

平成 30 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14267

研究課題名(和文) 複合材料製大型海洋構造物の成立性に関する検討

研究課題名(英文) A study on the possibility of large-scale composite material ocean floating platforms

研究代表者

胡 長洪 (Hu, Changhong)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：20274532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は海洋開発に利用する浮体構造物について従来の鋼鉄製ではなく、複合材料などの大幅な利用拡大を前提とした新しい形式について立案が行われ、その成立性に関する研究が行われた。取り扱った浮体構造物は浅海域に対応する大規模拡張可能なユニット式TLP型構造物と移動式洋上風力発電装置の2種類である。最初に適当な仕様を定め、基本設計と各種机上検討が行われた。さらにそれぞれについて簡略化されたモデルによる数値シミュレーションと縮小模型による水槽実験が行われて運動特性が確認され、その実現性についての展望を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study a new concept of floating platform for offshore development has been proposed and its hydrodynamic performance has been investigated. The new concept floating platforms are mainly made of composite and hybrid structures, which are different from the conventional steel floating platforms. Two types of floating platform are investigated. The first is the TLP type platform which is suitable for shallow waters. The unit triangle platform can be connected by a special joint method to form a large floating system. The second is a movable floating wind turbine system, which is supposed to be operated under severe sea conditions. Both numerical simulation and model experiment have been carried to study the hydrodynamic performance of the two floating platforms to check their feasibilities.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：海洋開発 複合材料製浮体 TLP セミサブ

### 1. 研究開始当初の背景

社会的要請として再生可能エネルギー利用の拡大が求められていた。その中で洋上風力発電は賦存量として有望と考えられていたが、日本国内では欧州のような広大な遠浅でかつ年間を通して風況の良い海域は限られているので、着床式の風力発電装置は導入可能量に限界があった。そこで水深の制限が緩くなる浮体式風力発電装置に期待が寄せられていた。

従来大型の浮体式海洋構造物には船型、ポンツーン型、セミサブ型などの形式によらず鋼鉄が主材料として使われており、流体力学的・構造力学的に膨大な研究がなされ、洋上利用や化石燃料開発に実際に使用されている。しかしながら実績豊富とされる鋼鉄製構造物であっても海洋構造物はその安全性を確保した上でのライフサイクルコストも含めた経済性などが問題となり、浮体式海上空港や浮体式洋上風力発電設備は実用には至っていなかった。浮体式洋上空港に関して言えば、国内では1990年代よりメガフロート技術研究組合などにより多くの技術開発が進められ、1000m級の実証浮体が建造された。国外においては代表的な物にアメリカ海軍によるMOB (Mobile Offshore Base) の研究、試設計があった。それらはいずれも技術的には可能であろうという報告がなされているが、経済性などの観点から実用に至ったものは存在していなかった。

また浮体式洋上風力発電についてもすでに大型の試験機は海外ではノルウェー StatOil による Hywind、国内では環境省による五島での実証実験、経済産業省による福島沖での福島洋上風力コンソーシアムによる実証実験がはじまっていたが、係留・施工も含めたトータルでの浮体式に関する経済的成立性は未知数であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は複合材料を使用し、その耐腐食性、比剛性、比強度などの特性を生かして立案された従来型とは異なる新しい形式の海洋構造物について基本設計とその成立性を確認することである。

### 3. 研究の方法

研究は主に2種類の形式の浮体について基礎検討と、数値モデルによるシミュレーション、縮小モデルによる水槽実験で行われた。一つ目の種類はユニット化された浮体要素からなる TLP 型の浮体構造物に関するもので、もう一つは移動式の洋上風力発電浮体に関するものである。

### 4. 研究成果

本研究で取り扱った2種類の形式の浮体の一つである TLP 形式の浮体に関して想定している用途は日本周辺の沖合に展開した海洋開発用のプラットフォームや洋上風力発電

施設である。TLP 形式の係留は一般に高コストで大きな収益を確保できる見込みのある石油掘削プラットフォームなどには実用浮体として用いられているが、研究用途を除き沿岸域に設置する海洋構造物では採用は進んでいない。しかしながら鎖を使用するカタナリー係留などと比較して係留に要する占有海域面積が事実上浮体のサイズのみで済む特徴があり、大量設置を行う場合でも水産業との共存や航路確保上の問題が少なく、社会的な親和性が高い。また加えて動揺特性が良好で海洋利用の用途を広げるものとして有望である。この TLP 形式では大きな余剰浮力が必須であるため、船体の軽量化が非常に重要な要素である。複合材料は鋼鉄製よりはるかに軽量で、かつ疲労特性に優れた素材であることから、従来は波浪との同調周期の問題や疲労現象で使用が難しかった浅い水深領域での設計成立性を持ちうる。加えて耐食性に優れることから構造効率がよいトラス構造体を水中部に使用する際のメンテナンス性の制約も緩和されるなど多くの利点を持っている。図1に今回取り扱った TLP 型浮体構造物の概要を示す。

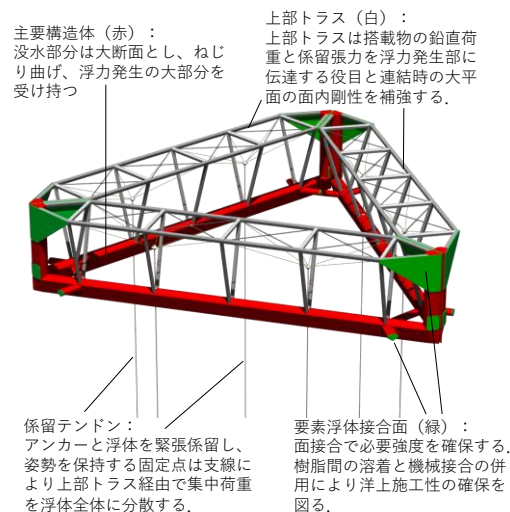


図1: TLP浮体構成(3連結)の概要

浮体の主要構造要素は造船所などでの生産性を高くするため細長い形状を持たせてユニット化することとし、洋上で必要な規模の広さを持った浮体になるよう結合工事を行って最終組み立てを行う構成を検討した。この結合も従来の溶接ではなく、洋上での組み立てが容易になるような広い面同士の接着組み立て構造を想定している。図2はこのユニット式浮体を多数連結して大面積のプラットフォームを構成した配置例である。この方式の特徴は要素浮体各々に係留テンドンが配置され、バランスを保っているため、面外変形は基本的にはほとんど発生しない。波長の長い波が来てもジョイント部分に負荷が集中することもなく、荷重は分散してテンドンが受けとめることとなる。また注排水で重量調整することでテンドンの張力を制御可能なため、運用状態からでも拡張工事な

どが容易である。この構成はテンドンで海底面に多点で分散支持した構造体を浮力により全体的に支えており、ちょうど大面積の吊天井を逆さまにしたような力学的構成となっている（吊天井は重力で支持金物に張力がかかるが、本浮体の場合余剰浮力が代わりとなる）。これまでに提案されてきた浮体式の超大規模海洋構造物（メガフロート）では、長大であるため波浪による主要構造物に対する曲げ荷重や連結部のせん断荷重が大きな問題となり、一体型のポンツーン型では大規模な消波設備が、MOBのような連結セミサブ型では極めて強靱なジョイント構造などが要求されるが、テンドンにより波浪荷重を分散支持することで原理的にはこれらの問題を回避できるという際立った特徴を持っている。

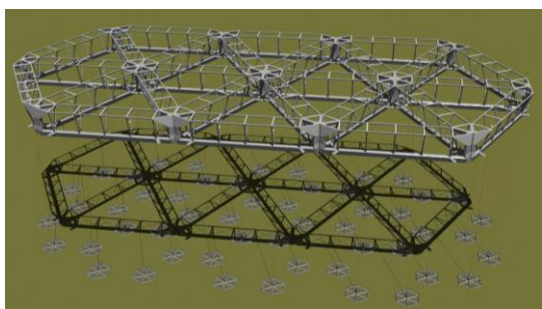


図 2：26連結構成時の1例

この浮体の設置を想定した水深は日本沿岸で普通に見られる100m程度としているが、従来のTLP型浮体では使用されない領域であるため、特異な運動特性となることが懸念されていた。そのため浮体に関する研究はモリソン法によるシミュレーションと模型実験が行い、成立性に関して確認を試みた。

モリソン法に基づく数値シミュレーションを実施した結果、基本となる3ユニット連結構成時には浮体長の10倍程度までの範囲では係留系と浮体運動の共振のような大きなピークを示す特異な動揺特性は実験、シミュレーション共に現れなかったことから提案TLP浮体の基本特性は良好であると考えられた。

図3に示す発泡ポリスチレンとアクリル樹脂から構成された辺長135cm(実機の1/100を想定)軽量の浮体模型を製作し水槽実験を行った。実験においては通常のTLP浮体と同様のピッチングやローリングをほとんど起こさない、安定した挙動を示したものの、シミュレーションではすべての部材断面形状を円形に近似して取り扱っており、実際の模型では変形六角形の非対称断面を持っていることなどが考慮されなかった結果、抵抗係数等の評価値が過小評価されたことがSurgeとSway方向の運動が大きく違っている原因と推定されている(円断面の抵抗係数を1.0で評価)。またHeave(上下)運動においては数値計算ではほとんどゼロとなっているにも関わらず、実験ではある程度値が出てしまう現象は模型の弾性変形と、索具の固定方法に

起因する索長の伸縮が数値シミュレーションでは考慮されていないことに起因している。



3基の基本ユニット      ユニット間の面による接着接合

図 3：実験模型の写真

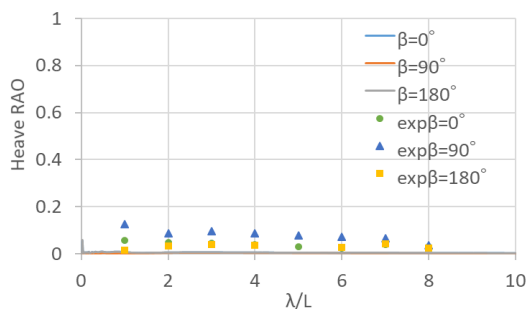
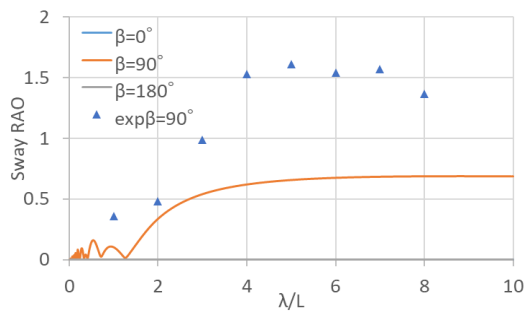
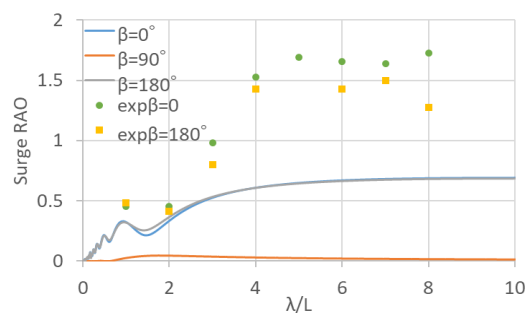


図 4：浮体の波浪応答

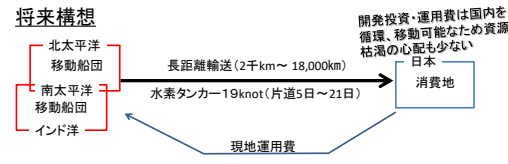
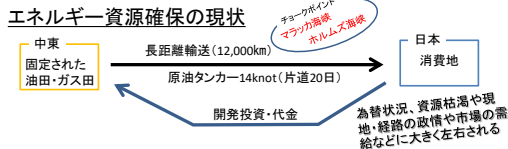
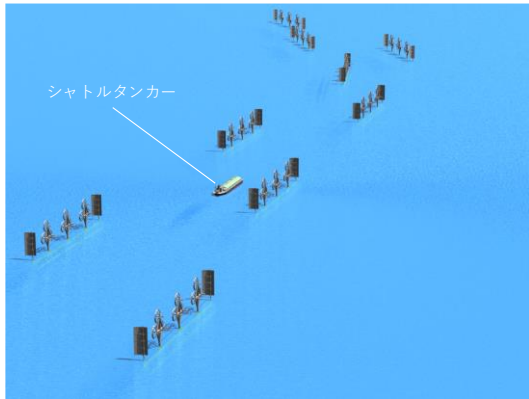


図 5：TLP浮体の水槽実験の様子

今後の研究事項として抵抗係数やその異方向特性などをより現実に近い形として推



定を定量的にできるようにした数値シミュレーション手法の開発や、基本となる3ユニットからなるシンプルな三角形構成にとどまらず、より大規模・大面積の洋上プラットフォームを構成した際の成立性検証などが残されている。



海外の油田やガス田などへの資源開発投資が、自前の船団への設備投資に置き換わる。

図6：船団での運用イメージ

本研究のもう一つの対象である係留系を持たない移動式の浮体に関しては洋上風力発電浮体、もしくはより大型の案として洋上滑走路などを想定している。移動式の洋上風力発電浮体についてはすでに国立環境研究所においてセイリング型の推進装置を持つ2000m近い全長の案が検討されてその成立性について研究がなされていた。その結果によると風力発電装置の稼働率が地上固定式と比較してはるかに高い58パーセントを一例として予想しており、有望な再生可能エネルギー取得手段と考えられる。本研究で対象とするものは航行システムがより自動・無人化された350m程度の発電・備蓄浮体を多数で一定海域に展開・航行し、回収用シャトルタンカーとともに船団を組んで、EEZに限らず広く公海上で遠洋漁業のように条件の良い北太平洋や南太平洋、インド洋などを回遊し、風力エネルギーを水素などの形で固定化してエネルギー生産を行う構想に基づくものである。図6にその構想に関する概要を示す。

この構想に使用する浮体の構造は水中部に流体抵抗の少ない細長い形状を持つ3本のハルを持ち、この間を複合材料の特性を生かした細身で大スパンのストラットで結合した構造を持つ。風車や帆装を水上に支持するセイル構造物の水線面積を必要最小限とするとともに、喫水が深い位置にバラストを兼

ねるハルを配し、水面に近い位置に主要浮力体となるハルを配する構成とし、スパー型浮体と同様の復元力発生機構を有する耐波浪性を高める構成を計画した。上述の構想ではインド洋や南太平洋といった極めて海象の荒い海域に強風域を求めて積極的に進出する想定であるため耐波浪性能に特に注意を払った構成としている。図7、8に基本設計を行った浮体の概要を示す。

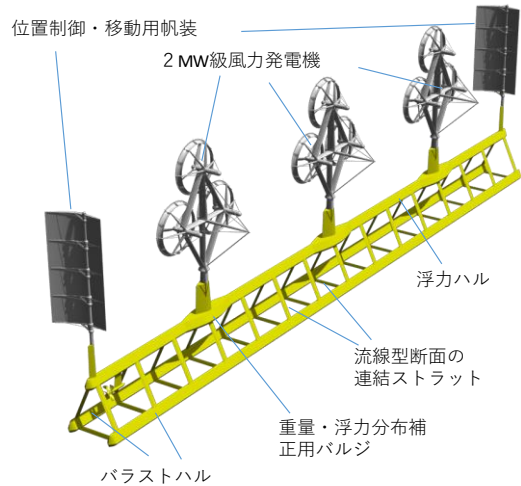
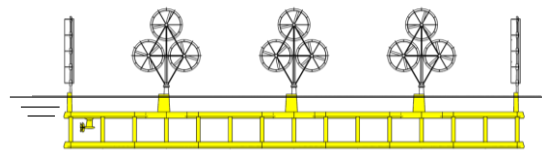


図7：移動式風力発電浮体の外観図



6MW級移動式風力発電施設

浮体全長[m]	360.0	浮体全幅[m]	26.0
喫水[m]	41.0	排水量[m <sup>3</sup> ]	20,894.7

図8：移動式風力発電浮体の諸元

この移動式浮体に風速15m/s定格、合計6MWの風車を南太平洋などで運用して設備利用率50パーセントで運用した場合45日間で電力から生成する水素を十分に貯蔵可能な搭載能力を持っている。45隻の船団が生成する水素は2億3千万立方mに達する試算が得られた。

この浮体の運用海域は南太平洋やインド洋の強風・大波浪域を主に想定しているので荒天下での耐航性能が極めて重要である。この設計案に基づき、曳航試験水槽で縮小試験模型を行い波浪中運動性能の確認が行われた。図9にこの浮体について簡略化してモリソン式に基づいて波浪中応答をシミュレーションした例を示す。通常の船舶などと異なり、特殊な形状に起因した短波長域に小さなピークが複数現れ、船体の2倍以上の長波長域に山が緩やかに現れ収束するような傾向が得られている。図10に製作した縮小模型の写真を示す。試験期間・設備の制約などから進行方向正面からの波についての限られたケースしか実験は行われなかったが、波浪との特異な同調運動は現れないことと共に、大波高中에서도風車や帆走が水没するような

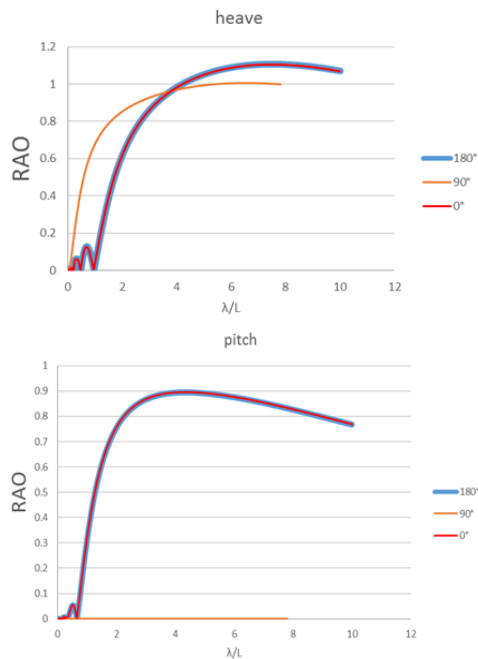


図9：波浪中応答解析例（速度無し）

挙動も現れないことが確認された。実験は曳航台車側に接続した伸縮性のあるゴム紐に軽量で径の小さなワイヤを連結し、その端部を模型のマストに接続して曳航することで帆走による推力を模擬して行われた。図11に実験の様子を撮影した写真を示す。

今後の課題としてモリソン式による簡略化されたシミュレーションだけでなく、前進速度や部材の流体力の異方性を考慮したより詳細なシミュレーションを行い、性能の分



図10：1/200縮小模型

析を行う必要がある。また風力発電浮体であるので、正面向かい波だけでなく、横風、横波を受けて航走する、より運用を再現した実験で本方式の有用性を確認する必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 0件）

〔学会発表〕（計 1件）

- ① 末吉誠：荒天対応型移動式風力発電浮体について、日本船舶海洋工学会第27回 海洋工学研究会・海洋環境研究会 合同研究会、2018年

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

○取得状況（計 0件）

〔その他〕

特になし

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

胡 長洪 (Hu Changhong) 九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：20274532

(2) 研究分担者

末吉 誠 (Sueyoshi Makoto) 九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号：80380533

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )

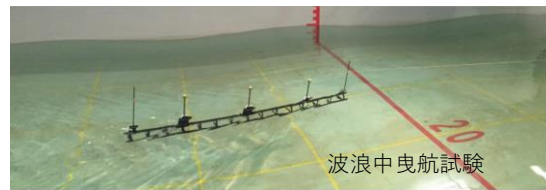


図11：水槽実験の様子