

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560288

研究課題名（和文）

振動、熱エネルギー回収による電気自動車の高効率化

研究課題名（英文） The high efficiency electric vehicle using the vibration and heat energy recovery system

研究代表者

大橋 俊介（ OHASHI SHUNSUKE ）

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：60298841

研究成果の概要（和文）：本研究では電気自動車における振動エネルギーと熱エネルギーの回収により電気自動車の省エネルギー化をはかった。振動エネルギーはリニア発電装置により、熱エネルギーは熱電素子を用いて電気エネルギーとして回収する。まず熱エネルギーの回収については、熱電素子のモジュール化、熱の流れの解析を行い、熱エネルギーの効率的な回収手法を求めた。また、得られる電圧は低いため、適切な電圧を得るための昇圧回路の設計を行った。振動エネルギーについてはリニア発電装置と自動車の振動を模擬する装置を組み合わせることで、自動車における振動回収の解析および実験を行った。その結果、適切な設計パラメータを求めることができた。最後にこれらを自動車に搭載するための検討を行い、搭載できることを設計上で確認することができた。

研究成果の概要（英文）：The high efficiency electric using the vibration and heat energy recovery system has been studied. Vibration energy is recovered by the linear generator, and heat energy is recovered by the thermoelectric transducer. Modularization of the thermoelectric transducer is achieved. Numerical analysis of the heat flow is undertaken. And Effective recover method of the heat energy is given. As the generated voltage is low, the proper DC-DC convertor is considered. In the vibration recover system, vibration of the electric vehicle is adapted to the linear generator. Results of the numerical analysis and experiment are given. The appropriate design parameter is defined by the results. Finally design of the thermoelectric transducer and the linear generator to install on the electric vehicle is considered, and these facilities are shown to be loaded on the electric vehicle by the simulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電気機器・電力工学・電力変換

キーワード：電気エネルギー工学、電気自動車

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が国際的な問題となっており、

エネルギーを使う側の対策として電気機器の高効率化といった省エネルギー技術が求められている。これらの技術はエネルギー消費を減らすという観点から非常に重要である。特に動作時のクリーン性から導入が世界的に注目されている電気自動車においては電源（バッテリー）が本格導入の最大の問題となっており、高性能バッテリーの導入とともに使用するエネルギーを少なくすることが非常に重要である。一方でモータなどの省エネルギー化が進んでも損失ゼロを実現することは非常に困難である。そこで発生した損失を有効利用する技術に注目した。

## 2. 研究の目的

本研究ではこのエネルギー回収による発電技術を取りあげた。具体的には電気自動車で想定される、次の2つの損失、振動エネルギーおよび熱エネルギーがターゲットとなる。

### (1) 振動エネルギー発電技術（機械的（運動）エネルギー回収に対応）

自動車や列車に代表される移動を伴うシステムにおいて、走行に伴い振動が発生する。これらの振動エネルギーは機械ダンパなどの抑制装置により熱や音などの形で大気中に放出されていた。移動を伴わない道路やビルなどの構造物や固定物においても風などによる外力や通行車両などの人工的な外力によって振動が発生するが、これらも振動エネルギーは構造体材料のダンパ要素など、なんらかの形で吸収され、廃棄エネルギーとして放出されていた。従来の研究では、このような振動エネルギーを積極的に回収する対象と考えられていなかった。これは振動エネルギーがストロークの短い直線運動に近いものであり、回転型の発電システムでは直接回収されにくいことが要因である。そこで、直線運動を主体とするダイレクトドライブを得意とするリニアモータの特徴を活かし、これらの振動エネルギーをリニア発電機構で回収するシステムを考案した。

(2) 振動は主に動きを伴う機械装置から発生するものであるが、熱電素子(4)は温度差から電力を得る素子である。従来、地熱発電など500度以上などの高温については実用的な運用がなされているが、数百度以下の温度についてはその効率の低さから実用的な研究がなされていない。一方で効率が従来の2倍となる熱電素子が発表されるなど素子の開発が積極的になされ、様々な用途への使用が見込める段階となった。本研究ではこの熱電素子にも着目し、エネルギー回収システムの要素とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、電気自動車へ搭載する損失エ

ネルギー回収システムとして振動発電と熱電素子を用いた発電を取り上げた。

(1) リニア振動発電については基礎的な研究は既に行っているため、様々な振動発生源に対する汎用性や移動体における乗り心地向上などの付加価値についての検討を行う。

(2) 熱電素子発電については熱の回収機構についても検討を行う。回収したエネルギーを高効率で再利用するため、電力変換、電気二重層キャパシタを用いた貯蔵といった効率的なエネルギー回収の手法に関わる電力変換回路についてもシミュレーションを行い、実際の回路を作成する。また、この2つのシステムを電気自動車の実験車両に搭載しその効果を確認する。

## 4. 研究成果

### (1) 熱電素子による発電の基礎特性

熱電素子発電について基礎特性の検討を行った。具体的にはシステム外への熱の流れが名極力ない理想的に近い条件下において温度差による発電効率や不可特性を測定した。高温側と低温側の組み合わせによって様々な状況が考えられるため、多くのパラメータについて実験を行う必要があるため、対応する実験を行った。基本的に熱電発電は高温側と低温側の温度差によって発電量が変化するが、絶対的な温度が何度かによっても発電効率が変わる。これは車両の電気機器の温度状態の違いによっても発電効率が変わることを意味する。今回、300度近い高温から-50度までの範囲で測定を行い、高温側と低温側の温度差が同じでも絶対温度が高いほど発電量が多いことを確認した。

### (2) 熱電素子を多段接続する技術

熱電素子は1個あたりの発電電力が小さいため、多段接続して用いることが想定される。よって、素子を多段接続した際の安定性についても検証を行った。さらに接続方法についても直列、並列によって効率変動が起こることが考えら得るので、その点についても実験および検討を行った。その結果、複数の素子をモジュール化することにより、効率を若干向上させることができた。また、直列接続した場合、内部抵抗の影響が大きくなり、効率が低下することも確認できた。

### (3) 熱電素子発電のシミュレーション手法の確立

熱電素子は熱の流れを利用するため、効率的な発電を行うためには熱の伝導パターンについても検討を行った。ただし、熱伝導については熱電素子と伝導体の材料の違いに

よる検討などが必要となり、現状では、近似式を用いてシミュレーションを行っている。このシミュレーションにより定性的な熱エネルギーの流れを得ることができた。

#### (4) 発熱機構の検討および模擬発熱モデルの作成

熱電素子を効率的に働かせるためには発熱体からの集熱機構の検討が不可欠である。まず、変換器などの静的な発熱源について集熱機構を検討した。具体的には太陽光を集光する装置を用いて太陽光から高温を得た。その熱源をヒートシンクと良熱伝導の金属を用い、さらに熱容量の高い材料に蓄熱した。蓄熱源から効率よくエネルギーを得るため、熱電発電素子をモジュール化した。モジュール化により蓄熱源から得られるエネルギーが増加した。

#### (5) 充電方法の最適化

これまで得られた研究の結果、電気二重層キャパシタを用いた大容量のコンデンサに充電する方法が最もよいと考えられるが、充電電流の制御などが効率や充電時間に大きく影響することがわかっている。よって、充電方法の最適化について検討を行った。その結果、キャパシタの接続方法や昇圧電圧、充電完了までの時間を制御することで効率が大きく変わることが示された

#### (6) リニア振動発電装置のスケールモデルについての検討

自動車の走行時に発生する振動などスケールの違うモデルに適用するためのモデル化が必要となる。そこでスケール化のためのモデルを作成し解析を行った。そして実験装置で得た結果を対比しモデルの妥当性を確認した。

#### (7) 高性能永久磁石を用いた発電装置の製作

電気自動車での使用を想定し、高性能永久磁石を用いた発電装置の界磁部分を作成した。

#### (8) 振動発電装置の電機子巻線の設計

電気自動車において発生する様々な振動発生源に効率よく対応する電機子巻線の設計を3次元電磁界解析ソフトにより行った。この新しい設計により効率の向上が期待できる。

#### (9) 電力変換部の製作

発電した電力を変換する部分（コンバータ）および貯蔵する部分を製作した。電力貯蔵部はバッテリーではなく、寿命が長く交換が不要、素早い電力の取り出しが可能である電気二重層キャパシタを用いて製作した。

(10) リニア振動発電を用いた機器の性能向上の検討を行った。リニア振動発電装置を用いることで振動エネルギーを回収することができるが、振動を抑えることで付加価値が期待できる。ここではその効果について、まず数値シミュレーションにより検討を行った。そして実験装置へエネルギー回収効果を反映する手法を検討し、実験装置への適用手法を確立した。

(11) 電気自動車への搭載設計。作成した実験装置を研究室で行っている電気自動車実験車両に搭載するための設計を行った。具体的には設置場所に応じた小型化、走行時における振動対策、制御機器の配置などの設計を行った。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

1. S. Ohashi, Effect of the Damper Coils on the Guideway Displacement in the Superconducting Magnetically Levitated Bogie, IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol.22, No.3, 3600604 (2012) 査読有
2. S. Ohashi, T. Ueshima, Control Method of the Semi-Active Damper Coil System in the Superconducting Magnetically Levitated Bogie Against Vertical and Pitching Oscillation, IEEE Trans. on Magnetics, Vol.48, No.11, 4542-4544(2012) 査読有
3. Y. Morii, M. Sakedai, S. Ohashi, Rotational characteristics in the resonance state of the HTSC-permanent magnet hybrid magnetic bearing, Physica C, 471, pp1483-1486 (2011) 査読有
4. R. Nishio, M. Ikeda, R. Sasaki, S. Ohashi, Study on Control Method of Running Velocity for the Permanent Magnet-HTSC hybrid Magnetically Levitated Conveyance System, Physica C, 471, pp1492-1496 (2011) 査読有

[学会発表] (計6件)

1. 青木拓也、山本大祐、平澤一哉、大橋俊介、リニア発電装置の三次元解析を用いた界磁部分の検討、電気学会モータードライブ・リニアドライブ合同研究会資料、MD-12-064, LD-12-084(2012.12.13) 高知工科大学
2. 齊藤真一、児玉明信、大橋俊介、電気自動車の制動時におけるキャパシタ切り替えによる電力回生特性の検討、電気学会半導体電力変換・自動車家電・民生合同研究会資

料, SPC-12-183, VT-12-034, HCA-12-068  
(2012. 12. 7) 滋賀県米原市米原公民館

3. 山本昇平、青木拓也、山本大祐、大橋俊介、  
リニア発電装置における振動発生部改良に  
よる振動再現性の向上、電気学会モータード  
ライブリニアドライブ合同研究会資料、  
MD-11-068, LD-11-092 (2011. 12. 15) 静岡大学

4. 伊木 庸祐、大橋 俊介、リニア誘導集電  
を用いた集電コイルの充電基礎特性、電気学  
会半導体電力変換・モータードライブリニア  
ドライブ合同研究会資料, SPC-10-188,  
LD-10-086, MD-10-064 (2010. 12. 17) 関西大学

5. 藤岡祐介、藤田浩平、大橋俊介、高温域お  
よび低温域における熱電発電モジュールの  
基礎特性、平成 22 年電気学会産業応用部門  
大会 1-46 (2010. 8. 25) 芝浦工大

6. 山本昇平、大橋俊介、リニア発電装置の自  
動車走行時振動への適応、平成 22 年電気学  
会産業応用部門大会 3-31 (2010. 8. 25) 芝浦工  
大

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大橋 俊介 (OHASHI SHUNSUKE)  
関西大学・システム理工学部・教授  
研究者番号: 60298841