

平成21年 6月 8日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760221

研究課題名（和文） リニア発電を用いた振動エネルギー回収システムの研究

研究課題名（英文） Study on vibration energy collection system using the liner generator

研究代表者

大橋 俊介 (OHASHI SHUNSUKE)

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：60298841

研究成果の概要：

同期型リニア発電装置を用いて様々な振動エネルギーの回収を行った。具体的には自動車における振動など移動体における振動を測定し、その振動を模擬した。その模擬振動パターンを用いてリニア振動システムの高効率化を図った。

また発生した電力を効率よく利用するための変換回路についても検討を行い、回路を作成しその効果を確認した。このシステムの新しい適用先として超電導磁気浮上鉄道を取りあげ、このシステムを負荷した際の効果について走行シミュレーションにより明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,000,000	0	1,000,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,000,000	240,000	3,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電気機器工学

キーワード：電気機器学、再生可能エネルギー、リニア発電、振動、電力変換、パワーエレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

自動車に代表される移動を伴う機械において、必ず振動が発生する。大規模になると列車も含まれるが、この振動エネルギーは従来機械ダンパなどの抑制装置により熱や音などの形で放出されていた。一方、道路やビルなどの固定物においても振動が発生するがこれらも振動エネルギーはなんらかの形で吸収され、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について電氣的な対象とされていないが、

これは振動エネルギーが直線運動に近いものであり、回転型の発電システムでは回収されにくいことが要因と考えられる。そこで、リニアモーターの特徴を活かし、これらの振動エネルギーを回収するシステムを考案した。

2. 研究の目的

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、振動に伴い騒音が発生する。これらの振動エネルギーは従来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自然的もしくは通行車両などの人工的なもの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が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と考えられる。そこで、ダイレクトドライブを得意とするリニアモーターの特徴を活かし、これらの振動エネルギーをリニア発電機で回収するシステムを考案した。これはリニア同期発電装置を用いて、振動運動のエネルギーを直接電気エネルギーに変換し、回収するものである。

電機子は通常の巻線型リニアモーターを用いるが、界磁に高磁束密度の永久磁石を用いることで、小変位でも電気エネルギーの取り出しが可能になる。将来的には着磁した高温超電導体などを用い、さらに磁束密度を上げることも可能である。自動車や列車などの移動システムではさらに機能を高めてアクティブダンピングシステムとして乗り心地を向上させることができ、吸収した振動成分について2次的に車内電源の補助として用いることが考えられる。

一方、道路やビルなどの構造物においても振動エネルギーを電気エネルギーに変換し、様々な電気設備で用いることができる。さらにこのシステムで不要な振動エネルギーが電気エネルギーに変換されることで、振動・騒音、周囲温度上昇の軽減、各対象物の耐久性向上、メンテナンスの低減といった効果も期待できる。

具体的な手法としては自動車や列車、さらには道路などで発生する振動を測定する。その振動データを電磁振動発生装置に入力し、振動を正確に模擬する。振動発生装置はリニア発電装置の移動子（界磁部）に接続されており、移動子が運動することで運動速度に応じた電圧がリニア電機子巻線に発生する。この間接的な実験手法を取り入れることでシミュレーションだけでなく、幅広い対象について実験を効果的に行うことができる。

3. 研究の方法

研究は次の手順で行った。

○リニア発電装置の基礎特性の同定

リニア発電装置について発電電圧、負荷特性、無負荷特性といった基本特性を測定し、システムのパラメータの同定を行う。扱う振動パターンが多いため、数 Hz から数

kHz までの特性について検討した。

○リニア発電システムの解析

基本特性を測定するためのリニア発電システム実験装置はすでに製作しているため、各周波数の正弦波や三角波、方形波などの基本波形を入力した場合の特性について検討する。これらの振動波形を振動発生装置に入力し、装置の基礎特性を求める。一方で実験装置についての特性を詳細に検討するため、理論的な値を求めるための解析モデルを構築する。これによって得られた解析結果と実験結果を比較検討し、実験装置の理論的部分以外の要素について特定し、解析モデルにフィードバックさせる。解析モデル構築のため研究調査を適宜行った。

○振動測定装置の構築

自動車などの移動体や道路、ビル、橋梁といった構造物に発生する振動パターンについて検討を行う。まず実際の振動を測定し、そのデータから正確な振動パターンを作成する。ここで振動データ収集作業のため、研究補助費を必要とする。携帯可能でかつ広帯域に対応できる振動測定システムの構築が必要である。主たる部分についてはすでに導入されている機器を組み合わせにより可能となった。

○振動パターン作成および模擬振動の発生

振動測定装置を用いて測定した結果を解析し、振動発生装置が同じ振動パターンを発生できるように、振動パターンを作成する。振動パターンはパソコンにより作成し、A/D変換ボードを通して電圧制御を行って入力する。実際に発生する振動パターンを測定値と一致させるために振動装置の改良を行った。

○リニア発電システムの測定

リニア発電システムを用いて振動発生装置による模擬振動から発電を行う。移動体振動発生システムを組み合わせで実験装置を構成する。そして振動により得られる電圧を測定する。本システムで発生する発電電圧は不規則であり、力率も変化することが予想されるため、高性能の電圧・電流測定装置を導入する。本装置により電圧・電流を測定し、振動パターンの周波数スペクトルに対する発生電力スペクトルの分布を明らかにした。そして解析モデルとの比較および検討を行った。

○電力変換部インバータの制御方法の検討

発電機に負荷を接続し、発電特性を検討する。ただし、振動パターンは一定の周波数ではないため、発電電力を変換し、利用可能な

形態にある電力にする必要がある。よって各振動パターンに対して最も効率の良いインバータ制御方法について電気回路シミュレータを用いて理論的に検討し、研究調査を行った。

○電力変換部の製作

発生電力を変換するための電力変換部を製作する。基本的には整流回路とインバータによって構成する。スイッチング制御については本実験装置では素子に高耐圧は不要であるため、スイッチング周波数の高いところでの特性のよい MOSFET を用いた PWM 制御を行う。制御についてはパソコンを用いた制御を想定しているが、対象となる振動が高い周波数になった場合は DSP を用いて対応した。

○電力の解析

インバータによって得られた電力について解析を行い、理論値と測定値との比較検討を行う。インバータを含めた発電特性および総合効率について検討を行った。

○発電装置のスケールパラメータの検討

入力する振動パターンは小規模システムから大規模システムまで周波数、振動の振幅といったエネルギーのスケールが異なっている。よって、システムの適用先による発電システムの最適な設計パラメータの検討を行う。その結果を用いて適用先のスケール依存性を考察した。

○新しい構成についての検討

界磁磁極のパラメータについて検討を行う。また、より強力な界磁を用いる場合には電機子巻線を空心にすることも考えられ、その可能性について検討を行う。ここで新しい界磁として永久磁石を用いた磁気回路を作成し、実験装置に設置、実験を行う。さらに他の適用先を検討し、その効果を確認した。

4. 研究成果

○リニア発電システムの再構築

基本特性を測定するためのリニア発電システム実験装置は既に製作していたが、振動振幅を大きくとること、より広い周波数帯域を目的とするため装置の改良を行った。振動発生機を用いて行っていたリニア発電の界磁部分の駆動をサーボモータによる駆動機構に変更した。

○リニア発電システムの解析

この実験装置についての特性を詳細に検討するため、理論的な値を求めるための解析モデルを構築した。解析プログラムは有限要素法を用いず、インダクタンスからの算出で

計算時間を短縮した。各周波数の正弦波や三角波、方形波などの基本波形を入力した場合の特性について検討した。これによって得られた解析結果と実験結果を比較検討し、実験装置の理論的部分以外の要素について特定を行った。

○振動測定装置の構築

自動車などの移動体や道路、ビル、橋梁といった構造物に発生する振動パターンについて検討を行った。実際の振動を測定し、そのデータから正確な振動パターンを作成した。ここで振動データ収集作業のため、携帯可能でかつ広帯域に対応できる振動測定システムの構築を行った。電源、携帯性などの観点から直接変位を計測するのではなく、加速度から算出する手法を採用した。

○振動パターン作成および模擬振動の発生

振動測定装置を用いて測定した結果を解析し、振動発生装置が同じ振動パターンを発生できるように、振動パターンを作成した。振動パターンはパソコンにより作成し、A/D変換ボードを通しサーボモータの電流制御を行って入力した。実際に発生する振動パターンと測定値を一致させるために運動変換機構の再構築を行った。

○リニア発電システムの測定

リニア発電システムを用いて振動発生装置による模擬振動から発電を行った。ここではサーボモータを用いた振動発生システムを組み合わせて実験装置を構成した。そして振動により得られる電圧を測定した。本システムで発生する発電電圧は不規則であり、力率も変化することが予想されるため、高性能の電圧・電流測定装置を用いた。本装置により電圧・電流を測定し、振動パターンの周波数スペクトルに対する発生電力スペクトルの分布を明らかにした。

○電力変換部整流回路およびインバータ回路の検討

発電機に負荷を接続し、発電特性を検討した。ただし、振動パターンは一定の周波数ではないため、発電電力を変換し、利用可能な形態にある電力にする必要がある。よって各振動パターンに対して最も効率の良いインバータ制御方法について電気回路シミュレータを用いて検討を行った。まず整流回路について考察した。発生電圧が小さいため、ダイオードなどの ON 抵抗の問題が大きいことが分かった。よって、昇圧回路を加えた回路を導入し、損失低減を図った。インバータ回路については一定周波数とすることで、複雑な制御回路を必要としないインバータ回路を導入した。PSpice を用いた結果から低損失

で電力変換を実現することができ、この発電システムに用いることができることが確認できた。

○電力変換部の製作

発生電力を変換するための電力変換部を製作した。基本的には、直流昇圧回路、整流回路とインバータによって構成する。得られる電圧が低いためまず適当な電圧まで直流コンバータにより電圧を上げた。スイッチング制御については本実験装置では素子に高耐圧は不要であるため、スイッチング周波数の高いところでの特性のよい MOSFET を用いた。しかし並列接続した場合の高耐圧化も考慮して IGBT 素子を用いた回路を導入した。制御についてはパソコンを用いた制御も検討したが、電源として一定の周波数を出すことを考慮し、制御回路には市販の集積回路を用いた。

○発電電力の解析

インバータによって得られた電力について解析を行い、理論値と測定値との比較検討を行った。インバータを含めた発電特性および総合効率について検討した。その結果、一定の効率は得られたが電圧が低いために実用とする効率には届かなかった。

○発電装置のスケールパラメータの検討

入力する振動パターンはエネルギーのスケールが異なるため、発生電力による発電装置の各パラメータ検討を行った。よって、システムの適用先による発電システムの最適な設計パラメータの検討を行う。その結果を用いて適用先のスケール依存性を考察した。

○新しい構成についての検討

実際の適用先として超電導磁気浮上鉄道を取りあげた。そして車両振動に対してどの程度のダンピングが必要で、振動発電を発電と同時に振動抑制装置として使用することによる効果について数値解析を行った。その結果、比較的簡単な装置構成で十分なダンピング効果を得る可能性を示すことができた。

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 2 件)

①S. Ohashi, “Effect of the Active Damper Coils of the Superconducting Magnetically Levitated Bogie in Case of Acceleration”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol144, No11, pp4163-4166 (2008), 査読有

②大橋俊介、「2 相リニア磁気浮上搬送システ

ムの浮上・推進に関する検討」、電気学会論文誌 126-D, No. 6, pp812-817 (2006), 査読有

[学会発表] (計 2 件)

①山本剛史、大橋俊介、「超電導磁気浮上台車の加速走行時でのアクティブダンパ使用時の振動抑制効果の基礎検討」、電気学会産業応用部門全国大会、高知市文化プラザ「かるぽーと」2008年8月27日

②S. Suzuki and S. Ohashi, “Propulsion Characteristics Model of the Magnetically Levitated System with Two Phase Linear Motor”, 6th International Symposium on Linear Drives for Industrial Applications (LDIA2007), Lille France 2007年9月18日

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・准教授

研究者番号：60298841