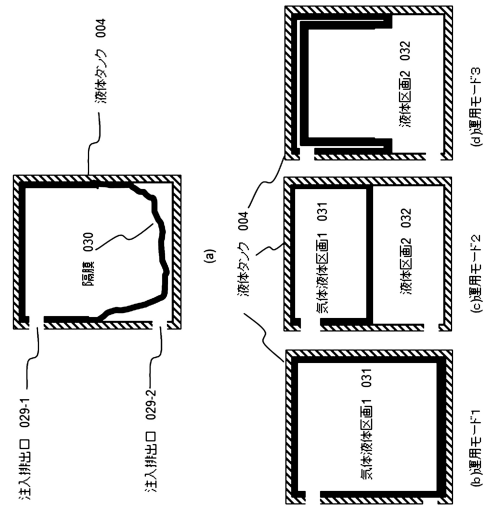




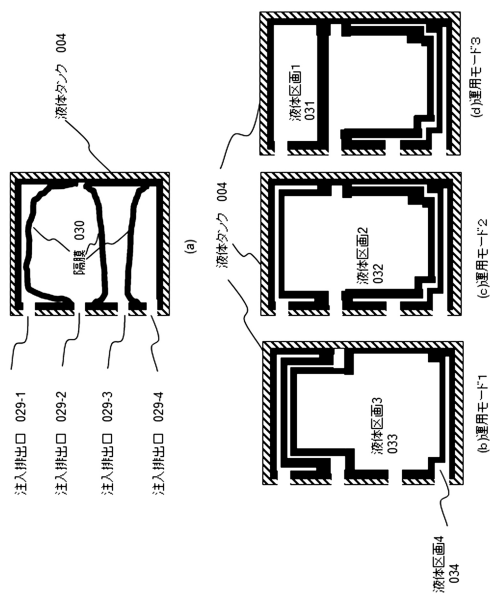
【 図 9 】



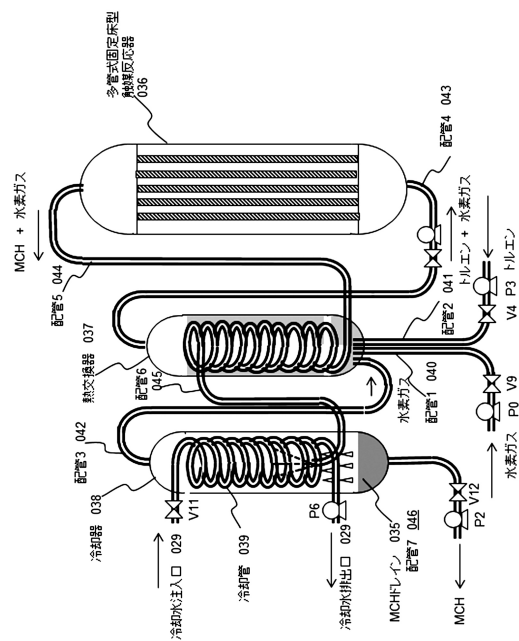
【 図 1 0 】



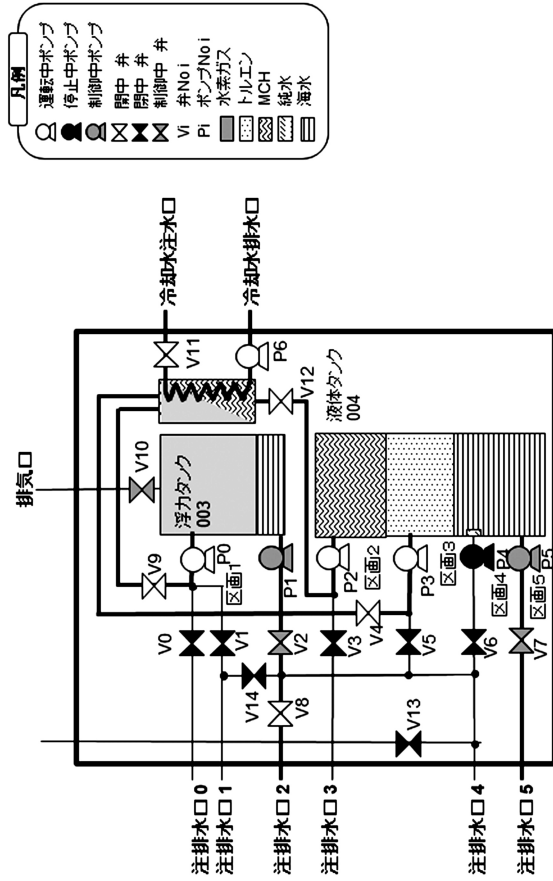
【 図 1 1 】



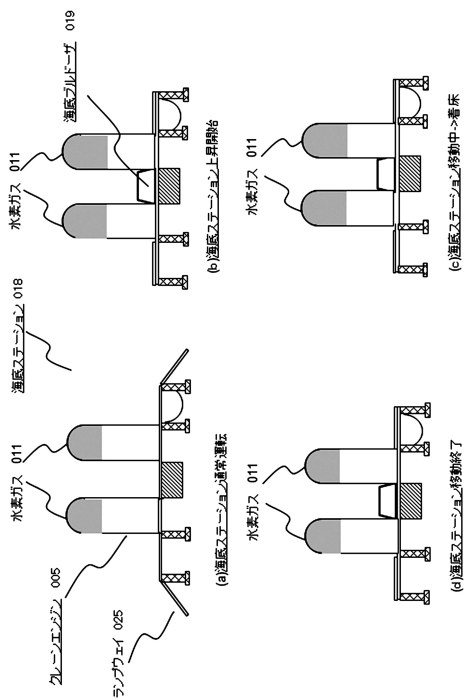
【 図 1 2 】



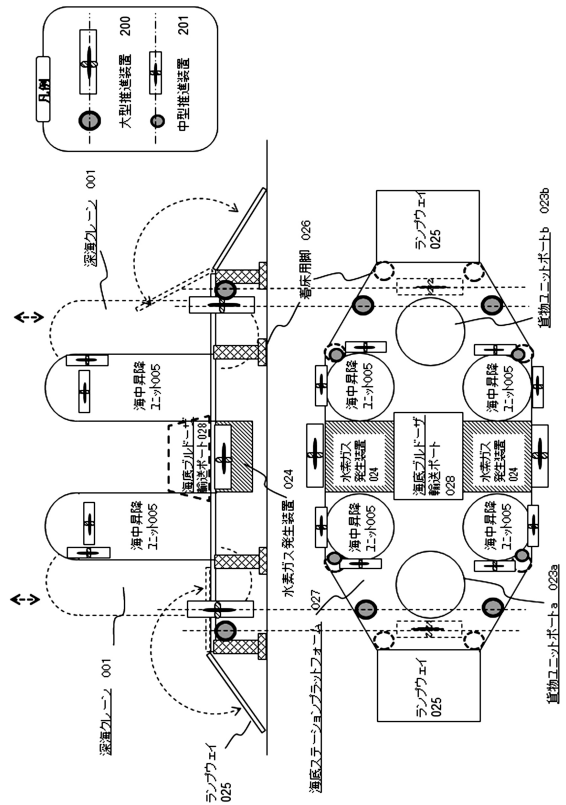
【図 13】



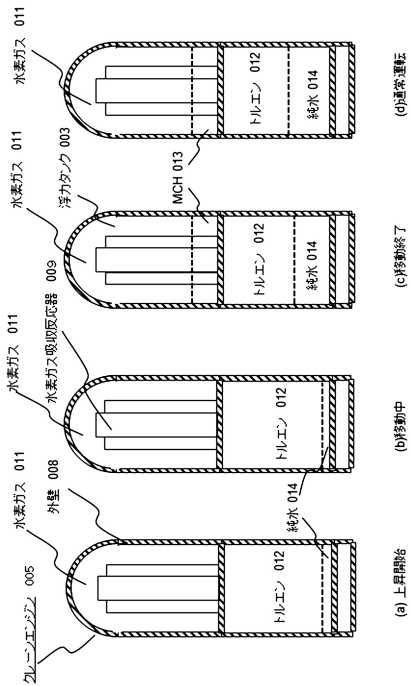
【図 15】



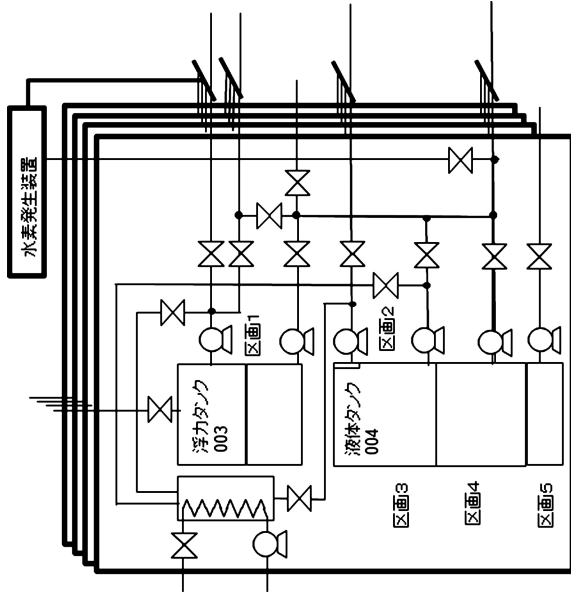
【図 14】



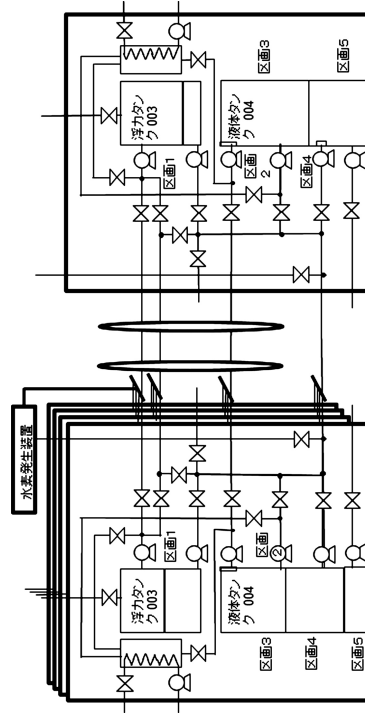
【図 16】



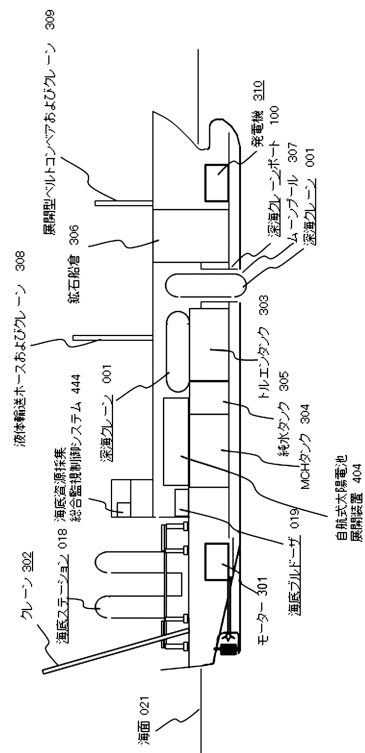
【図 17】



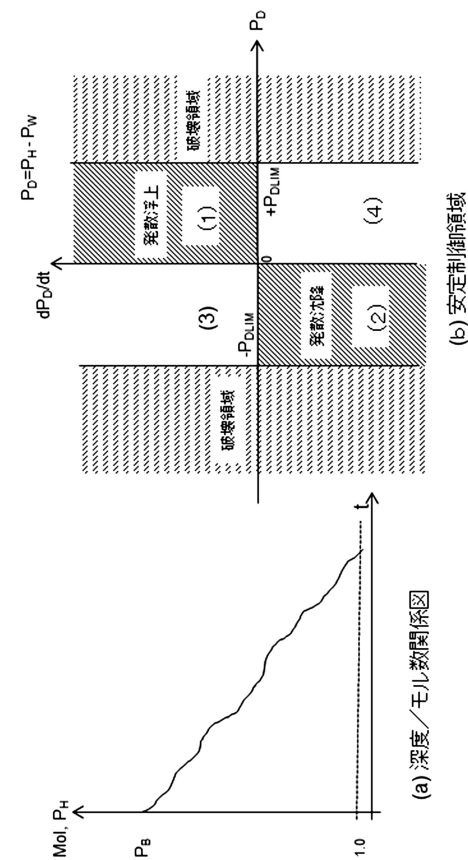
【図 18】



【図 19】



【図 20】

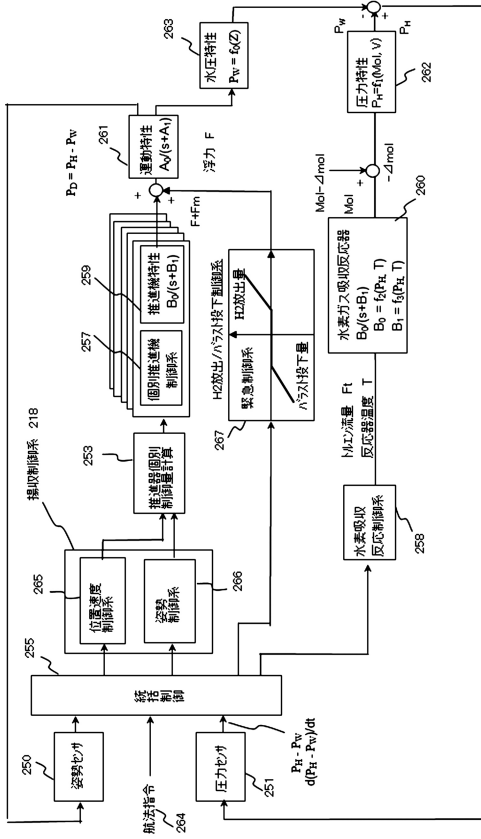




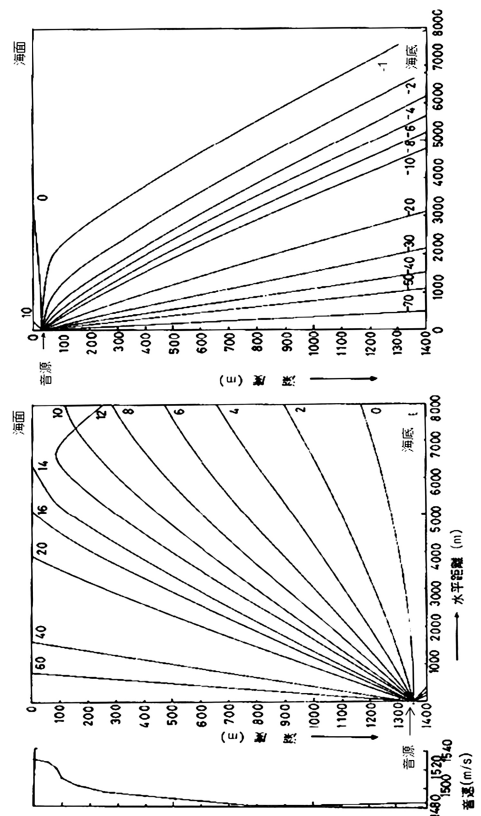




【図 29】



【図 31】

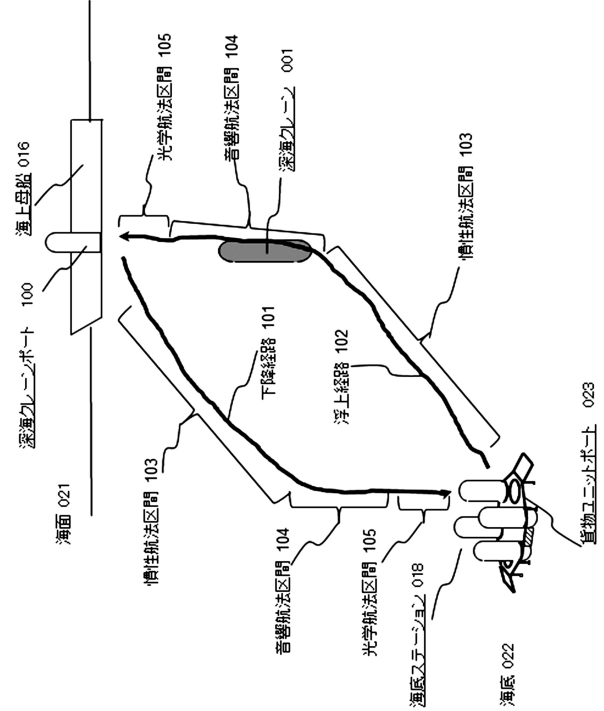


(c) 音線図2

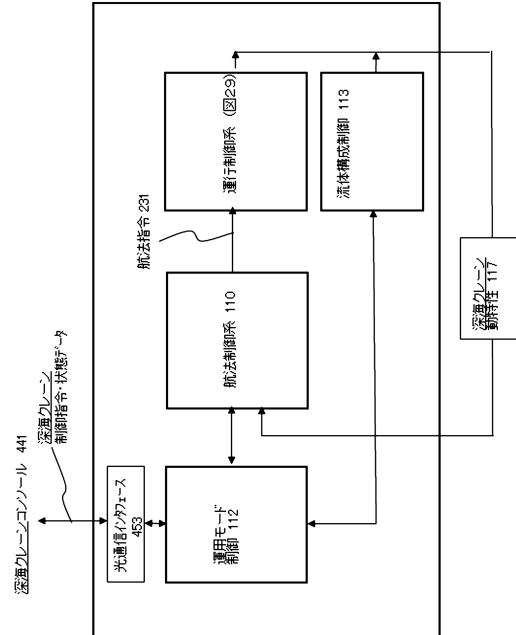
(b) 音線図1

(a) 深度別音速分布

【図 30】

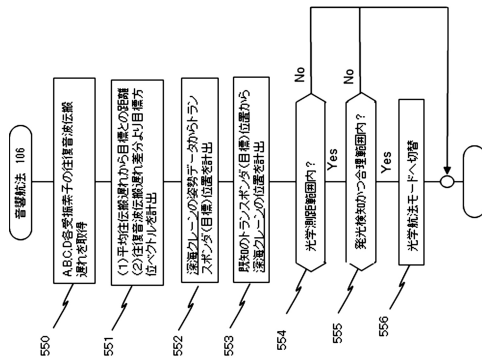


【図 32】

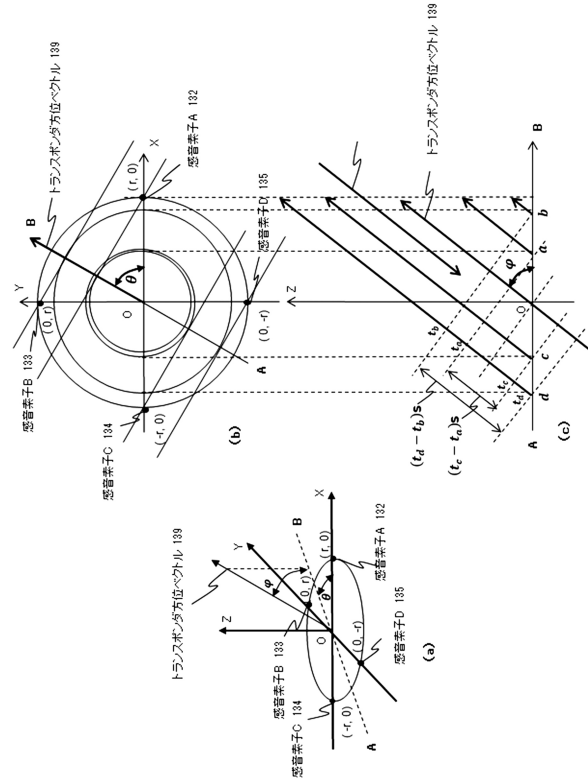




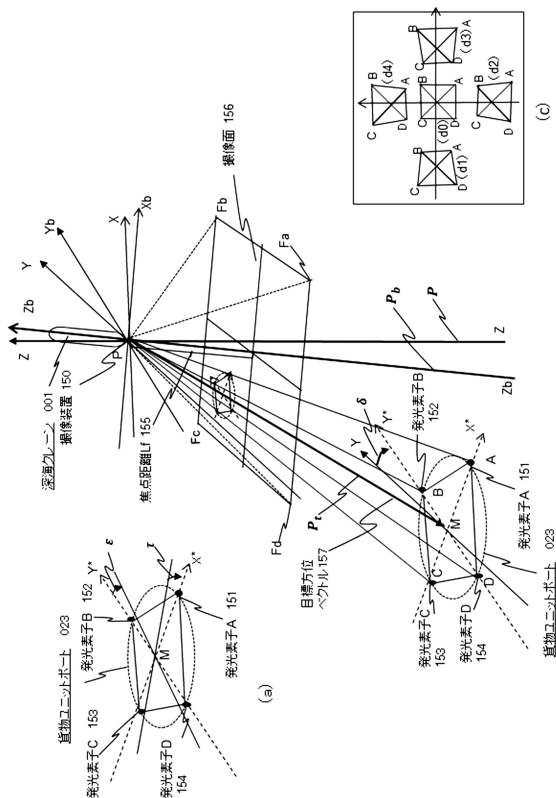
【 図 3 7 】



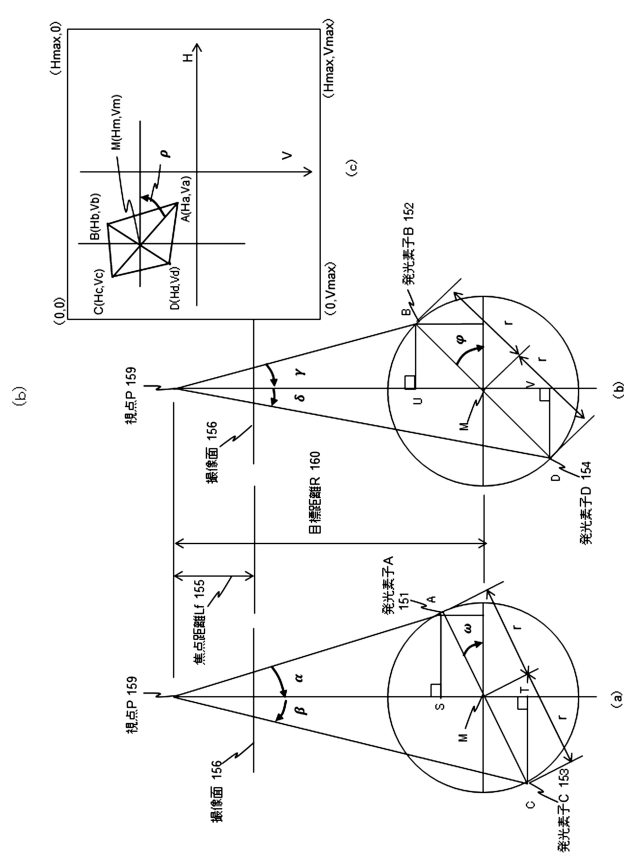
【 図 3 8 】



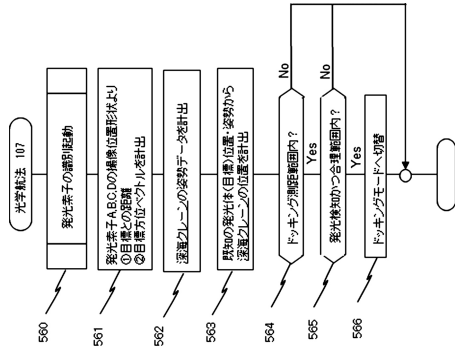
【 図 3 9 】



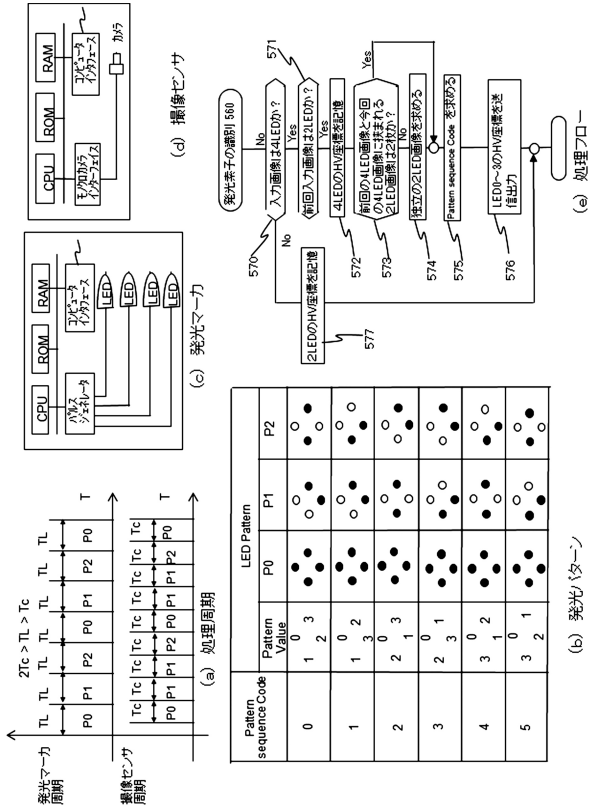
【 図 4 0 】



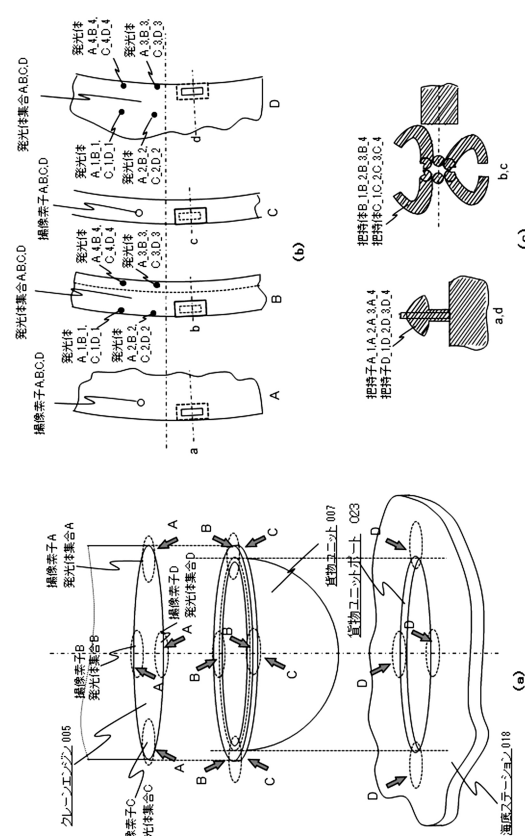
【図 4 1】



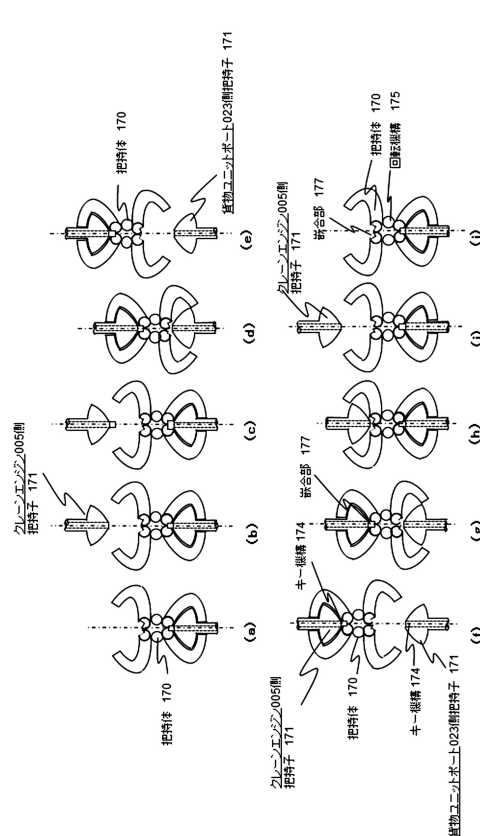
【図 4 2】



【図 4 3】

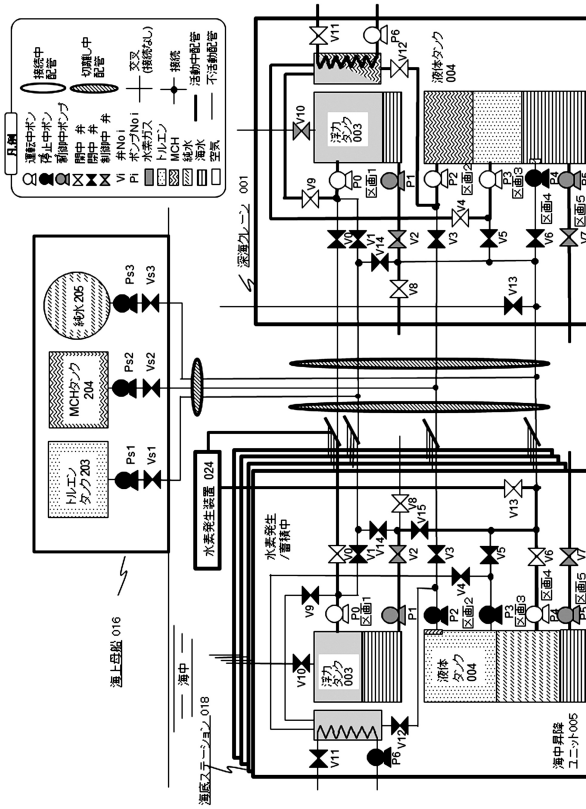


【図 4 4】

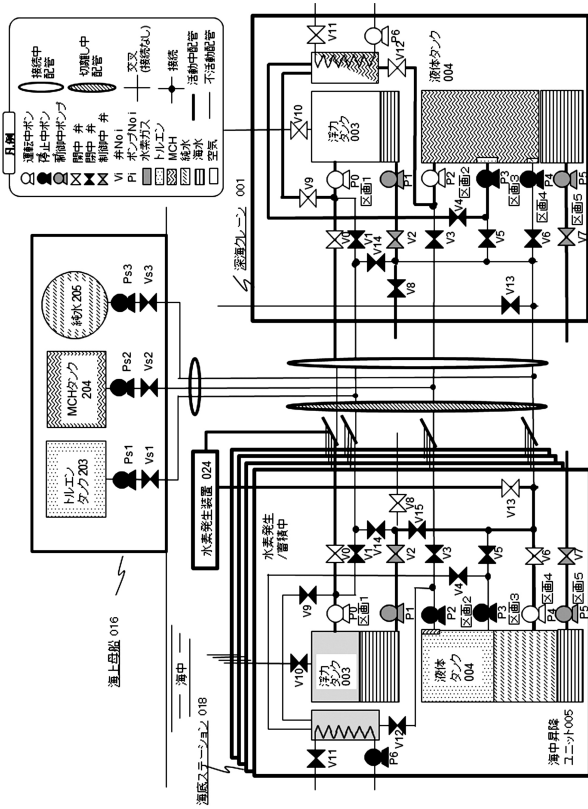




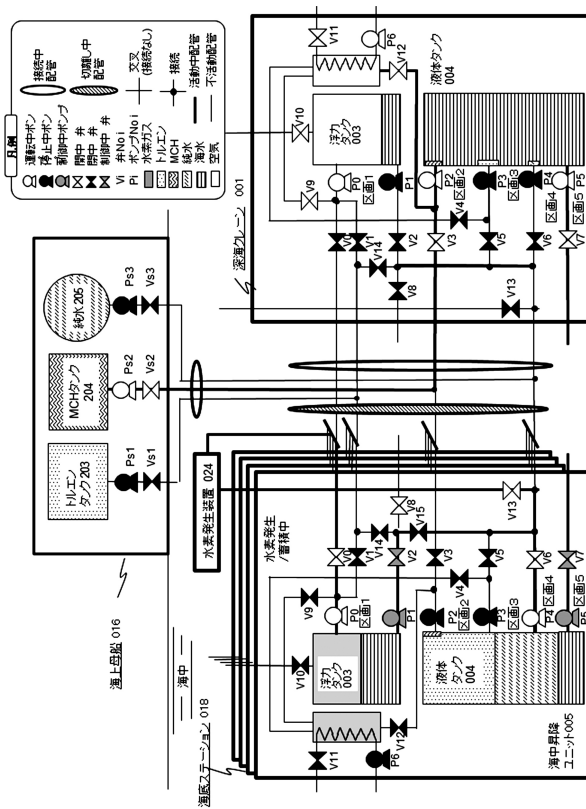
【図 49】



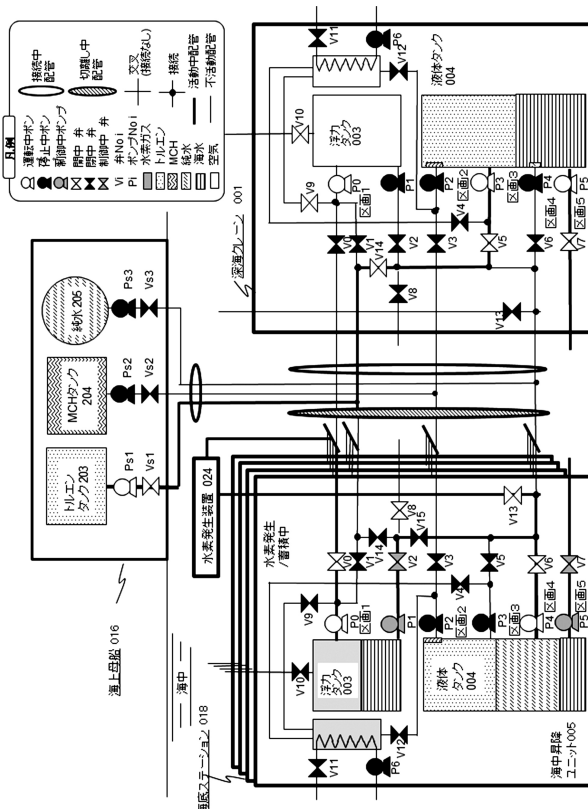
【図 50】



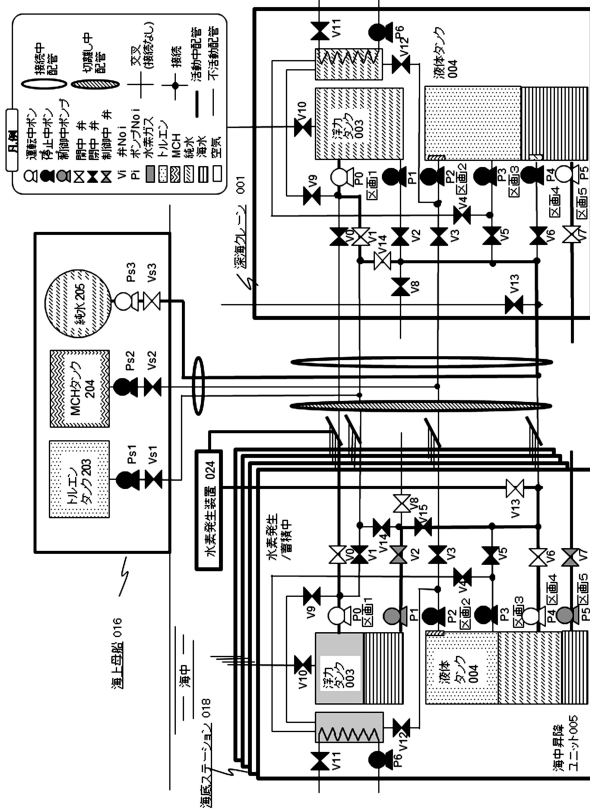
【図 51】



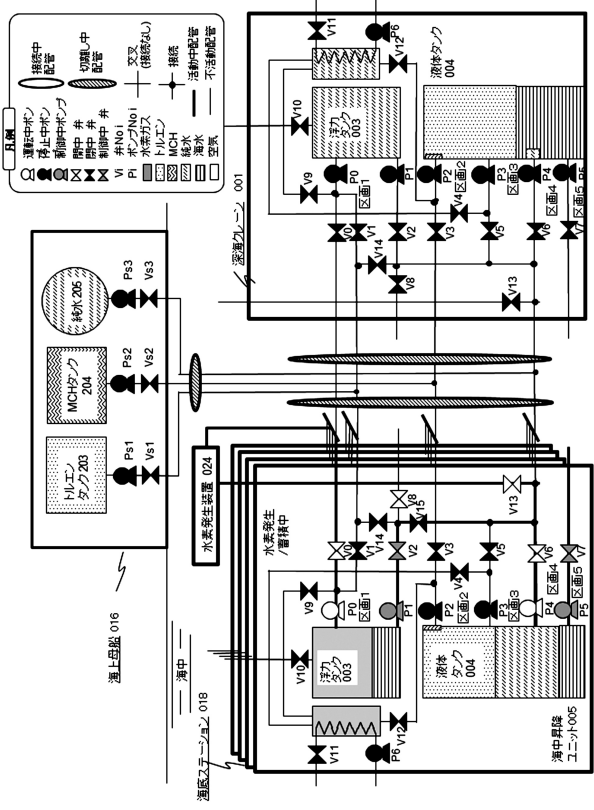
【図 52】



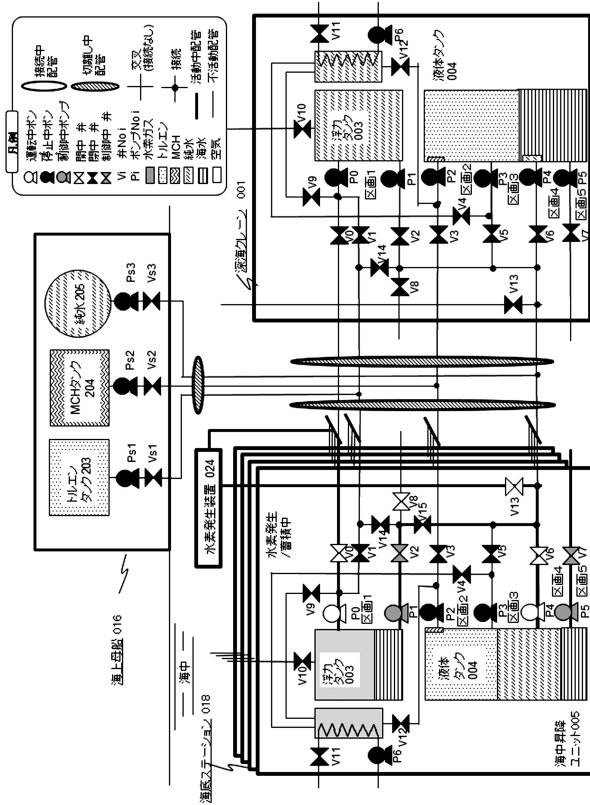
【図 53】



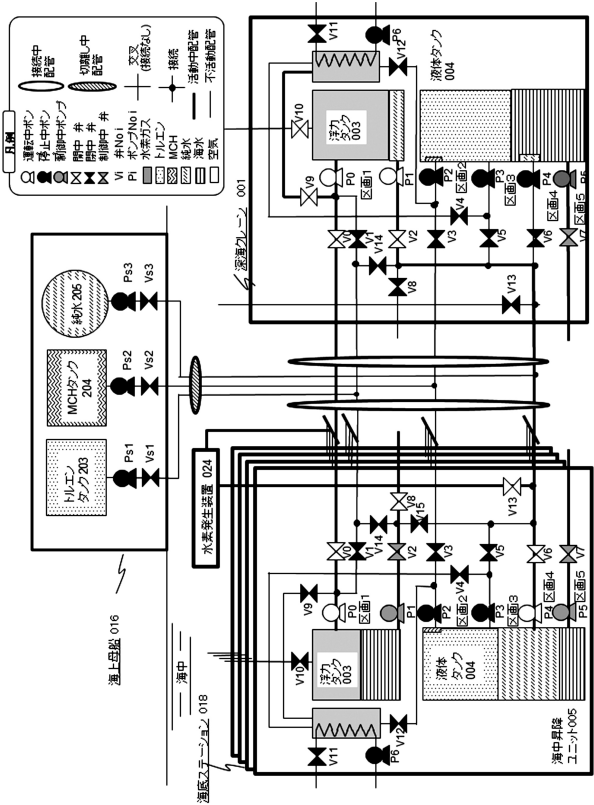
【図 54】



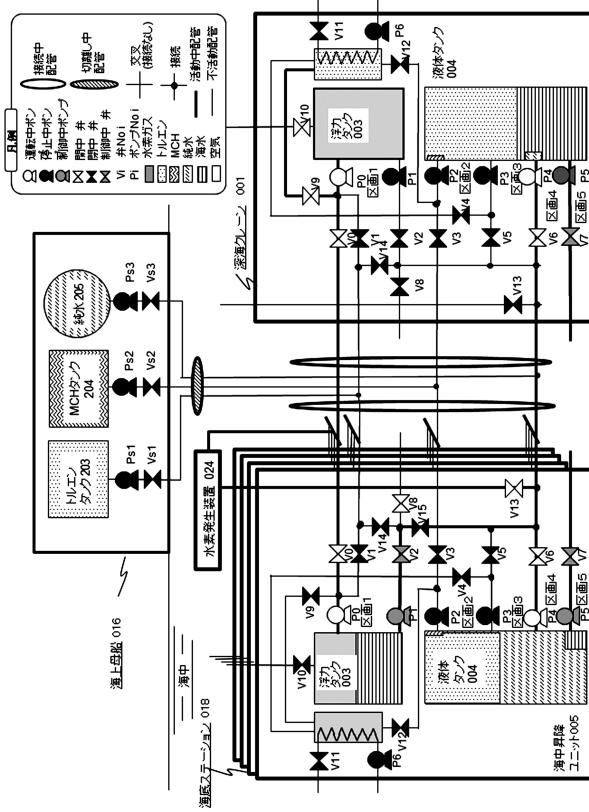
【図 55】



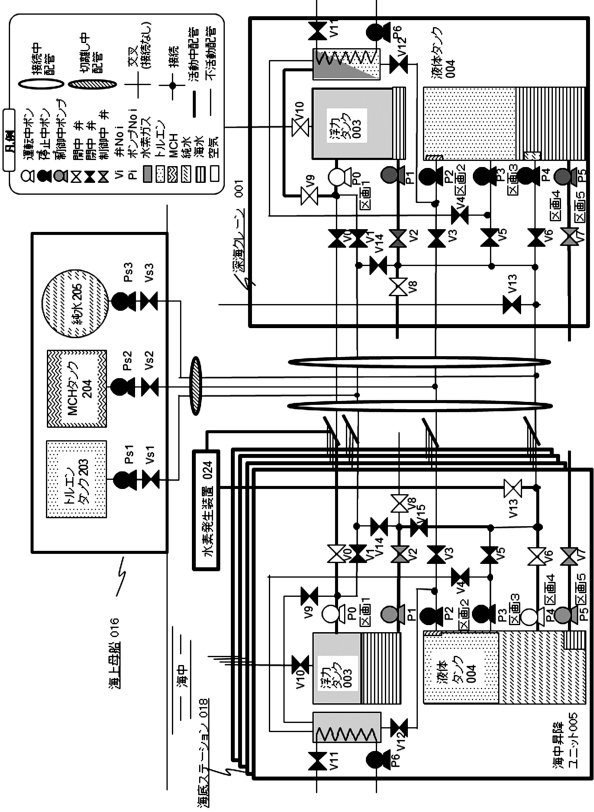
【図 56】



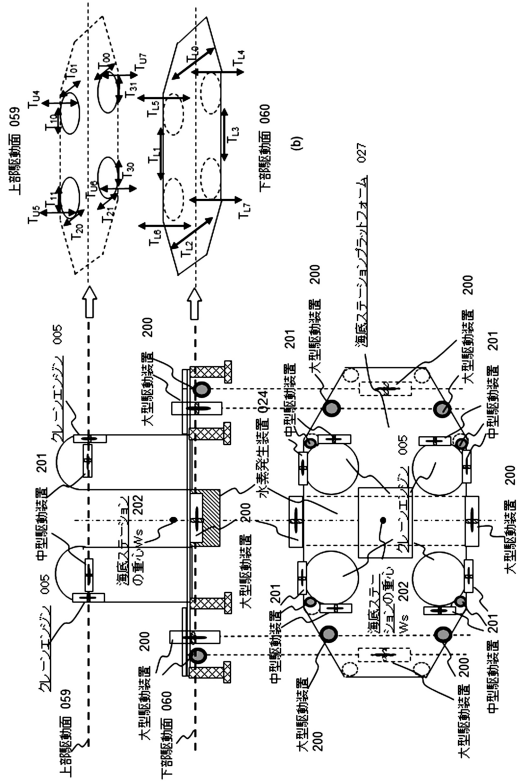
【図 57】



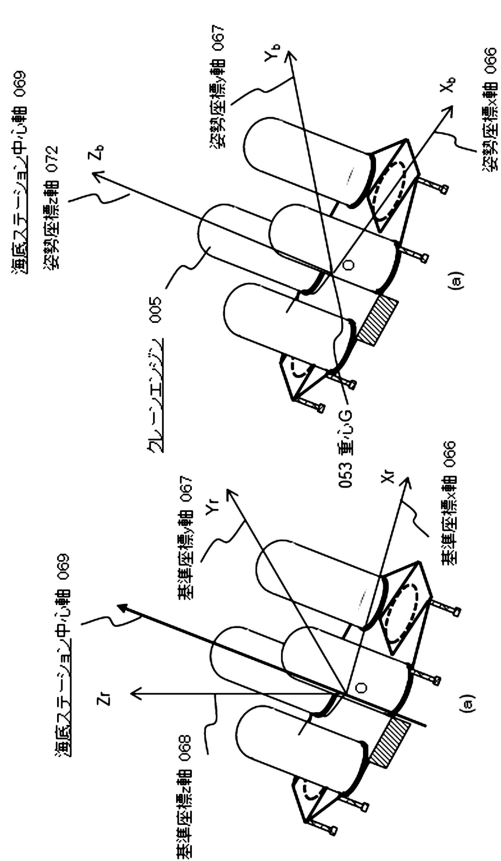
【図 58】



【図 59】

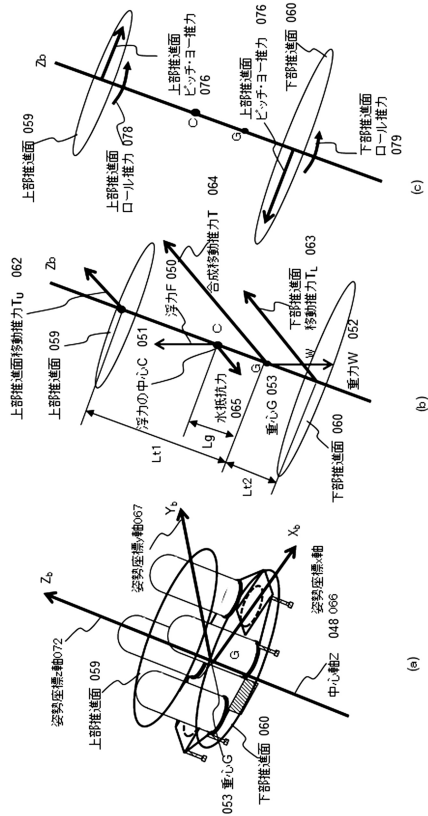


【図 60】

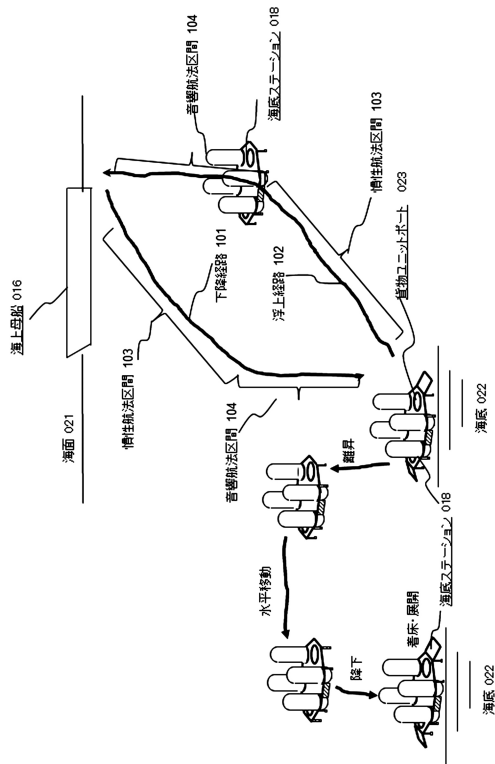




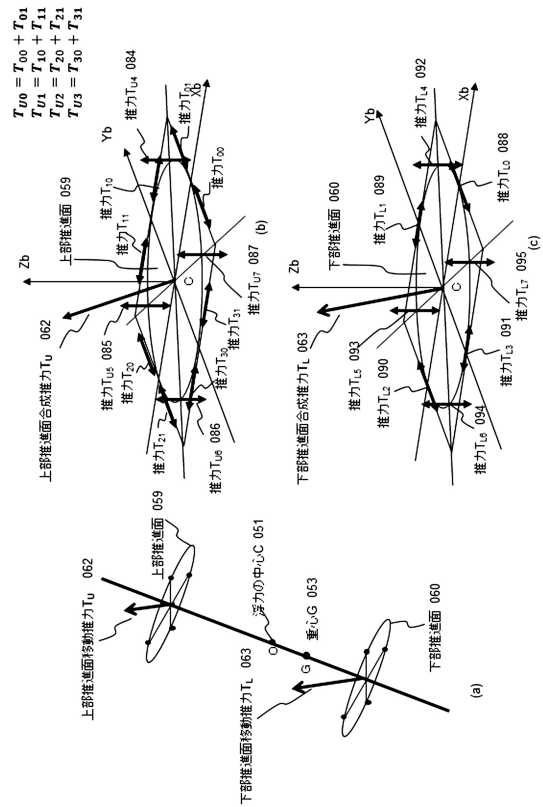
【 図 6 1 】



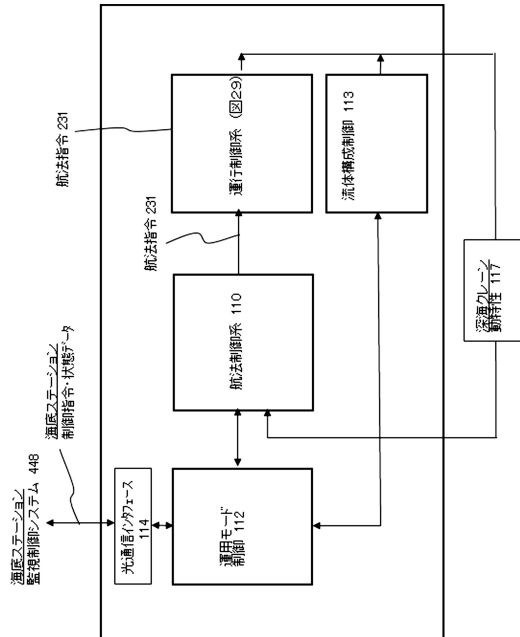
【 図 6 3 】



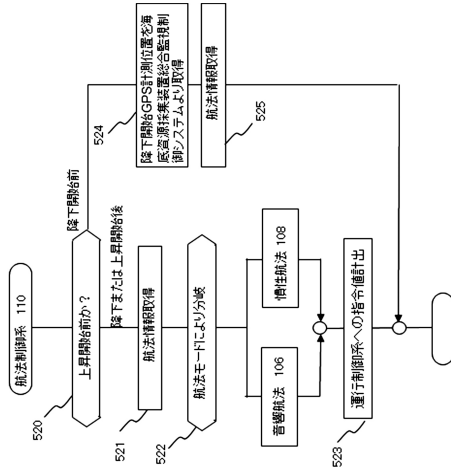
【 図 6 2 】



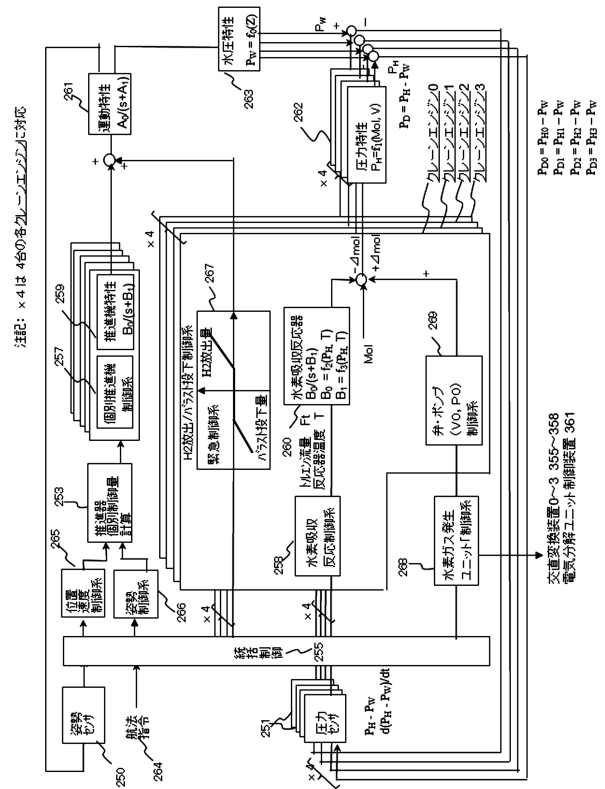
【 図 6 4 】



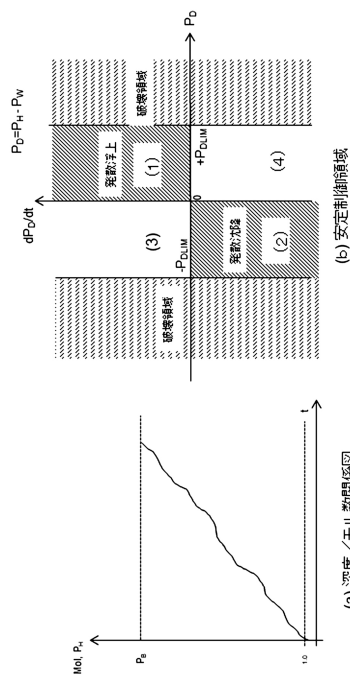
【 図 6 5 】



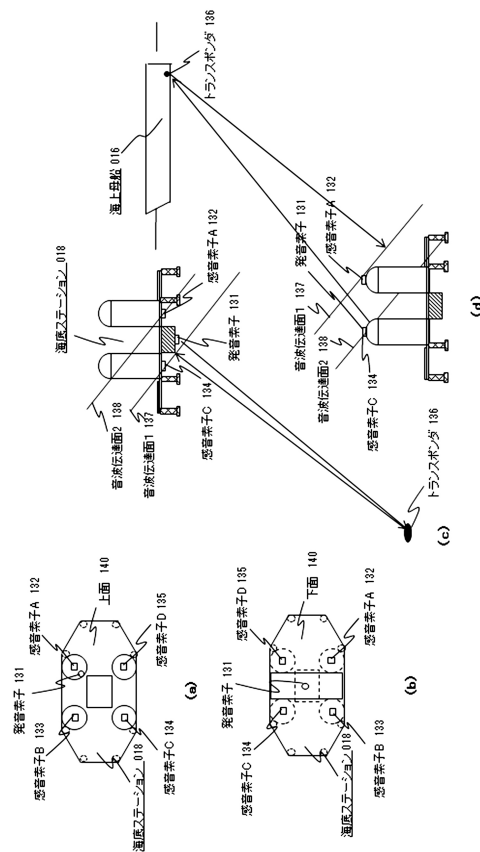
【 図 6 6 】



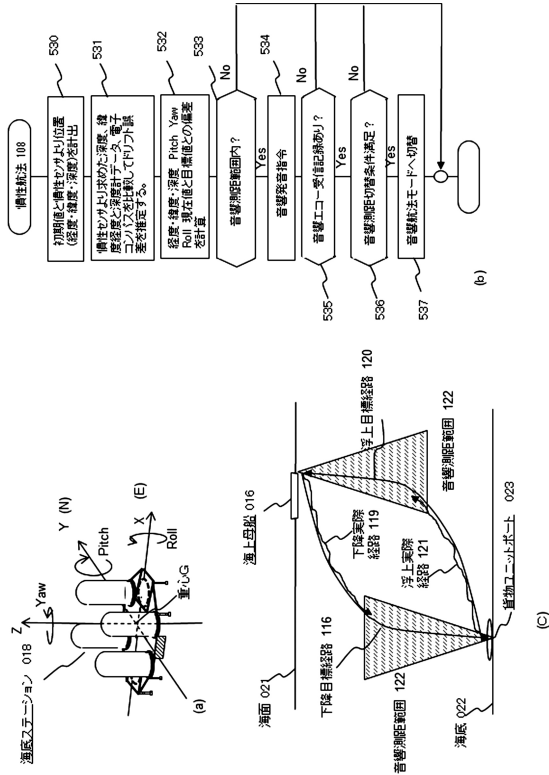
【 図 6 7 】



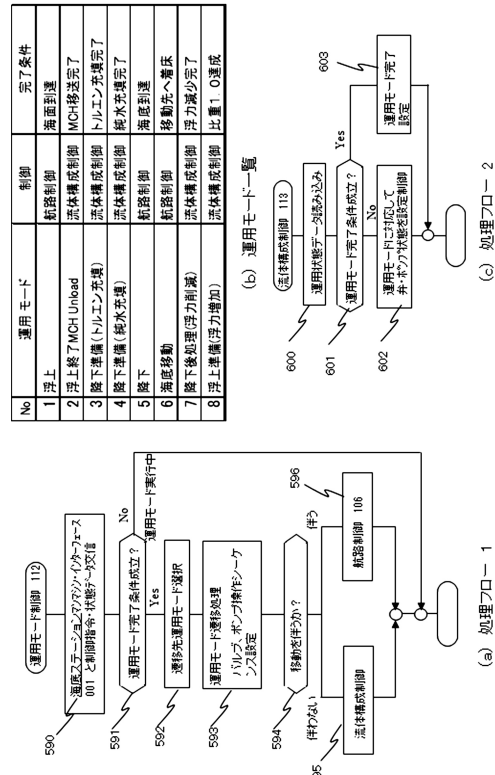
【 図 6 8 】



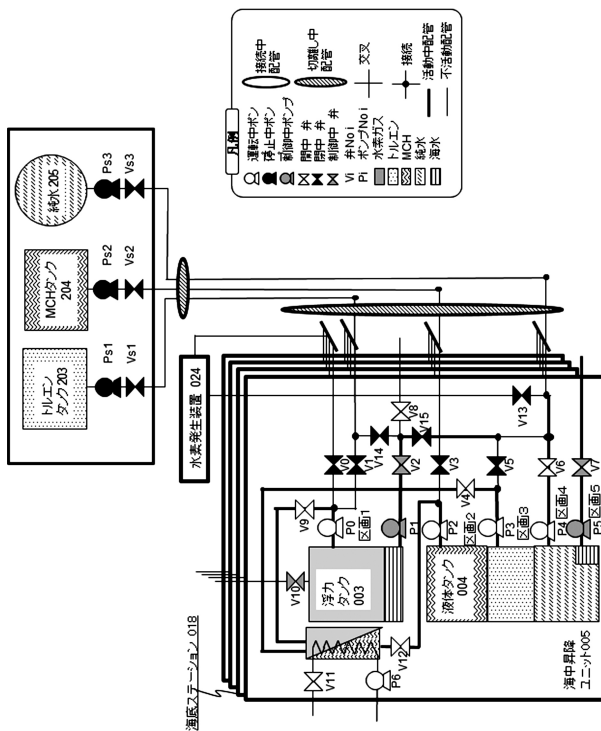
【図 69】



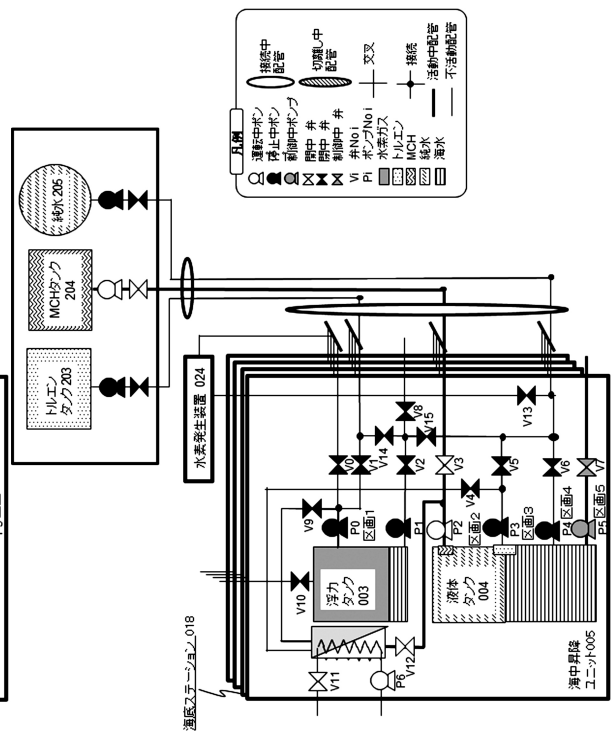
【図 70】



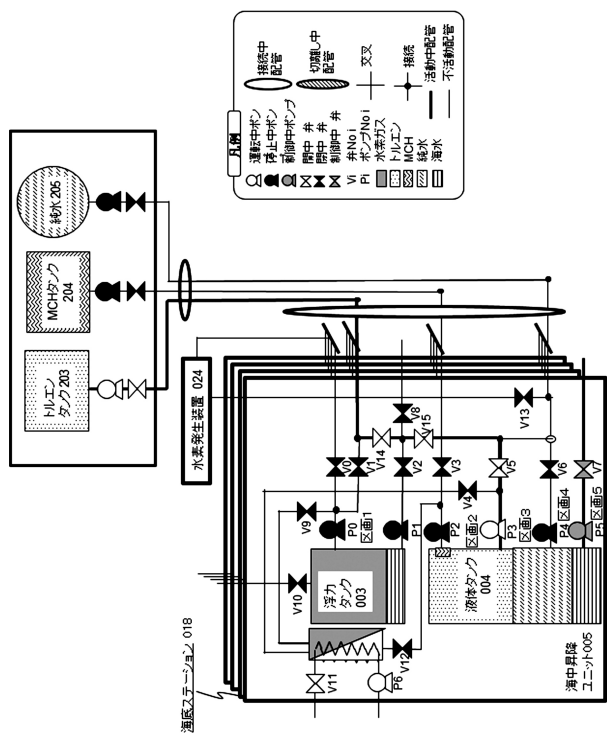
【図 71】



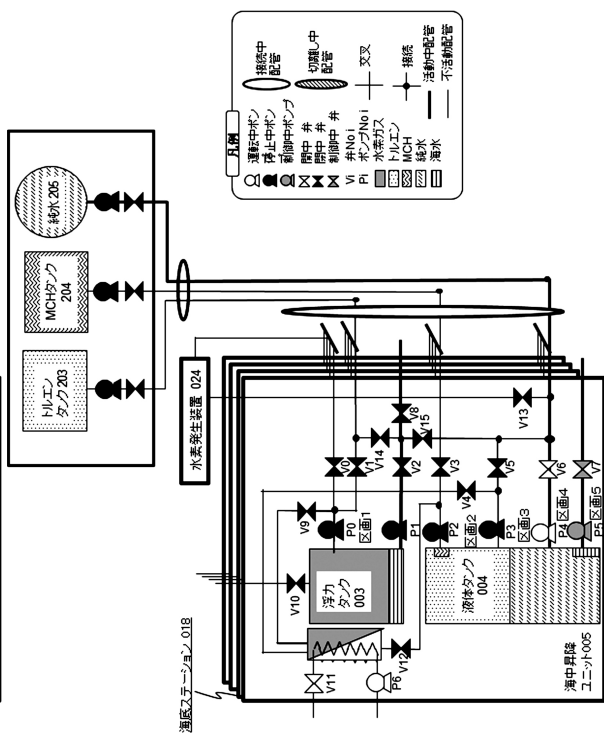
【図 72】



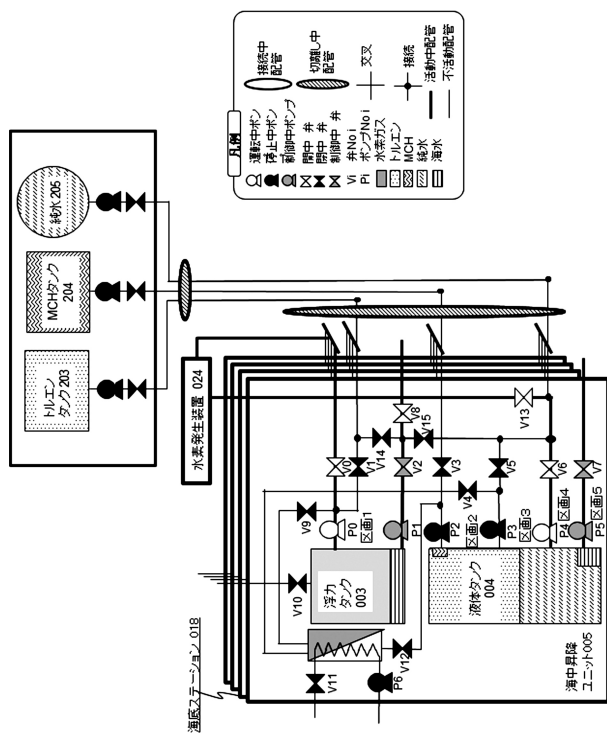
【 图 7 3 】



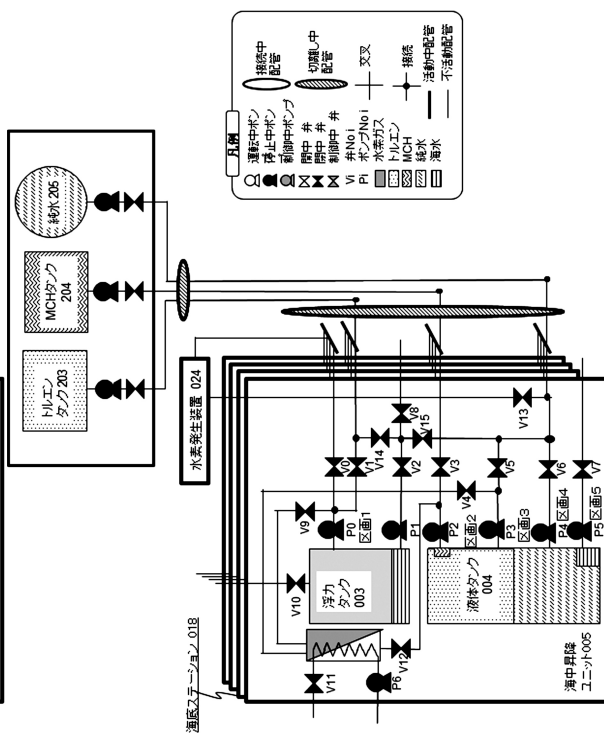
【 图 7 4 】



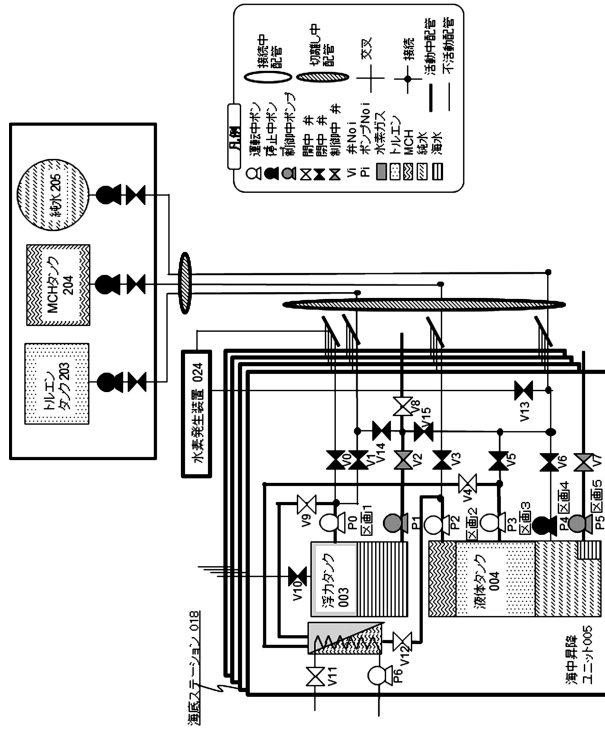
【 図 7 5 】



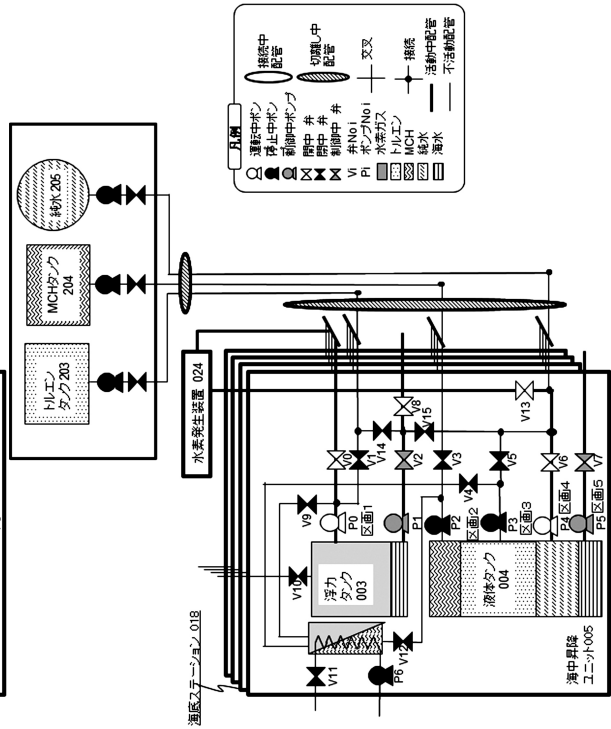
【 図 7 6 】



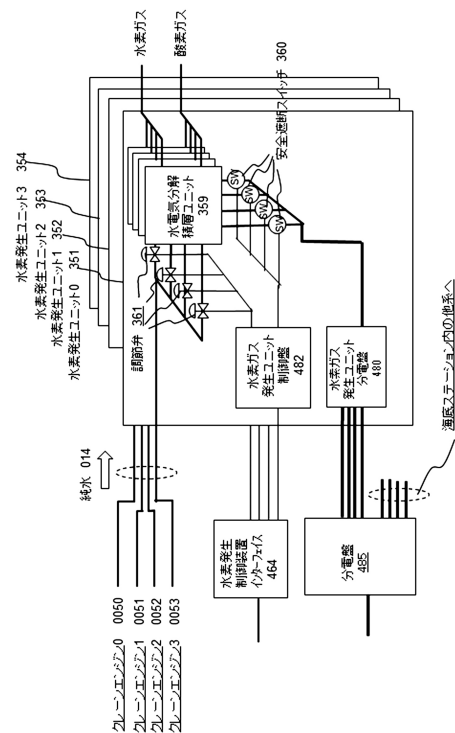
【図 77】



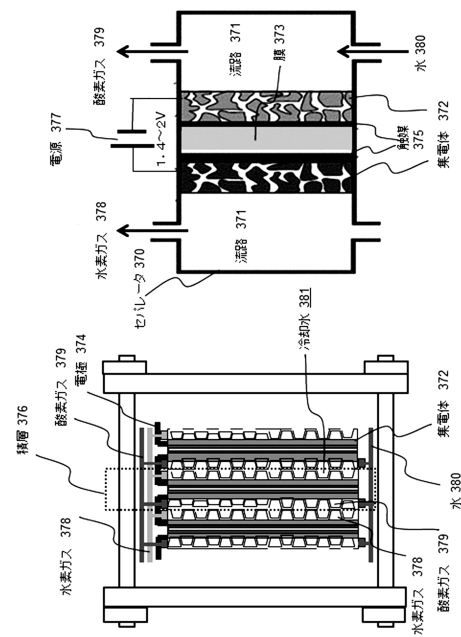
【図 78】



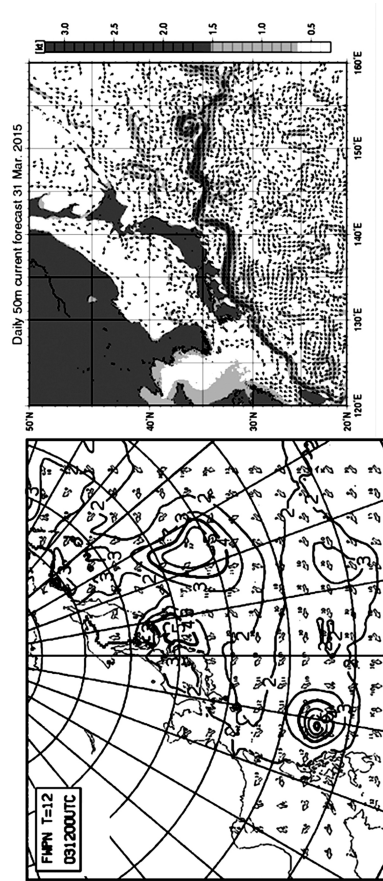
【図 79】



【図 80】

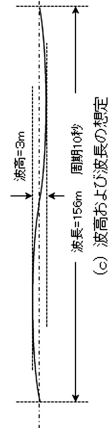


【図 8 1】

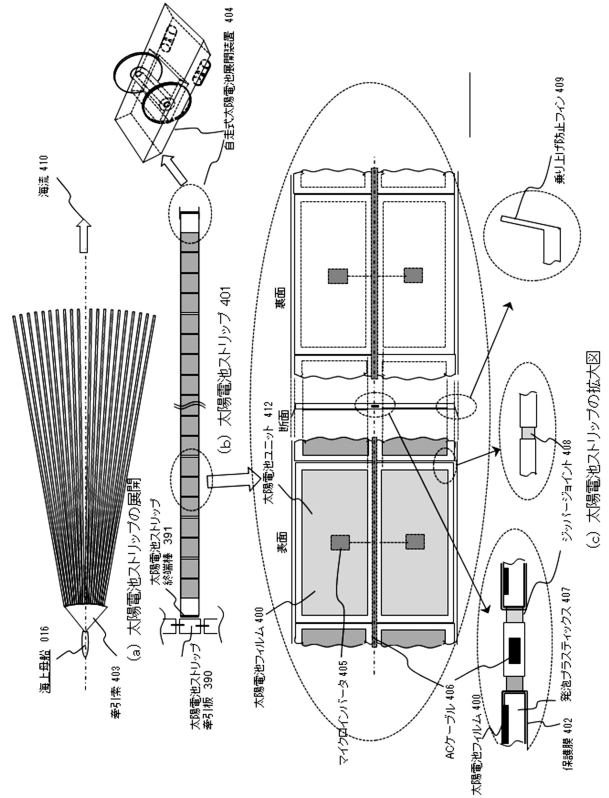


(b) 海流分布 (海上保安庁)

(a) 波高および波長 (気象庁予報)

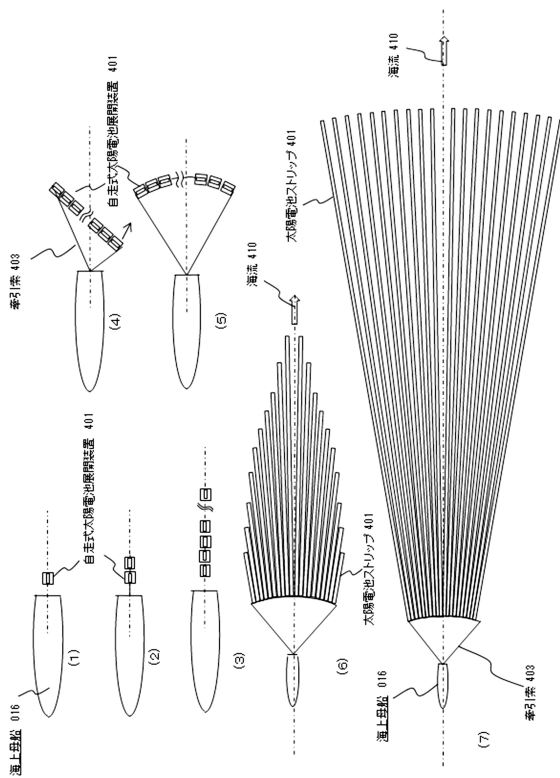


【図 8 2】

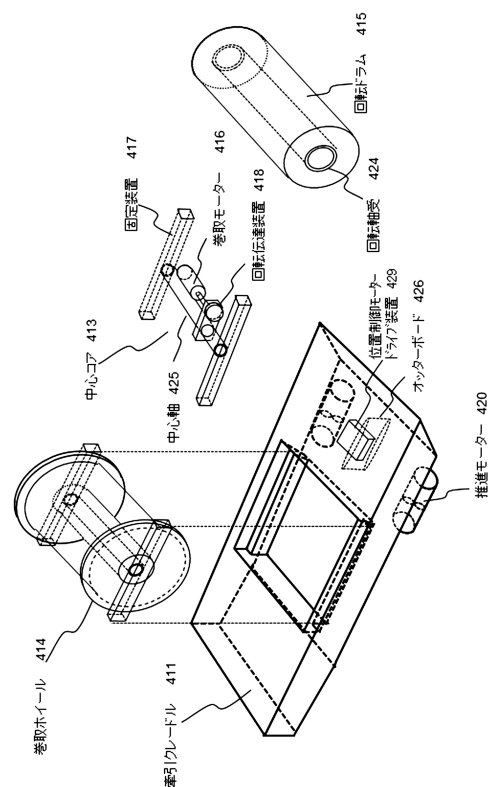


(c) 太陽電池ストリップの拡大図

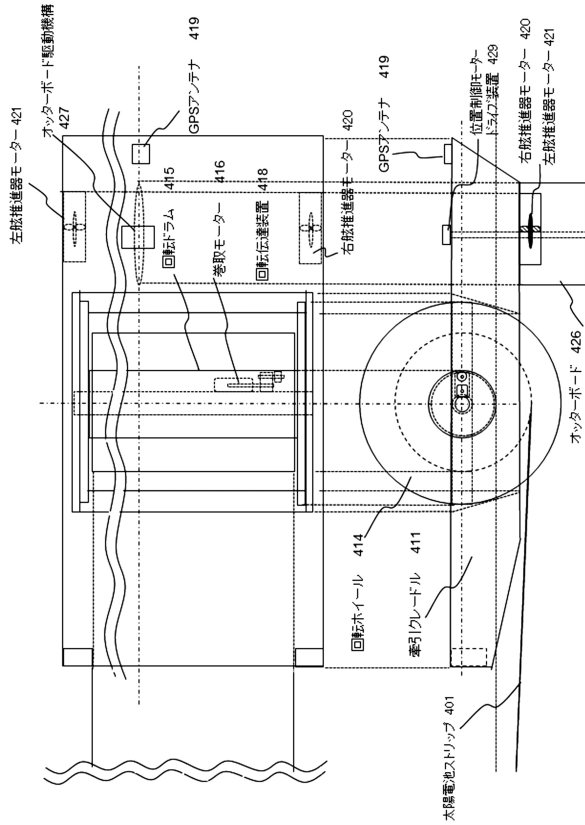
【図 8 3】



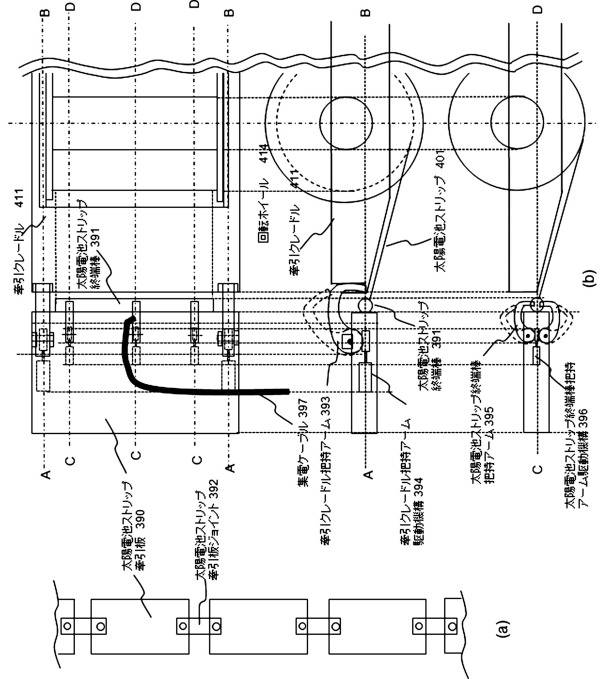
【図 8 4】



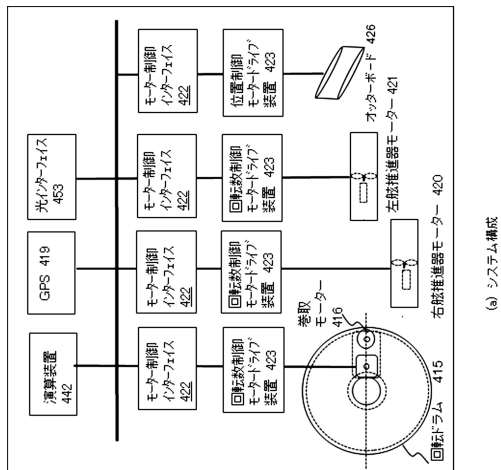
【 図 8 5 】



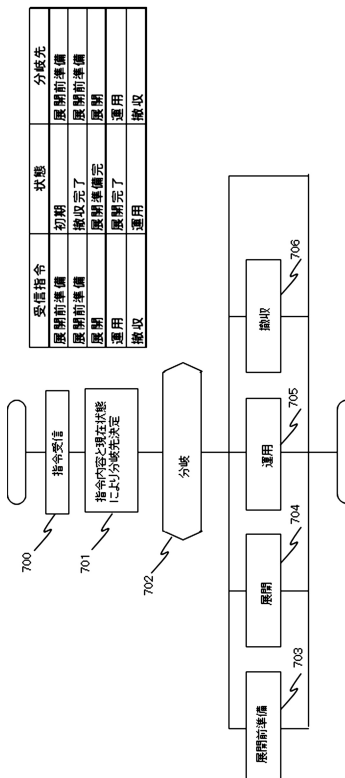
【 図 8 6 】



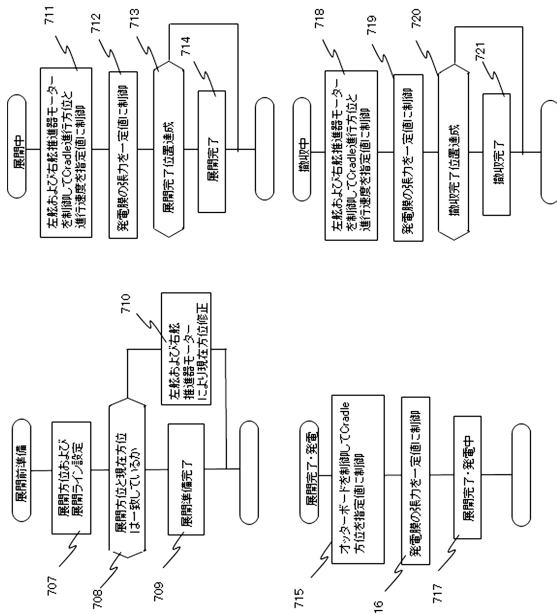
【 図 8 7 】



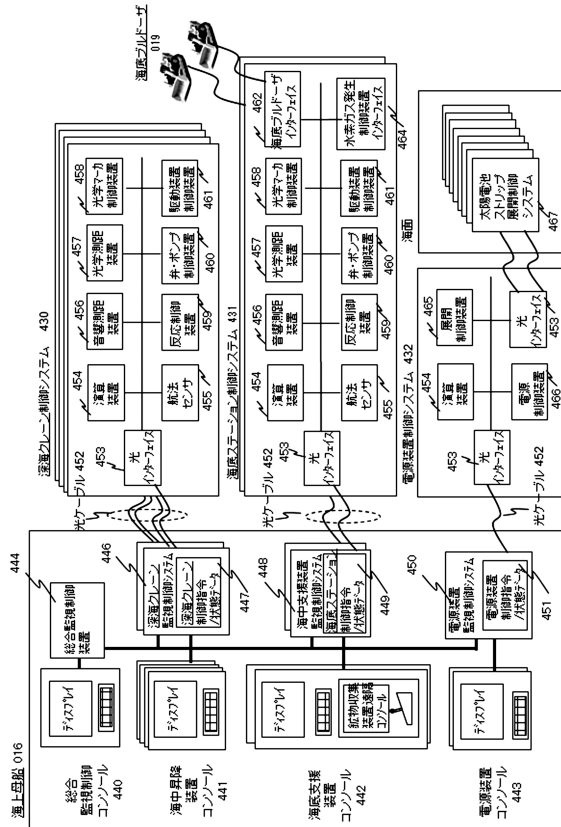
【 図 8 8 】



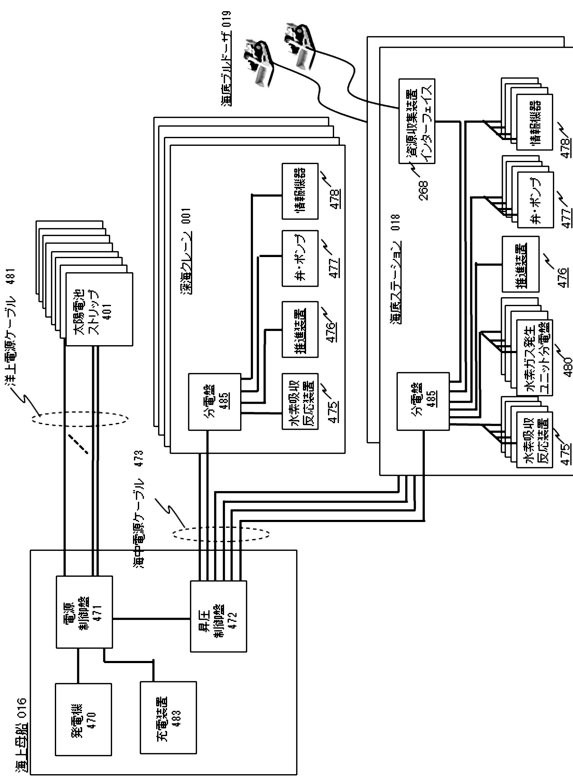
【 図 8 9 】



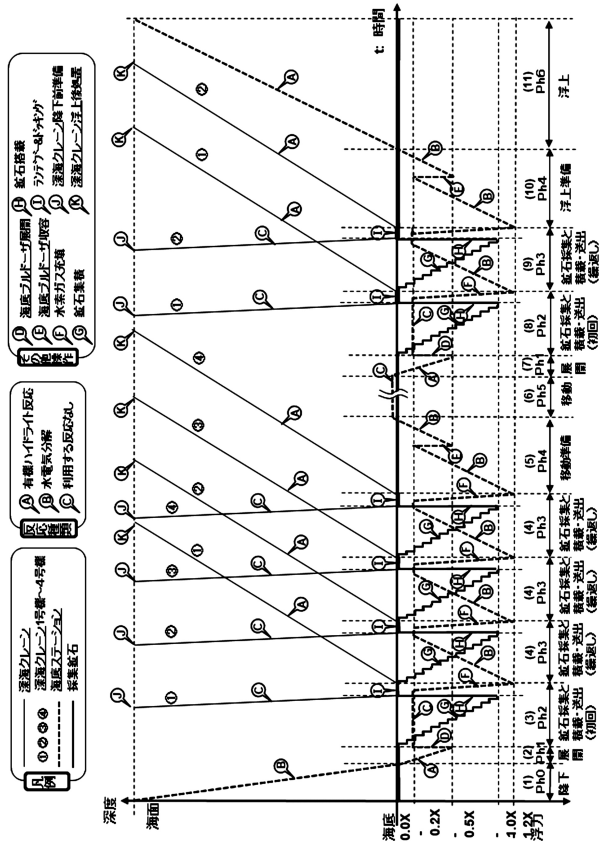
【 図 9 0 】



【 図 9 1 】

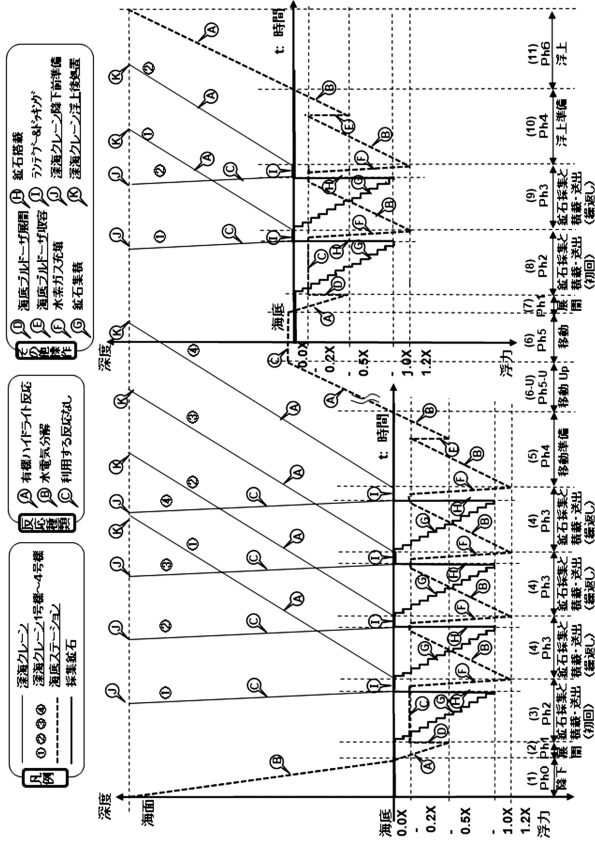


【 図 9 2 】

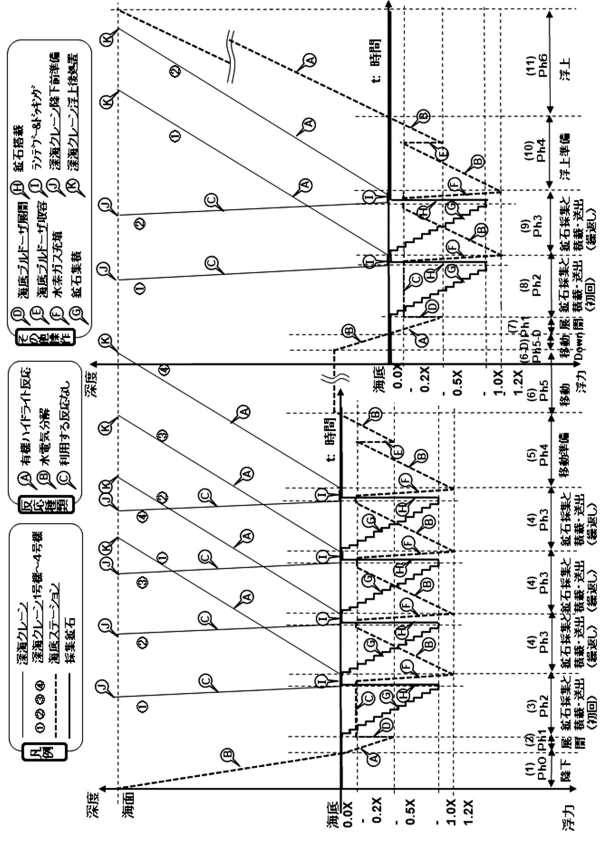




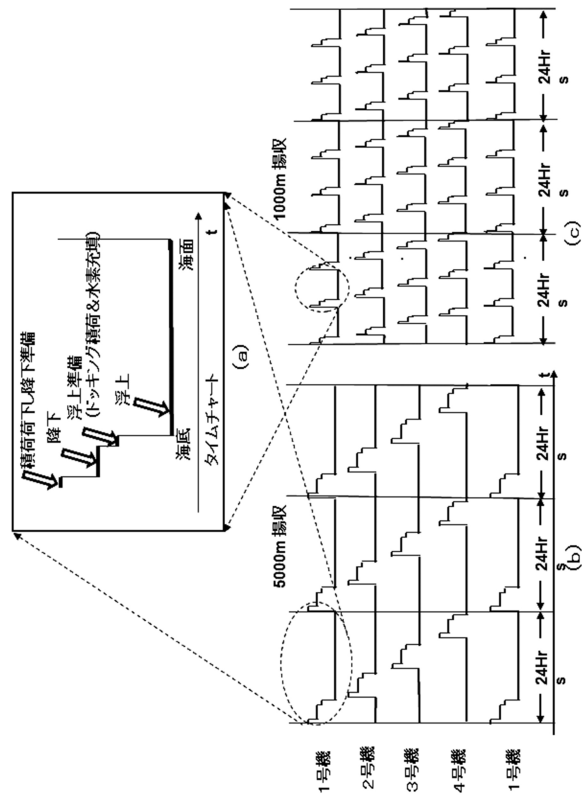
【図 93】



【図 94】



【図 95】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
B 6 3 B 35/44 C

(56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 0 7 4 9 2 5 ( J P , A )  
特許第 5 7 1 3 1 4 3 ( J P , B 1 )  
国際公開第 2 0 1 4 / 1 5 7 1 1 8 ( W O , A 1 )  
米国特許第 5 5 5 3 9 7 6 ( U S , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
E 2 1 C 5 0 / 0 0  
B 6 3 B 3 5 / 0 0  
B 6 3 B 3 5 / 4 4  
B 6 3 B 4 9 / 0 0