

健康エネハベ HEMS 用発電機としての健康足踏み器

横須賀京介^{†1} 須山雄二郎^{†2} 江夏吉彦^{†1} 泉貴大^{†1} 小田原健雄^{†1}
関家一雄^{†3} 三栖貴行^{†1} 一色正男^{†1†3}

概要: 我々は HEMS の可能性を広げるため、家電制御による省エネだけではなく、エネルギーハーベストを通じて居住者の健康を増進しながらゼロエネルギーハウスを実現する方法を検討している。今回は家庭用健康足踏み器をエネルギーハーベスト用に改造して用い、アンケートを集めて日常的利用についての可能性を検討したので報告する。

キーワード: 健康足踏み発電機, エネルギーハーベスト, HEMS

Stepper Exercise Machine as A Generator for Health-Support and Energy-Harvesting HEMS

KYOSUKE YOKOSUKA^{†1} YUJIRO SUYAMA^{†2} YOSHIHIKO ENATHU^{†1}
TAKAHIRO IZUMI^{†1} TAKEO ODAHARA^{†1} KAZUO SEKIYA^{†3}
TAKAYUKI MISU^{†1} MASAO ISSHIKI^{†1†3}

Abstract: We have been investigating the possibility of HEMS, not only for saving the power consumption of home appliances, that would promote the people's health through Energy-Harvesting and consequently achieve Zero-Energy House. Here we report on a stepper exercise machine converted to a generator for Energy-Harvesting, with a result of questionnaire for daily use.

Keywords: Stepper exercise machine, Energy harvest, HEMS

1. 序論

近年、様々な家電製品の普及と技術向上により、生活が豊かになっている。家庭での電力消費量は著しく増加しており[1]、さらに豊かな生活を送ることができるようになった一方で、運動不足などの健康面が問題視され、高齢者の筋力の低下が原因である自宅内での転倒事故が多くなっている[2]。そこで我々は効率的に電力を使用することが目的である HEMS(Home Energy Management System)の概念を拡張し、居住者に運動させながら発電することで、健康増進と省エネハウス、ひいてはゼロエネハウスを実現できないかと考えている。

昨年度には、自転車をエネルギーハーベストに用い、漕ぐという運動を電気エネルギーに変換してバッテリーに充電し、その電力を HEMS 管理のもと使用することで、健康と省エネの両立が可能となる健康 HEMS を提案した。

しかし自転車での発電はかなりスペースを使うため、自宅内に設置するのは困難である。本年度は、高齢者の転倒事故が増えている背景を考慮し、下半身を鍛える健康器具でありスペースをあまり使わないステッパーが適している

のではないかと考えて、健康足踏み器を改造して発電機とし、その性能と可能性を検討したので報告する。
本研究のコンセプトを図 1 に示す。

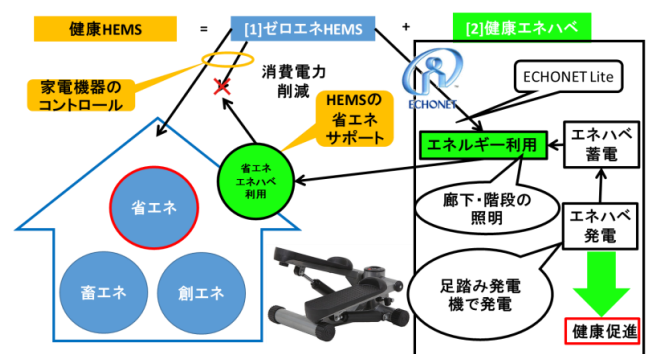


図 1 健康エネハベ HEMS のコンセプト

Figure 1 Health-support and energy-harvesting HEMS

2. 試作

2.1 予備実験

2.1.1 製作

まず往復運動である健康足踏み器の運動からどうやって発電するかを考え、ワンウェイクラッチで足踏み運動を一方方向の回転に変え、回転式モータで発電できるか試してみることにした。

^{†1} 神奈川工科大学 ホームエレクトロニクス開発学科
Dept. Home Electronics, Kanagawa Institute of Technology
^{†2} 神奈川工科大学 KAIT 工房
KAIT Workshop, Kanagawa Institute of Technology
^{†3} 神奈川工科大学 スマートハウス研究センター
Smart House Research Center, Kanagawa Institute of Technology

予備実験では、ワンウェイクラッチを自作する代わりに市販されているモップ洗い機を用い、その回転軸を三相コアレスモータに接続して試してみた。バケツ付き水切り機能のあるモップ洗い機は、回転モップが一方方向のみに回転し、逆回転すると空転するワンウェイクラッチと、大小の歯車を組み合わせた増速機能を備えている。

表1は予備実験の試作に使用した部品とその個数を示している。スカイ電子のコアレスモータ[4]を使用し、回転させることで、電気を生み出す。8mmシャフトと軸受は回転モップのワンウェイクラッチと歯車の動力で8mmシャフトを回転させ、軸受でコアレスモータに回転をつなぎ、発電する。回転計は1回転での発電量を図るためにコアレスモータの回転数を計っている。アルミアングルと突起付反転ブラケットは装置の枠組みと部品の設置を容易にするために使用した。固定版はコアレスモータの固定に使用している。これらを組み立て製作した足踏み発電の予備実験試作機の三面図と写真を図2に示す。

表1 予備実験試作機の部品

Table 1 Parts for preliminary experiment

部品名	個数
コアレスモータ	1
回転モップ	1
軸受	1
回転計	1
固定板	1
8mmシャフト	1
アルミアングル	19
突起付反転ブラケット	28

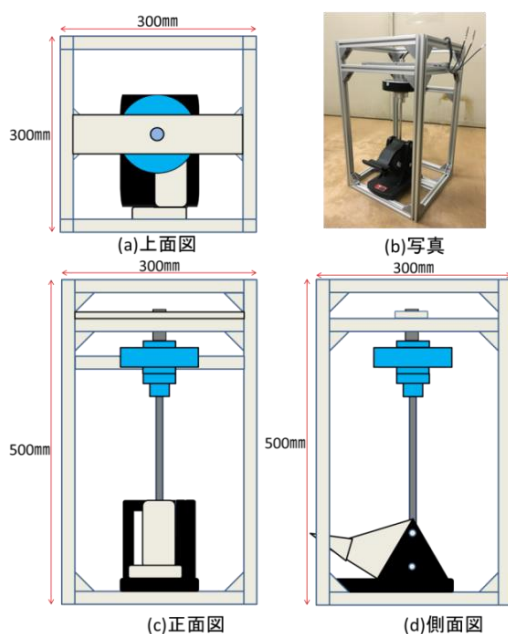


図2 予備実験試作機の三面図と写真

Figure 2 Three-views and an image of the apparatus used in the preliminary experiment

2.1.2 予備実験の考察

予備実験では、ワンウェイクラッチを用いた足踏み発電機が可能であるかを試作検討した。回転計で予備実験試作機の回転数の瞬時値を測り、コアレスモータに伝わる回転を見た。またコアレスモータに回転が伝わって、発電ができていないか確認し、足踏み発電ができていないかを検討した。

その結果、ワンウェイクラッチと増速機能を活用すれば、踏む圧力でコアレスモータを回転させ、発電できることが分かった。しかし回転モップの機構では片足でしか踏めないで、連続的に回転・発電させることができないことも分かった。よって両足の足踏みで発電する必要があると考え、両足用の健康足踏み器を用いて発電できるものを新たに製作した。

2.2 本試作

連続的に運動し発電するために本試作機では、片足で発電をおこなう回転モップ機構の使用をやめ、下半身を鍛える健康器具のステッパーを使用した。これにワンウェイクラッチと自作のプーリとベルトを接続して一方方向回転の増速機構を実現し、予備実験でも用いた三相コアレスモータにつないで発電した。

表2に本試作の部品名と個数を示す。また本試作の三面図と写真を図3に示す。プーリの中にワンウェイクラッチを入れ、一方方向に回転させる。増速のためシャフトを増やし、またシャフトを12mmと太くして強度を高めた。シャフトはベアリングでアングルとつなぎ、スムーズに回転させる。固定版はコアレスモータと回転計の固定に使用した。このベルト機構は3段となっており、1段目はステッパーに直接取り付け、2段目にT型ベアリングホルダでシャフトのプーリにつなぎ、3段目で軸受によって12mmシャフトとつながったコアレスモータを回転し発電する。调速比は1段目から2段目で2.12倍、2段目から3段目で4.5倍、合わせて9.53倍となっている。

表2 両足足踏み発電機試作品の部品

Table 2 Parts for stepper machine generator

部品名	個数
コアレスモータ	1
ステッパー(足踏み角30度)	1
軸受	1
回転計	1
固定板	2
12mmシャフト	2
ベアリング	1
T型ベアリングホルダ	3
ワンウェイクラッチ	3
タイミングベルト	3
タイミングプーリ	6
アルミアングル	20
突起付反転ブラケット	28

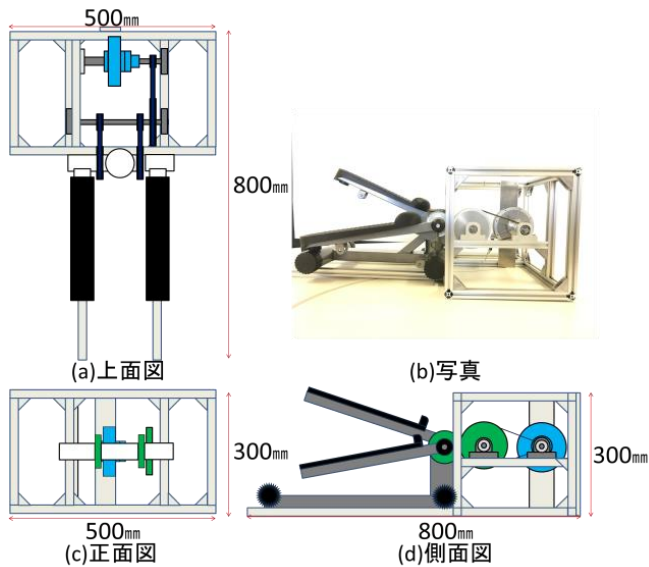


図3 両足足踏み発電機試作機の三面図と写真
 Figure 3 Three-views and an image of the stepper exercise machine generator

3. 実験

本学の学園祭で両足足踏み発電機による体験型公開発電実験をおこない、発電データの計測と体験アンケートを実施した。

3.1 測定方法

電流と電圧のデータの取得は、三相コアレスモータで発電された三相電流をダイオードで整流し、脈流状態の直流で測定した。電流・電圧センサーである INA226 と Arduino を I2C 通信で接続し、Arduino と PC を USB で接続して、電流、電圧のデータ取得と記録をおこなった。データの取得に使用した回路の部品を表3、電気回路図を図4に示す。また、電力の計算は、センサーより得られた値を元に Excel で計算した。この計算式は、式(1)の計算式で分圧回路の係数を求め、式(2)で発電した電気エネルギーの総量を求めた。その計算式を式(1)~(3)に示す。なお、今回は性別・年齢別・体重別による違いを見ることを目的にしたので両足足踏み発電機にはダンパを入れ、運動の一部のみを電力として測定した。

表3 測定回路の部品

Table 3 Parts for the measuring circuit

部品名	個数
Arduino Uno	1
INA226	1
ダイオード	6
抵抗	2
ユニバーサル基板	3
ピンヘッダー	5

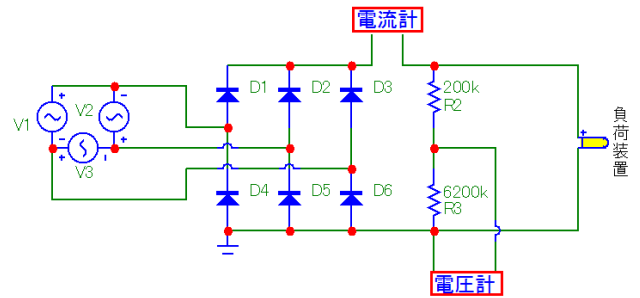


図4 整流回路と電力測定
 Figure 4 Rectifying circuit and power measuring

$$k = \frac{(6.2 \times 10^6 + 200 \times 10^3)}{6.2 \times 10^6} \quad \text{式(1)}$$

$$W[J] = \Delta t \times I \times V \times k \quad \text{式(2)}$$

$$\Delta t = 0.1s \quad \text{式(3)}$$

3.2 アンケート内容

体験実験に対するアンケートでは、年齢、体重、踏みやすさ、継続して使いたいかを問い、利便性と実用性があるかを調査した。また、性別、年齢、体重の違いで感じ方の違いが変化するか調査した。実際に使用したアンケート内容を図5に示す。

足踏み発電アンケート

ステッパーで持続的に運動し、
発電する健康的に電気を作る装置です。

男性 女性

1. 年齢

20 以下 30 以下 40 以下 50 以下
 それ以上 男性(歳)

2. 体重

40 以下 50 以下 60 以下 70 以下
 それ以上 男性(kg)

3. 発電機は踏みやすかったですか？

とても踏みやすい 踏みやすい 踏みにくい とても踏みにくい

4. 毎日、継続して使えますか？

とても思う 思う 思わない とても思わない

図5 アンケート内容
 Figure 5 Questionnaire

3.3 実験結果

実験では被検者 101 名に足踏み発電実験をしていただいた。両足足踏み発電機で 20 秒間発電してもらい、電力量のデータを取った。その後アンケートに答えてもらった。両足足踏み発電機実験で取得したデータとアンケートの結果を性別・年齢別、体重別に分けてまとめた。両足足踏み発電のグラフを図 6、図 7 に示し、アンケートのグラフを図 8、図 9 に示す。

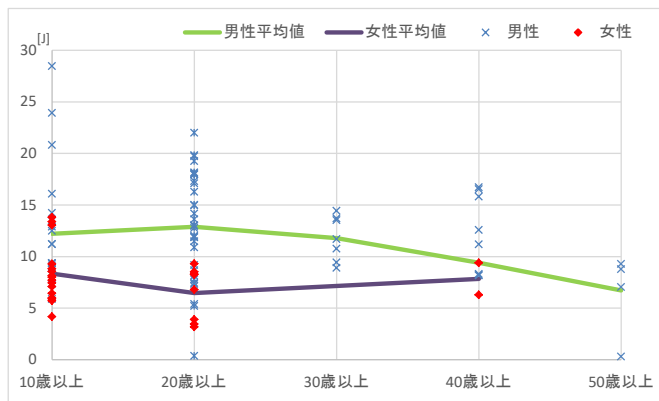


図 6 年齢別性別実験データ
 Figure 6 Experimental data by age and sex

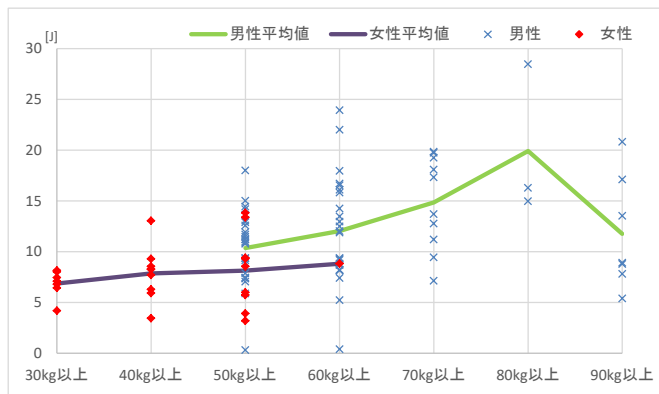
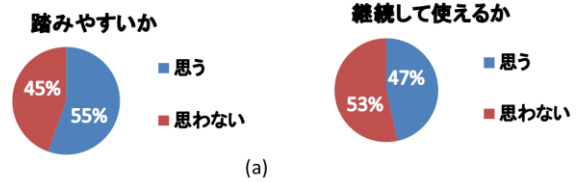


図 7 体重別性別実験データ
 Figure 7 Experimental data by weight and sex

アンケート全体



アンケート年齢別

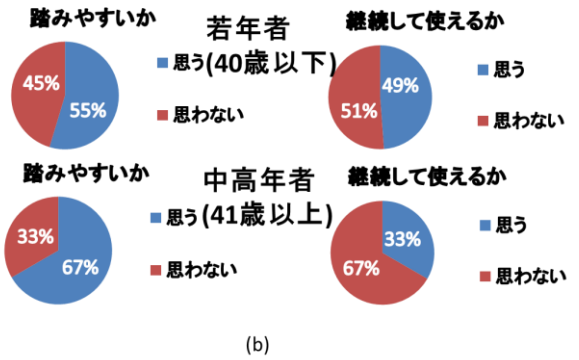
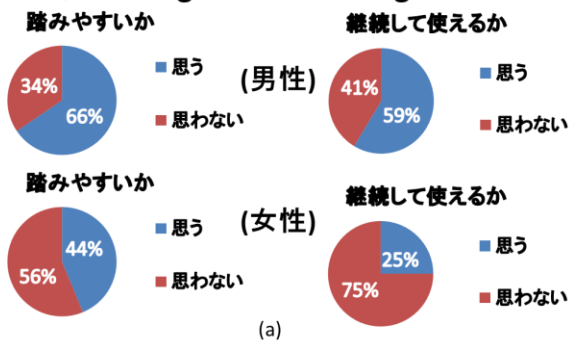


図 8 アンケート結果 1
 Figure 8 Questionnaire result 1

低体重者

男性60kg以下・女性50kg以下



重体重者

男性61kg以上・女性51kg以上

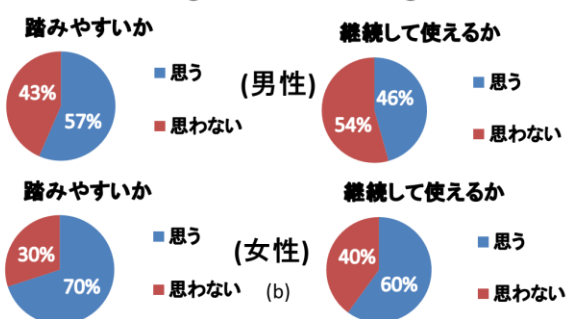


図 9 アンケート結果 2
 Figure 9 Questionnaire result 2

3.4 実験考察

本実験の結果より、出力平均が 0.5w で 20 秒間に発電した発電エネルギーの平均は 11J だった。そして、最大出力は 1.2w という結果となった。また、出力の平均と最大出力との差が大きいことから出力が不安定であることも分かった。アンケートでは、体重 50kg~60kg の人の評価が高く、今回のダンパを使用したステッパーの負荷が体重 50kg~60kg の人に適している負荷であることが分かった。また、体重別の実験結果より体重が重ければ重いほど発電エネルギーが大きかったことが分かった。90kg 以上の発電エネルギーが少なかったのは 90kg 以上の被検者の年齢層が高かったためだと思われる。また、年齢別のグラフでは各年代での発電エネルギーの差はあまりなかったが、50 歳以上の発電エネルギーは落ち込んでいる。これは老化により体力の低下が原因であると考えられる。

本実験のアンケート結果より、被検者から足踏み発電の可能性と運動への支援になるとの好評価を得た。また両足足踏み発電機ではステップ力と体重の関係が重要であることが分かり、体重に適切な負荷にする必要があることが分かった。今回の実験では 9.53 倍の調速比でダンパ付きでおこなったが、今後調速機を上げて運動エネルギーをすべて電気エネルギーに変換して測定する必要がある。

4. 結論

本実験により、健康足踏み発電機の可能性は十分にあり、本試作品の課題を改善していき、性能を上げていくことで足踏み発電機の可能性は広がっていくことが分かった。具体的な改善点として以下の点が挙げられる。

- 1) フライホイールを導入し、コアレスモータの回転を安定化させる。
- 2) 体重に合わせた負荷の調節を可能にする。
- 3) ダンパを外し、ベルト機構の調速比を高め、発電効率を高める。

今後、上記 3 点を改善し実験をおこなっていく予定である。

参考文献

- [1] 電気事業連合会. 原子力・エネルギー図面集 2015, (2014).
“http://fepc-dp.jp/pdf/07_zumenshu_j.pdf”
- [2] 内閣府. 平成 28 年度版高齢社会白書, (2016).
“http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/zenbun/28pdf_index.html”
- [3] 山梨紘哉, 湯浅泰樹. 「ゼロエネ+エネハベ」がつくる健康 HEMS の研究. (2016)
- [4] スカイ電子, SKY-HR125, “<http://sky-denshi.co.jp/h125.html>”