



Title	Coupled Aero-Hydro-Elastoplastic Simulation for FOWT Subjected to Blade Pitch Control Malfunction
Author(s)	Srinivasamurthy, Sharath
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/59610">https://doi.org/10.18910/59610</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( SRINIVASAMURTHY, SHARATH )	
Title	Coupled Aero-Hydro-Elastoplastic Simulation for FOWT Subjected to Blade Pitch Control Malfunction(ブレードピッチ制御誤作動時の浮体式風車の空力・流力・弾塑性連成シミュレーション)

**Abstract of Thesis**

Floating Offshore Wind Turbine (FOWT) is a complex system consisting of the aerodynamic rotor, blade and tower structure, main floater and control devices. A coupled analysis method incorporating all these features is necessary for understanding the overall response of an FOWT system. In this study, such a holistic analysis methodology for the FOWT system is developed. Recent accidents of large wind turbine also indicate that the accidental limit in which the malfunction of the blade pitch control may lead to the system total collapse, needs consideration. The analysis method is applied to clarify the collapse behavior of FOWT at the base of the tower. Chapter 1 discusses the background and research objectives of the study in detail.

In Chapter 2, a hydrodynamic time-domain code, named as DYNABEAM is coupled with an aerodynamic time-domain code FAST which is based on Blade Element Momentum (BEM) theory. The floater is modelled as an elastic frame structure consisting of hull and beam elements and hydrodynamic force evaluation for the main floater is made by using linear potential theory. Weakly coupling methodology is employed to obtain the interaction behavior between the floater, tower and rotor-nacelle assembly.

In Chapter 3, the time-domain coupled simulation code is validated by comparing with well-established OC3 (Offshore Code Comparison Collaboration) project model provided by NREL. OC3-Hywind spar model is selected for this purpose and the spar is modeled in DYNABEAM. Not only the heave and pitch motions (symmetric motions) of floater but also the roll and yaw motions (non-symmetric motions) are compared between the coupled simulation results and OC3 model results. The flexibility feature of floater is demonstrated and its influence on the structural response is shown by adopting various structural modeling of spar-type FOWT system.

In Chapter 4, the coupling model is further established and utilized to analyze the behavior of FOWT systems under the malfunction of blade pitch control. Blade pitch control malfunction is incorporated into the coupled simulation tool and response to an accidental event of malfunction is evaluated. The numerical method is validated against a series of scaled model experiment in a literature. It turned out that the floater dynamics is found to affect the maximum tower-base vertical bending moment and a larger thrust load is predicted under the assumed blade pitch control malfunction than the one obtained by the design thrust curve.

In Chapter 5, elastic-plastic behavior analysis methodology for a flexible FOWT is developed adopting the coupled simulation code when subjected to blade pitch control malfunction. The structural load and motion characteristics are evaluated in elastic and plastic regions to understand the collapse behavior at the base of the tower. It is shown that the tower structure collapses and falls down completely when it is subjected to extreme vertical bending moment exceeding the ultimate strength capacity by about 5% as a result of the control malfunction.

In Chapter 6, parametric dependencies for the collapse behavior of FOWT system is discussed. Different environmental conditions such as only-wind, combined wind and wave, various wave periods and wave amplitudes are considered for discussions. Collapse deformation, measured as collapse extent, is found to increase with increasing wave amplitudes and wave periods. It is also found that the collapse extent for floating platform is larger than the onshore case for the similar environmental and strength conditions.

Chapter 7 concludes the thesis with a summary of the main findings.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Sharath Srinivasamurthy )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	藤久保 昌彦
	副 査	教 授	大沢 直樹
	副 査	准教授	飯島 一博
	副 査	特任教授	秋元 博路 (アジア人材育成研究教育拠点, CAREN)

## 論文審査の結果の要旨

浮体式風車 (Floating Offshore Wind Turbine, FOWT) は空力荷重を受けるローター, 流体荷重を受ける浮体構造, これらをつなぐタワー構造, および制御機構からなる複雑なシステムである. 浮体式風車の挙動を把握するためには, これら全ての要素を取り込んだ連成解析を実施する必要がある. 本研究ではまずこのような連成解析シミュレーションツールを作成している. 最近の大型風車の事故を鑑みると, ブレードのピッチ制御機構の誤作動に起因する場合が存在する. そこで, 作成されたツールによって, ブレードのピッチ制御が誤作動した場合の偶発限界状態における挙動を解析し, 安全性を評価している.

第1章では, 研究の背景を論じ, 研究目的と構成を説明している.

第2章では, 連成解析ツールの理論について説明している. 空力特性の評価では, 米国国立再生可能エネルギー研究所で開発された, FAST と称されるシミュレーションコードを, また流体荷重と浮体構造の挙動評価には, 大阪大学で開発された, DYNABEAM と称される流体構造連成シミュレーションコードを適用し, これらを連成させている.

第3章では, 他研究機関によるスパイ型の浮体式風車に関する数値シミュレーション結果との比較を通して, 開発したツールの検証を行っている.

第4章では, 第2章および第3章で開発された連成シミュレーションコードに, ブレードピッチ制御力を導入している. これにより, ブレードピッチ制御が誤作動し, 異常荷重が発生する場合の挙動シミュレーションを可能にしている. シミュレーションでは, 構造の弾性変形を含めたモデル化を行っている. 固定式風車の場合, 異常荷重下でタワーが弾性振動することで, タワー基部に大きな曲げモーメントが作用するのに対して, 浮体式風車の場合には, 異常荷重の下で, 浮体の剛体運動を主要因として, タワー基部に大きな曲げモーメントが作用すること, またこのメカニズムの差により, 最大曲げモーメントのピーク値の大きさと持続時間が異なることを明らかにしている.

第5章では, さらにタワー構造が塑性ヒンジ機構で表される弾塑性変形をすると仮定し, ブレードピッチ制御が誤作動した場合の浮体式風車の弾塑性挙動を検討している. 検討対象モデルの場合, ブレードピッチ制御の誤作動時に, タワーの最終強度を5%程度超える過大な曲げモーメントが発生すると, タワーが直ちに倒壊することを示している.

第6章では, 第5章で開発された連成解析シミュレーションを用いて, 波高や波周期の環境条件を様々に変化させた場合の, 崩壊を含む浮体式風車の挙動の違いについてパラメトリックスタディを行い, その特性を調べている. 波高が大きいほど, また波周期が大きいほどタワーの塑性変形が増加する傾向を示している. さらに, 異常荷重に起因するタワー基部の縦曲げモーメントの大きさが同じ条件の下で, 浮体式風車の方が, 固定式風車に比べて, タワーの塑性変形が大きいことを示している. これは, リスク評価の観点から, 重要な知見である.

第7章では, 本研究で得られた成果を総括するとともに, 今後の課題を示している.

以上のように、本論文は、浮体式風車の空力・流力・弾塑性連成シミュレーション法を開発し、これにブレード制御力を考慮することにより、ブレードピッチ制御が誤作動した場合の浮体式風車の挙動を解明している。これらは、今後の洋上浮体式風車の設計技術の向上に大いに寄与する成果である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。