

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14246 号
------	---------------

氏 名 LIU Yao

### 論文題目

Nonlinear Hydrodynamic Analysis and Optimization of Bottom-Hinged Oscillating Wave Surge Converters in Shallow Water  
(浅海域における下部ヒンジ型振子式波力発電装置の最適化に関する非線形流体解析)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	水谷 法美
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	戸田 祐嗣
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	中村 友昭
委員	名古屋工業大学	工学研究科	教授	北野 利一

## 論文審査の結果の要旨

Liu Yao君提出の論文「Nonlinear Hydrodynamic Analysis and Optimization of Bottom-Hinged Oscillating Wave Surge Converters in Shallow Water（浅海域における下部ヒンジ型振子式波力発電装置の最適化に関する非線形流体解析）」はエネルギー密度の大きい自由表面近傍で大きく運動するとともに、浮力による復元力を有する下部ヒンジ型振子式波力発電装置による効率的な波エネルギー回収のための最適化について考究したもので全9章から構成されている。

第1章では、まず、これまでに提案されてきた波力発電装置の形式について整理を行い、それぞれの方式の特徴を明らかにするとともに、本研究で採用する装置の位置づけについて明確にした。また、波力発電の効率に関する数値解析を行うにあたり、数値解析手法についても整理を行い、本研究で実施する数値解析の位置づけについても明らかにするとともに、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、対象とする波について整理を行った。実際の海域の波は不規則であり、様々な周期の波を有する不規則波に対するエネルギー効率を評価するため、不規則波を記述する様々なパワースペクトルに関する整理を行った。

第3章では、逆振子式波力発電装置の波浪応答に関する数値解析について定式化を行った。まず、周波数領域解析について、静的復元力、波強制力、造波減衰力、発電装置の負荷によるモーメントの定式化を行い、規則波と不規則波に対する定式化を行った。一方、非線形解析を行うための時間領域解析についての定式化も行うとともに、その解法についても示した。これらの手法について、Oyster 800を模した波力発電装置に適用し、それぞれの解法の特徴を考究し、本研究で採用する波力発電装置の解析への適用の可能性について議論した。

第4章では、断面二次元解析ではなく、波力発電装置の有限幅を考慮した三次元解析を行うために、数値流体解析（CFD）による波と波力発電装置の相互作用の解法について検討を行った。数値流体解析手法としてはOpen FOAMを採用した。本章でもOyster 800を模した波力発電装置を対象に、格子サイズ、格子の層数などの計算条件について考究し、十分な計算精度が得られる条件について明らかにした。

第5章では、時々刻々変化する自由表面を静水面で近似し、非線形な復元力や抗力の影響を計算に取り込む手法を考究した。そして、境界要素法に基づく計算について、不規則波に対する周波数領域解析の基本となる規則波を対象として波力発電装置の効率を計算し、Weiらの実験と比較しながら本計算の妥当性を確認した。そして、回収装置の傾きが $30^\circ$ 程度になると非線形性の影響が無視できなくなることを明らかにした。また、振子の天端が完全没水の状態に比べ水面上に天端が出る場合の方が回収可能なエネルギーが大きくなることを示すとともに、エネルギー回収装置の抵抗や減衰の影響、抗力係数の影響などともなう効率の特性を明らかにした。

第6章では、波力発電装置の共振について時間領域解析に基づいて考究した。まず、精度向上のため、時々刻々変化する湿潤面の変化を考慮する修正自由表面法を導入した。この方法では補正係数と抗力係数の値を数値流体解析にてチューニングを行い、自由振動場での減衰運動の再現性を確認した上で規則波を対象に共振現象について考究した。その結果、同一波高の条件下では共振は固有周期近傍で生じることが確認されるが、エネルギー回収装置の摩擦の影響により共鳴には至らず振幅の増幅は生じないことを示した。また、同一波高の条件下では、最大効率が得られる入射波周期（不規則波の場合はスペクトルのピーク周期）は固有周期近傍ではなく、流速が最大となる周期付近であることを明らかにした。特に不規則波の場合は共鳴のような現象は生じにくいことも明らかにした。

第7章では、浅海域に本装置を設置した際の効率化のためのエネルギー回収装置のパラメータの設定について、規則波と不規則波を対象に検討した。そして、共振が生じやすくなる条件に近づけることで効率を向上させることが可能であることを改めて示した。ただし、完全な共振よりも共振に近い条件の方が流体抵抗による減衰によるデメリットの関係でより効率が上がることも明らかにした。周期が長くなることで生じるヒステリシス位相角の増加は回収エネルギーの増加に有効であることも確認された。また、不規則波動場では、回収装置の周波数応答として、短周期波に対しては剛性を落とすこと、長周期波に対しては慣性を変化させることが有効であることを示した。

第8章では、日本近海におけるエネルギー回収装置群について年間を通じたタイムスパンでの評価について考究した。そして、定常流場と異なり、不規則波動場では波力発電装置の厚さによる抗力係数の変化によって効率が大きく変化することを示した。また、振子内部に注水する水の量、エネルギー回収装置のパラメータについて、回収エネルギーの効率化と装置全体の小型化の両面から考究し、波力発電装置の最適化について検討を行った。その結果、短周期波と長周期波では効率が高くなる装置の幅が異なること、また、装置の厚さも効率に影響することを明らかにした。また、装置の高さも効率に影響するが、コスト面も含めると振子の厚さを増加させることはデメリットが大きいこと、回転軸は深くする方が有利であること、注入水による慣性の調整は必ずしも優位には作用しないことなどの結果を示した。

第9章では、本研究の成果をまとめて結論を述べるとともに、課題と今後の展望についても示した。

以上のようにLiu Yao君提出の論文は、逆振子型波力発電装置の波浪応答について数値解析に基づいて詳細に考究し、その効率に及ぼす様々な要因を明らかにするとともに、効率の最適化に考慮すべき事項を流体力学的観点から明らかにしたもので、工学的にも学術的にも寄与するところが大きいと判断できる。よって本論文提出者のLiu Yao君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。