

平成 13 年 4 月 18 日

セルフパワード・アクティブ制御による船用減揺装置の開発

- 波のエネルギーを回生し、そのエネルギーを使って船の動揺を軽減 -

東京大学 国際・産学共同研究センター
生産技術研究所

開発の概要

東京大学 国際・産学共同研究センターおよび生産技術研究所の須田義大教授らの研究グループは、石川島播磨重工業株式会社と共同で、船用減揺装置の開発を行ってきました。このたび、波のエネルギーを回生し、そのエネルギーのみを利用してアクティブ制御を行う、全く新しいコンセプトに基づく画期的な船用減揺装置を提案し、模型船による水槽実験に成功しました。世界で初めて実現した省エネルギー型のアクティブ制御は、「セルフパワード・アクティブ制御」と名づけています。既に実用化されているハイブリッド式船用減揺装置と同等の動揺軽減能力を持ちながら、制御に必要なエネルギーを波のエネルギーから得ることにより、省エネルギーが実現されます。今後、海洋観測船、ケーブル敷設船、油回収船、クレーン船などの従来波浪時の作業が困難であった各種作業船や、釣り船などへの実用化が期待されます。

船用減揺装置

船舶が波浪により動揺してしまうのは宿命ですが、この動揺を低減し、貨物の損傷防止、乗員の乗り心地向上、作業性の向上を図るのは永遠のテーマであります。特に、船体の横揺れ(ローリング)は顕著なため、従来から減揺装置が提案され実用化してきました。

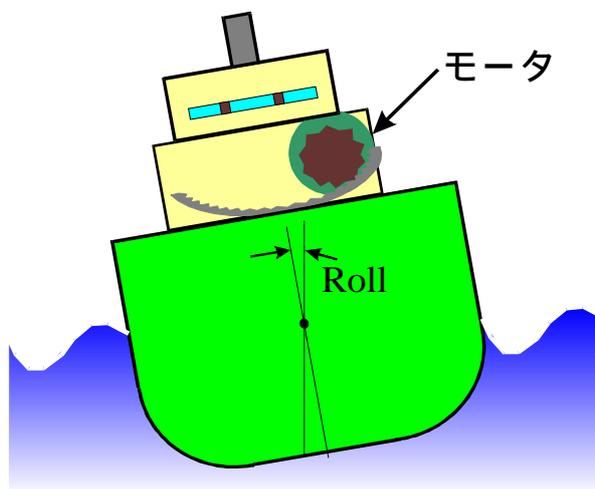
例えば、ビルジキール方式といって、横揺れを邪魔するように船体から海中に翼のようなものを取り付ける方式、流体を用いたアンチローリングタンク方式などがあります。これらは、パッシブ方式であるため、構造は簡単であります。減揺効果に限界があり、また構造上の課題や航海時に無駄なエネルギー消費を伴うこともあるなどの短所があります。

アクティブ制御技術を応用したフィンスタビライザ方式は、船体の横揺れに対して水中フィンの翼角を制御するため、航走時の減揺効果は大きいのですが、低速や停泊時の効果が期待できないこと、流体抵抗が速力低下の原因になるなどの欠点もあります。

それに対して、可動マス(おもり)を用いた減揺装置が開発され、船体の横揺れを防止するように、おもりを電動モータで左右に動かす能動型(アクティブ)減揺装置を組み合わせたハイブリッド式が実用化しています。この方式は、停船時や、低速運航時の減揺性能が向上できるため、気象観測船、海洋調査船、各種作業船、旅客船(釣り船)などを対

象に普及する可能性を持っております。

ところが、アクティブ制御を行うためにエネルギー消費を伴うこと、また、可動マスのストロークに制限があるため、装置が可動マスの運動エネルギーを吸収して可動マスの動きを止めていました。この吸収されたエネルギーは何ら使われずに海に捨てられていました。



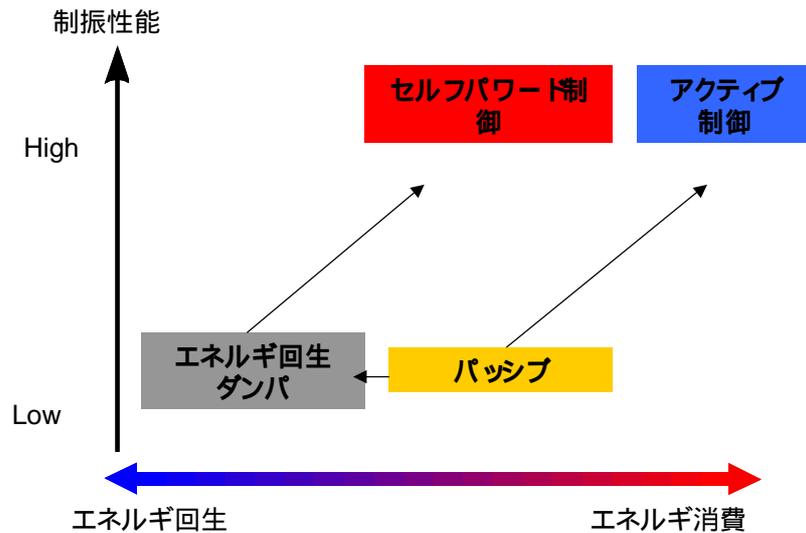
可動マスを用いた減揺装置

セルフパワー・アクティブ振動・動揺制御

一方、振動そのもの、動揺そのものはエネルギーをもっています。本来、揺れを抑えることは、この船体の持つ動揺エネルギーを吸収すれば揺れが収まるはずですが、防振や減揺のために、エネルギーを使うのではなく、その振動・動揺のエネルギーを回収して、有効活用する、すなわちエネルギー回生をする方式が考えられます。さらに、回生したエネルギーを用いて、アクティブ制御に用いることができれば、アクティブ制御のエネルギー消費を抑制しながら、パッシブ制御より優れた減揺効果が期待できることとなります。このような、画期的な全く新しい防振、減揺制御手法を、世界に先駆けて提案し「セルフパワー・アクティブ制御」と名づけました。

セルフパワー・アクティブ制御について、須田研究室では、1994年ごろより基礎的な研究を開始しました。小型の模型装置による実験、理論的な検討、制御則の改善、エネルギー変換デバイスの開発など、様々な観点から検討を加え、このような画期的なセルフパワー・アクティブ制御が実現できることを理論的に証明してきました。

セルフパワー・アクティブ振動・動揺制御の実用化対象として、今回検討を加え、開発に成功したのが、船用減揺装置です。船舶の場合、そもそも揺れの原因は、波のエネルギーです。そこで、波のエネルギーを回生して、アクティブ制御に用いることになり、エネルギー回収量、制御手法などの観点から、非常に優れた適用先の一つと考えられます。



セルフパワード制御のコンセプト

エネルギー収支の検討

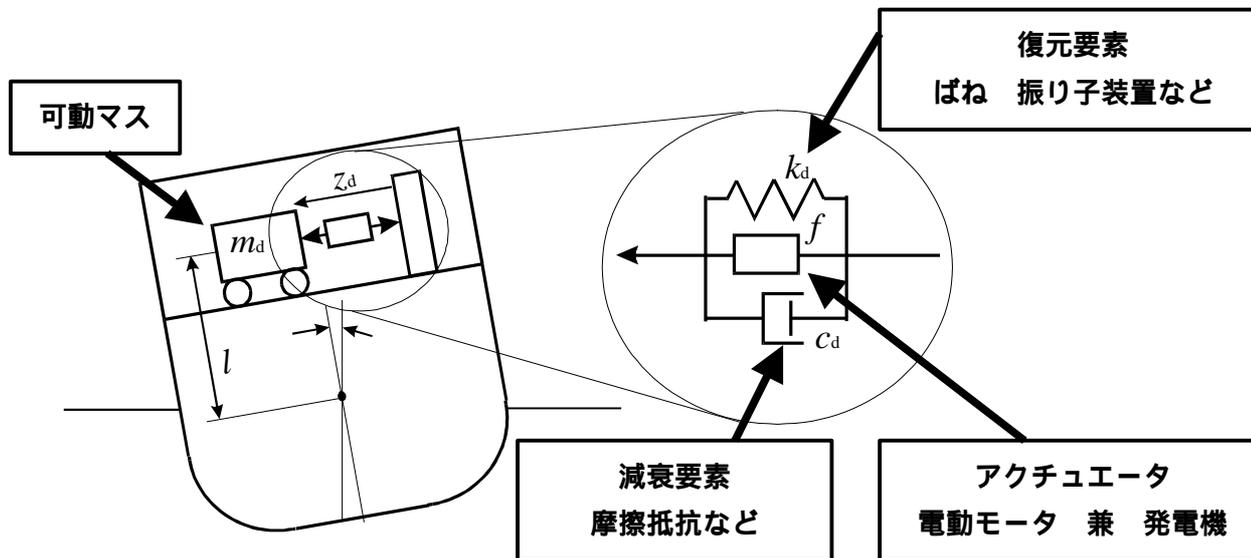
セルフパワード・アクティブ制御を実現するためには、振動・動揺から回生できるエネルギーの方が、アクティブ制御で消費するエネルギーよりも大きくないと成立しません。そのため、力学系の特性（制振、減揺対象の質量、復元ばね特性など）、制振・減揺に対する要求特性、力学系に入力される波浪などの外乱によるエネルギー、減揺装置に用いるアクチュエータ（電動モータと発電機）の特性を与えることにより、提案する方式の実現可能性を評価する手法も開発しました。

減揺装置の概要

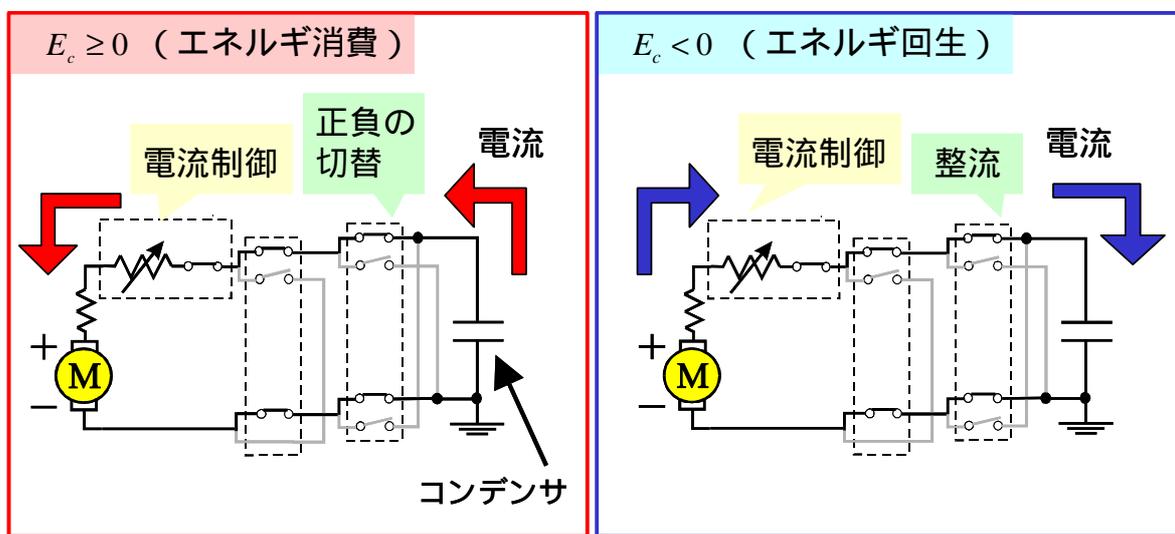
減揺装置の概要は次の図に示すとおりです。船体の横揺れは、可動マスを電動モータで駆動することによって防止します。ばね（あるいは振子装置）によって復元作用を持たせて、何らかの故障が生じたときもパッシブ方式として機能するようにしていますが、これを省略してすべて電動モータで可動マスを駆動する方式もあります。

電動モータは発電機としても作用します。制御では、1) アクティブ制御力行モード（可動マスを加速、減揺装置にエネルギーを供給）、2) アクティブ制御ブレーキモード（エネルギーを加えて減衰力を増大）、3) エネルギー回生モード（モータを発電機として用い、回生ブレーキを掛けることで減衰力を発生）の3つのモードを、センサで可動マスの動き、船体の動揺状況を計測して、コンピュータで計算して切り替えます。さらに、エネルギー回生モードでは、回生した電気エネルギーは、キャパシタ（コンデンサ）に蓄えませんが、キャパシタの電圧と発電機で発生する電圧を比較して、発電機の電圧がキャパシタ電圧よりも高いときのみ回生させます。発電機の電圧がキャパシタ電圧よりも低いと、逆流してしまいます。そのときは、回路を抵抗に切り替えてブレーキを掛けて減衰力を発生させます。

アクティブ制御モードでは、最適制御則により、モータに加えるべき動揺を抑えるために最適な電圧の指令値を求め、キャパシタからエネルギーの供給を受けて、アクティブ制御を行います。



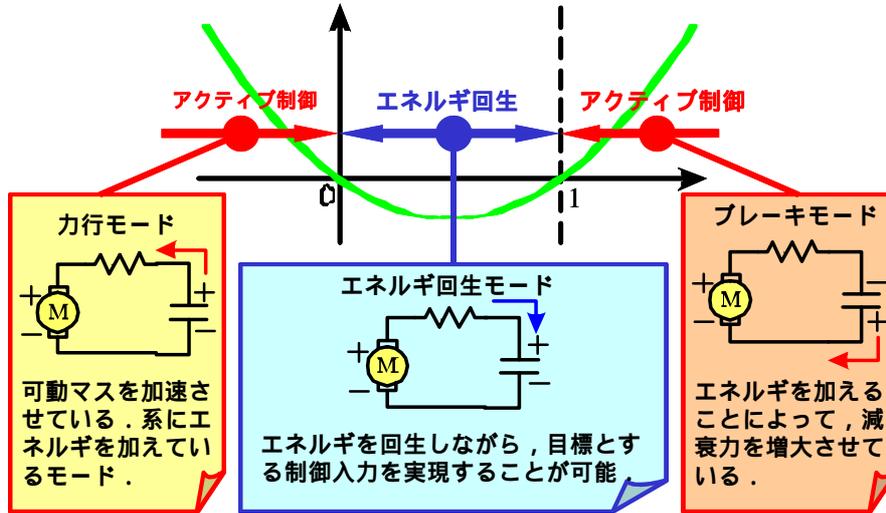
船用減揺装置の概要



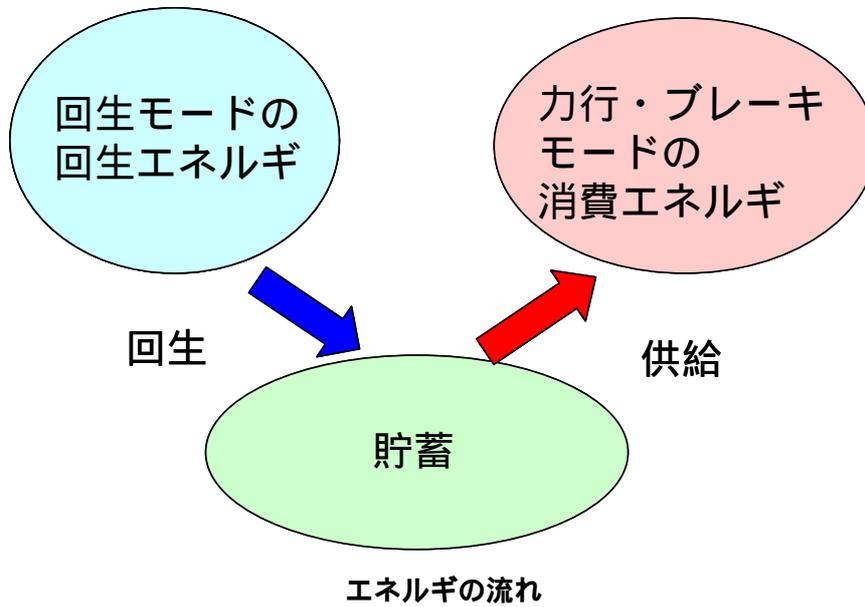
電気回路

3つの制御モード

エネルギー評価関数



セルフパワー制御則



模型船による水槽試験

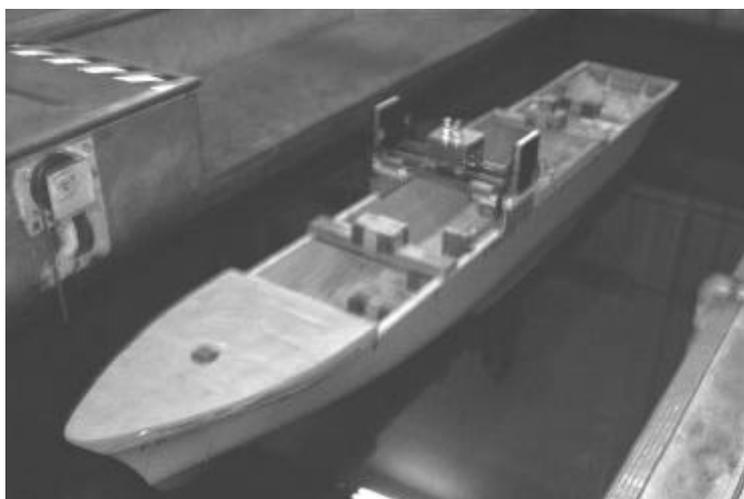
模型船の諸元は次表のとおりです。世界最大級の大型観測船を想定した模型となっています。実験は、石川島播磨重工業株式会社の船体運動性能試験水槽で行いました。任意の波浪状況（規則波、不規則波）が忠実に再現できます。

模型船の諸元

全長: 3.2 m
型幅: 0.52 m
排水量: 203.1 kg
固有周期: 2.03 秒
スケール: 1/36.25

減揺装置の諸元

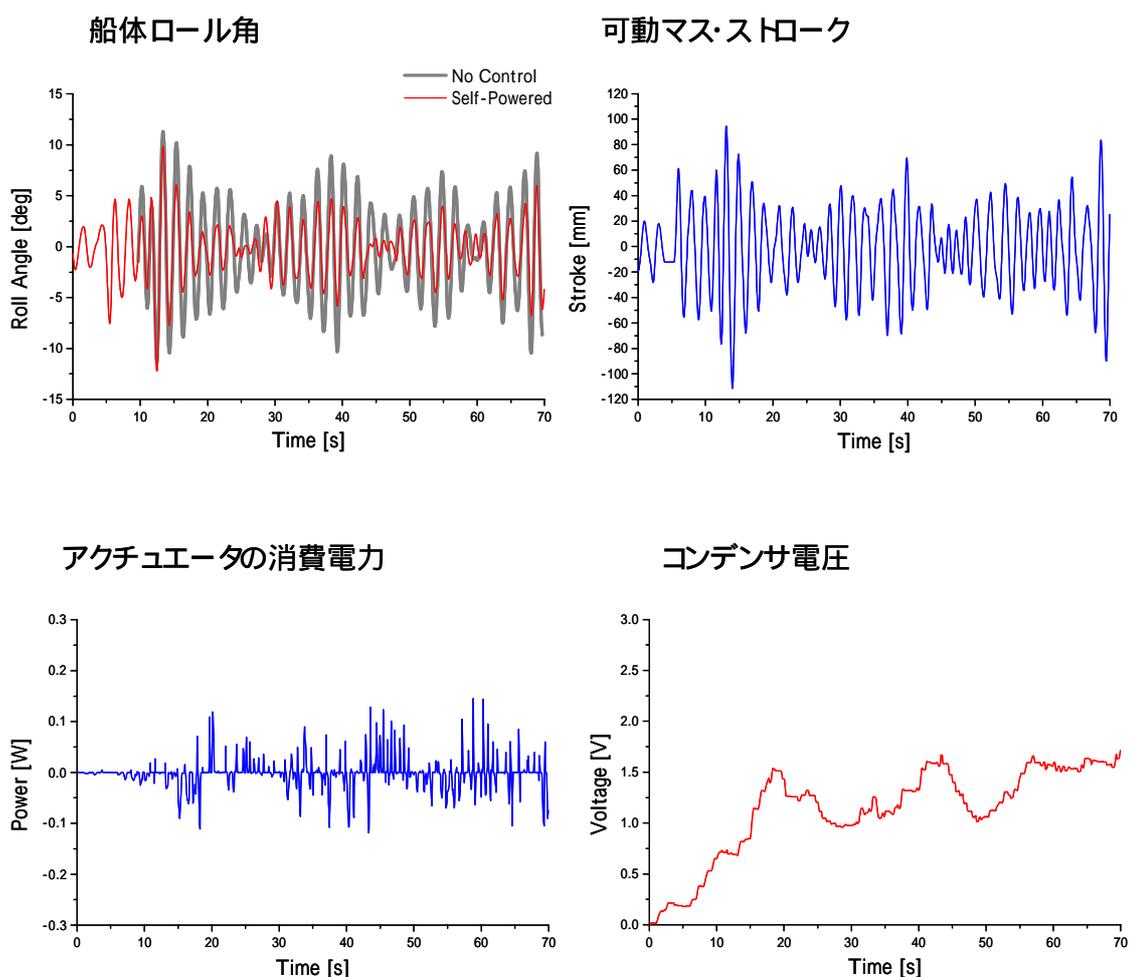
可動マス重量: 2.0kg



模型船と減揺装置

実験結果の一例を示します。Sea-State 5 と呼ばれる波浪状態(有義波高が 2.5mを超え、4 mまで、作業が実施可能な動揺上厳しい条件)で、波浪に対して船体の横揺れを 50%程度低減することを目標としています。図では、船体のロール角、可動マスのストローク、アクチュエータ(電動モータ)の消費電力、コンデンサ(キャパシタ)の電圧を示します。比較のため、制御をしないときの船体ロール角も示してあります。揺れがおよそ半分に減少していることがわかります。可動マスの動きも許容ストローク内に収まり問題がないことがわかります。消費電力が負のときに発電が行われ、発電により装置にエネルギーが蓄えられ、エネルギーが波から回収されていることとなります。コンデンサにはエネルギーが実験開始により蓄えられることがわかります。

セルフパワー・アクティブ制御により、波のエネルギーを回収し、そのエネルギーのみを用いて、外部からのエネルギー供給がなくても、アクティブ制御が実現できること、動揺の振幅を約半分に低減できることが水槽実験により実証されました。



実験結果

今後の展開

提案するセルフパワー・アクティブ制御を用いた船用減揺装置は、理論的裏付け、模型船による水槽実験を通して、実用化へ向けた基礎的開発に成功したと考えています。今後の展開としてエネルギー回生を重視して、発電機としての機能を充実させることも考えられます。さらに、実際の船舶での実用化に向けて、ハードウェアや、減揺効果向上とエネルギー回生効率の一層の向上を目指した制御系の改善など、さらに検討する予定です。

停船時や低速航走時においても減揺効果があること、省エネルギーが実現できることという画期的な特徴を有するため、停船時、波浪の影響を受けて作業が困難であった海底ケーブル敷設船、油回収船、クレーン船などの各種作業船や、気象観測船、海洋調査船などの研究船、さらには釣り船などへの実用化が期待されます。

まとめ

- 1) 世界で初めてセルフパワー・アクティブ制御を適用した船用減揺装置の開発に成功した。
- 2) セルフパワー・アクティブ制御とは、振動・動揺のエネルギーを回生して制御に利用する全く新しいコンセプトである。
- 3) 本開発の船用減揺装置とは、可動マスを船体の揺れに応じて電動モータで動かし、波浪による船体の横揺れを半減する。
- 4) セルフパワー・アクティブ制御により、減揺効果だけではなく、波のエネルギーを回生して、有効活用することが可能となり、省エネルギーに貢献する。
- 5) 外部エネルギーの消費がなくなるだけではなく、場合によっては発電機能を持たせることも考えられる。
- 6) 理論の構築だけではなく、模型船による水槽実験に成功した。

本件に関する問い合わせ先：東京大学 国際・産学共同研究センター

生産技術研究所

須田研究室 Fax 03-5452-6194

E-mail suda@iis.u-tokyo.ac.jp

以上