

柔軟発電素材FPEDを用いた環境発電





広島大学大学院工学研究院
エネルギー環境部門
陸田秀実

2015.8

身の周りの様々なエネルギー



環境発電

↓

力学的エネルギーハーベスト

↓

地産地消型

↓

中小規模分散型
(安全・安心)

↓

大規模集中型
からの変換

エネルギーハーベスティング=環境発電
身の回りに散在する様々なエネルギーを電気として利用すること。

研究目的

- ① 種々の自然エネルギー（潮流・潮汐・波浪・碎波・渦，風力など）を回収できる発電方式を提案・開発する。
- ② 各種産業機器・自動車，橋，歩行等から発生する振動エネルギーを回収できる振動力発電方式を提案・開発する。

<研究項目>

- ① 柔軟発電素材の構造様式・素材・性能向上
- ② 振動エネルギーへの応用
- ③ 流水エネルギーへの応用
- ④ 海洋エネルギーへの応用
- ⑤ 風力エネルギーへの応用
- ⑥ 発電理論，発電シミュレーション技術の開発と発電性能予測

柔軟発電素材(Flexible Piezo-Electric Device)

弾性素材(シリコン，ゴムなど)と高分子圧電フィルムからなる薄型積層タイプの発電体。
様々な外力が作用すると，柔軟に変形(引張，せん断，曲げ，圧縮)し，電気エネルギーを発生。



厚さ40~200μm
圧電素材(PVDFなど)



圧着・積層



パネル型



ロール型



圧縮型

柔軟発電素材FPED
Flexible Piezoelectric Device

代表的な圧電材料の分類

Piezoelectric Phenomena
1880年: Curie, J et P., 1880, Bull. soc. min. de France, T.3, pp.90-93; Comp. Rend., T.91, pp294-295

圧電材料

- セラミックス系 PZTなど
- ポリマー系
 - 永久双極子型 (配向) PVDF, ポリ乳酸など
 - 圧電セラミックス粒子複合型
 - エレクトレット型 多孔性PP, 延伸PTFE

透明化, 軽量化
柔軟性, 薄膜化

近年, フレキシブル性を特徴とする有機圧電材料の開発が盛ん.
薄膜大面積が可能.
構造材料, 多孔構造, 気孔率を制御した材料開発!

国内外の材料開発企業
→ 村田製作所, 帝人, 日本バルカー, 住友電工, クレハなど
→ EMFIT, VTT.

使用例 (パネル型の場合)

空気中加振 (ソフトタイプ)

空気中加振 (ハードタイプ)

LED発光の様子

波浪中

一様流中

水中加振

国内外の材料開発企業
→ 村田製作所, 帝人, 日本バルカー, 住友電工, クレハなど
→ EMFIT, VTT.

対象とする外力エリア

オムロン	発電量 100μW 周波数 30Hz 加速度 0.15G	
三洋電機	発電量 40μW 周波数 2Hz 加速度 0.4G	

図: 日経エレクトロニクス誌(オムロン, 三洋電機, 村田製作所より)
欧米に比べて日本は遅れている.
エネルギーハーベスティングコンソーシアム

発電原理

自然・振動エネルギー

↓

圧電素材に働く曲げ・圧縮・引張

↓

圧電素材に生ずる内部ひずみ

↓

電気エネルギー

柔軟素材であるため, 微小外力
に対しては柔軟に変形し発電可能!

圧電効果

圧電素材 (PVDFなどは), 圧力により変形する際に電圧を発生させる圧電変換素子. 機械エネルギーを電気エネルギーに変換できる.

パネル型(曲げ変形)の例

自然エネルギーや振動エネルギーによる外力

平面応力と圧縮力の活用

平面応力を生かすタイプ

引張力・曲げ 圧電素材

平面ひずみ

主に伸び縮みの方向(d11方向)の変形から電気エネルギーを得る圧電素材
 ・d31方向: 電極面に沿った伸び縮みの方向

平面応力型圧電素材の発電原理

圧縮力を生かすタイプ

圧縮力 圧電素材

圧縮ひずみ

主に樹脂フィルムの厚み変化(D33方向)から電気エネルギーを得る圧電素材
 ・d33方向: 電極面に垂直の伸び方向

圧縮型圧電素材の発電原理

発電と力学的特性

圧電方程式(d形式)

$$S_{strain} = s^E T + d^T E$$

$$D = dT + \epsilon^T E$$

PVDFの面積を $A = \int dA$ とすると、電流 i は

2次元

$$i = \frac{dD_3 A}{dt} = \left(e_{31} - e_{33} \frac{C_{31}^E}{C_{33}^E} \right) \int \frac{d\epsilon_{31}}{dt} dA + \left(e_{32} - e_{33} \frac{C_{32}^E}{C_{33}^E} \right) \int \frac{d\epsilon_{22}}{dt} dA$$

3次元

$$i = \alpha_1 \int \frac{d\epsilon_{31}}{dt} dA + \alpha_2 \int \frac{d\epsilon_{32}}{dt} dA + \alpha_3 \int \frac{d\epsilon_{33}}{dt} dA$$

面内応力・圧縮力のどちらのひずみを生かすか?

(例)A社の場合
 $C_{11}^E = C_{22}^E = C_{33}^E = 3\text{GPa}$
 $e_{31} = 75, e_{32} = 6, e_{33} = 105\text{mC/m}^2$
 ヤング率 3GPa

$\epsilon_{11}, \epsilon_{22}$: 面内ひずみ
 $C_{11}^E, C_{22}^E, C_{33}^E$: 圧電フィルムの剛性
 e_{31}, e_{32}, e_{33} : 圧電応力定数

① 圧電素材そのものに関わる項
 ② デバイスの構造様式と弾性材に関わる項

その他の項目: 流体構造連成効果, 電気回路設計

デバイス開発のポイント

$i = \alpha_1 \int \frac{d\epsilon_{31}}{dt} dA + \alpha_2 \int \frac{d\epsilon_{32}}{dt} dA$

① 圧電素材の性能

- 出力向上
- 異方性考慮
- 剛性など

③ 電気回路

- 並列, 直列, 併用, ロスなど
- 蓄電
- インピーダンスマッチング

② デバイスの構造様式と弾性材に関わる項

- 最大ひずみ量
- ひずみ速度 = 振動周波数, 振動モード
- 流体力(波, 流れ等)や振動力の効率的な獲得 → 構造流体連成問題

パネル型

ロール型

圧縮型

構造様式と特徴

せん断応力分布

Force & Vibration

発電性能に関わる重要なパラメータ

- ☆ 圧電素材間の距離 δ
- ☆ 圧電素材の積層数

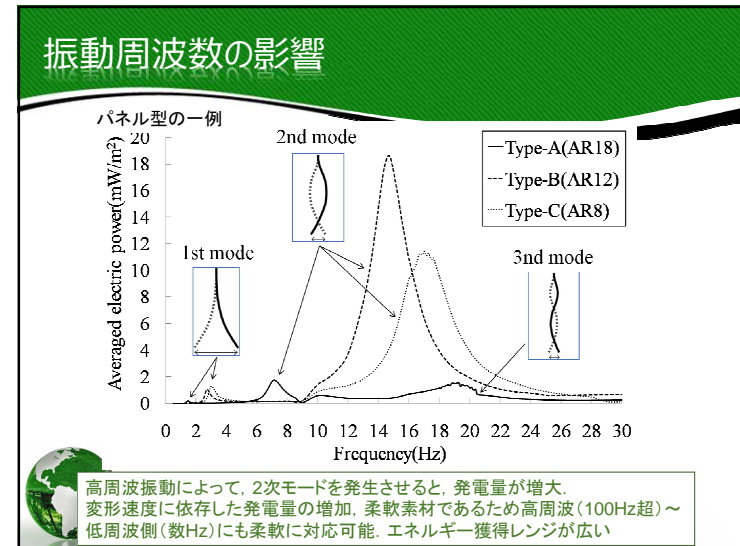
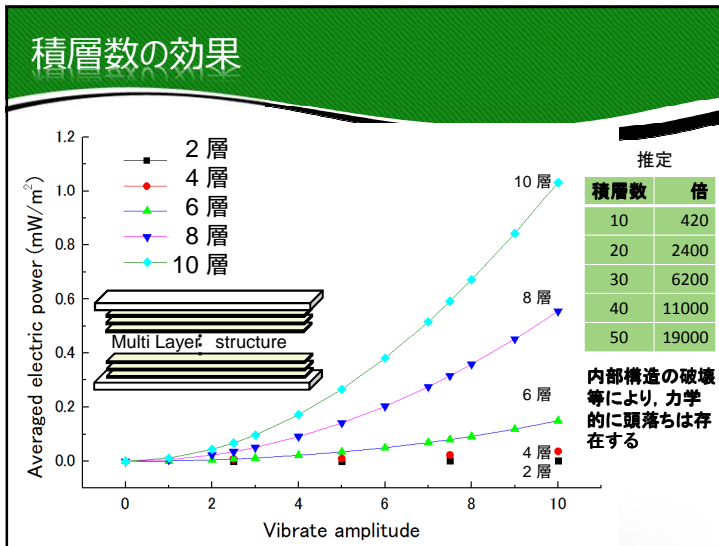
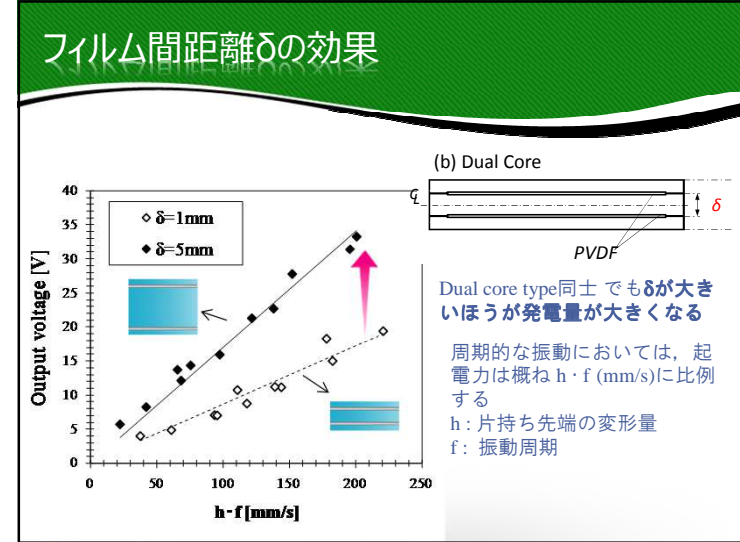
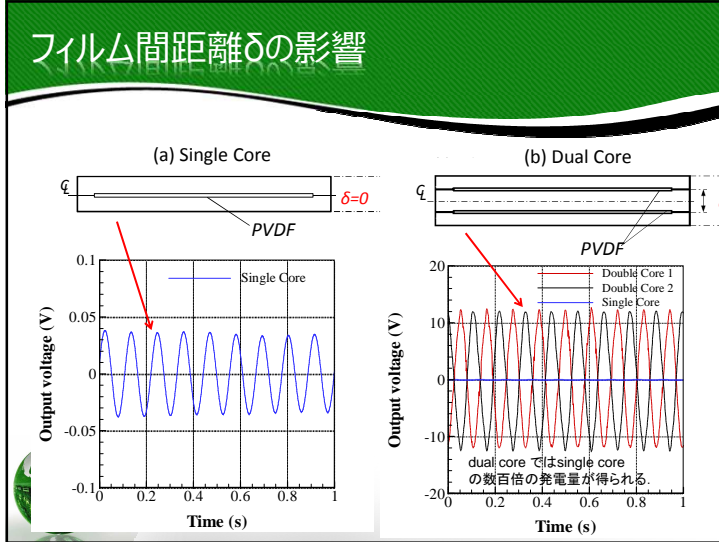
一次変換効率という概念がないため、電気エネルギーに変換する際の工程が少なく、エネルギーロスが数ない。
 → 変換効率が高い(応答性, 感度).

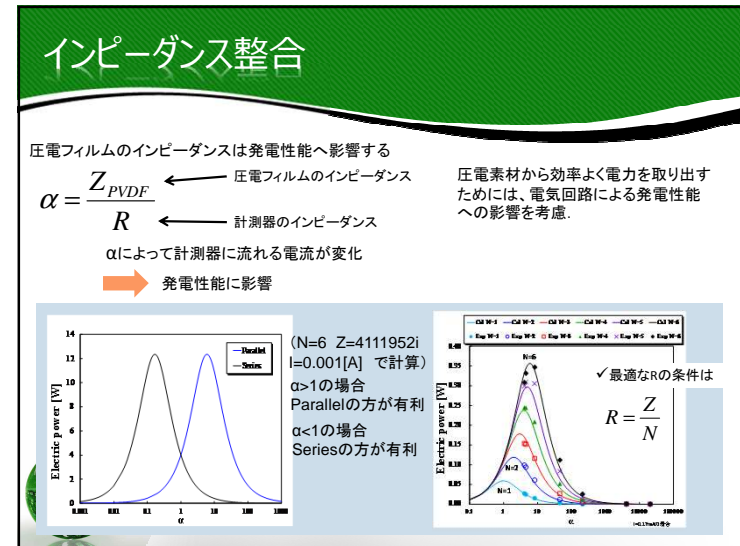
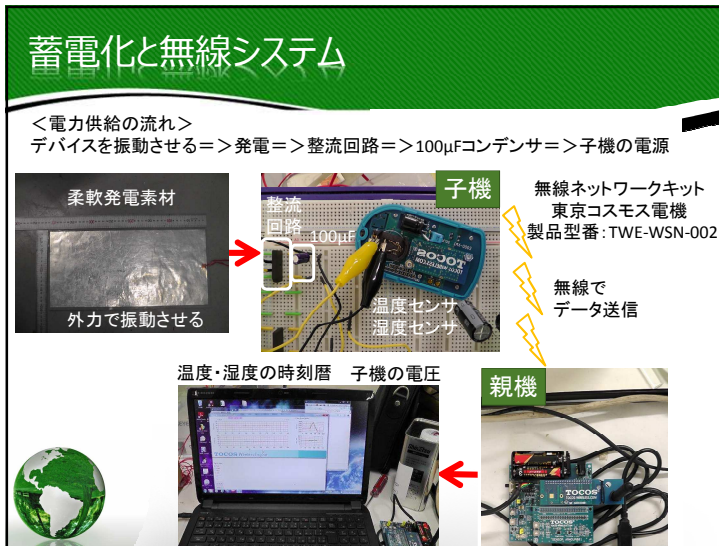
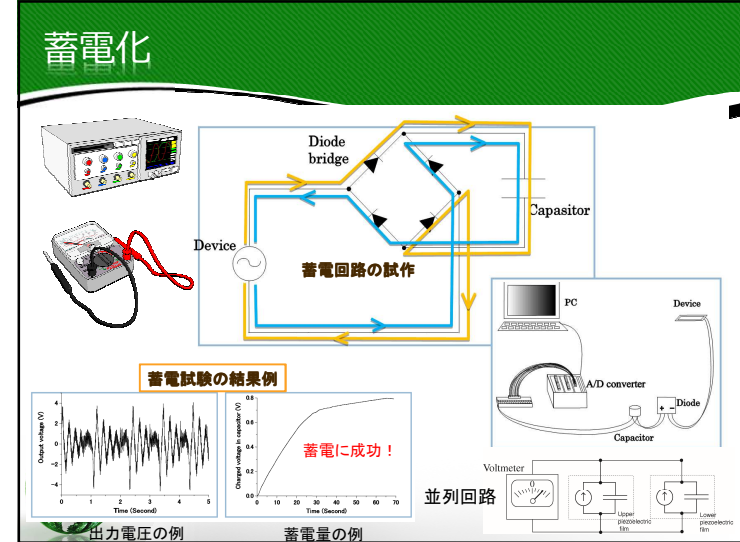
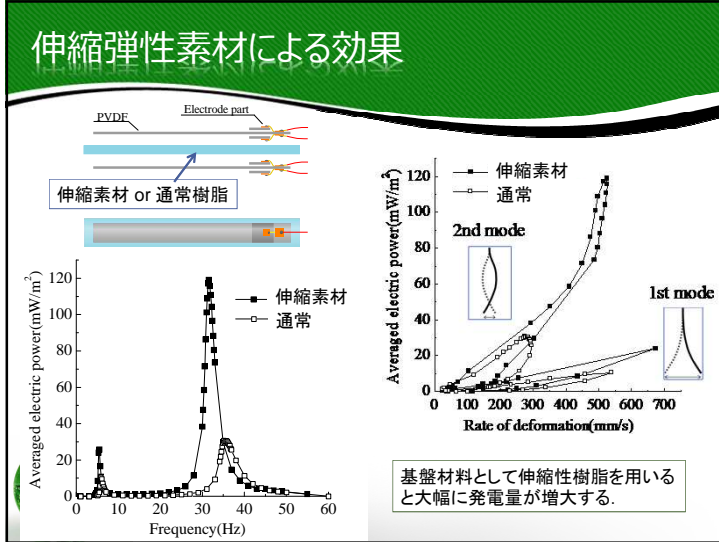
特徴

- 軽量, 薄型
- 微小な外力でも変形し発電
- 自由な形状(カスタマイズ)
- 水中, 空気中どこでも使用可
- 変形速度に比例した発電性能
- 高周波振動で発電が大きい

発電量の時間変化


発電量の周波数特性





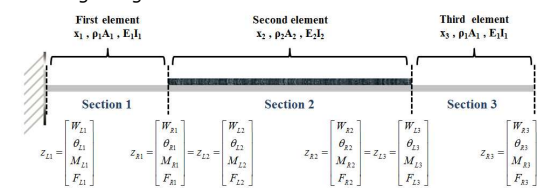
講演内容

- 研究背景と目的
- 柔軟発電素材FPEDの概要
 - 発電原理, 構造様式, 力学特性, 発電特性
 - 蓄電回路, インピーダンス整合, 無線システムなど
- **発電理論による最適化**
- 様々な発電方式への適用例の紹介
 - 振動エネルギー
 - 流水エネルギー
 - 海洋エネルギー
 - 風力エネルギー
- 知的財産 (特許)
- まとめと今後の展開



発電量推定のための理論計算モデル(1)

- Certain geometry changes result in segmented structure.
 - Modelling using transfer matrix model:



- Computational speed - numerically solved in MatLab.
- Provides accurate representation of natural frequencies and mode shapes.
- Readily adapted to further segmented / bimorph / multi-layer harvester configurations.

発電量推定のための理論計算モデル(2)

- Modal equation governing response:

$$\underbrace{\ddot{\eta}_q(t)}_{\text{Mechanical damping}} + 2\gamma_q \omega_q \underbrace{\dot{\eta}_q(t)}_{\text{Mechanical forcing}} + \omega_q^2 \eta_q(t) + \epsilon V(t) \underbrace{\left[W_q'(x_1 + x_2) - W_q'(x_1) \right]}_{\text{Voltage feedback - acts to reduce mechanical forcing}} = \ddot{w}_b(t) \int_0^L m(x) W_q(x) dx$$
- Electrical equation:
 - When electrical scenario consists of solely a load resistance
$$C_p \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \frac{V(t)}{R_{\text{load}}} = \sum_{r=1}^{\infty} \underbrace{-E_p d_{31}^t}_{\text{Electro-mechanical coupling}} b_p \left[\frac{\partial W_r(x)}{\partial x} \right]_{x_1}^{x_1+x_2} \tilde{\eta}_r(t)$$
- Assumptions:
 - Euler-Bernoulli beam - long and slender.
 - Negligible piezoelectric electrode thickness and adhesive thickness between layers.
 - Effects of adhesive layer, i.e. reduction in stiffness and slip between layer, negligible.
 - No electrical circuit losses occur.

発電量推定のための理論計算モデル(3)

- Excitation assumed harmonic at constant frequency:

$$w_b(t) = Y_0 e^{i\omega t}$$
- Steady-state displacement and voltage:
 - Assume harmonic response in generated voltage and displacement.
 - All studies performed close to fundamental frequency - only information regarding
 - Further modes can be included through summation of modal information.
 - Model validation achieved through experimental work

$$w_{\text{rel}}(x, t) = W_1(x) \left[\frac{Q_1 - R_1 V_0}{(\omega_1^2 - \omega^2) + (2\gamma_1 \omega_1 \omega) i} \right] e^{i\omega t}$$

$$V(t) = \left[\frac{\frac{Q_1 \phi_1 i \omega}{(\omega_1^2 - \omega^2) + (2\gamma_1 \omega_1 \omega) i}}{R_1 \phi_1 i \omega} + \left(i\omega + \frac{1}{C_p R_{\text{load}}} \right) \right] e^{i\omega t}$$

発電性能予測のための理論的アプローチ

弾性材
圧電素材

外力、振動周波数、剛性、弾性材、圧電素材、アスペクト比などをパラメータとして、予め発電量を予測することが可能
= 設計ツールとして使用

※英国ノッティンガム大学との共同研究

モード分離した梁の運動方程式⇒変位 $\eta(x,t)$

$$\ddot{\eta}_q(t) + 2\gamma_q\omega_q\dot{\eta}_q(t) + \omega_q^2\eta_q(t) + \epsilon V(t)[W'_q(x_1+x_2) - W'_q(x_1)] = \ddot{w}_b(t) \int_0^L m(x)W_q(x)dx$$

γ : 減衰係数 ω_q : q次の固有周波数

電気回路⇒起電力 $V(t)$

構造流体連成解析への拡張
空気、水との相互作用を考慮

$$C_p \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \frac{V(t)}{R_{load}} = \sum_{p=1}^{\infty} -E_p d_{31} t_p c_p \left[\frac{\partial W_p(x)}{\partial x} \right]_{x_1}^{x_1+x_2} \dot{\eta}_p(t)$$

非線形理論: 材料非線形性・幾何学的非線形性を考慮した非線形方程式への拡張も可能

理論予測と実験の比較

PVDF
Piezoelectric film (thickness: 80µm)

Shaker
PC
AD converter

デバイス変位

Unit: mm

起電力

Unit: V

発電量と変位の予測例

デバイスの変位予測

acc=0.9 m/s²
damping ratio = 0.1

起電力の予測

acc=0.9 m/s²
damping ratio = 0.1

CFDと発電理論のCoupling計算(非定常)

CFD (流体)

支配方程式 (流体)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial u_i + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + F_{iv} + g$$

電荷密度の連続方程式

$$\frac{\partial \phi_i + u_j \frac{\partial \phi_i}{\partial x_j}}{\partial t} = 0 \quad \phi_i: \text{相の判別}$$

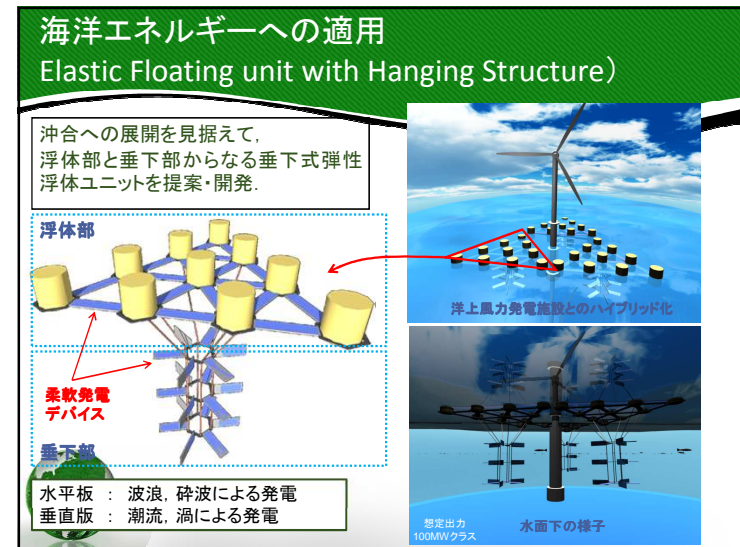
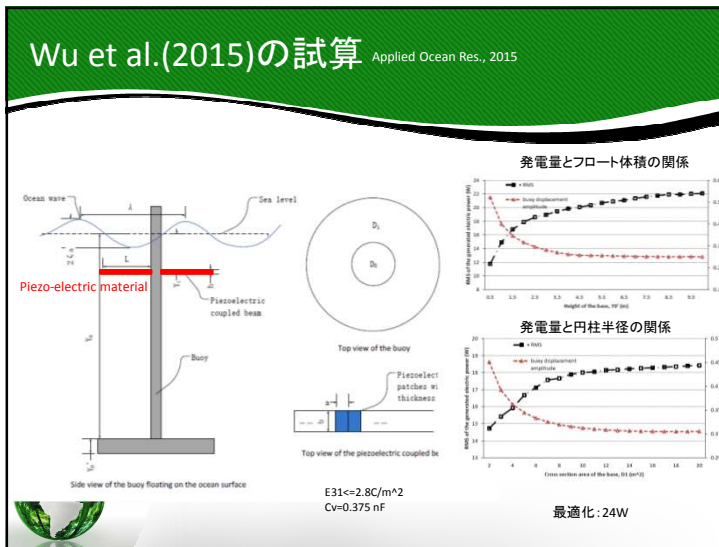
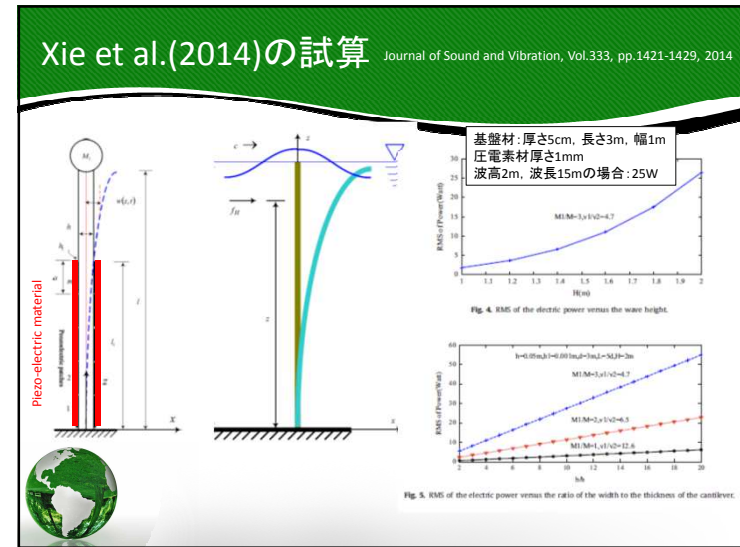
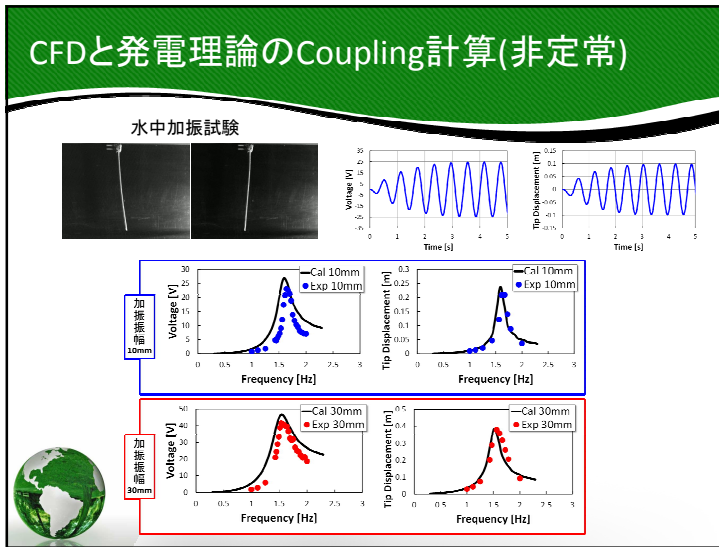
CFD技術

Electric Theoretical Model

CFD技術からの入力: 外力条件, デバイス形状, 圧力

Electric Theoretical Modelからの出力: 変位, 位置情報, 起電力

CFD技術からの出力: 粒子の変位, 粒子の位置



海洋エネルギーへの適用(実験)

広島大学所有の曳航水槽, 回流水槽, 波浪水槽にて

幅8m
長さ100m
水深3.5m

約2.2m
約1.2m

実験の1/100~1/150スケール模型製作。デバイスはdual type
日本近海の波浪条件(波高3~8m, 周期5~10sec)

計測装置

実験の様子

海洋エネルギーへの適用(実験ビデオ)

EFHAS
Exp.
By
Hiroshima
Univ.
2012.Sep.

<横から見た映像>
波向き: 右から左
浮体部(白)が波周期に同調して振動し, デバイス(黄)が変形(1次モード)

波長と周期に依存して,
波乗りするほど, 変位量・変位速度
が変化する。

<既往研究>
カキ筏模型の波浪性能試験

結果は発表時

海洋エネルギーへの適用(実験ビデオ)

<正面から見た映像>
波向き: 手前から奥へ
浮体部が波周期に同調して変形

先頭の浮体が片持ち振動状態となり,
変位が大きい

<水中カメラによる垂下部の映像>
水平パネル: 波の上下揺れ振動で変形
垂直パネル: 波の横揺れ振動で変形

海洋エネルギーへの適用 (浮体部の発電)

Averaged Electric Power [mW/m²]
H/λ

● Device A
○ Device B
▼ Device C
▽ Device D
× Device E

D/λ = 0.39

Wave

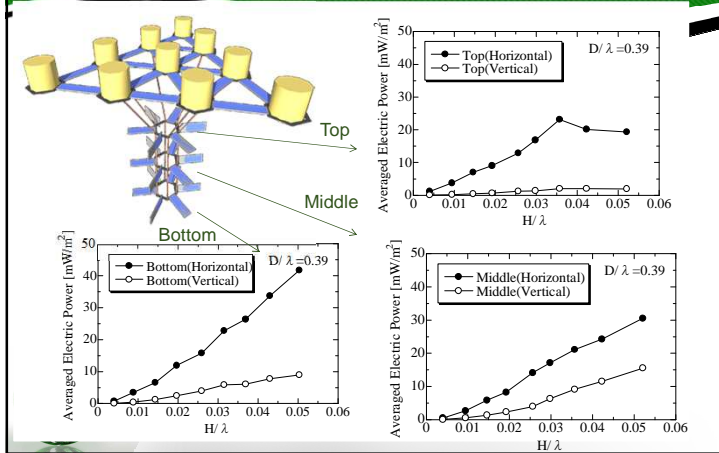
Averaged Electric Power [mW/m²]
H/λ

● Device A
○ Device B
▼ Device C
▽ Device D
× Device E

D/λ = 0.39

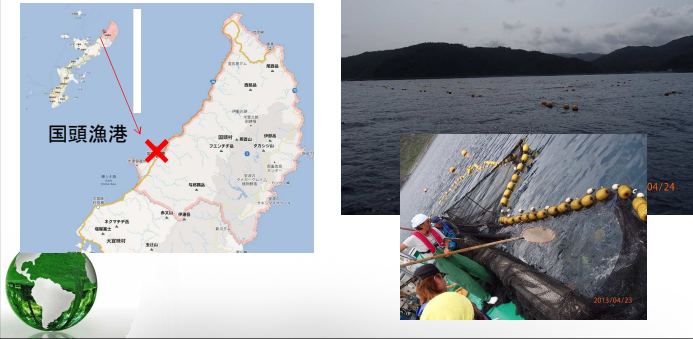
Wave

海洋エネルギーへの適用（垂下部の発電）



海洋エネルギーへの適用（現地観測）

場所：沖縄県国頭村国頭漁港沖合2km付近
 観測日：2013年4月21日～4月27日
 水深：20m弱

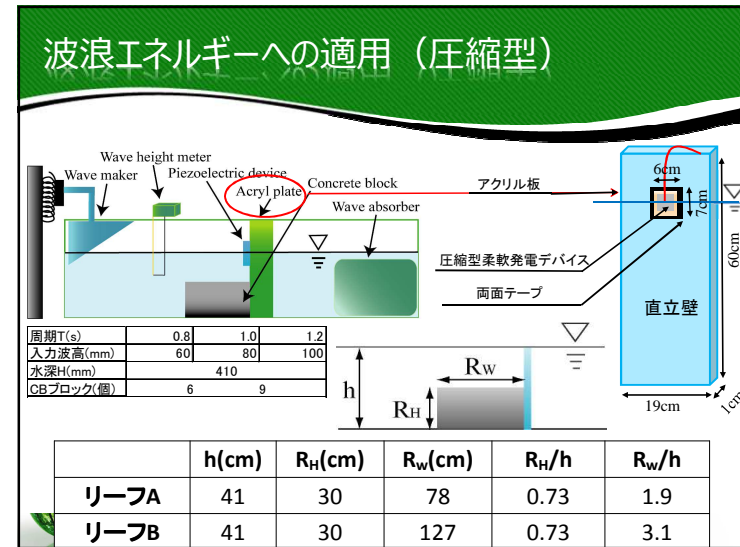
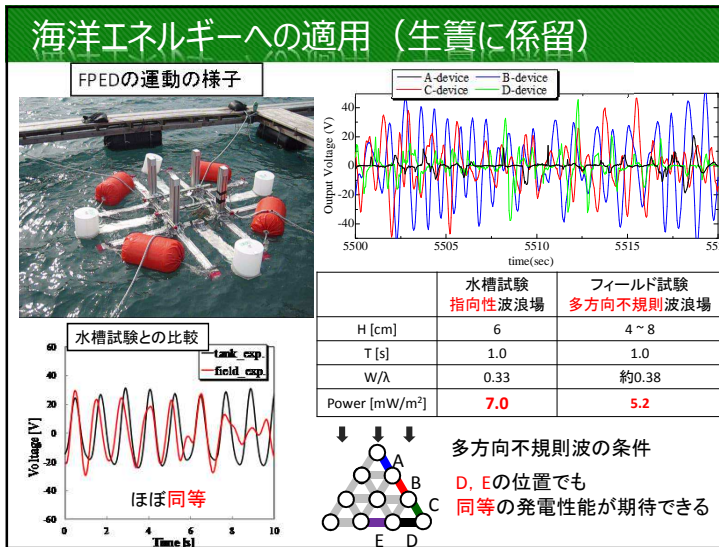
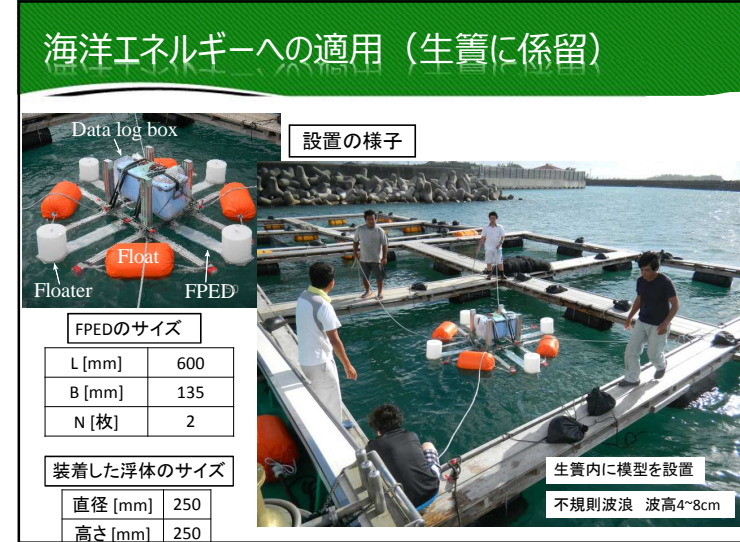
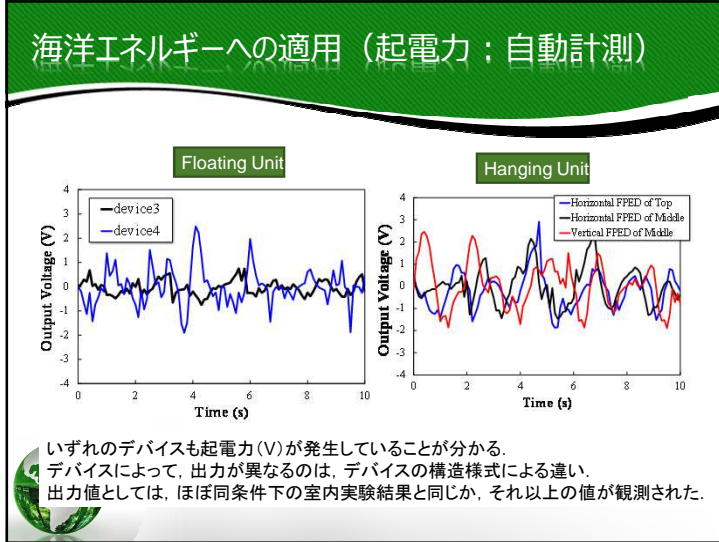


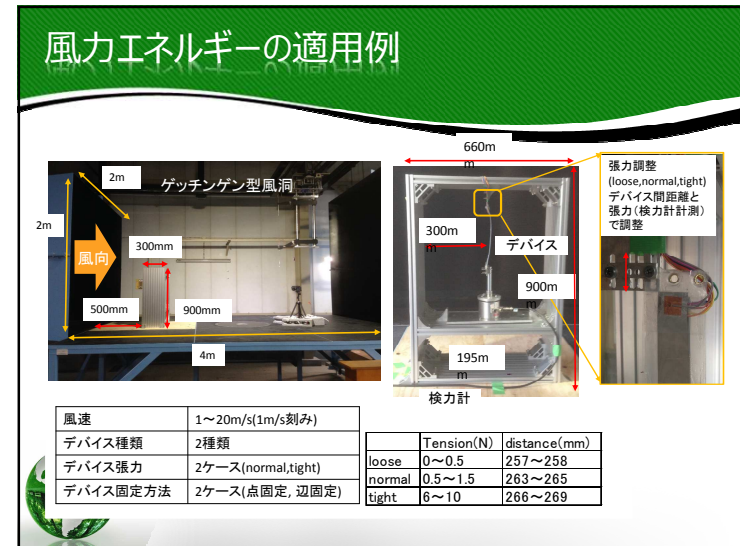
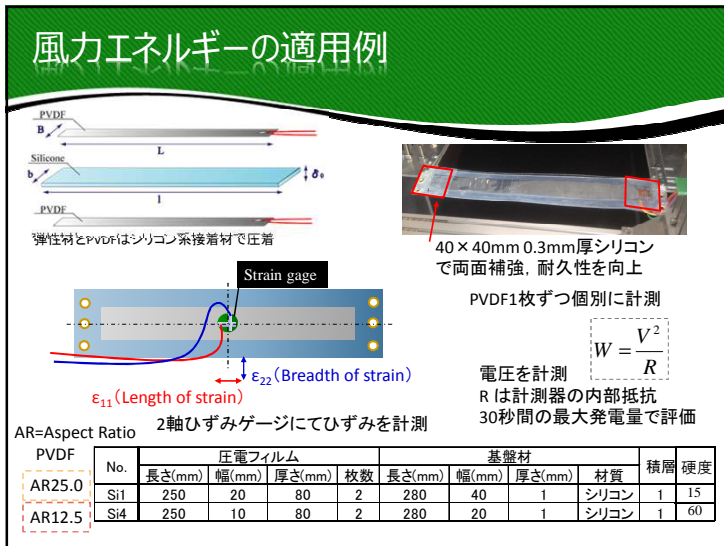
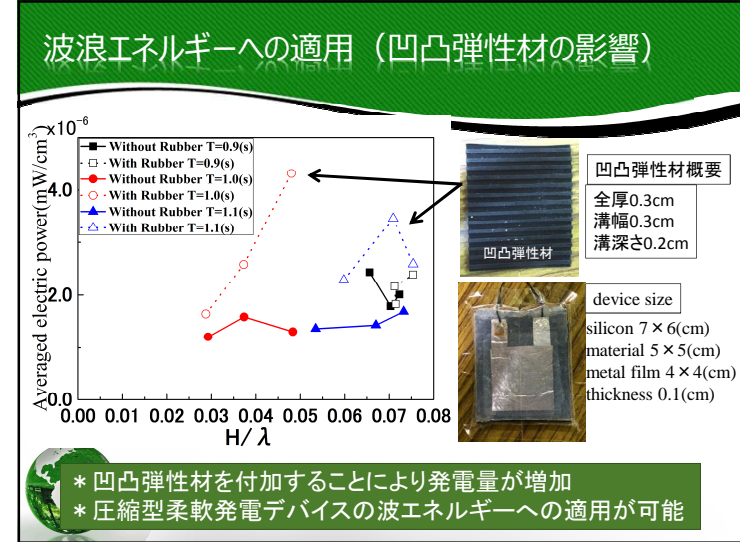
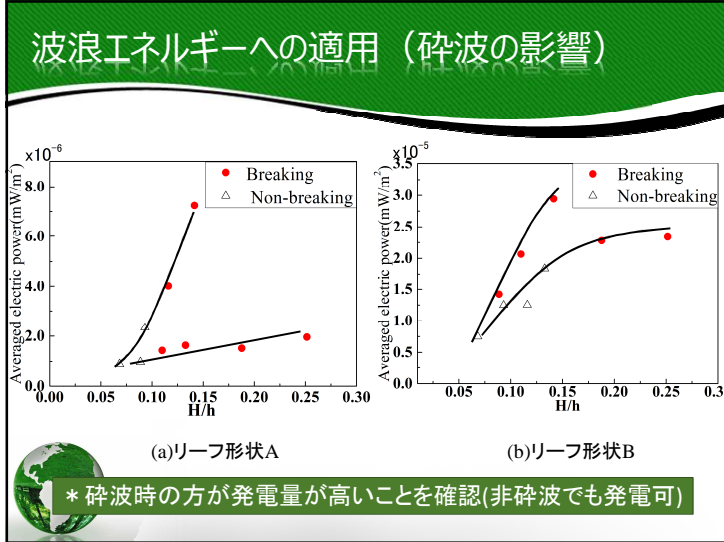
海洋エネルギーへの適用（設置の様子）

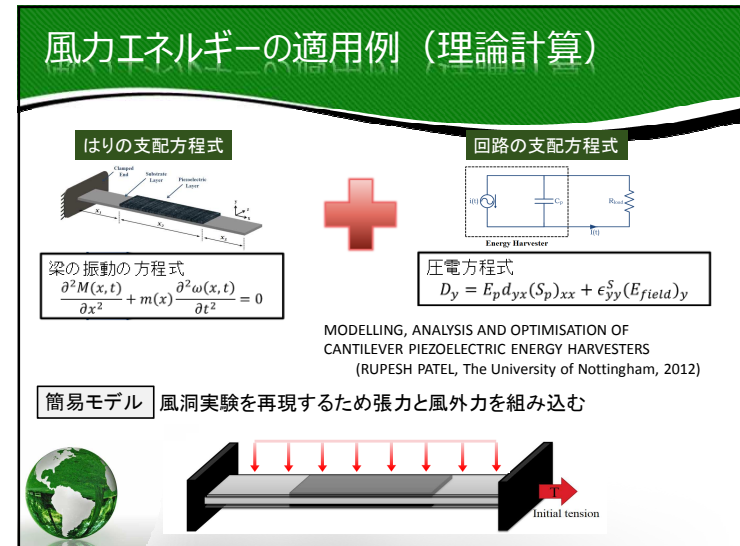
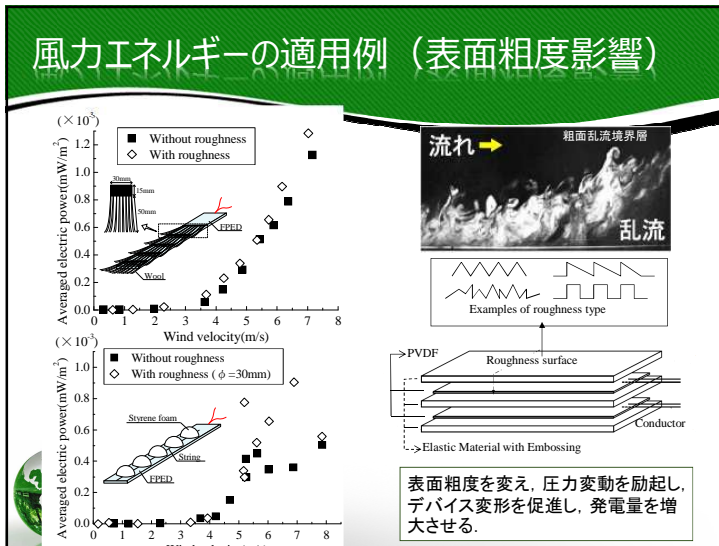
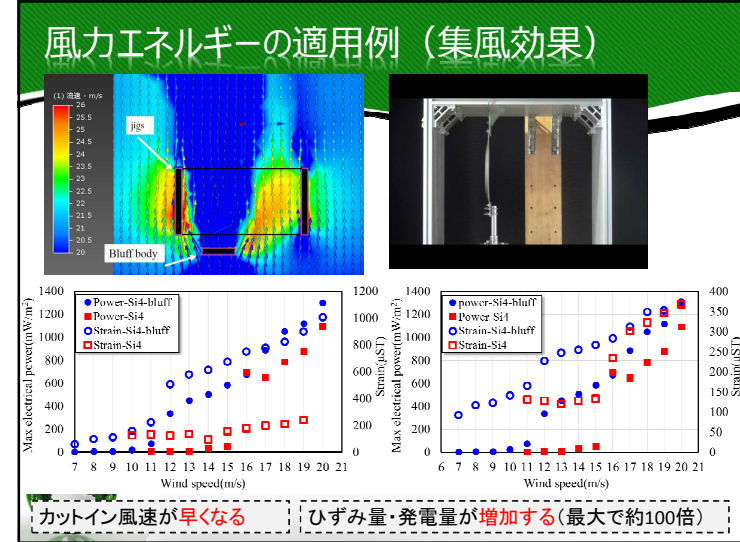
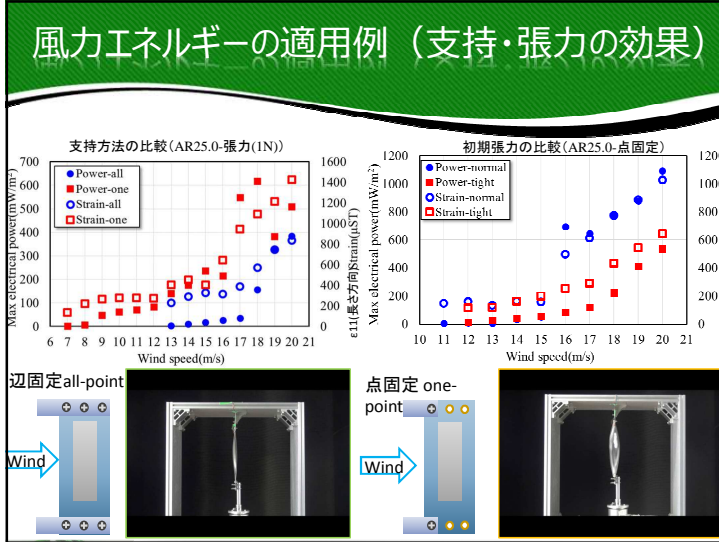


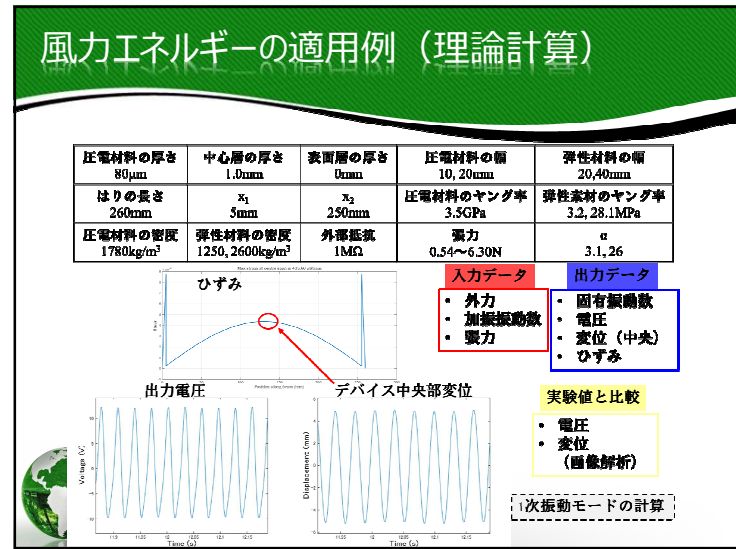
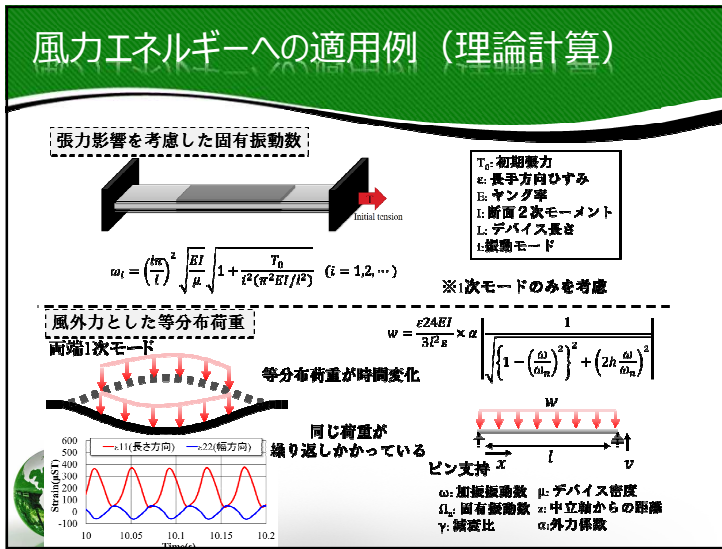
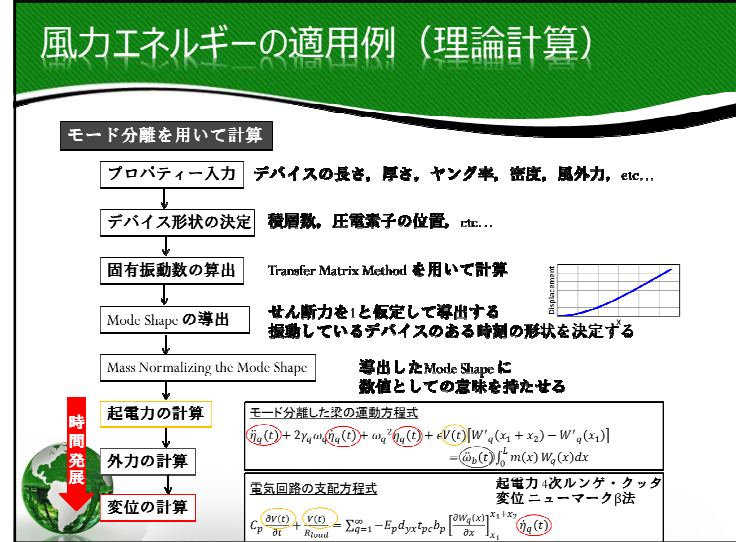
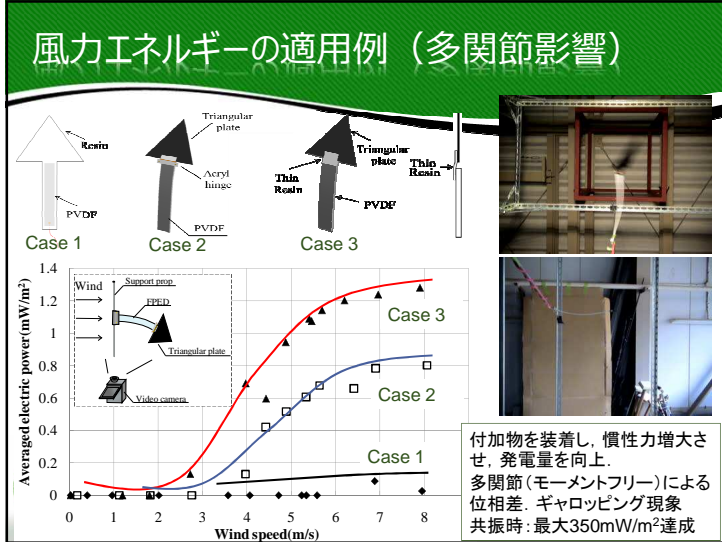
海洋エネルギーへの適用（波浪，運動の様子）

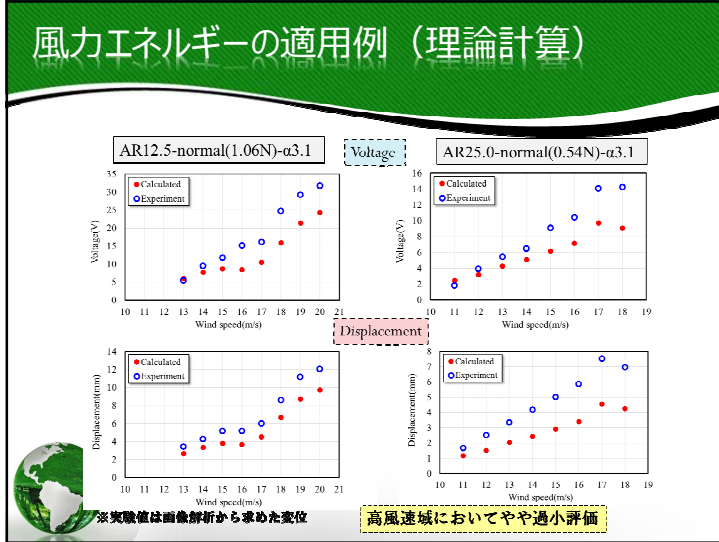












風力エネルギーの適用例（イメージ）

Functional Polymers
PVDF
Functional Polymers

PVDF 110um
薄膜樹脂

圧電フィルムと薄膜樹脂素材による積層タイプ⇒はためき

concept realization

※ Li, S. and Lipson, H.: Proc. of the ASME, SMASIS2009

植栽型 膜型

穂波型

超薄型柔軟発電デバイス

振動エネルギーへの適用（身の回りの振動）

乗り物の振動

エンジン
タイヤ
ボディ

流れ・渦・波による振動

構造物の振動

人の動きによる振動

工場の機械振動

振動エネルギーへの適用（パネル型）

実験構成

Accelerometers

Laser displacement sensor

FPGD

1MΩ

AD converter

Shaker

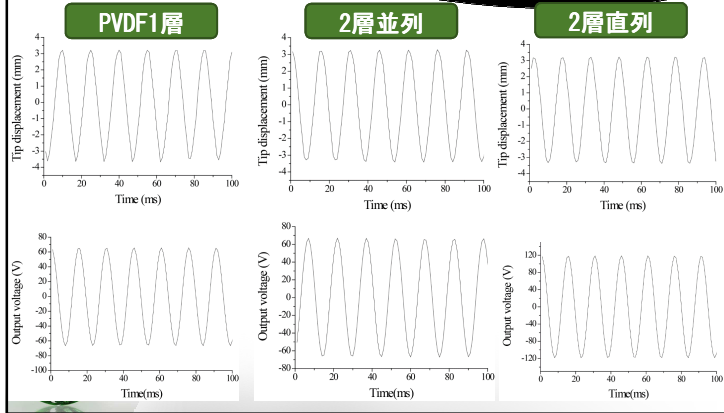
片端固定

両ピン固定

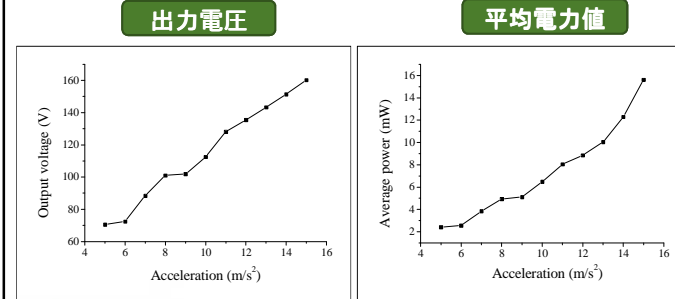
PC

- 強制振動実験を行うことにより、FPEDの発電性能を評価する
- 加振器に固定したデバイスを1次固有振動数付近で強制振動させる
- 発生電圧と振動変位の計測を行う
- 加速度計を用いて、振動加速度を5 or 10 m/s^2 で制御した計測を行う

振動エネルギーへの適用 (パネル型)

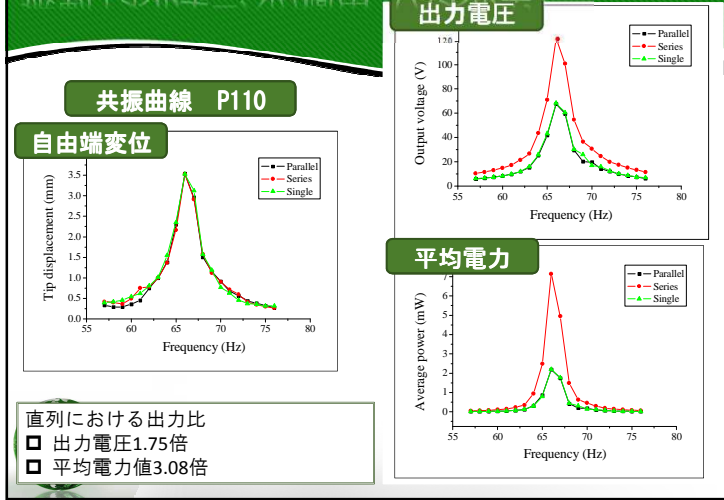


振動エネルギーへの適用 (パネル型)

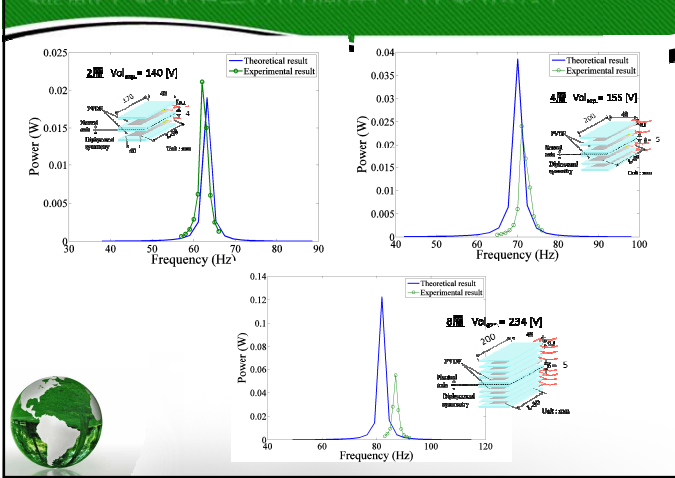


□ 振動加速度増加に伴い、出力値は増加している

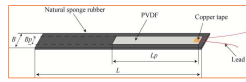
振動エネルギーへの適用 (パネル型)



振動エネルギーへの適用 (パネル型)



振動エネルギーへの適用（ロール型）



圧電フィルムと弾性料を
ロール状に巻いたデバイス



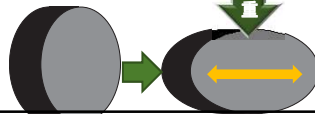
横置きの場合

- ✓ 圧縮面が広がるようにデバイスが変形
- ✓ デバイスには、周方向に引っ張り変形をする



縦置きの場合

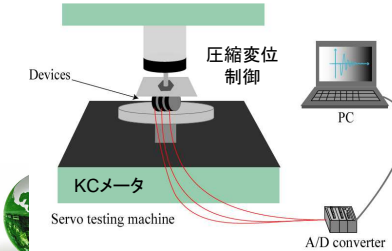
- ✓ 楕円形に潰れるようにデバイスが変形
- ✓ 周方向の変形とともに部分的に大きなひずみ加わると想定



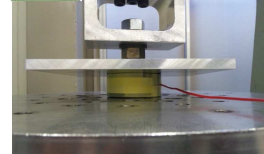
振動エネルギーへの適用（ロール型）

実験条件

- 加圧盤がデバイス上端に接触するように配置
- 横置き・縦置きそれぞれ計測
- 全振幅1mm, 3mm, 5mmの3パターン
- 圧電フィルム 40, 80, 110 μm
- 6~20Hzで2Hz刻みの計測
- サンプリング周期1msec→10secの計測

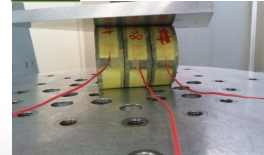


横置き



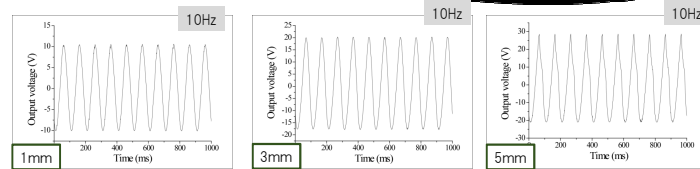
直径約 80 mm, 高さ 30 mm

縦置き

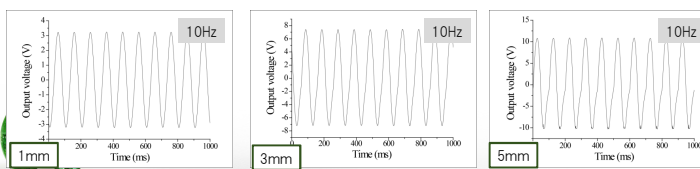


振動エネルギーへの適用（ロール型）

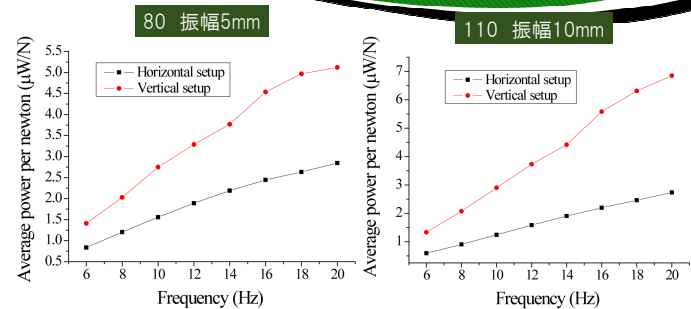
横置きの場合



縦置きの場合



振動エネルギーへの適用（ロール型）



- 単位荷重で考えると縦置きのほうが発電効率がよい
- 高周波で出力の差が大きくなる

振動エネルギーへの適用（ロール型）



図1 測定状況



図2 評価サンプル (丸形防振ゴム)

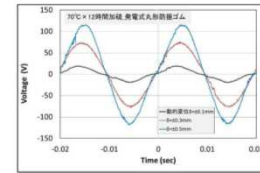
試験サンプル

- (1)弾性素材: 丸形防振ゴム KB-55-54H, ゴム直径 ϕ 47mm, 天然ゴム(硬度60)
- (2)圧電素子: PVDFフィルム 長さ55mm, 幅10mm, 厚み110 μ m, 25 pC/N (クレハ製)
- (3)接着材: 共和電業 Strain gauge 用



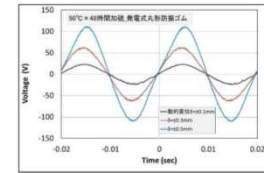
振動エネルギーへの適用（ロール型）

(2)70°C × 12時間 成形サンプル



電圧波形

(3)50°C × 48時間 成形サンプル



電圧波形



発生電圧	
加振振幅	発生電圧
mm	V
0.1	19.2
0.3	76.6
0.5	117.2

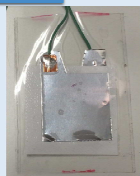


発生電圧	
加振振幅	発生電圧
mm	V
0.1	23.6
0.3	63.3
0.5	110.2

試験条件: 予圧縮 1mm, 加振周波数 50Hz(サイン)
圧電素子サイズ: 長さ 139mm × 幅 33mm

振動エネルギーへの適用（圧縮型）

デバイスは3種類



NBK

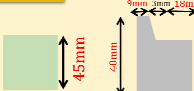


NBKG



SMT

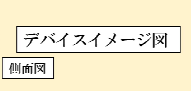
各サイズ



素子



金属膜



テープ

デバイスイメージ図

側面図

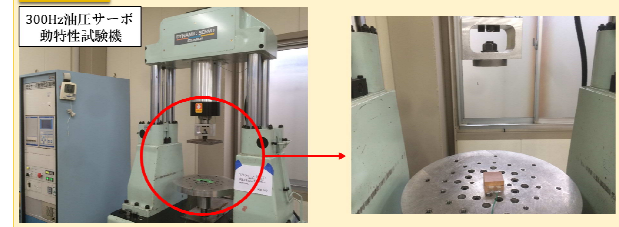
接着材は
用いず,接着



振動エネルギーへの適用（圧縮型）

本実験概要

300Hz油圧サーボ
動特性試験機



実験条件

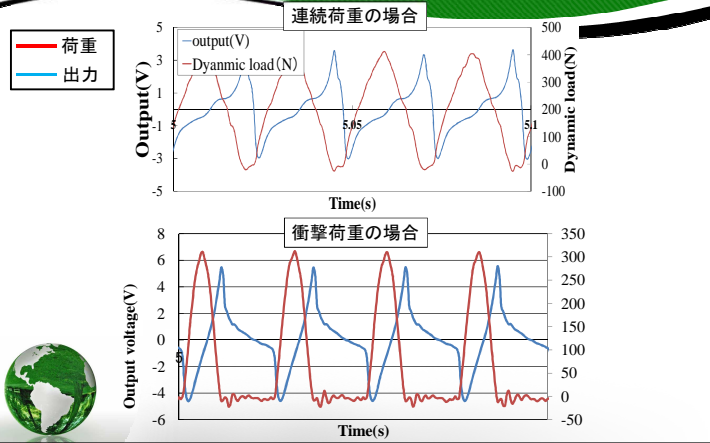
Vibration Frequency(Hz)	10~40(Hz)
Dynamic load(N)	around0~5000(N)
Vertical Amplitude (mm)	1.0mm, 1.5mm, 2.0mm,
Amplitude(mm)	0.3mm(±0.6mm)~10.0mm(±5.0mm)

振動前にデバイスに与える貫入量

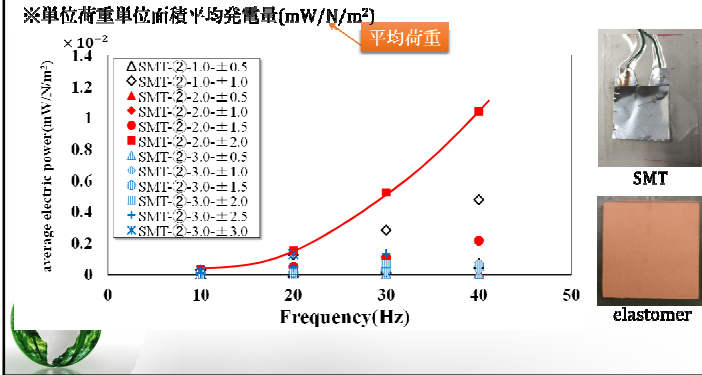
出力を動荷重で
除して評価。



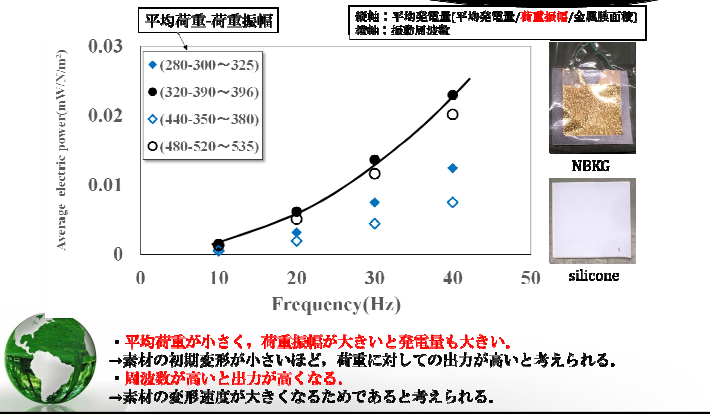
振動エネルギーへの適用（圧縮型）



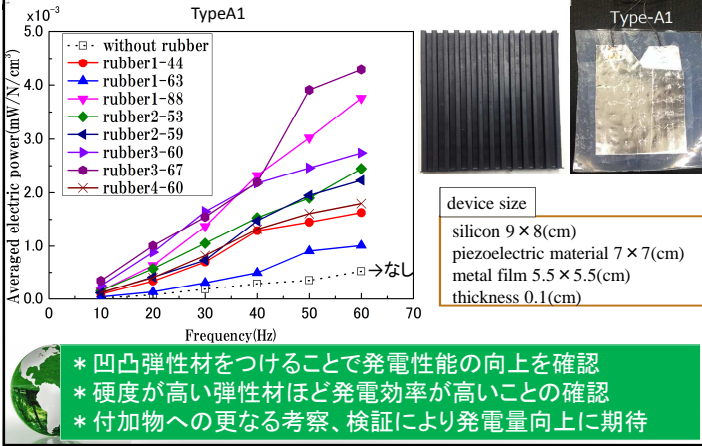
振動エネルギーへの適用（圧縮型）



振動エネルギーへの適用（圧縮型）



振動エネルギーへの適用（圧縮型）



流水エネルギーへの適用

農業用水路



南禅寺水路閘



- ・穏やかな水面
- ・低流速
- ・水深が深い

工業用水路



- ・落水
- ・高流速

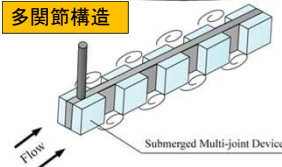
- ・粗い水面
- ・強い乱流
- ・水深が浅い

流水エネルギーへの適用（多関節構造）

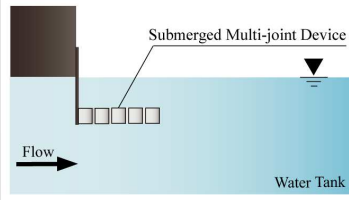
没水式多関節デバイスによる発電

- 関節部分の溝によって生じる乱れによって振動を発生させる
- 変形する部分を限定することで大きな振幅
- おもりを付与し、慣性力を増大



多関節構造



Submerged Multi-joint Device



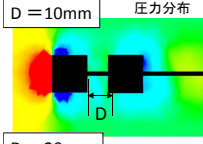
一様流中における多関節平板の振動特性に関する研究(山岸, 2008)

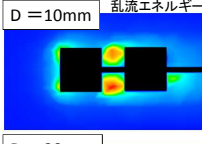
多関節構造により複雑かつ大きな振幅を確認

流水エネルギーへの適用（CFD結果）

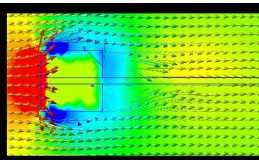
D = 10mm 圧力分布



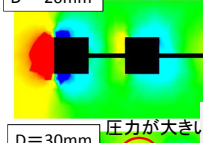
D = 10mm 乱流エネルギー



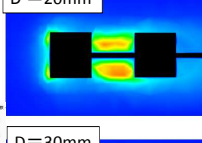
流速ベクトルが集中している



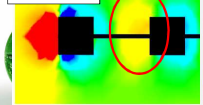
D = 20mm 圧力分布



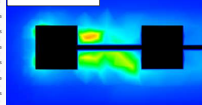
D = 20mm 乱流エネルギー



D = 30mm 圧力が大きい

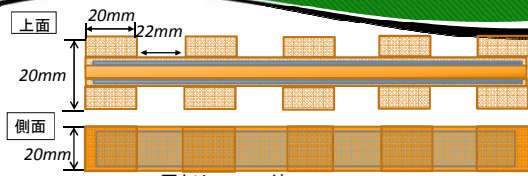


D = 30mm 乱流エネルギー




流水エネルギーへの適用（デバイス構造）

上面

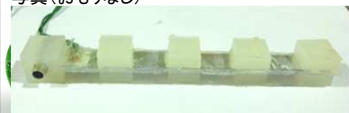


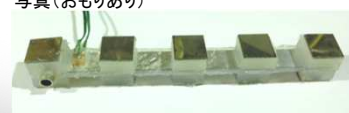
側面



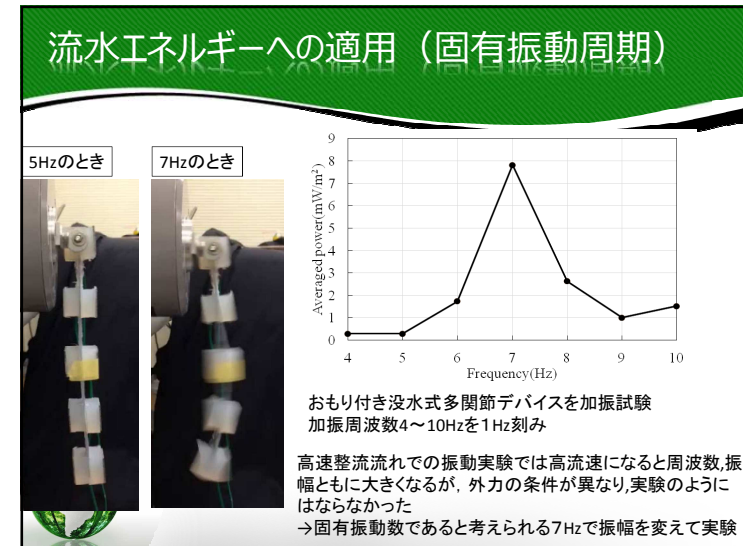
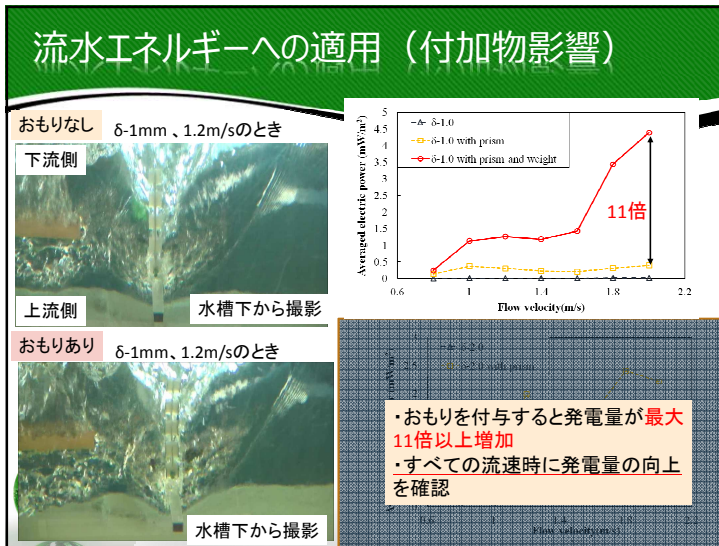
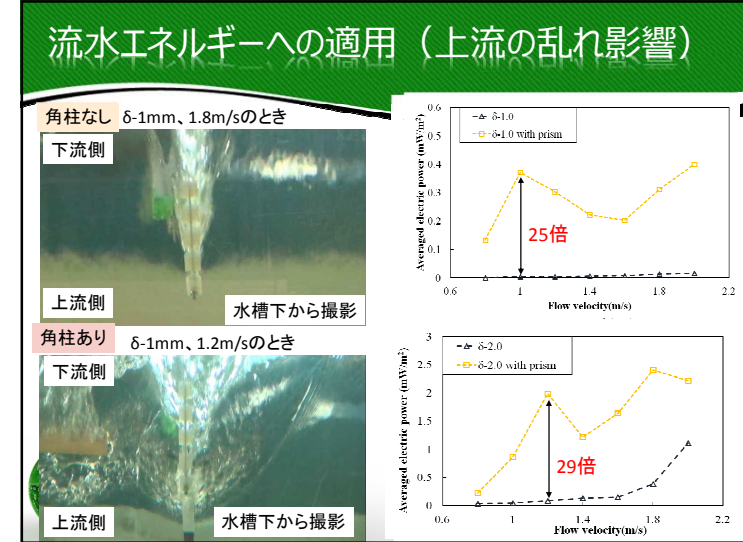
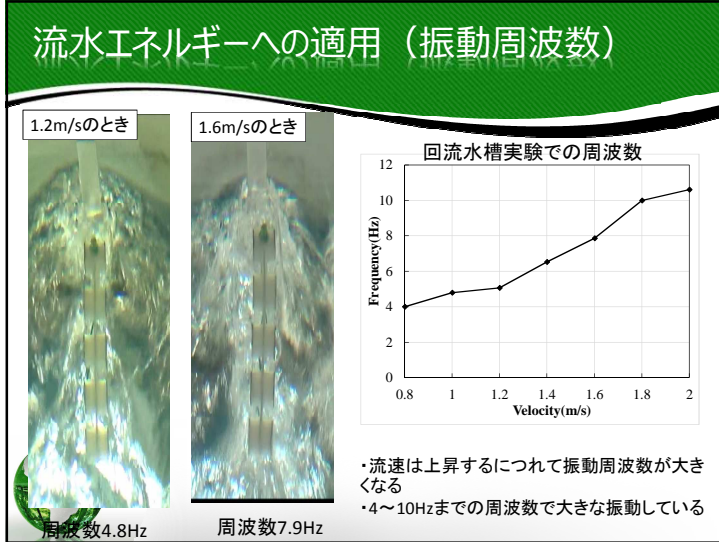
PVDFの厚さは40μmで統一
フィルム間距離が1mmと2mmのものを作成

device	L[mm]	B[mm]	T[mm]	l[mm]	b[mm]	δ[μm]
δ-1.0	175	20	1.0	170	15	40
δ-2.0	175	20	2.0	170	15	40

写真(おもりなし) 

写真(おもりあり) 

おもり
一枚1.8g、厚さ0.5mmのス
テンレス板を付加物の外
側に付与



流水エネルギーへの適用（無線通信電源）

Amplitude_0.75mm

Amplitude_1.0mm

無線センサーから受信した電圧データ

- ・センサーが稼働すると、電圧は徐々に減少し、停止する
- ・停止後、一定時間の蓄電によって通信の再開が確認
- ・振幅を大きくすると蓄電が短くなる

柔軟発電デバイスを用いた無線センサーへの適応が可能である

流水エネルギーへの適用（無線システム）

無線センサーから受信した電圧データ

- ・通信の再開が確認された最小の振幅のときの発電量を高速回流水槽の実験結果と比較
- ・没水式関節デバイスでは、ほとんどの流速域で加振実験の発電量と同程度またはそれ以上の発電量となっている
- ・浮体式曲げ振動デバイスでは、1.6m/s以上の流速域で加振実験の発電量以上

Amplitude_0.75mm

Amplitude_1.0mm

柔軟発電デバイスを用いた無線センサーへの適応が可能である

知的財産権

- 【発明の名称】風力発電装置、国際出願 PCT/JP2015/61768、H27年4月16日
- 【発明の名称】風力発電装置、特願2014-151206、H26年7月24日
- 【発明の名称】移動体用発電装置、特願2013-232379、H25年11月8日
- 【発明の名称】発電素子、発電デバイス、発電ユニット及び発電素子の設置方法、特開2014-207391、H26年10月30日
- 【発明の名称】発光素子を備えた積層型発電体及びその発電装置、特開2014-111911、H26年6月19日
- 【発明の名称】積層型発電係留体、特開2014-114732、H26年6月26日
- 【発明の名称】振動発電デバイス、特開2013-99130、H25年5月20日
- 【発明の名称】風力発電デバイス、及び風力発電装置、特開2013-9569、H25年1月10日
- 【発明の名称】発電装置、及び発電デバイス、特開2012-237264、H24年12月6日
- 【発明の名称】海洋エネルギー発電デバイス及びこれを用いた蓄電装置、特開2011-106434、H23年6月2日

研究費サポート：経産省 NEDO、文科省 科学研究費、JST 科学技術振興機構、各種財団、企業

まとめ

1. 柔軟発電素材（パネル型、ロール型、圧縮型など）は、積層数、積層間隔、付加物、アスペクト比などによって、発電性能の向上が期待できる。
2. 身の周りの代表的な外力エネルギーとして、海洋、流水・落水、風力、振動エネルギーを電気エネルギーに変換可能である。
3. 振動周波数に対しては、固有周波数付近で発電量が增大する。なお、周波数とバンド幅は、弾性材との組み合わせによって、制御可能である。したがって、適用範囲に合わせてカスタマイズ可能。
4. 無線システムとの組み合わせによって、デバイスで得られた出力電圧を、各種センサー等の無線データ通信に利用可能である。
5. 導出済の発電理論式を用いて、デバイス構造様式、回路設計、インピーダンス整合を行い、発電性能向上が期待できる。

今後の展開

- 高出力デバイスの開発(素材)
異方特性を考慮した圧電素材の開発
起電力自体の向上
最大歪み量を獲得可能な弾性材の開発
- 発電コスト, 製造方法, 発電効率
振動エネルギー発電は, 比較の実用化が早い. 海洋, 風力, 流水エネルギー発電は, 適用場所・必要電力量にあわせたカスタマイズが必要.
例えば, 積層の高密度化によって, エネルギー変換効率の向上
- 理論および設計ツールの高度化・・・開発済
非線形理論計算法の確立
発電評価シミュレーションCFDツールの適用
- 電氣的な設計
スケール相似則の検証(導出済)
インピーダンスマッチング(理論式導出済)
整流・蓄電回路の最適化

ご清聴ありがとうございました



<連絡先>

陸田 秀実(MUTSUDA Hidemi)
〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1
広島大学 大学院工学研究院 エネルギー・環境部門
輸送・環境システム流体研究室
海洋エネルギー環境資源プロジェクト研究センター
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/mutsuda/>
<http://naoe.hiroshima-u.ac.jp/oere/>
http://naoe.hiroshima-u.ac.jp/2koza/index_j.html
E-mail: mutsuda@hiroshima-u.ac.jp
電話: 082-424-7778, FAX: 082-422-7194