

# 振動発電を利用したエコ工事振動対策技術の開発

## Eco-conscious Construction Vibration Reduction Method Using Vibration Energy Harvester

井上 竜太 Ryouta Inoue\*1

### 梗概

エネルギーハーベスティングに対する認知度が低い建設業における先駆的な取組みとして、建設重機の動きに伴い発生する振動をエネルギー源として発電し、発電電力をセンサ電源として活用する“工事振動発電システム”を開発した。振動発電機に振動増幅機構を組込むことで、振動発電において課題となっていた発電量の増幅と適用振動数のワイドバンド化を実現し、さらに回路、蓄電、アプリケーションも一体となったパッケージシステムとして完成させた。建設重機のオペレータへの注意喚起による振動低減効果という新しい付加価値を生み出し、建設現場での試験を通じて、振動低減性能、発電特性の検証を行った。

キーワード：振動発電，エネルギーハーベスティング，工事振動，解体，建設重機，防振

### Summary

This paper describes a development of Eco-conscious construction vibration reduction method using vibration energy harvester as a pioneering effort in the construction industry. The combination of a vibration generator and an amplification mechanism, achieved increasing the amount of generated power in a wide frequency range. By using the controller and the accelerometer driven by vibration energy harvester, operators of heavy construction machine will be able to recognize the excessive vibration and improve their operational skills to drive quietly. In addition, through the installation to the construction site, vibration reduction effect and durability of this system were confirmed.

Keywords: vibration power generator, energy harvesting, construction vibration, demolition work, heavy machine, vibration isolation

## 1 はじめに

近年、インターネットや携帯電話などの情報インフラストラクチャーの社会への浸透を受け、PCやサーバといった情報機器だけではなく、家電や自動車、センサなど、ありとあらゆるモノがネットワークに繋がるMachine to Machine (M2M)の仕組みが注目を集めている。そして、M2Mの登場により、自律的に通信する機能を持ったモノ同士が人を介さずに情報交換を行い、自動的に制御を行う世界、すなわち“モノのインターネット (Internet of Things)”の世界の到来への期待が高まっている。

一方で、モノに取り付けられる各センサノードへの電源供給が、M2MやInternet of Thingsを実現させるための大きな課題として認識されるようになってきた。各センサノードは多量かつ分散して設置されるため、従来の電池による給電では、数か月、数年の期間ごとに電池交換が必要となる。将来的にネットワークが発達し、センサ数が数千個、数万個となることを想定すると、電池交換は非現実なものと考えるのが自然である。また、電池による電源供給には、交換の労力もさることながら、使用済みの廃棄電池による環境汚染の問題も含まれていることにも目を向けなければならない。配線による電源供給も、配線の手間の他に、銅線の材料となる銅の残存資源の枯渇など、廃棄電池と同様に環境や資源の面での問題を抱えている。

このような問題を背景として、近年、我々の身の回りのどこにでもある微小エネルギーを電力に変換し活用する技術“エネルギーハーベスティング”に対する注目が高まっている。エネルギーハーベスティングにおけるエネルギー源は、体温、歩行、太陽光や室内電灯、テレビや携帯電話などの電波、地中の熱、植物や食物の電解液、日常

\*1 技術研究所 研究主任 博士(工学) Associate Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

生活や交通機関の振動、圧力など、今まで注目されることなく捨てられてきたエネルギーである。多くの場合、得られる電力は数 $\mu$ W程度にとどまるが、センサや無線通信機などの小型電子機器の低消費電力化が進んだことで、この微小な電力でも十分活用できるアプリケーション例の登場が徐々にみられるようになってきた。特に、欧州では10年以上前から取り組みが行われており、近年では、人感センサや温室度計、照明スイッチなどのセンサ類の電源供給をエネルギーハーベスティングで賄うシステムが利用され始めている。一方、国内では、大手のデバイスメーカーを中心に発電デバイスの開発が最近になって始まったばかりであり、実用化された例がほとんどないのが現状である<sup>1)</sup>。

エネルギーハーベスティングに関連する技術の中では、特に発電デバイスに対して注目が集まりがちであるが、得られた微小な電力を少ないロスで電源として使えるようにする回路、蓄電の技術や、微小な電力でも駆動できるセンサ、通信モジュールなどのアプリケーションなども、発電デバイスと同等以上に重要であり、これらを一体となったパッケージシステムとして開発することが、実用化への鍵になると考えられている<sup>2)~5)</sup>。

筆者は、建設重機の動きに伴い発生する振動をエネルギー源として発電し、発電電力をセンサ電源として活用するパッケージシステム“工事振動発電システム”を開発し、エネルギー源の中でも実用化までの道のりが遠いとされている振動発電に対して、国内での先駆的な取り組みを行ってきた。

本報では、初めに、振動発電の特長と課題にふれ、実用化が難しいとされる理由について述べる。次に、エネルギー源である建設重機による振動の調査を行い、その結果に基づいて開発した本システムの概要について述べるとともに、振動発電の課題を解決すべく開発した“振動増幅機構”についても説明する。最後に、本システムを実際の建設現場にて導入して長期間にわたって実施した実証試験の概要、結果について報告する。

## 2 振動発電とは

### 2.1 振動発電の発電方式

振動発電の発電方式は、電磁誘導、圧電、静電誘導、磁歪の4種に分類される。各方式の特徴をTable 1に示す。

電磁誘導は、磁石とコイルの相対移動による磁束変化で発電する方式で、電気的な内部抵抗が小さいために発生電圧が低くなるのが特徴である。電子デバイスへの組み込みなどを想定した場合に必要な小型化の実現が難しいとされている。

圧電は、圧電素子の応力を加えることで起電する圧電効果を利用した発電方式である。静電誘導は、電荷を帯びた基板と、その基盤に対向する基板の相対移動により発電する方式である。圧電、静電誘導ともに、内部抵抗が大きく、発生電圧が高いのが特徴であり、小型化にも適しているとされる<sup>6)~8)</sup>。

磁歪は、応力を加えることで金属内部の磁場の変化に伴って外部への漏れた分を、巻き付けたコイルを通じて電気に変換する方式で、内部抵抗が小さく、発生電圧が低い。他の方式と比べて新しい方式であり、耐久性、小型化などの課題を克服できる可能性のある方式として、近年になって材料開発を中心に研究開発が進められている<sup>9), 10)</sup>。

Table 1 各発電方式の特徴  
Characteristics of each power generation method

	電磁誘導	圧電	静電誘導	磁歪
発生電圧	～数V	数十V～数百V	数十V～数百V	～数V
内部抵抗	小	大	大	小
耐久性	○	△	△	○
小型化	×	○	○	○

### 2.2 振動発電の特長と課題

取り出すことができるエネルギー密度が他のエネルギー源に対して高いという点が、振動発電の特長の一つである。Table 2に、エネルギーハーベスティングにより得ることができる単位面積当たりのエネルギー量を示す<sup>1)~3)</sup>。直射日光は別として、振動発電は他のエネルギー源に比べて10～100倍の抽出可能なエネルギーを潜在的に有しているといえる。また、太陽光や風に比べると得られるエネルギー量は微小であるが、振動は自動車、鉄道、機械、人などが動くたびに必ず発生するため、気象、天候に左右されないエネルギー源であるともいえる。これらの移動体の動きと連動したアプリケーションの電源供給を振動発電で賄うシステムの構築が、実用化の糸口になると考えられている。

一方、振動発電特有の課題もいくつか存在する。アプリケーションとしての使用が想定されるセンサ、通信モジュールなどは直流電圧で駆動する。蓄電に利用するコンデンサーやキャパシタも、直流で電力を入力する必要が

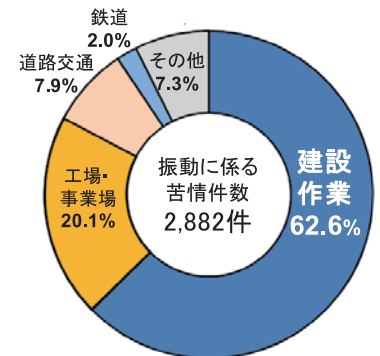
ある。光や熱による発電は直流で発電電力が出力されるため、昇圧または降圧するだけで使うことが可能となる。これに対し、振動発電は交流で出力されるため、昇圧、降圧の前段階における整流が必要で、この段階での電力ロスの抑制も考えなくてはならない。また、一般的な振動発電デバイスは、一質点系の振動モデルであることから、振動源の振動数が質点系の固有振動数と一致し共振した時には大きな発電量が得られる反面、振動源の振動数が共振から外れた時に発電量が低下してしまうという弱点も併せ持っている。実際に様々な環境下で発生している振動は、振動数や振幅が一定のものは少なく、ほとんどがランダム性を有している。設置環境ごとに性状が異なる振動源と発電デバイスのマッチングや、発電デバイスにおいて効率的に発電できる振動数帯域のワイドバンド化などが課題とされている。これらの振動発電の抱える課題が、他の電力源と比べて実用化までの道のりが長いと考えられている主な原因と考えられている。

Table 2 ハーベスティング可能なエネルギー量  
Potential of each energy source

エネルギー源	具体例	単位面積当たりのエネルギー量
振動	人の動作、機械、橋梁、建築物など	$10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ W/cm}^2$
光	直射日光	$10^{-1} \text{ W/cm}^2$
	照明、室内日光など	$10^{-4} \text{ W/cm}^2$
熱	体温、車の廃熱など	$10^{-5} \text{ W/cm}^2$
電磁波	放送波、無線LANの電波など	$10^{-6} \text{ W/cm}^2$

### 2.3 建設業における振動発電

建設業におけるエネルギーハーベスティングの認知度は、通信、電子デバイスなどの他の業界に比べて低い。エネルギーハーベスティングからみるとエネルギー源である振動の存在は、建設業において基本的に“悪”であり、低減させるべき対象として取り扱われてきた。特に、建設現場の近隣にとって、建設作業に伴い発生する振動は、不快な存在以外の何者でもないといえる。Fig.1に示す環境省の調査結果<sup>11)</sup>でも、振動苦情の原因の過半数を建設作業が占めるとの結果が示されており、近隣への工事振動対策は建設業における重大な課題の一つとなっている。本報で述べる工事振動発電システムは、この課題に対する解決方策の一つとして、振動を低減することによる近隣の環境保全を目的として開発した技術である。さらに、本システムは、“負”のイメージで捉えられることが多い振動に、発電という“正”のイメージを付加することも狙いとしている。



出展：平成22年度振動規制法施行状況調査結果（環境省）  
Fig.1 振動の苦情件数の発生源内訳  
Vibrating sources of complaints

## 3 建設重機により発生する振動

有効な振動低減方法の一つに、ゴムやスプリングなどを緩衝材として挟む防振が挙げられる。今回、建設重機により発生する振動対策として、重機が載る敷鉄板の下に、緩衝材かつ敷鉄板の支持材として廃タイヤを用いた防振を採用することとした。このタイヤ防振による振動低減効果の検証と、振動発電機の設計に資するエネルギー源としての振動データの取得を目的として、モックアップ試験を実施した。

### 3.1 モックアップ試験の概要

モックアップ試験の概要を、Fig.2に示す。

試験体は、敷鉄板（3m×6m、厚さ22mm×1層）の下にタイヤがある場合とない場合の2種とし、敷鉄板の平面中央位置からの距離0m、10m、20mの3点に加速度センサを設置した。距離0mのセンサは敷鉄板上に、距離10m、20mのセンサは土間コンクリート上に設置し、建設重機動作時の鉛直方向の加速度を測定した。

振動源となる建設重機には油圧ショベル（機体質量9.4t）を用い、動作は、“前後走行”と“ブーム上下”の2種とした。タイヤなしの試験体をPhoto 1に、

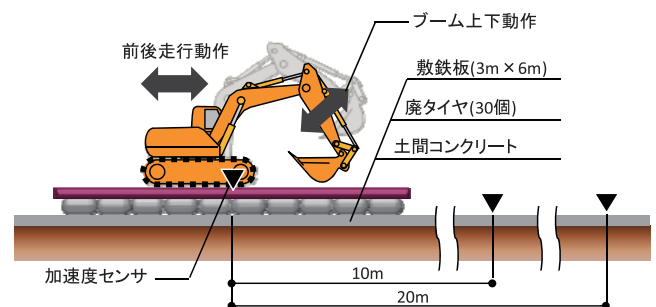


Fig.2 モックアップ試験の概要  
Overview of the mock-up test

タイヤありの試験体をPhoto 2に示す。

### 3.2 タイヤ防振の振動低減効果

タイヤ防振の振動低減効果を確認するため、タイヤの有無について、土間コンクリート上に設置した加速度センサで測定した加速度のデータの比較を行った。

Fig.3に、距離10mの測定点における加速度の時刻歴波形を示す。図には、(A) 前後走行動作の結果、(B) ブーム上下動作の結果、の両方を示した。図より、どちらの動作とも、タイヤありの場合がなしの場合よりも加速度が小さくなっており、タイヤ防振による防振効果が得られていることがわかる。

距離10mの測定点において記録した加速度波形を1/3オクターブ周波数分析した結果(最大値)を、Fig.4に示す。タイヤなしの場合よりもタイヤありの場合の方が小さい加速度となっている部分を着色して図示した。図より、前後走行動作では10~16Hzおよび63~100Hzの振動数範囲で、ブーム上下動作では6.3~100Hzの振動数範囲で、タイヤ防振によって振動を1/2~1/5程度に低減する効果が得られていることがわかる。なお、ブーム上下動作時の振動レベルの最大値は、タイヤありで46.5dB、タイヤなしで42.0dBであり、振動レベルの観点では4.5dBの低減量となった。

### 3.3 エネルギー源としての振動

建設重機の動作を直接受けることで、敷鉄板には大きい振動が発生する。この敷鉄板を振動発電機の設置場所の候補と考え、エネルギー源となる敷鉄板の振動について、タイヤの有無のデータ比較を行った。

Fig.5に、敷鉄板上において記録した加速度波形を1/3オクターブ周波数分析した結果(最大値)を、建設重機の動作ごとに示した。図より、前後走行動作、ブーム上下動作の両方において、1~25Hzの振動数範囲で、タイヤ支持により敷鉄板上の振動が増幅されていることがわかる。この原因としては、タイヤ支持の方が重機の挙動がやや不安定になることと、タイヤと敷鉄板、重機で構成される質点系による共振増幅が考えられる。なお、重機の挙動の不安定さは、操縦に支障を来さない範囲であることを、オペレータへのヒアリングにより確認している。

振動の振幅が大きいほど、また振動数が高いほど、振動発電によって得られるエネルギーが大きくなることから、図に着色して示した10~25Hzの振動数範囲において効率よく発電する振動発電機を製作することとした。



Photo 1 試験体 (タイヤなし)  
Test sample without tires



Photo 2 試験体 (タイヤあり)  
Test sample with tires

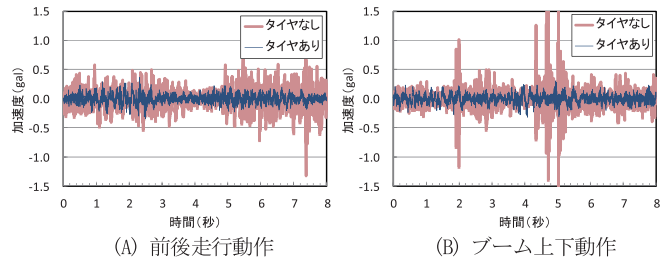


Fig.3 加速度の時刻歴波形 (距離: 10m)  
Acceleration waveform (distance: 10m)

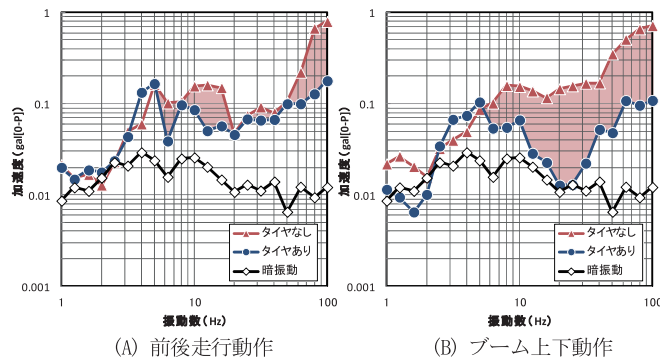


Fig.4 1/3オクターブ周波数分析結果 (距離: 10m)  
Results of 1/3 octave band analysis (distance: 10m)

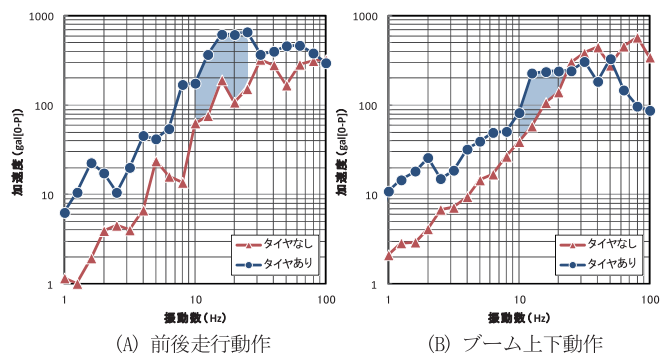


Fig.5 1/3オクターブ周波数分析結果 (敷鉄板上)  
Results of 1/3 octave band analysis (on the steel plate)

## 4 工事振動発電システム

### 4.1 振動発電機

敷鉄板に発生する振動は数百galと非常に激しいことから、振動発電の方式には、耐久性に優れた電磁誘導を採用した。電磁誘導式の場合、磁石またはコイルをバネ材で支持した一質点系とすることで、共振振動数近傍の入力振動に対して効果的に発電できる構成をとるのが一般的である。今回、Fig.6に構成を示すように、従来は振動を低減する制振装置として用いるTMD (Tuned Mass Damper) を振動増幅器として利用する二質点系とすることで、2章にて述べた振動発電特有の課題である帯域のワイドバンド化の解決や、発電量の向上を図った。

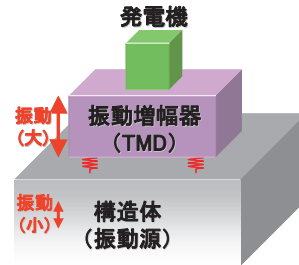


Fig.6 二質点系の振動発電  
Two degree of freedom system for vibration energy harvester

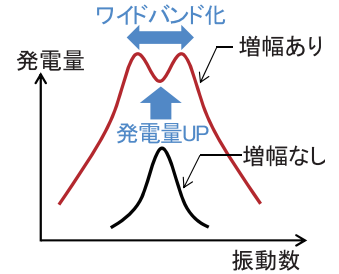


Fig.7 二質点系機構の効果  
Effect of two degree of freedom system

二質点系の機構による効果について、Fig.7に概念図を示す。構造体の揺れと同調するように錘、バネをチューニングすることで、振動増幅器の錘は構造体よりも大きく揺れる。発電量が最大となる振動数において、発電機構に伝わる振動の振動増幅機による増幅倍率は、発電機構の質量に対する振動増幅器の質量の比にほぼ比例する。今回、振動増幅器が内蔵された振動発電機を製作し、発電機構の質量を2.8kg、振動増幅機の質量を14.9kg、質量比を5.3倍と設定した。外観をPhoto 3に示す。振動の振幅が5.3倍になることで、発電により得られる交流電圧も5.3倍になるため、電圧の二乗に比例する発電量は28倍に増幅されることとなる。



Photo 3 振動発電機  
Vibration energy harvester

今回、製作した振動発電機を振動台の上に設置し、100gal (0-P) の正弦波加速度を入力した時に得られる発電量を測定した。測定結果により得られた振動発電機の発電特性をFig.8に示す。ピーク振動数12.0Hzで得られる発電量は68mWとなっている。なお、発電量の測定は、発電機のコイルによる内部抵抗402Ωを基にインピーダンスマッチングを考慮し、発電機に最適な抵抗を負荷した状態で実施した。

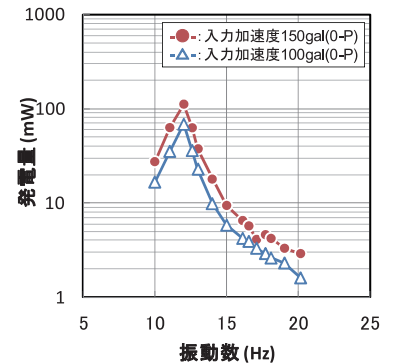


Fig.8 振動発電機の発電特性  
Characteristics of power generation

この発電特性を基に、アプリケーションで使用可能な電力量の試算を行った。モックアップ試験の結果に対して、ある程度の余裕を見込み、建設重機の動作により敷鉄板に生じる加速度を前後走行で150~200gal程度、ブーム上下で50~100gal程度と仮定した。この仮定から、前後走行時の発電量を153~272mW、ブーム上下時の発電量を17~68mWと想定した。

### 4.2 アプリケーション

発電量の試算結果を基に、発電電力を加速度センサの駆動に利用し、過大な振動の発生の発報を通じて建設重機のオペレータへの注意喚起、教育を行う工事振動発電システムを考案した。本システムの概要を、Fig.9に示す。本システムは、タイヤで支持された敷鉄板に設置される①振動発電機、②蓄電ユニット、③加速度センサ、④発報コントローラと、建設重機のオペレータが視認できる位置に設置される⑤パトライトで構成され、②~④の駆動に必要な電力供給を①で賄うものである。

蓄電ユニットは、充電用のバッテリーの他、振動発電機から出力される交流電力を充電に適した定電圧の直流に変換するための整流回路、昇圧回路を備えている。整流回路には、電磁誘導特有の低電圧でも駆動するものを採用した。バッテリーに充電した電力は、加速度センサ、発報コントローラへ供給されるようになっている。

加速度センサには、MEMS加速度センサを用いた。MEMS加速度センサは、数gal以上の加速度しか検知することができないが、敷鉄板の大振幅の加速度に対しては十分使用できると考え、低消費電力化を優先した。

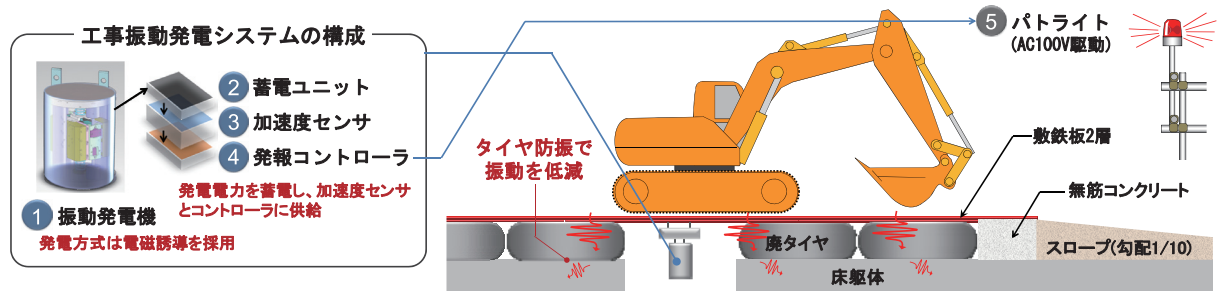


Fig.9 工事振動発電システムの概要  
Eco-reduction method of construction vibration using vibration energy harvester

発報コントローラには、加速度センサから出力された電圧信号を検知し、設定した電圧を超えた場合にパトライトへ信号を出力するコンパレータを搭載した。

パトライトは、発報コントローラから出力された信号を検知し、設定した時間だけ点灯するものとした。パトライトの点灯時の使用電力は、振動発電で得られる電力で賄うことができないため、パトライトのみAC100V電源で駆動させることとした。

Fig.10に、設計したシステムの発電量と使用電力量の関係を示す。試算した発電量に対して、システム全体の使用電力量を18mWまで抑える設計としている。また、建設重機の稼動状況によっては発電量が18mWを下回ることも想定し、振動発電機からの電力入力が一定時間以上ない場合には機器への電力供給を停止し、機器の使用電力量を抑える省電力コントローラも、蓄電ユニット内に搭載した。

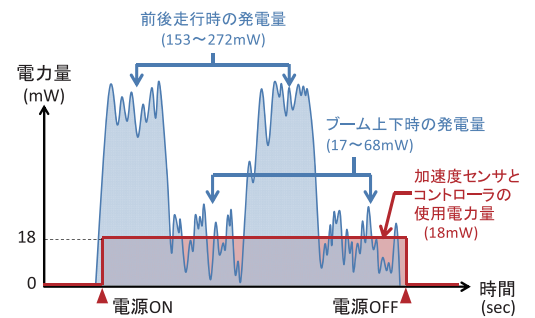


Fig.10 発電量と使用電力量の関係  
Relationship between power generation and consumption

## 5 実証試験

### 5.1 実証試験の概要

工事振動発電システムの実証試験を、解体現場（地上23階，地下1階）で実施した。高層階躯体の解体ガラを地上1階にて小割りする建設重機が載る敷鉄板下に、振動発電機、蓄電ユニット、加速度センサ、発報コントローラを設置し、パトライトのみ運転中のオペレータが視認できるよう2階に設置した。敷鉄板設置前のタイヤ敷設状況をPhoto 4に、設置後の敷鉄板下に取付けられた振動発電機などをPhoto 5に、建設重機が稼動している実証試験の実施状況をPhoto 6に示す。

敷鉄板（6m×19.5m，厚さ22mm×2層）は、廃タイヤ133個で支持されており、平面中央位置（敷鉄板下）と、その位置から距離約30mの敷地境界（アスファルト舗装上）に設置した加速度センサで、重機動作時の鉛直方向の加速度を測定した。重機はモックアップ試験と同じ機種とし、動作は実際に行う一連の小割作業とした。



Photo 4 タイヤの敷設状況  
Laying of car tires



Photo 5 振動発電機設置状況  
Vibration energy harvester



Photo 6 実証試験の実施状況  
Situation of verification test

## 5.2 工事振動発電システムによる振動低減効果

敷鉄板下に設置した加速度センサにて、オペレータに指示して様々な激しさで建設重機を動作させ、その時に敷鉄板に生じる振動を測定した。平均的な動作時と激しい動作時の測定結果を、Fig.11に示す。図より、オペレータの操縦次第で、発生振動の大きさが約2倍異なることがわかる。この結果から、加速度150galでパトランプが点灯するよう設定した。

敷地境界に設置した加速度センサにて、パトランプが点灯する激しい動作時と点灯しない通常の動作時の振動レベルを測定した。測定の結果を、Table 3に示す。表中の対策仕様No.2は激しい動作時を、No.3は通常の動作時を示している。No.2とNo.3の比較から、工事振動発電システムによりオペレータが低振動運転の要領を学習することにより、6.8dBの振動低減効果が得られたことがわかる。6.8dBのレベル差は、加速度に換算すると2.2倍の差に相当し、敷鉄板の振動の差2倍とほぼ同じ値となっている。すなわち、工事振動発電システムによって建設重機の動作の激しさをコントロールし敷鉄板に生じる振動を小さくすることが、約30m離れた敷地境界の振動の低減に繋がることを確認されたといえる。

表中のNo.1には、モックアップ試験Fig.4 (B) で確認された低減量4.5dBをNo.2に加えた結果を、対策を実施しなかった場合の推定値として示した。条件の異なる試験結果を基にした目安の値ではあるものの、タイヤ防振と工事振動発電システムの併用により、11.3dBの低減効果が得られたものと推定される。

なお、実証試験を実施した解体現場における敷地境界の振動規制値は、昼間が60dB、

夜間が55dBであり、今回の試験では、激しい動作時の振動レベルでも規制値を十分に下回る結果となった。敷地境界の振動レベルが規制値内であっても近隣建物内で体感される事例があることを考慮すると、規制値内の振動をさらに抑制できる工事振動発電システムは、より近隣にやさしい工事振動対策技術であるといえる。

## 5.3 振動発電量

エネルギーハーベスティングの分野では、センサやシステムが駆動できるだけの電力が得られることが発電量に対する必須の要件であり、太陽光発電や風力発電などのいわゆる“創エネ”の分野のように、発電量の総量は意味を持たない。しかし、建設業における初の試みである工事振動発電システムについて、システム駆動の電力供給を振動発電で賄えたかどうかを検証する目的で、解体工事期間4ヶ月にわたる発電量のモニタリングを実施した。

4ヶ月間の積算発電量の推移を、Fig.12に示す。発電量のモニタリング機器の不具合で初期の約2週間についてはデータ欠損があるものの、積算発電量が順調に伸びていることがわかる。最終的な積算発電量は1918W・secであり、この値を4ヶ月間122日から工事全休日を除いた実稼動日は80日で除して求めた1日当たりの平均発電量は約24W・secとなる。

さらに、建設重機が稼動している時間帯における瞬間的な発電量の確認も行った。Fig.13に、5秒間の積算発電量の推移を示す。1/3秒間で20mW・secから90mW・secまで上昇している時間帯の瞬間的な発電量は210mWとなることから、試算時の想定範囲内の発電量が得られ

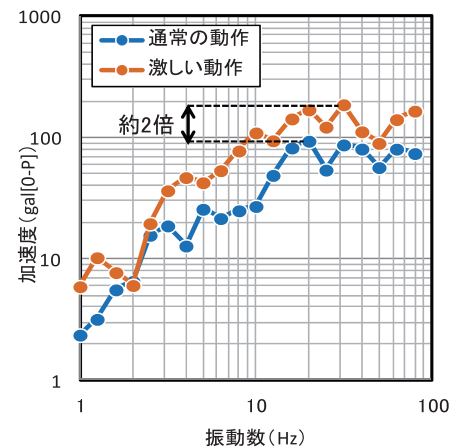


Fig.11 1/3オクターブ周波数分析結果 (敷鉄板上)  
Results of 1/3 octave analysis (on the steel plate)

Table 3 振動レベルの比較 (敷地境界)  
Comparison of vibration level of the site boundary

No.	対策の仕様		敷地境界の振動レベル 最大値 (dB)	No.2に対する振動レベルの差 (dB)
	タイヤ防振の有無	工事振動発電システムの有無		
1	無	無	50.8dB*	+4.5dB*
2	有	無	46.3dB	-
3	有	有	39.5dB	-6.8dB

※モックアップ試験の結果Fig.4 (B) を基に推定した値

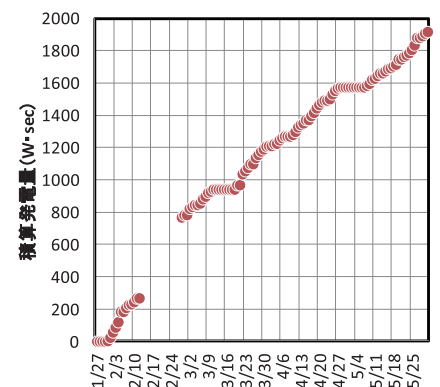


Fig.12 積算発電量 (全試験期間)  
Integrated value of power generation (throughout the period of test)

ていることが確認できた。

工事振動発電システムによる積算発電量や瞬間的な発電量は、創エネの視点では微小であるが、4ヶ月間の検証期間中、振動発電による電源供給のみで本システムは停止することなく駆動し、発電量が使用電力量を上回る状況で継続的に運用することができた。また、敷鉄板下における振動や粉塵などの厳しい環境下での長期運用を経ることで、システムの耐久性についても併せて検証することができた。

## 6 おわりに

建設重機の動きに伴い発生する振動をエネルギー源として発電し、発電電力をセンサ電源として活用する“工事振動発電システム”を開発し、建設現場での実証試験を実施した。本システムの開発は、エネルギーハーベスティングに対する認知度が低い建設業における先駆的な取り組みであるとともに、エネルギーハーベスティングの中でも特に難しいとされる振動発電の実用化への挑戦でもあった。

発電デバイスである振動発電機に、振動増幅機構という新しい概念を組込むことで、振動発電において課題であった発電量の増幅と適用振動数のワイドバンド化を実現した。また、発電デバイスだけではなく、回路、蓄電、アプリケーションが一体となったパッケージシステムにより、タイヤ防振による振動低減効果に加えて、建設重機のオペレータへの注意喚起による振動低減効果という新しい価値を創出した。

本システムには、これらの振動低減による近隣の環境保全という効果の他に、半永久的な自立電源、廃タイヤのリユース、ソフトな操縦による建設重機の燃費向上など、環境負荷の低減効果も見込まれる。従来の“悪”という振動のイメージを軽減し、さらに環境（エコ）による“善”のイメージを振動に付加する技術として、今後も現場への適用、展開を進めていきたい。

## 謝辞

技術研究所（当時）の阿部隆之氏には、本システムの開発、設計、導入に際してご尽力頂きました。また、大阪本店作業所の西岡博之氏、新井宗亮氏、山崎大祐氏には、モックアップ試験、実証試験の計画、実施についてご助力頂きました。

## 参考文献

- 1) 桑野博喜監修：エネルギーハーベスティング技術の最新動向，シーエムシー出版，2010.10
- 2) 久米秀尚：エネルギー・ハーベスティングで「ローパワー」から「ノーパワー」へ，日経エレクトロニクス，No.1038，pp.67-75，2010.9
- 3) Tony Armstrong：エネルギー・ハーベスティング電源回路の効率向上がカギ，日経エレクトロニクス，No.1047，pp.83-90，2011.1
- 4) Robert H. Swanson, Jr：環境発電の用途拡大にはアナログがミッシングリンク，日経エレクトロニクス，No.1052，pp.131-133，2011.3
- 5) 野澤哲生：環境発電の省エネが進展 1μW以下で動作可能に，日経エレクトロニクス，No.1065，pp.73-80，2011.9
- 6) 堀口睦弘：圧電振動発電技術の紹介，計測技術，2011年5月号，pp.35-38，2011.5
- 7) 速水浩平著：振動力発電のすべて，日本実業出版社，2008.1
- 8) 鈴木雄二：エレクトレットを用いた静電誘導型MEMS発電器，静電気学会誌，Vol.35 No.5，pp.197-202，2011.9
- 9) 上野敏幸：磁歪材料を用いたマイクロ振動発電素子，ケミカルエンジニアリング，Vol.56 No.1，pp.39-44，2011.1
- 10) 上野敏幸：磁歪材料を用いた振動発電，日本磁気学会誌まぐね，Vol.6 No.3，pp.140-145，2011.6
- 11) 環境省：平成22年度振動規制法施行状況調査，2011.12

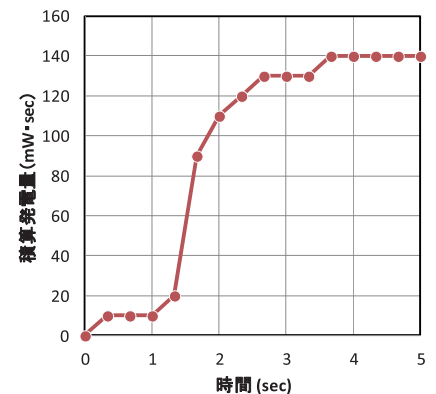


Fig.13 積算発電量（重機動作時）  
Integrated value of power generation  
(Operating heavy machine)