

床発電システム開発の取り組み

武藤佳恭^{*1}, 小林三昭^{**}, 林寛子^{**}

(2011年6月22日受付)

Development of the Power Generating Floor

Yoshiyasu TAKEFUJI,^{*1} Mitsuki KOBAYASHI^{**} and Hiroko HAYASHI^{**}

(Received June 22, 2011)

1. はじめに

床発電システムは人が歩行時に床に与えるエネルギーを電力に変換する「参加型」発電システムである。新たな環境技術の1つとして実用化を目指して開発に取り組んできた。

このシステムは人が通過したときのみ発電する特性上、多くの人に踏んでもらう必要がある。そのため、通勤・通学などで比較的安定して多くの利用者が見込める駅での導入を目指し開発に取り組んだ。

開発においては、平成16年度よりジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社において基礎研究を開始した。さらに平成17年度からは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、平成19年6月～平成21年3月には(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のエネルギー使用合理化技術戦略的開発事業として共同開発に取り組んだ。また、平成21年度からは、それまでの開発成果をもって施設等へ展開を開始した。

2. 床発電システムの概要

2.1 発電の原理

「床発電システム」の技術の核は、圧電素子の持つ「圧電効果」である。圧電効果とは、素子に応力を加えると素子内部で分極が起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。本システムでは、人の歩行を利用して圧電素子に応力を与え、圧電効果により電力を取り出す(図1)。

圧電効果自体は古くから知られている現象であり、上記の逆の現象(電気を流して圧電素子を振動させる)はスピー

カー等で利用されている。しかし、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、発電用途としては今までほとんど利用されていなかった。

2.2 仕組み

床発電システムは、力や振動により発電する「圧電素子」、圧電素子を保護し応力を加える「発電ユニット」、発生した電力を集電・蓄電する「蓄電制御装置」で構成する。

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の供給が可能となる(図2)。



図1 発電原理

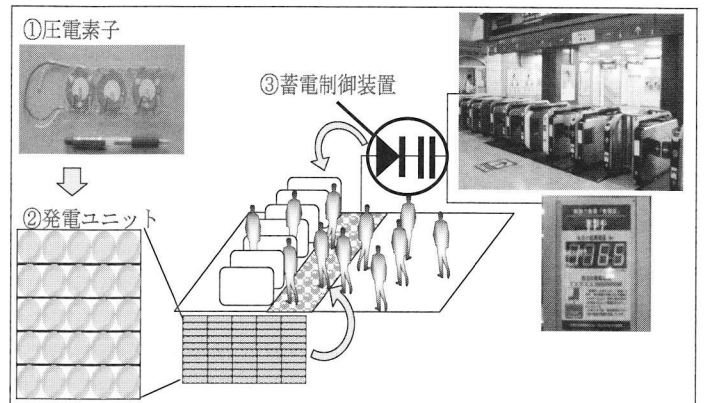


図2 床発電システムの仕組み

キーワード: 床発電 圧電素子 圧電効果 エネルギー

* 慶應義塾大学環境情報学部 (252-0882 神奈川県藤沢市遠藤 5322 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス)

Keio University/ Faculty of Environmental Information, 5322 Endo, Fujisawa, Kanagawa 252-0882, Japan

** ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 ICT 事業本部 (151-0053 東京都渋谷区代々木 2-2-6 JR 新宿ビル 6F) JR East Consultants Company ICT Division, 2-2-6 Yoyogi, Shibuya-ku, Tokyo 151-0053, Japan

¹ takefuji@sfc.keio.ac.jp

3. 開発の推移

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、圧電素子や蓄電制御装置における電気回路、発電ユニットの加圧構造などの研究開発が肝要である。また、このシステムは極めて微弱な振動を捕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られる耐久性も持ち合わせなければならない。そのため、上記のような技術を開発するとともに、実用に耐えることを確認するための実証試験を実施した。

実証試験は、東京駅において平成18年度から20年度にかけて計3回実施し、発電能力や耐久性の確認、実用化に向けた課題を明確にすることを目的とした。以降、実証試験の流れに沿って、床発電システムの技術推移を述べる。

3.1 実証試験1

平成18年10月から12月にかけてシステムの基礎データの測定を目的とした1回目の実証試験を実施した。

使用した圧電素子は直径35mm、厚さ0.2mmのセラミック製の市販品である。それを上下からゴムマットではさんだものをプロトタイプとし、東京駅丸の内北口の自動改札機通路6通路（1通路あたり幅40cm、延長2.5m）に敷き詰めた（図3）。



図3 実証試験1の状況

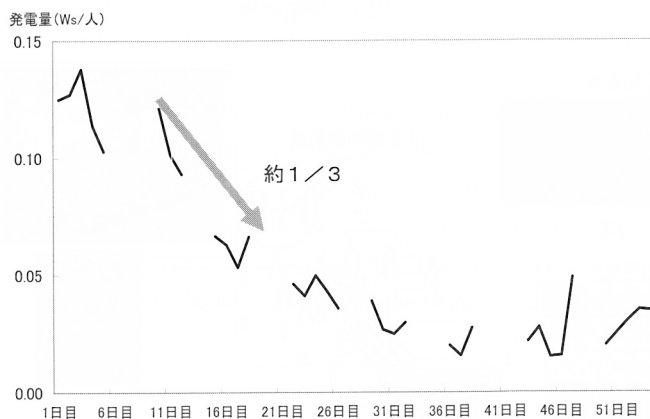


図4 実証試験1の結果（1人あたりの発電量）

試験の結果、発電量は改札を1人通過あたり最大で0.12W秒、平均0.1W秒、1日の総発電量は平均7万人の歩行者数でシステム全体として約10kW秒となった。これは100W電球を100秒点灯可能なレベルにすぎない。また、設置後1ヶ月で発電量が1/3に低下していた。歩行者に踏まれ続ける状況により、予想外に多くの圧電素子が破砕したことが原因として挙げられる。このことから発電量、耐久性共に課題が明確となった（図4）。

3.2 実証試験2

更なる開発を進めるため、平成19年6月から平成21年3月までNEDOの「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業の一環として床発電システムの開発（駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発）に取り組んだ。

実証試験1で課題となった発電量や耐久性の向上については、以下の要素について重点的に検討を行った。

- ・ 圧電素子：人が踏んで発電するのにふさわしい圧電素子の材料・形状
- ・ 発電ユニット：発電効率を継続的に維持でき、圧電素子に効率的に力や振動をかけられる構造（素子の枚数、配置、ユニット素材等）
- ・ 蓄電制御装置：電力を効率的に蓄積、ロスを少なく電力供給設備に供給可能な回路設計

これらについて検討した結果を用い、平成20年1月から3月にかけて東京駅八重洲北口の改札通路（7m²/7通路）、改札内通路部（約80m²）、ならびに同階段部（約7m²）の計94m²において2回目の実証試験を実施した（図5）。

通行者数は前回と同様、1日あたり約7万人である。試験の結果、1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、前回の約10倍の発電能力が確認された。また、システム全体としては1日あたり最大で766kW秒の電力量を発電した。これは100Wの電球を約130分間点灯できる量に相当する。



図5 実証試験2の状況（改札部）

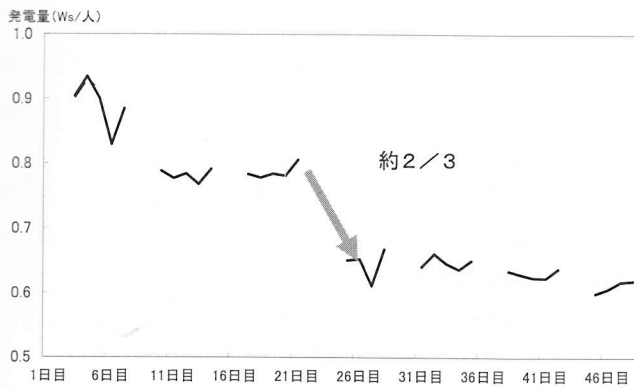


図6 実証試験2の結果（1人あたりの発電量）

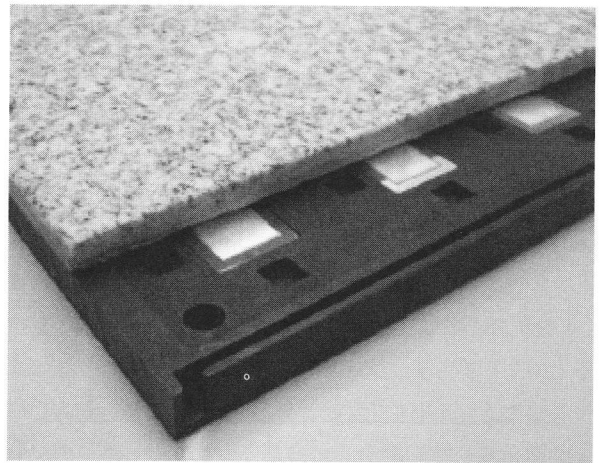


図7 床発電ユニット

また、7週間経過後においても、当該試験開始後の発電能力の約3分の2が維持されており、耐久性が前回よりも飛躍的に向上したことが確認できた（図6）。

3.3 実証試験3

2回目の試験よりもさらに10倍の発電能力を得ることを目標に、システムに更なる改良を加えた。主な改良点として、歩行による圧力がより効果的に圧電体に伝わるように、圧電素子と加圧部について有限要素法解析などを用いてシミュレーションを行い、最適な形状・配置を導き、「床発電システム」専用の圧電素子を開発した（特許出願済み）。また、集電回路・蓄電装置などについても改良を加え、発電能力の向上を図った。さらに、駅舎への実導入を想定して、システムの仕上げ材（床面）には周辺箇所と同様の石材を薄くスライスした特殊パネルを使用し、駅舎の既存の床や階段部の仕上げ材の上にシステムを直接、容易に設置できるように、その厚さを30mm以下に抑えた（図7）。また、パネル同士をつなぐ治具や既存床部との段差を解消するための部材などもあわせて開発した。

これらの成果をもって、平成20年12月から平成21年2月まで東京駅八重洲北口における3回目となる実証試験を行った。設置範囲は、改札通路（7m²/7通路）、改札内通路部（11m²）、ならびに同階段部（約7m²）の計25m²、通行者数は前回同様、1日あたり約7万人である（図8、9）。

試験の結果、1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。また、システム全体としては1日あたり最大で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週間経過後においても、当該試験開始後の発電能力の約95%が維持されており、耐久性の向上が確認できた。

3.4 実証試験のまとめ

平成18年度～平成20年度にかけて実施した3回の実証試験における、発電量の推移と発電能力の持続性（耐久性）



図8 実証試験3の状況（改札）



図9 実証試験3の状況（階段）

を図10、11に示す。

発電量は3年間で40倍に向上することができた。発電用途に向けた素子の開発及び素子に圧力をかける構造の改良の成果である。なお発電量の算出には、改札における総発電量を通行人数で割ることでお客様1人が改札機（約2.5m）を通過した時の発電量を算出している。

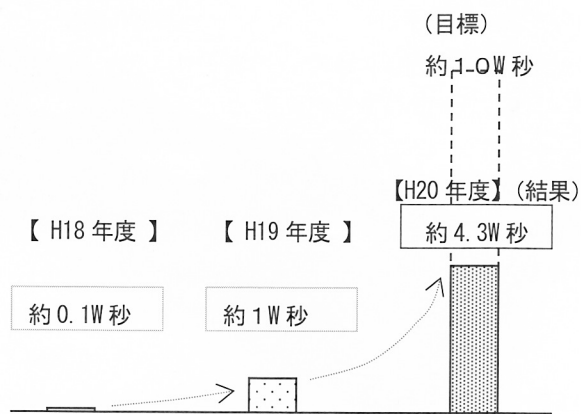


図10 改札1人通過あたりの発電量*

*お客さまが改札(約2.5m)を通過する間の発電量。

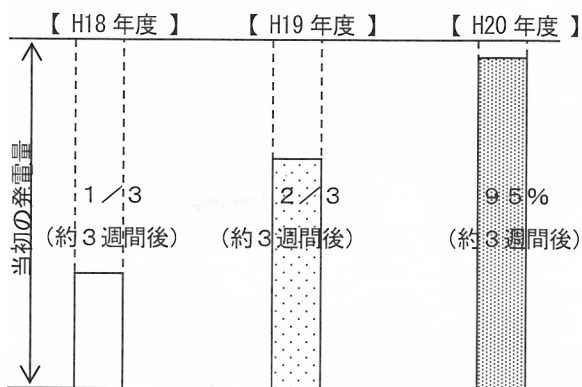


図11 発電能力の持続性

耐久性は、発電能力の持続性を指標として評価した。3回の実証試験を通じて、試験開始より3週間経過後も発電量を95%維持することが可能となった。これは、発電ユニットの材質、構造の改良により、素子の大幅に向上することができた。

4. 商業施設への展開

サッカーなどのスポーツ業界においては、積極的に環境に配慮した地域貢献活動が行われている。床発電システムの本格的な導入は、J1サッカーチームヴィッセル神戸を運営する株式会社クリムゾンフットボールクラブからの“サポーターの応援時のジャンプで発電させエコにつなげたい”という要望のもと、取り組みを開始した。

本格的な導入は、平成22年7月25日のヴィッセル神戸のホームズスタジアム神戸にて開催されるJ1リーグ第14節ヴィッセル神戸対大宮アルディージャ戦から。スタジアム観客席に24席分の床発電システムを設置し、応援による発電量のモニタ表示、電力を蓄電して試合終了後の誘導灯に利用した。導入以降、毎試合床発電システムを稼働させ、各試合の発電量はホームページにて掲示している。さ

らに、平成23年3月には20席分を増設し、得られる発電量の増加を図った。

ホームズスタジアム神戸に導入した床発電システムは、発電ユニットの大きさは40cm角、厚さ3cmであり、約200kgまでの加重(100kgの人がジャンプして壊れない)に対応している。導入において最も検討を重ねたのが設置方法であり、狭い座席間に通行を阻害せず確実に固定できるよう、40cm角の床発電システムを予め4枚1セットに連結することで、安定性を持たせ、狭い座席間でも比較的簡単に固定できるようにした。

幸い、スタジアムのスタンド席1席の幅がおよそ40cmであったため、1席に1枚設置することができた(図12、13)。

ヴィッセル神戸では、年間約20試合のホームゲームを対象に“エコプロジェクト”として床発電システムのほかにも、ペットボトルキャップ回収やゴミの分別回収等、様々な環境に配慮した地域貢献活動に取り組んでいる。床発電システムの導入により、お客様のエコプロジェクトへの関心や盛り上がりにも貢献できたと考える。

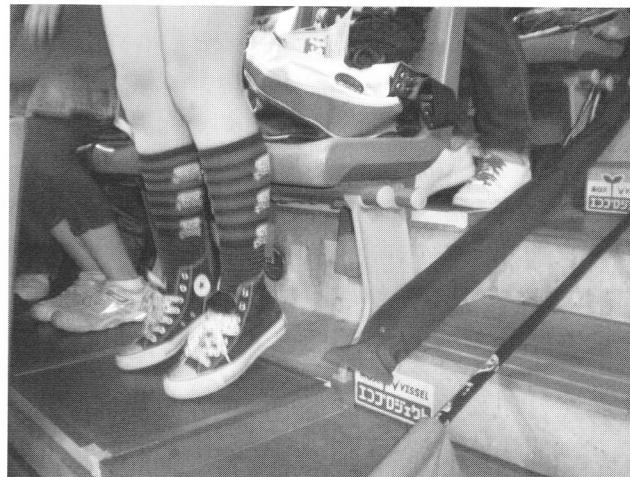


図12 サッカースタジアム導入風景



図13 発電量の表示

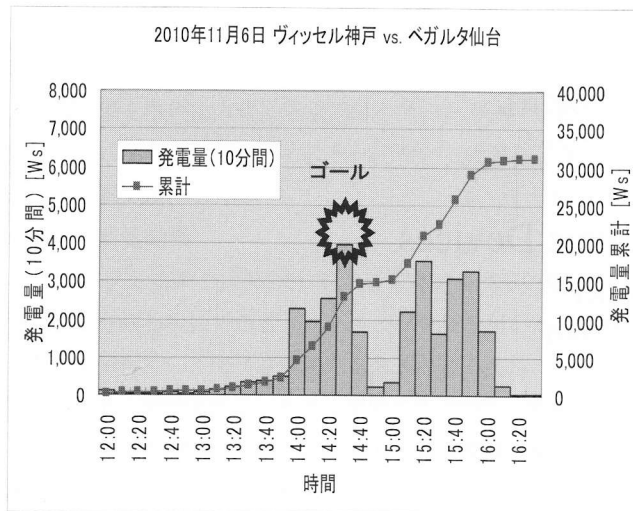


図 14 発電量の推移

また、床発電システムの蓄電制御装置には、10分単位で発電量のログを記録する機能を搭載している。1試合のログを分析すると、各試合の発電量の推移に違いが見受けられ、ゴール等のイベントの付近では発電量が増加していることがわかる。これにより、床発電システムによる発電量データがサポーターの応援のパロメーターとして利用できる可能性も見出した (図 14)。

5. 今後の展望

今後の床発電システムの発展には、価格の低減が必要不可欠である。出荷数量が増加すれば、価格はおのずと低下していくが、そのためには1,000ユニットレベルの出荷が見込めなくてはならない。

さらなる価格の低減には生産数量の増加だけでなく生産コストの見直しも必須である。床発電システムの圧電素子は、一般的に販売されているものと異なり、発電用に改良した特注品である。そのため、現状は受注生産の形を取っており、材料費が高くなることは避けられない。生産コストを低減させるには、出荷量を増加させて材料を量産化するか、材料の見直しが必須となる。

また、蓄電能力の向上も課題である。実証実験では発電量は最大で4.3 W秒が確認された。しかし発電した電力を利用する場合、電力をその場で利用せず蓄電してから利用すると、蓄電時にロスが発生し、利用できる電力が大幅に減少してしまう。床発電システムは太陽光発電や風力発電

と比較し発電量が微小、電圧が低いため、利用目的と利用シーンに合わせたアプリケーション開拓及び蓄電制御回路の開発が必要不可欠である。

現実的な使用方法としては発電した電力をそのままの形で利用することである。例えば、スポット的な照明という利用法も考えられる。

また、床発電システムによる発電をセンサーとして利用したほうがより省エネ効果の高い利用ができると考える。例えば、人がいる、いない(発電している、していない)ということを床発電システムでセンシングし、人がいない場合は照明をオフにする。自動改札や電子ポスター等でのセンサー的使用法も考えられる。

床発電システムには、

- ・踏むことで簡単に発電が体感できる
- ・今まで活用されていないエネルギーから電力を生むという特徴がある。今後は、蓄電技術の向上や計測技術との連携、センサー技術への応用などの活用方法の開発及び低コスト化の検討を進め、様々な場面で床発電システムが活用されていくことを目指していく。

参考文献

- 1) Y. Takefuji: And if public transport does not consume more of energy?," p.31, Le Rail (2008)
- 2) Y. Takefuji: Known and unknown phenomena of nonlinear behaviors in the power harvesting mat and the transverse wave speaker. Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, p. 239, Budapest (2008)
- 3) 小林三昭, 林 寛子, 武藤佳恭: 圧電素子を駆使した床発電システムの開発. 超音波テクノ, 2010年5-6月号 (2010) 48
- 4) 小林三昭, 林 寛子, 武藤佳恭: 床発電システム. エネルギーハーベスティングの最新動向, 桑野博喜監修, シーエムシー出版 (2010)
- 5) 武藤佳恭, 小林三昭, 林寛子: 人の歩行で電気を生み出す「床発電システム」. OHM, 97, 12 (2010) 27