

地球温暖化ガスの排出を 大幅に削減する波動発電装置

東京都市大学 工学部 建築学科
教授 西村 功

研究分野の社会的位置づけ

- 我が国の年間のCO₂排出量は約12億トン
- 発電によるCO₂排出量は約40%
- 世界の海運によるCO₂排出量は約10億トン
- 地球温暖化ガスの排出を抑えるとともに、我が国のエネルギーを将来にわたって確保する
- 我が国の周辺海域には、膨大な量の波動エネルギーが存在している

再生可能エネルギーの3条件

- 自然エネルギーの総量が豊富に存在することが前提条件である。
- 自然界のエネルギーは広く薄く分布しているので、集める技術をローコスト化することが必要である。
- 自然エネルギーを電気エネルギーに変換する装置を小型化し、変換スピードを高速化することが実用化に必須である。

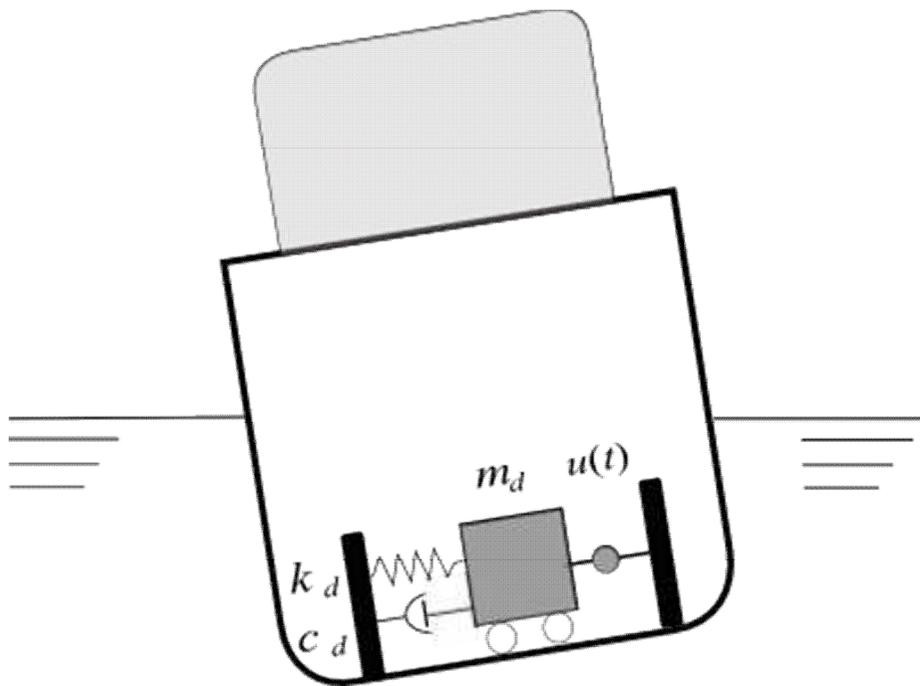
従来技術（波力発電）の問題点

- 沿岸部に波力発電所を建設すると環境に影響を与え、漁業との両立が難しい。
- 波力発電装置が海水に接する場合は、維持管理に費用が発生する。
- 波浪が大きい場合を想定して安全な施設を建設するので、建設コストが増える。

新型波動発電装置の特徴

- ・船舶に動吸振器を搭載し振動エネルギーを電気に変換する

1. 空気と水の比重は約800倍
2. 運動エネルギーを慣性力で回収する
3. 船舶振動でエネルギーを蓄積する



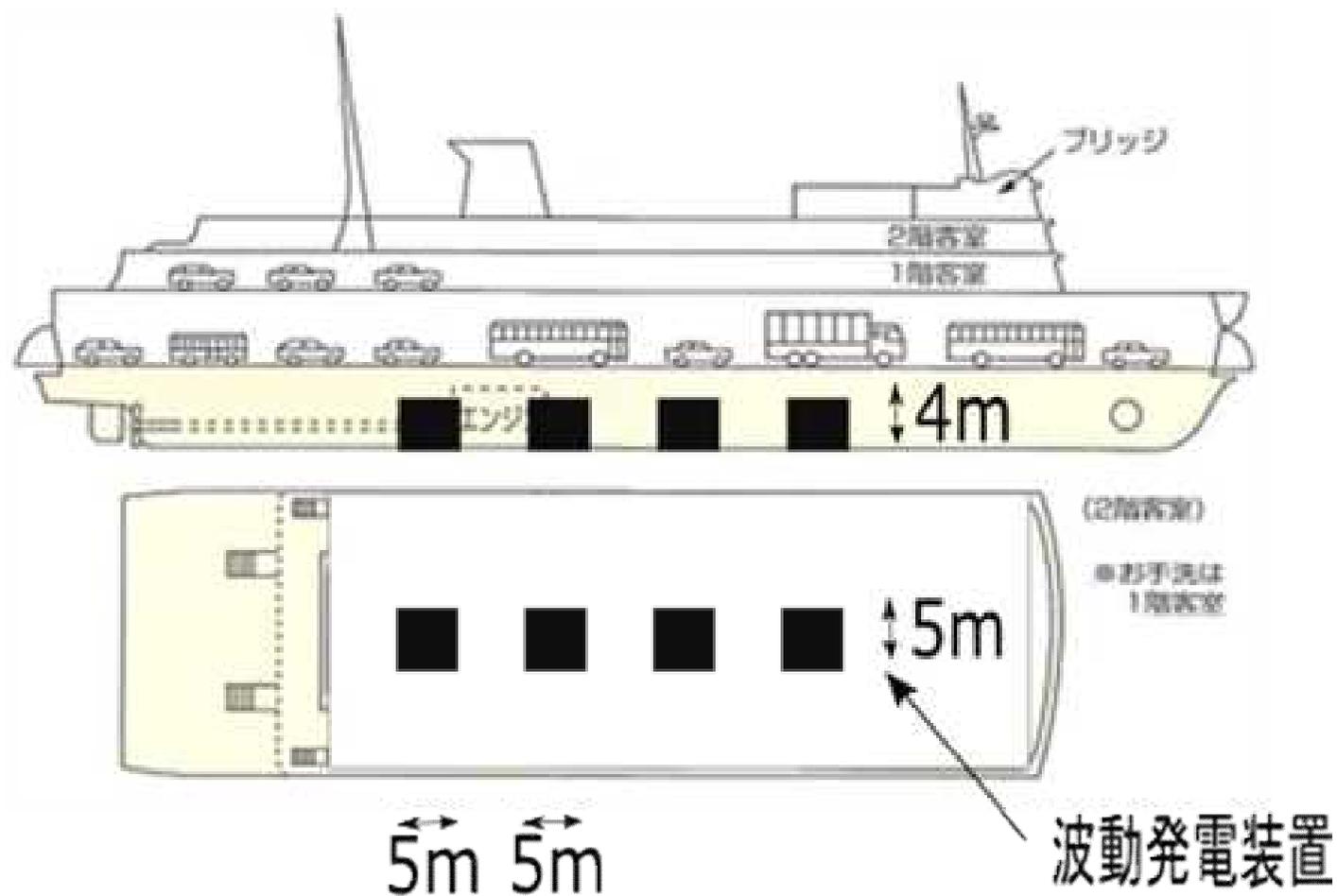
- ・エネルギー変換を高速化するためにアクティブ制御する

1. 振動制御を長周期で行う
2. 発電機のワット数を高める
3. 装置のローコスト化

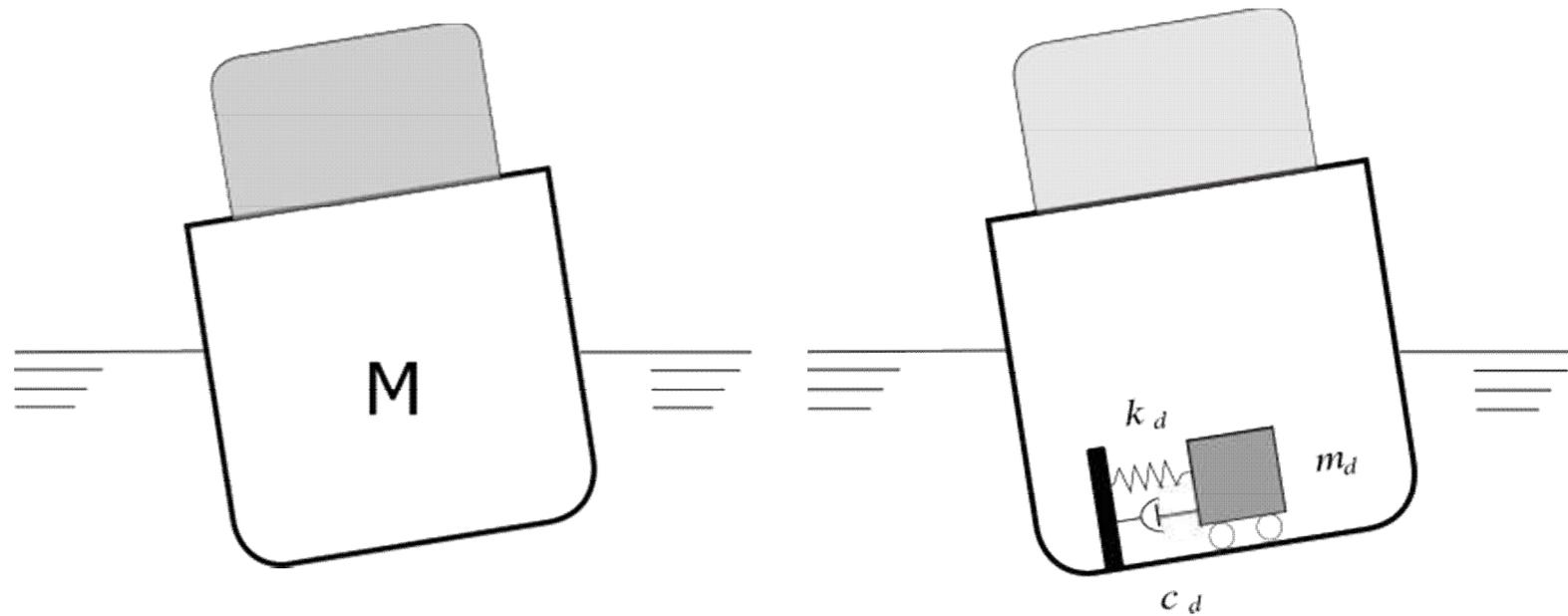
新型波動発電装置の効果

- 海運で発生するCO₂を削減できる
- 我が国の火力発電で生じるCO₂を削減できる
- 造船、制御、海運、発送電、パワー半導体、高分子化学、など多様な技術の融合によって新しい産業分野を創造する
- 燃焼エネルギーの時代からパラダイムシフト

新型波動発電装置の作動イメージ

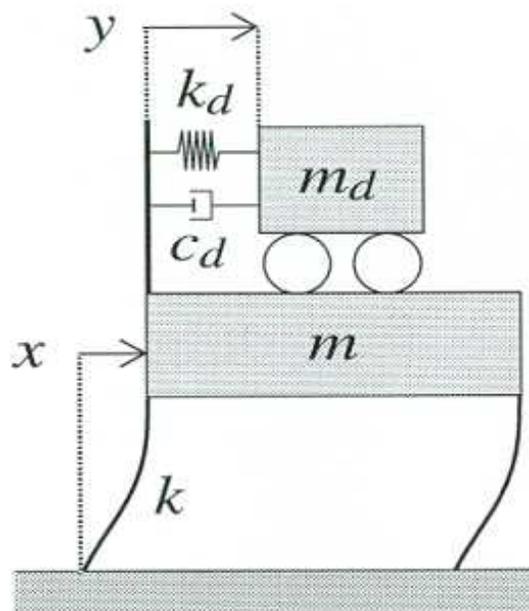
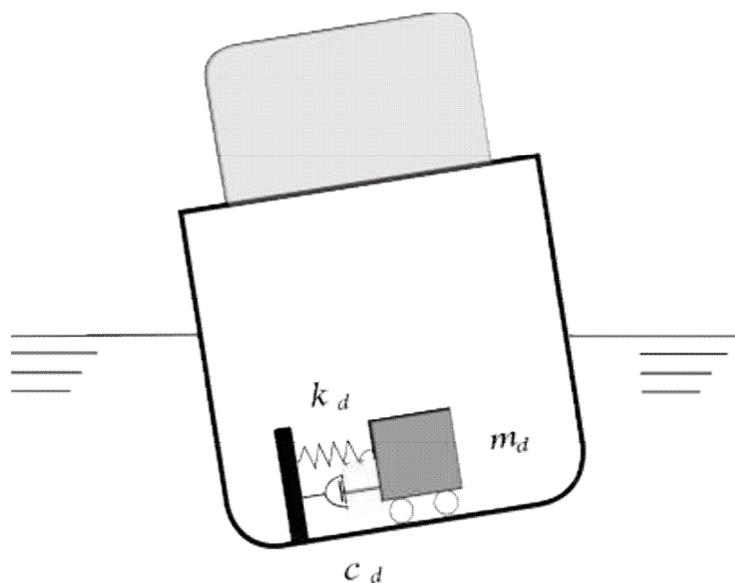


動吸振器による発電原理(1)



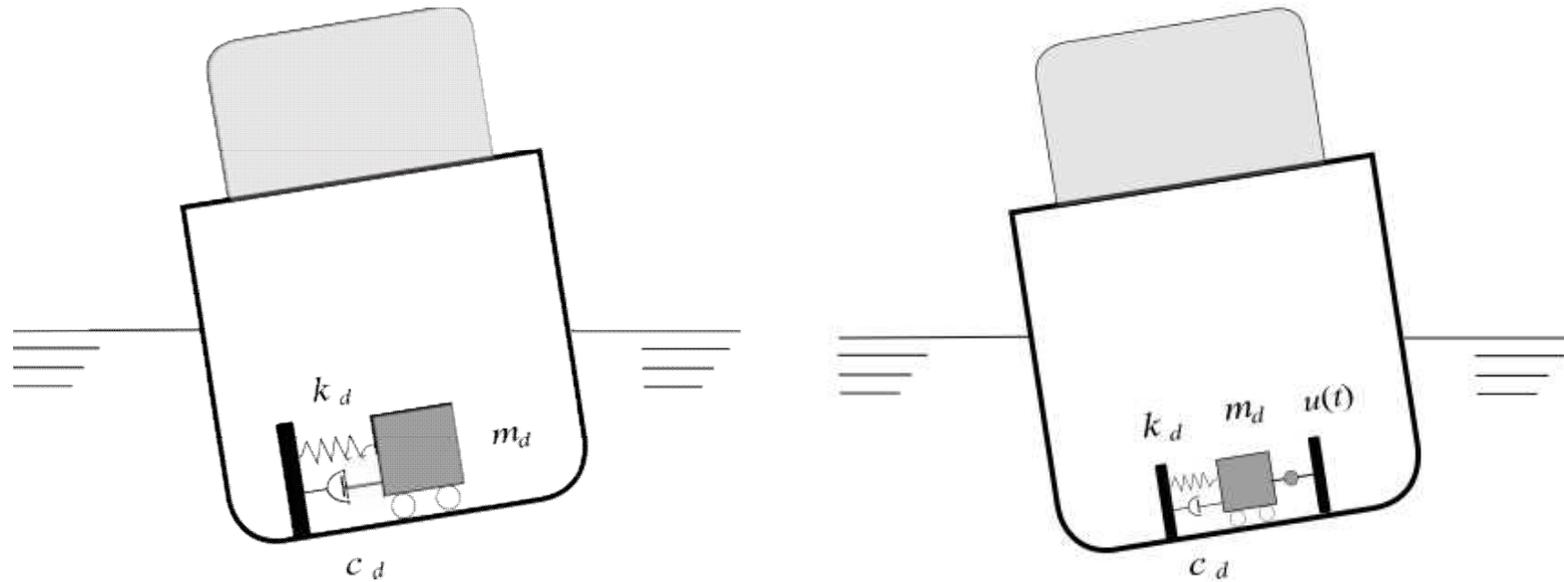
質量の大きな主振動系に小型で同じ振動数の振動系を付属させ、振動エネルギーを吸収する

動吸振器による発電原理(2)



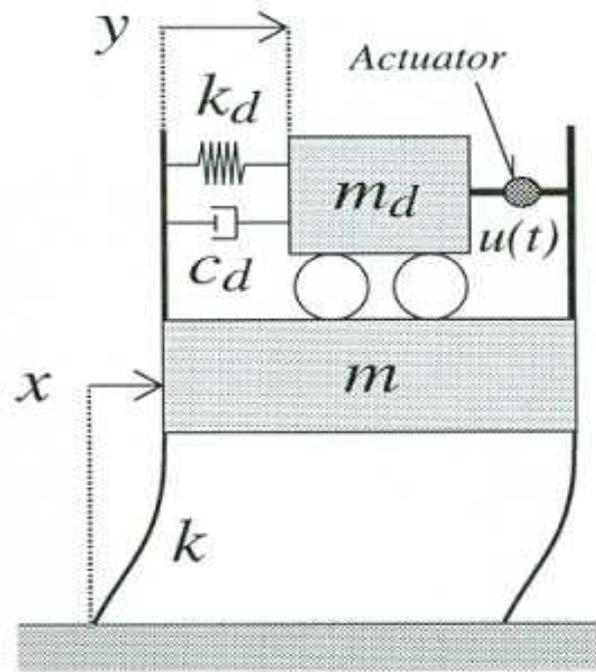
減衰装置として発電モータを用いれば、船舶の振動エネルギーを電気エネルギーに変換できる

動吸振器による発電原理(3)



アクティブ振動制御を行うことで装置を小型化できる。

アクティブ振動制御則



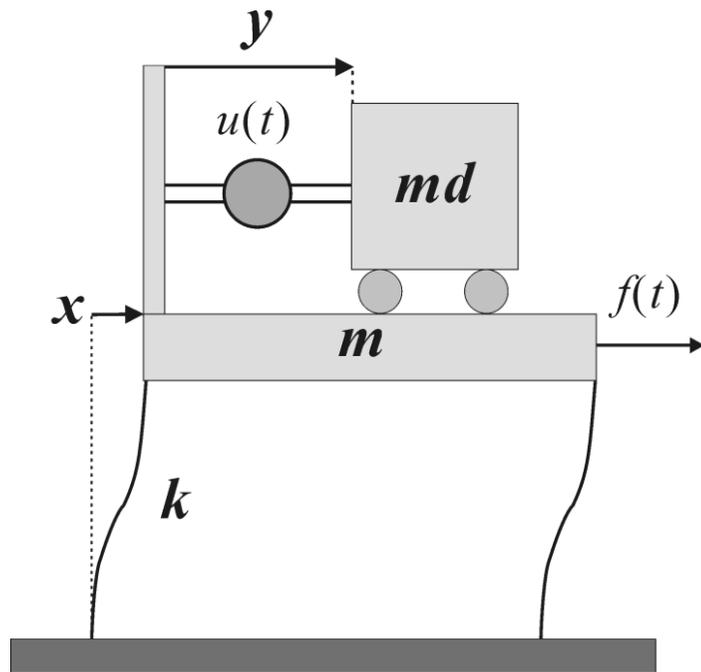
- アクティブ型振動発電の長所
 - 小型装置でも減衰率を大きくできる。
 - 減衰率が増大すれば単位時間当たりのエネルギー吸収量(W数)を大きくできる。
 - 小型の装置で長周期の波動から短時間にエネルギーを吸収できる。
- 現代制御理論の弱点
 - 制御エネルギーが必要である。

アクティブ型動吸振器

絶対加速度制御則(1)

Active Tuned Mass Damper

$$u(t) = -mg_a \ddot{x} - g_v \dot{y} - g_d y$$



$$g_d = m_d \omega_{opt}^2$$

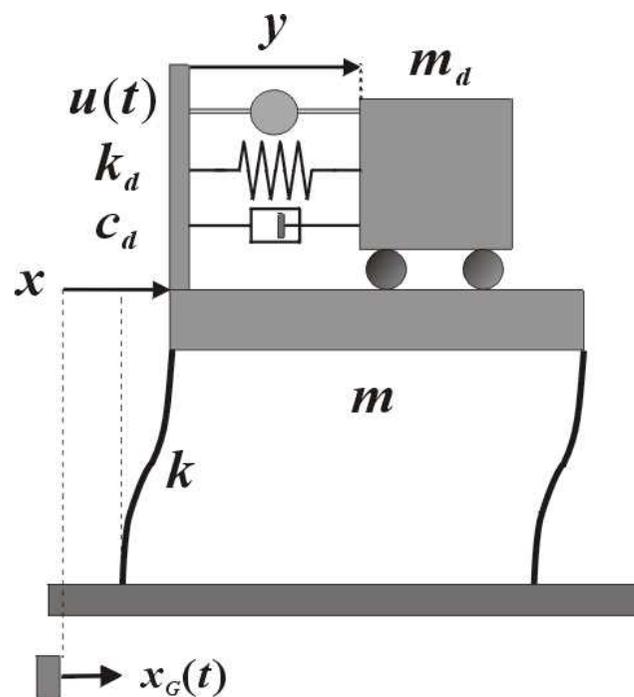
$$g_v = 2m_d \omega_{opt} \eta_{opt}$$

$$\omega_{opt} = \omega_o \frac{\sqrt{1 - g_a}}{1 + \mu}$$

$$\eta_{opt} = \sqrt{\frac{3(\mu + g_a)}{8(1 + \mu)}}$$

絶対加速度制御則(2)

エネルギーの釣り合い式



$$\frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}m_d(\dot{x} + \dot{y})^2 + \frac{1}{2}k_d y^2 + c_d \int_0^T \dot{y}^2 dt - \int_0^T \dot{y}u(t)dt = m \int_0^T \dot{x}f(t)dt$$

時間の経過とともに

$$c_d \int_0^\infty \dot{y}^2 dt - \int_0^\infty \dot{y}u(t)dt = m \int_0^\infty \dot{x}f(t)dt$$

絶対加速度制御則(3)

$$c_d \int_0^{\infty} \dot{y}^2 dt - \int_0^{\infty} \dot{y}u(t)dt = m \int_0^{\infty} \dot{x}f(t)dt$$

発電エネルギー 制御エネルギー 波動のエネルギー

もしも、波動を最初から知っていれば、最適なパッシブとアクティブの組み合わせが分る。

$$c_d = \frac{m \int_0^{\infty} \dot{x}f(t)dt}{\int_0^{\infty} \dot{y}^2 dt}$$

絶対加速度制御則(4)

定常不規則外乱の場合の最適解

$$c_d = \frac{m \int_0^{\infty} \dot{x} f(t) dt}{\int_0^{\infty} \dot{y}^2 dt} \qquad c_d = \frac{m E[\dot{X} F]}{E[\dot{Y}^2]}$$

如何なるスペクトルを持つ定常不規則外乱に対しても、成り立つパッシブ減衰の最適値は、ホワイトノイズに対しても最適値になる。(必要条件)

$$c_d = \frac{\mu}{\mu + g_A} c_{opt} \qquad c_A = \frac{g_A}{\mu + g_A} c_{opt}$$

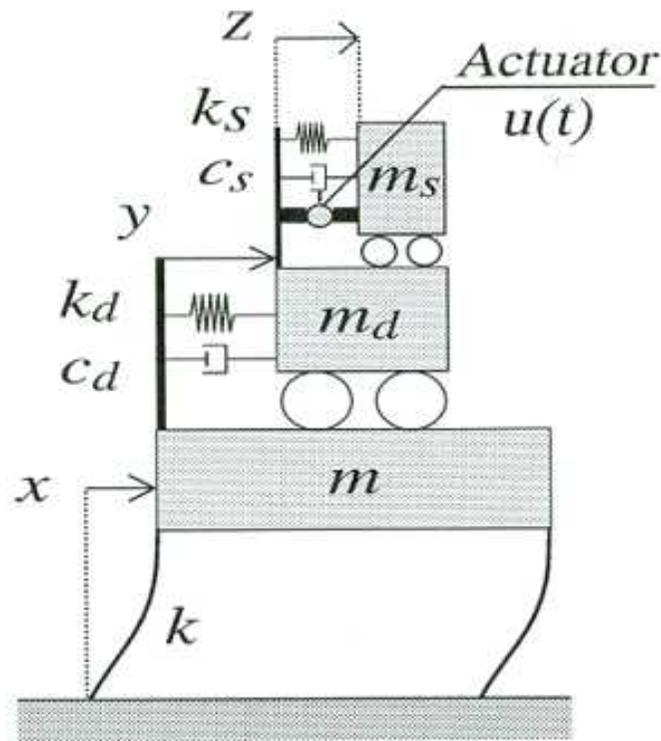
絶対加速度制御則(5)

非定常不規則外乱の場合の制御エネルギー

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T \dot{y}u(t)dt = 0$$

確率論的には、アンサンブル平均の意味で制御エネルギーを如何なるスペクトルを有する定常不規則外乱に対しても最小化できる答えが見つかった。非定常不規則外乱に対して時間の経過と共に、必要制御エネルギーがゼロに収束する値は存在するのか？

◇実施例(超高層ビル風の振動による発電)

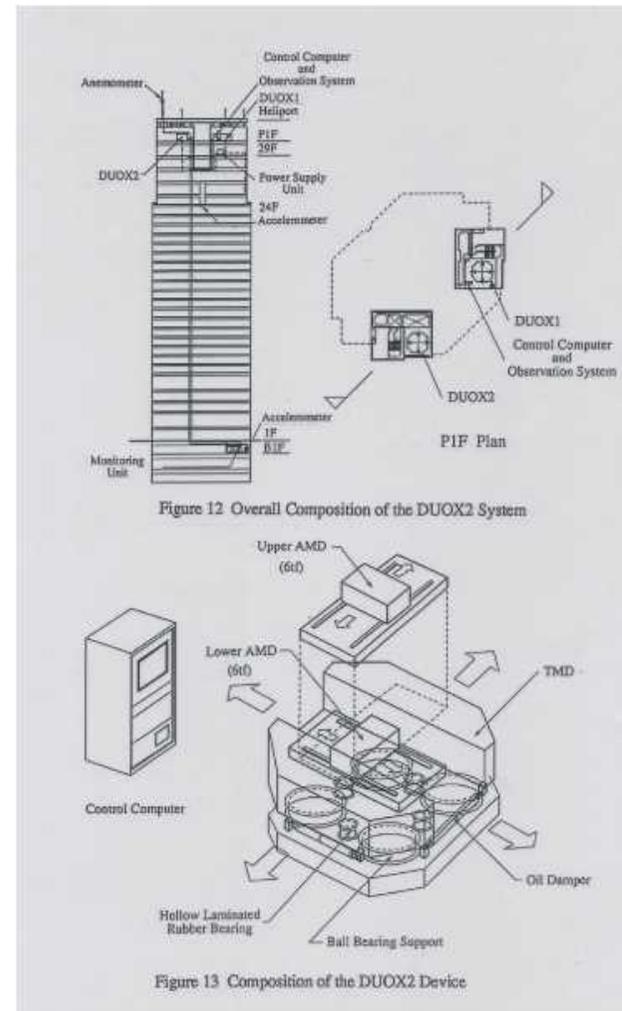


DUOX型動吸振器

ハイブリッド型振動制御装置

- ・絶対加速度F.B.の研究成果を基に、直接的な反力を第2質量体の慣性力で実現した。
- ・発電装置と制御装置を分離できるので装置の調整が容易で発電量を調節できる。

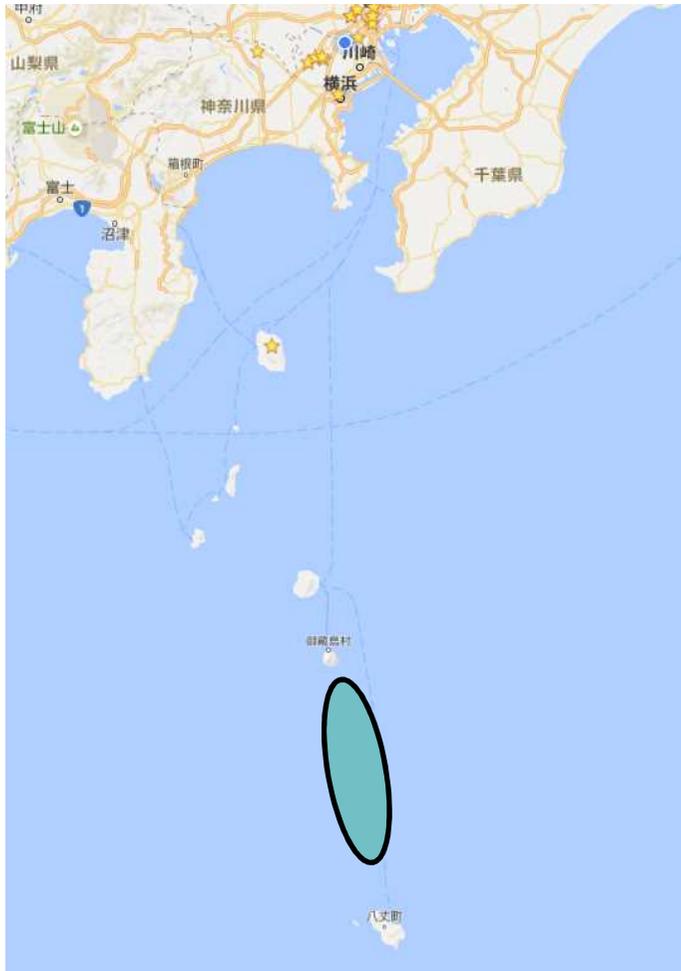
◇超高層ビルの振動制御装置



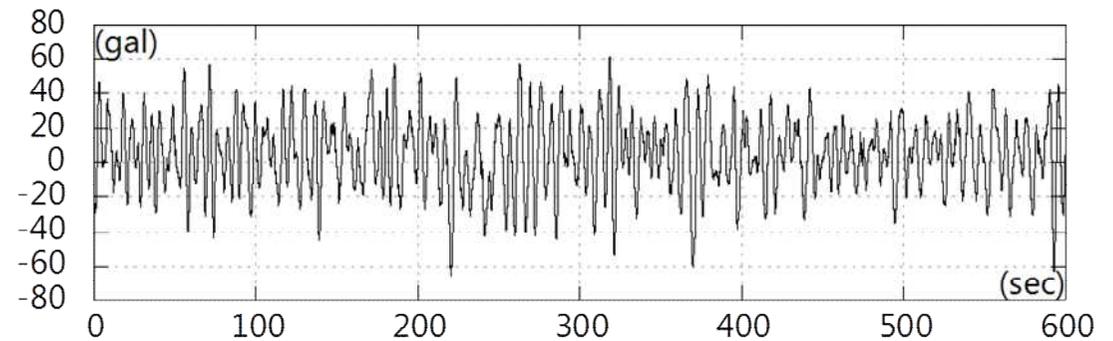
◇アクティブ型振動制御装置



波動エネルギー密度の観測

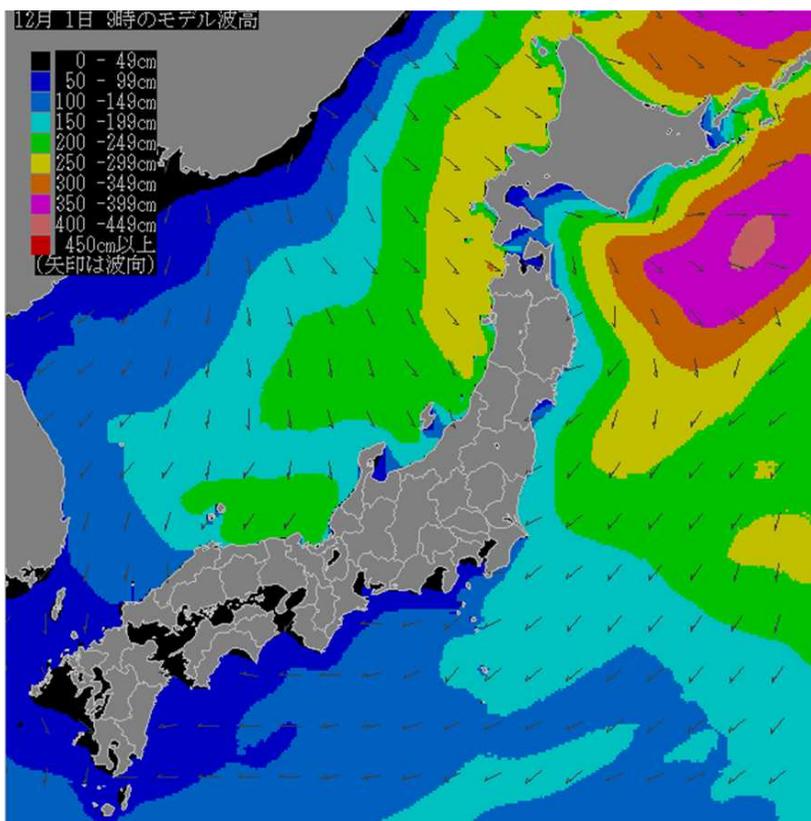


橘丸 (5000ton)

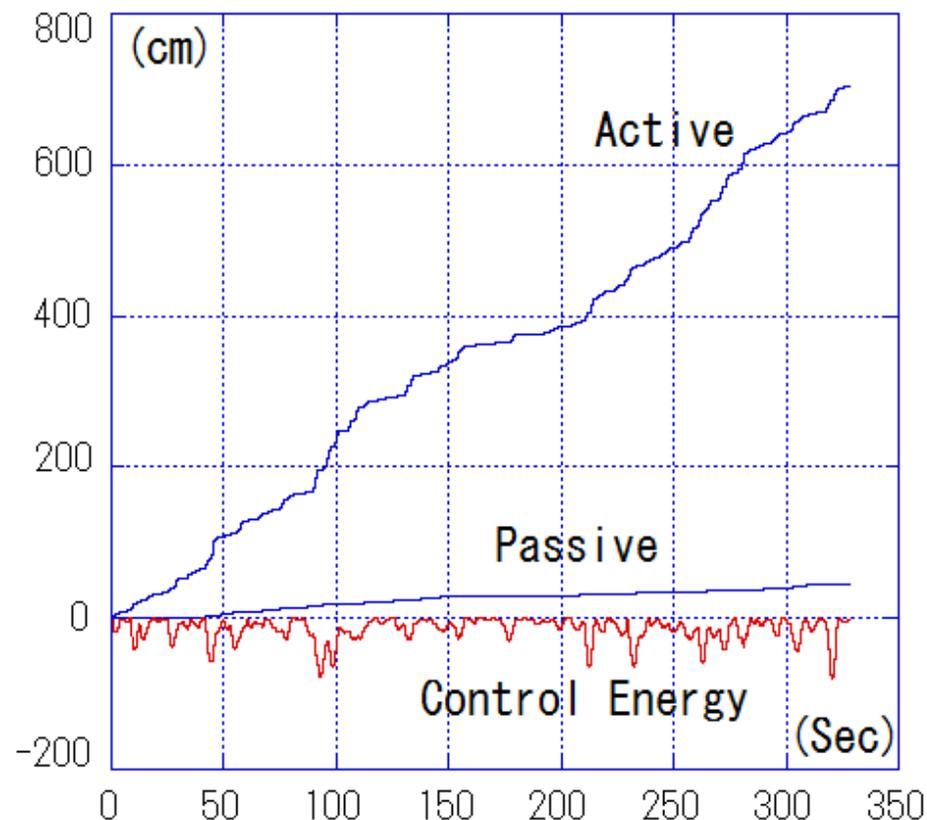


八丈島周辺でのローリング振動

観測データに基づく発電量の解析



観測時の波高分布



発電エネルギーの時刻歴
(位置エネルギー換算値)

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来の波力発電は、沿岸部に発電所を建設する必要があり漁業との両立が困難であった。
- 従来の振動発電装置は、高振動数を対象とした技術であったが、本技術により低振動数の振動発電が可能となった。
- 本技術の適用により、波動発電の経済性が大きく向上し、再生可能エネルギーとしての応用範囲が拡大した。

想定される用途

- 漁船など小型船舶用エンジンとしての実用化
- 洋上風力発電(浮体)構造物の振動抑制を行う波動発電装置の実用化
- 5000トン程度の船舶用駆動発電装置の実用化
- 航行可能な浮体発電所の実用化
- 離島向けの洋上発電所の実用化

実用化に向けた課題

- 現在、理論的な研究と一部地域での波動エネルギーの観測データがあるのみである。
- 今後、10KW 程度の試作機を、外洋を航行する船舶に搭載して、発電量を観測する計画である。
- 試作機は1,000万円程度で製作することを目標とする。

企業への期待

- ひずみエネルギーを蓄積する部材の開発は免震構造用積層ゴムの製造技術を持つ企業との共同開発を希望する。
- 波動発電装置の試作機の製作は、比較的大型装置の制御技術を有する企業との共同開発を希望する。
- 波動発電装置を実装する船舶を有する海運関連の企業とは、包括的共同研究を希望する。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 波力発電装置
- 登録番号 : 第5695991号
- 出願番号 : 特願2011-150694
- 出願人 : 学校法人五島育英会
- 発明者 : 西村 功
- 発明の名称 : 座屈安定性に優れた積層ゴム支承
- 登録番号 : 第4738846号
- 出願番号 : 特願2005-061960
- 出願人 : 学校法人五島育英会
- 発明者 : 西村 功

お問い合わせ先

東京都市大学 産学官連携センター 大堀 博信

TEL 03-5707 - 0104

FAX 03-5707 - 2128

e-mail: sangaku@tcu.ac.jp

東京都市大学 工学部 建築学科 西村 功

e-mail: inishimu@tcu.ac.jp