

審査の結果の要旨

氏名 韓佳琳

小型船は、漁船、作業船、プレジャーボートなど様々な用途で使用されているが、乗り心地の向上が長年の課題となっている。小型船の出港の可否は海況に強く依存する。一般に、船舶の動揺を抑制するために、フィンやラダーを用いたスタビライザー、アンチローリングタンク、ビルジキール等の減揺装置が使用されているが、これらは主に大型船の横揺れの抑制を対象とした装置である。小型船に対しては、横揺れに加えて、上下揺れや縦揺れの抑制も必要である。一方、近年は、船舶の運航に際して、燃油価格の変動による影響を軽減し、大気環境汚染の原因となる排ガス量を抑制することが重視されており、再生可能エネルギーの活用が期待されている。

本論文では、上下揺れや縦揺れも含めた動揺の抑制と、波エネルギーの吸収による発電を可能とする小型船を提案し、水槽模型実験とシミュレーションによってその特性を調べることを目的とした。本論文で提案する小型船は、航行時に動揺を抑制しながら回生エネルギーを得て燃費を向上する船や、航行時に動揺を抑制し、停泊時に発電する作業船などに用いられることが想定される。動揺の抑制装置として、一般に利用される油圧装置ではなく、サスペンション機構を電氣的に制御する手法を利用している点に特色がある。学問分野としては、船体や機構の運動解析と電気回路のシミュレーションを組み合わせた解析手法の構築に新規性がある。

第2章では、長さ1.6mの模型船の設計を行い、船体の運動や発電量を予測するための基本方程式、電気回路のシミュレーション手法を提示した。模型船は、2つのハルとキャビンから構成され、ハルとキャビンの間にはサスペンション機構が設けられた。2つのハルの船首側、船尾側に1セット（バネ、ハル・キャビン間の鉛直相対変位と回転運動を変換するラック&ピニオン、動揺制御・波エネルギー発電を行うモーター/ジェネレーター、加速度センサー）ずつ、計4セットが配置された。ハルとキャビンの間は、パンタグラフ、ワットリンクと呼ばれるリンク機構で結合し、相対的な前後揺れ、左右揺れ、船首揺れを抑制した。シミュレーションを実施する際の基本的な考え方として、1つのセットが故障した場合の冗長性の確保、生産性、保守点検性等の観点から、4つのセットの制御を独立に行うこと、また上下揺れの運動のみをシミュレーションの対象

とすることが説明された。次に、動揺制御を実現するために、キャビン上に設置された加速度センサーの積分値である速度が 0 となるように制御するスカイフック制御手法、および波エネルギーの吸収を最大化するために、インピーダンス整合によって最大電力点を追跡する手法を示した。船体や機構の運動方程式を電気回路に置き換える方法によって、上下揺れに関するスカイフック制御手法と最大電力点追跡法を LTspice と呼ばれるソフトウェア上で実装した。

第 3 章では、陸上でハルを上下に加振して、キャビンの上下方向の運動とサスペンション機構の動き、発電量を調べる実験を実施した。また、第 2 章で実装した電気回路によるシミュレーション結果と実験結果の比較を行った。その結果、キャビンの上下揺れは、実験結果に比べてシミュレーション結果が小さくなり、発電量は、実験結果に比べてシミュレーション結果が大きくなった。この原因として、クーロン摩擦の非線形性や不感帯による影響が考えられたが、キャビンの自由減衰実験から推定されるクーロン摩擦を考慮することによって、シミュレーション結果が改善されることを示した。

第 4 章では、規則波中での水槽模型実験を実施し、動揺の抑制効果と波エネルギーの吸収特性を調べた。上下揺れと縦揺れが最も抑制されたときのゲインの値は、陸上の加振実験およびシミュレーションによるゲインの値と概ね一致した。また、4 つのセットを独立に制御することによる不具合は見られなかった。波エネルギーの吸収特性については、最大電力点が得られるゲインの値がシミュレーション結果と実験結果とで異なったが、現在のシミュレーションを上下揺れ-縦揺れ系、あるいは上下揺れ-横揺れ系に拡張することによって、より良い最大電力点を得るためのゲイン値を予測可能であることが示唆された。

第 5 章では、水槽模型実験におけるエネルギー収支を示した。模型船に入ったエネルギーをハルの運動エネルギー、キャビンの運動エネルギー、発電エネルギーの和と考え、入射する波エネルギーと模型船に入ったエネルギーの比、および模型船に入ったエネルギーと発電エネルギーの比を算出した。その結果、周波数依存性はあるが、それぞれの比は最大で約 100%、約 50% であり、入射波のエネルギーに対する発電エネルギーの比は最大で約 33% が得られた。

以上のように、本論文は、船体や機構の運動解析と電気回路のシミュレーションを組み合わせた解析手法を構築し、小型船の動揺抑制と波エネルギーによる発電の特性評価に取り組んだ最初の取り組みである。今後は、シミュレーションの機能の拡張と、得られた知見の実船への応用が期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。