

日本工業出版「超音波テクノ」2010年4月号（B5、4ページ）

解説 圧電・超音波材料

**タイトル: 圧電素子を駆使した「床発電システム」の開発**

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 小林 三昭、林 寛子  
慶応義塾大学 武藤 佳恭

概要(120文字以内)

「床発電システム」は駅・建物の省エネ化の促進を目的とし、圧電素子の特性を利用した人の歩行により電気を発生させるシステムである。本技術の主な課題である発電量、耐久性の向上に対し実施した、技術開発や駅における実証試験について報告する。

## 1. はじめに

近年、地球環境問題への関心の高まりを背景として、地球温暖化防止に向けたCO2削減への取組みが企業に求められている。鉄道システムにおけるCO2排出の原因となる電気エネルギーは、列車運転用として66%、駅・建物の照明や空調に23%が消費されている。JR東日本では前者については、省エネルギー車両への置き換えやハイブリッド車両の投入、ブレーキを使用したときの運動エネルギーの変化を電気エネルギーに変換する回生ブレーキの導入等に取り組んでいる。さらに後者については、太陽光発電やLED照明、自然風の活用、植栽・緑化等、エネルギー削減を実現すべく様々な環境保全技術の開発に取り組んでおり、その一つとして「床発電システム」がある。

圧電素子を駆使した「床発電システム」の開発は、平成16年度より慶應義塾大学環境情報学部 武藤 佳恭 教授のもと基礎研究を開始し、平成17年度からJR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所との共同開発に取り組んでいる。平成19年6月から平成21年3月までは、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)も加わり、三社の共同開発\*として取り組んだ。

「床発電システム」の大きな特徴は、太陽光発電や風力発電とは異なり、お客様の歩行によって電気が生まれるという「参加型」発電システムだという点である。また、CO2を発生せず、今まで活用されていなかった微小なエネルギーから電力を得られるため、環境にやさしい。このように、「床発電システム」は人の歩行により電力を得るため、通勤・通学等により歩行者数が比較的多い駅の特性を活かすことができる。本開発では、床発電システムを実用化することにより、駅や建物の省エネルギー化を推進し、地球環境にやさしい街づくりに貢献することを目指している。

## 2. 「床発電システム」の概要

### (1) 発電の原理

「床発電システム」は、人が歩行の際に床を踏む力を電気に変換する。この技術の核は圧電素子(写真 1)の持つ「圧電効果」という現象である。

圧電効果とは、素子に力を加えると内部で分極が起こり浮遊電荷が発生し、素子が力から開放された際にその電荷が放出されることで電流が発生する現象である。(図 1)

圧電効果自体は古くから知られている物理現象であり、上記の逆の、電気を流して圧電素子を振動させる原理は、ブザーやスピーカーで一般的に利用されている。しかし、発電用途としては、発生する浮遊電荷が極めて微量かつ一瞬であり、一定の電位差や電流を作り出せず蓄電が難しいことから、今までほとんど利用されてこなかった。



写真 1 圧電素子

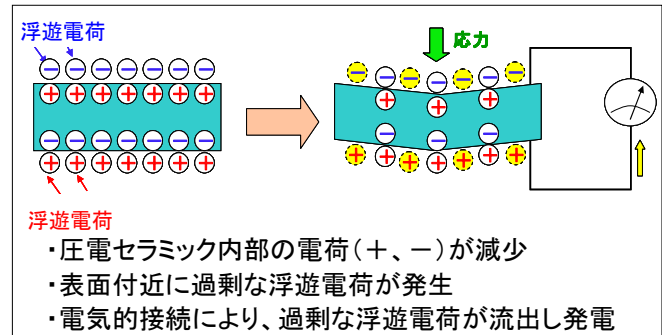


図 1 圧電効果の原理

### (2) 床発電システムのしくみ

床発電システムは、力や振動により発電する「圧電素子」、圧電素子を保護し力を加えるための「発電ユニット」、発生した電力を取り出す「蓄電制御装置」で構成される。(図 2)

複数の圧電素子を組み込んだ発電ユニットを床に敷設し、発電ユニットが踏まれることで発生した電力が蓄電制御装置に蓄積される。そして、蓄電制御装置と設備等との接続により電力を供給する。

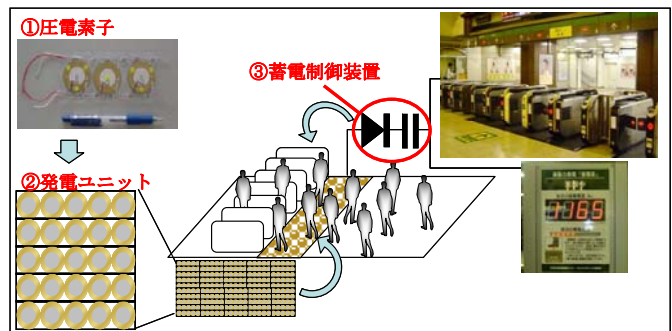


図 2 床発電システムのしくみ

## 3. 開発概要

床発電システムの開発では、微弱で瞬間的な浮遊電荷を効率よく取り出すために、それに適した圧電素子や電気回路、加圧構造などの研究開発が肝要である。また、このシステムは、きわめて微弱な振動をとらえるという繊細さと同時に、より多くの歩行者に踏まれ続けなければならないという耐久性も持ち合わさなくてはならない。そのため、実用化に向けては、技術の研究開発と共に、実用に耐えうこ

とを確認するための実証試験が不可欠である。そこで、これまで東京駅において3回の実証試験を行ってきた。期待どおりの発電能力が発揮されるか、また、その能力を持続するための耐久性を有しているかを確認すること、実用化にむけて解決・改善すべき課題を明確にすることが実証試験の目的である。

平成18年度に行った「床発電システム」として初めての实証試験(基礎試験)では、発電量が改札1人通過あたり約0.1W(ワット)秒と微小であり、試験開始後1ヶ月経過時に発電能力が1/3に低下して耐久性が無い等の課題が明確となった。このことから、実用化の目安として、発電量について改札1人通過あたり10W秒(床発電システムで得られた電力をICカード改札システムに活用することを想定)と耐久性の向上を目標とした。

目標達成に向け取り組んだ開発要素を以下に示す。また、各開発段階では、実用に耐えることを確認するための実証試験を平成19年度、20年度に実施した。実証試験では、それぞれ課題の検討に基づき改良したシステムの評価を行った。(図3)

<開発要素>

- ① 圧電素子: 圧電素子の材料・形状の検討による発電用途向けの圧電素子の開発
- ② 発電ユニット: 発電効率を継続的に維持でき、圧電素子へ効率的に力や振動をかける構造の開発
- ③ 蓄電制御装置: 電力を効率的に蓄積し、ロスを少なく電力供給設備に供給できる回路の設計

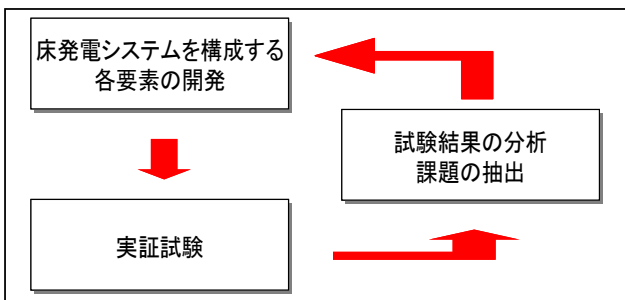


図3 床発電システム開発の流れ

4. 開発詳細

以下、実証試験の推移を追いながら、開発内容を述べる。

(1) 実証試験1(基礎試験)

基礎試験は主に圧電素子の発電量の確認を目的とし、平成18年10月から12月にかけて、東京駅丸の内北口で実施した(歩行者数: 約7万人/日、写真2)。

使用した圧電素子はセラミック製直径25mm、厚さ0.3mmの市販品であり、それを複数枚並べて上下ゴムマットで挟

んだ発電ユニットを作成し、自動改札機通路6通路(約6㎡)に敷き詰めた。そして、蓄電制御装置に蓄電される電力量を測定した。(図4)

試験の結果、1通路あたりでは歩行者1人の通行による発電量は最大で0.12W秒であった。1日あたりでは、システム全体で約10kW秒の電力を発電した。これは100Wの電球を約100秒間点灯できる量に過ぎない。また、設置後1ヶ月ほどで発電量は当初の3分の1にまで低下した。歩行者やスーツケースに踏まれ続ける過酷な状況により、多くの圧電素子が破砕し、発電量の低下につながったことが原因に考えられた。



写真2 基礎試験 試験状況

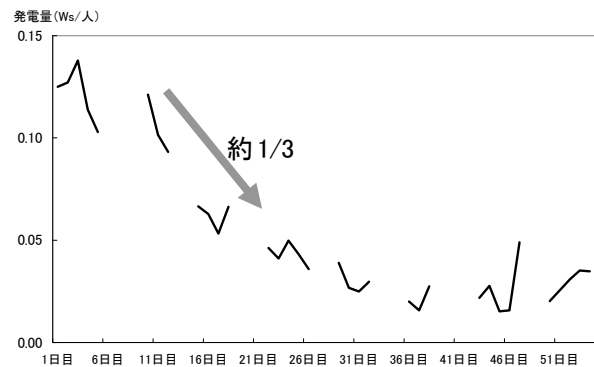


図4 基礎試験 発電量推移

(2) 実証試験2(平成19年度)

基礎試験の結果を踏まえて、床発電システムを改良し、実証試験2を実施した。各要素の開発内容を以下に示す。

<実証試験2 開発内容>

- ① 圧電素子: 評価装置を用い、材質、大きさ、厚さを変えた圧電素子試験体により最適化を検討
- ② 発電ユニット: 圧電素子を上下から保護するゴム材の構造を検証し、過大な圧力がかからない構造に変更
- ③ 蓄電制御回路: 基礎試験の回路について電気的な損失の割合を検証し、回路の部品、構成の改良を実

## 施

開発の結果、実証試験 1 で使用した床発電システムは、圧電素子の圧電セラミックの厚さを変更し、発電ユニットは保護材を強化したものとなった。

試験は平成 20 年 1 月から 3 月まで行い、東京駅八重洲北口(歩行者数:約 7~10 万人/日)の改札通路 7 通路(7 m<sup>2</sup>)、改札内通路部(約 80 m<sup>2</sup>)、階段部(約 7 m<sup>2</sup>)の計 94 m<sup>2</sup>に敷設した。そして、基礎試験同様、敷設した床発電システムにより蓄電制御装置に蓄電される電力量を測定した。実証試験 2 の試験状況を写真 3 に示す。

試験の結果、1 改札通路あたり 1 人の通行による発電量は最大で 0.94W 秒となり、基礎試験の約 10 倍の発電量が確認された。また、7 週間経過後においても、当該実験開始後の発電量の約 3 分の 2 が維持できており、耐久性の向上も確認することができた。(図 5)



写真 3 実証試験 2 試験状況

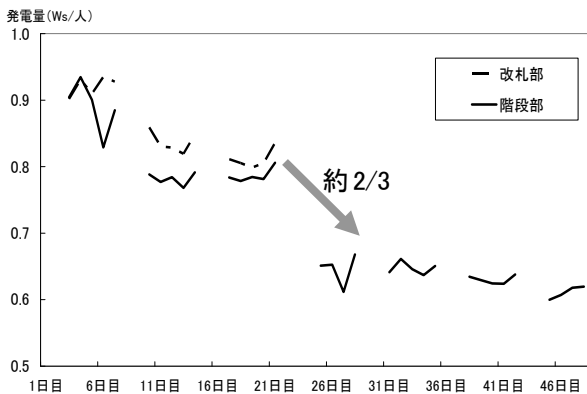


図 5 実証試験 2 発電量推移

### (2) 実証試験 3 (平成 20 年度)

実証試験 2 結果を踏まえ、さらに 10 倍の発電量を得ることを目標に、更に床発電システムを改良し、実証試験 3 を実施した。各要素の開発内容を以下に示す。

#### <実証試験 3 開発内容>

- ① 圧電素子: 材質、形状を検討し、床発電システム用

の圧電素子を開発

- ② 発電ユニット: 歩行による力がより効果的に圧電素子に伝わるように、圧電素子に圧力を加える構造についてシミュレーション等により形状・配置を決定。さらに駅への実導入を想定し、耐久性と設置の容易さを考慮した設計を実施
- ③ 蓄電制御回路: 回路におけるインピーダンスマッチングの実施

開発の結果、実証試験 3 で使用した床発電システムは、圧電素子の形状を円盤状から角状としたものを採用した。発電ユニットは上下ゴム材に加え、駅舎への実導入を想定して表面材に石材をスライスした特殊パネルを使用し、設置の容易さを考慮して全体の厚さを約 25mm とした。(写真 4)



写真 4 発電ユニット

試験は平成 20 年 12 月から平成 21 年 2 月まで行い、東京駅八重洲北口の改札通路 7 通路(7 m<sup>2</sup>)、改札内通路部(11 m<sup>2</sup>)、階段部(約 7 m<sup>2</sup>)の計 25 m<sup>2</sup>に敷設した。実証試験 3 の試験状況を写真 5、6 に示す。

試験の結果、1 改札通路あたり 1 人の通行による発電量は最大で 4.3W 秒となった。なお、システム全体としては 1 日当たり最大で 940kW 秒の電力量を発電した。これは 100W の電球を約 160 分間点灯できる量に相当する。また、5 週間経過後でも、当該実験開始後の発電量の約 95% が維持されており、耐久性については大幅に向上させることができた。



写真 5 実証試験 3 試験状況(改札)



写真 6 実証試験 3 試験状況(階段)

## 5. 開発成果

実際の駅における実証試験を通じて、最終的には発電量を基礎試験の 43 倍に向上することができた。また、実証試験後の解析、考察により、圧電素子の更なる改良等により、発電量を約 2 倍の改札 1 人通過当り 10W 秒まで向上させる可能性を明確にした。(図 6)

また、耐久性については、発電ユニットの構造上の工夫から、最終的には試験開始から約 3 週間経過後も発電量が 95%維持でき、飛躍的に向上を図ることができた。(図 7)

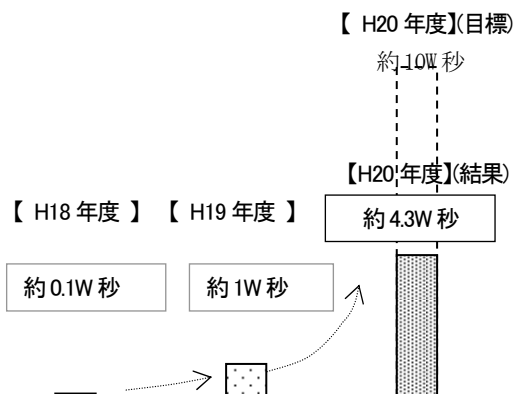


図 6 改札 1 人通過あたりの発電量\*

\* お客さまが改札(約 2.5m)を通過する間の発電量

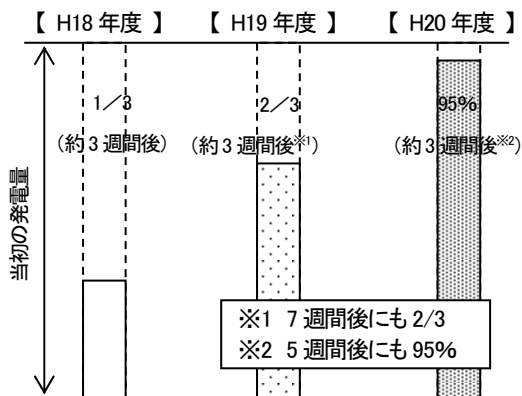


図 7 発電能力の持続性

## 6. 今後の展開

これまでの実証試験により、床発電システムの発電量・耐久性ともに飛躍的に向上を図ることができた。今後取り組むべき、実用化に向けた課題を以下に示す。

<今後の検討課題>

- ・ 発電量の更なる向上に向けた、各種要素の技術開発
- ・ 具体的な使用機器とのインターフェース開発
- ・ 実導入に向けた課題の解決

床発電システムは、太陽光発電や風力発電に比べてその発電量は微小である。しかし、電気工事を行わなくとも電気や情報のやり取りが行えるメリットがあることから、仮設物の電源や、ビル・建物内の通路、入退管理ゲート、電子ペーパー、照明、センサー器等設備への電力供給が期待できる。

今後も、駅・建物等の省エネ化を促進するため、早期の実用化に向けた課題について引き続き開発を進めていく。

\*平成 19 年 6 月～平成 21 年 3 月 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業