

令和元年6月25日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06146

研究課題名(和文) 屋外環境下における自走機構を有するソーラー磁気浮上搬送装置の開発

研究課題名(英文) Development of solar magnetic suspension carrier with self-propelled mechanism under outdoor environment

研究代表者

石野 裕二 (Ishino, Yuji)

埼玉大学・研究機構・技師

研究者番号：50645968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光発電器によって供給された電力のみを使用して、24時間365日の非接触浮揚を目指した、自走式メカニズムを備えた非接触磁気浮上搬送車を開発を行った。搬送車に電磁石が搭載された磁気浮上搬送システムは、軌道に電磁石があるシステムよりも初期コストが少ない。しかしながら、従来では、搬送車は一時的または、連続的に接触した電力線によって電力供給をする必要がある。このような接触を回避するために、太陽光発電による非接触給電と組み合わせた磁気浮上搬送車を開発を行った。開発した搬送システムは、十分な照度が得られないときに電力供給用に搭載された二次電池を充電しながら、外部電源なしで120時間の浮上を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の磁気浮上系の短所は、初期コスト、運転コストが高いことが上げられる。この研究成果として、磁気浮上搬送装置において、比較的lowコストな搬送車側に電磁石を搭載する方式では、従来では連続的長時間の非接触浮上が難しかったが、この研究により、lowコストかつ連続的な非接触浮上が可能となった。また、低消費なセンサなど周辺機器の開発を行ったことにより、消費電力を2.2kgの質量である浮上体を200mW以下と、できる限り少なくすることができ運転コストの低減が行える事を示した。

研究成果の概要(英文)：A non-contact magnetic suspension carrier system with a self-propelled mechanism on the rail was aimed 24 hours, 365 days non-contact levitation using the power supplied by the solar generator. Magnetic suspension carrier systems with electromagnets installed on a carrier can reduce initial cost than systems with electromagnets on a track rail. However, the carrier contacts power lines temporarily or continuously because it is necessary to supply power in the conventional carrier systems. A magnetic suspension carrier system combined with a non-contact-power-supplied by a solar power generation was developed to avoid such contact. The carrier system is installed with a secondary battery the power supply in the non-generated period. The carrier system can be achieved 120-hour-non-contact levitation while charging the on-board battery.

研究分野：計測制御

キーワード：磁気浮上 搬送車 太陽光発電

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電システムは発電時に機械的な運動が無いため部品が損耗しない、設備投資以外のコストが少ない、燃料を消費しない、廃熱排気ガスを出さないというメリットがある。すでに地球温暖化対策のひとつとして、近年、一般家庭にも発電システムが普及しており、さらに空き地や休耕地、ビル・駐車場屋根などを利用した、中小規模太陽光発電所も各所にみられるようになった。そのため太陽電池セルも年々、高効率化・低コスト化され、容易に手に入れられるようになった。また太陽光発電装置を、野外に設置する表示標識などの設備の電力供給に利用すると、外部から給電するインフラを必要としないというメリットがある。このような場合では、夜間などの低照度時に消費する電力を得るため、昼間に発電した電力を貯蔵するための、二次電池などの蓄電機器が必要となる。この蓄電技術も近年進歩し、高エネルギー密度、長寿命、質量あたりのエネルギーが大きいものが開発されている。

電磁石吸引型磁気浮上系(以下、磁気浮上系という)は非接触であるため、振動、騒音が少なく、摩擦による熱、損耗がないため長寿命、塵埃を発生しないというメリットがある。そのため高速回転が要求される、回転式ジャイロ、人工心臓のポンプ、真空ポンプ、フライホイール蓄電装置などの軸受、鉄道の台車、高速エレベータの案内、搬送車の案内に利用されている。この磁気浮上系の制御方法の一つにゼロパワー制御がある。これは浮上対象を変位センサによって検出し、浮上体変位に基づいて、コイル電流にフィードバックすると共に、定常的には浮上力を磁路中に挿入した永久磁石の吸引力から得て、コイル電流をゼロに収束させる方法である。ゼロパワー制御を施した磁気浮上系は、定常的な入力エネルギーがゼロとなるため、省電力な磁気浮上方法として利用されている。これまでこの制御方法を応用した装置の開発を行ってきた。

平成 22 年度に JSPS 奨励研究の補助を受け、太陽光発電技術とゼロパワー磁気浮上技術を合わせた、ソーラー磁気浮上装置の開発と、その応用として、平成 24 年度から JSPS 基盤研究(C)の補助を受け、屋内環境でのソーラー磁気浮上搬送装置の開発を行った。従来の磁気浮上搬送装置は、地上に設置された軌道に浮上用の電磁石を並べる方法と、移動する搬送車に電磁石を搭載する方法に、大きく分けることができる。前者の方法では、搬送車自体に電力を供給する必要がないため、原理的には永久非接触浮上が可能である。しかしながら電磁石をその軌道の長さの分だけ必要とするため、コスト面で不利である。一方電磁石を搬送車に搭載する方法では、軌道は鉄鋼材料のレールのような、簡単な構造でよいから、設置コストの面では前者よりも有利である。しかしながら搬送車に電力を供給する必要があるため、従来ではトロリーやパンタグラフのような集電装置に一部接触を許す方法や、バッテリーを搬送車内に搭載し、充電ステーションで接触給電する方法がとられている。開発したソーラー磁気浮上搬送装置は、電磁石を搬送車に搭載し、その電力を太陽電池により非接触供給する方法である。そのため十分な照度が常にある屋内であるとする、設置コストを低くすることができ、かつ原理的には永久非接触浮上が可能である。これは屋内環境を考えていたため、3 か所の磁気支持部を天井に配置した吊り下げ型として、側面および下面に太陽電池を搭載した搬送装置の形状としていた。屋内環境では太陽電池が発電できる電力は小さく、また磁気浮上コイルで消費される電力のほかに、コントローラ、電源回路などの周辺機器すべての消費電力を賄う必要がある。そのためこれら周辺機器の省電力化が重要である。製作した搬送装置は浮上のみを行った場合、最少で 180mW、そのうち直接浮上に関与しない、センサやコントローラなどで消費する電力が 30mW と、従来に比べ省電力化に成功した。搭載した太陽電池は蛍光灯により 10klx の照度を与えると最大 330mW 程度の発電能力を持ち、十分に発電電力が消費電力よりも多いため、外部からの電源供給なしに 24 時間連続で磁気浮上を実現した。また搭載している二次電池に余剰電力を充電することが可能である。しかしこれでは、自走できるほどの発電電力に余裕がない事が、当初より予想されていたため、軌道の両端を外部のアクチュエータによって高低差を与え、軌道の傾斜と重力を利用して搬送する方法を提案し製作した。これにより屋内の照度環境で非接触搬送が可能な装置を製作することができた。

2. 研究の目的

これまでの知見をもとに、本研究では屋外の照度環境下において、24 時間 365 日非接触浮上が可能でありリニアモータにより自走可能な搬送装置の開発を目的としていた。設計の指標として、想定する照度環境は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の日射量データベースよりさいたま市の平均日射量を参照した。今回開発する磁気浮上搬送装置は太陽電池を上面および側面に取り付けると、日射量を多く得ることができる。そのため搬送車は跨座式とし 4 つの磁気浮上ユニットで浮上支持する。設計条件の日射量を最低となる月、方角を基準とすると、12 月で進行方向が南北方向に向いている時、日射量が最低となる。このときの上面側面の平均日射はそれぞれ 8.32MJ/m²/day、5.22MJ/m²/day である。上面および側面に同じ面積の太陽電池を用いた場合、平均日射は 6.25MJ/m²/day となる。前回は屋内環境を想定していたため、太陽電池にはアモルファス Si 型を用いた。これは軽量で曲面などへの設置が可能であるため設計の自由度が高いが、単結晶の物に比べ発電効率が 4.8%と低い。本研究でもこれを用いて、同じ面積(0.138m²)とした場合、平均一日当たりの発電が 41.3kJ/day が見込まれた。搬送装置内には太陽電池を含む電源回路、リニアモータと横方向の制御のための機構、磁気浮上機構を搭載する必要がある。電源回路には太陽電池が常に最大効率となるように MPPT 回路を搭載する。また夜間の電力供給のため、昼間に発電された電力を蓄えるため二次電池を搭載

する必要がある．周辺回路用に小電力用直流電源回路，電磁石など大きな電力用の直流電源回路，これらを統括制御するコントローラを搭載する．磁気浮上ユニットは計算能力は低いが，低消費電力であるマイコンによって，4 点の磁気浮上ユニットにゼロパワー制御を適用し 3 自由度の制御を行った．4 点の磁気浮上ユニットを用いて，鉛直(Z)，水平回転(Pitch, Roll)の 3 自由度を安定化させる場合，冗長性がありそのままでは安定化できないという報告がある．これを回避するためにはねじりに自由度を持たせなければならない．そのため磁気支持部分と車体の間にバネによる懸架装置を挿入した．推進装置は，電磁モータの原理を用いる．

3．研究の方法

屋外環境下における自走機構を有するソーラー磁気浮上搬送装置の開発は，当初主に，車体機構部分，磁気浮上機構部分の設計製作，予備実験装置（定置浮上を行うための軌道）の設計製作，浮上制御回路の設計製作，発電装置，電源装置周りの設計製作，推進装置の製作，無線での操作方法の開発，屋外照度環境下における磁気浮上搬送の確認を行う予定であった．Z, Pitch, Roll の三自由度の磁気浮上制御を行う方法には，アクチュエータをそれぞれ独立的に制御する方法，それぞれのモードを演算して，その信号に基づき各運動(モード)に制御を施し，各アクチュエータの幾何学的な関係を考慮して，それぞれの制御信号とするモード制御がある．まず，これら二つの制御方法を選定するため，4 つの電磁石によって 3 つの自由度が可能な簡単な予備装置を設計製作から行った．磁気回路設計は有限要素解析を行い，その結果より搬送車車体の設計 定位置での浮上の確認を目的とした予備実験用の軌道の設計製作を主に行った．このとき推進用のリニアモータも設計製作した 浮上制御装置の回路およびプログラミングは，前回の知見を活かし，改良設計製作した．発電装置，電源装置は，照度環境，搭載している二次電池の充放電状況によらず，常に高効率な発電を行えるようにする，MPPT (Maximum Peak Power Tracker)を利用した．推進装置は，電磁石の横ずれ力を利用した，三相式のリニアモータとした．これはラック状の軌道に対しての位置を変位センサにより検出して，3 つの電磁石の励磁を切り替えることで駆動する．

4．研究成果

まず制御方法確認のための 3 自由度制御型磁気浮上機構の製作を行い，その結果は以下の論文としてまとめて発表を行った．次に図 1 に示す，製作したソーラー磁気浮上搬送装置を設計製作した．写真の装置の軌道は定常浮上確認のための予備実験装置である．搬送車車体は，天板，軌道に対して両側面に太陽電池が取り付けられている．浮上用の電磁石は車体下部に，ねじり剛性のみを与える懸架装置を介して 4 つ取り付けられている．制御装置などは車体内に内蔵されている．車体中央底面には，軌道上駆動のためのリニアモータが取り付けられている．太陽電池はアモルファス型の物を用い，面積は 0.138m^2 である．浮上制御装置はこれまでの物よりも更に低消費電力化を行った．その結果，変位センサとコントローラ，無負荷時の電力増幅器による，浮上に直接関係しない消費電力が，従来の物よりも約 60%減の， 2.2mW と低消費電力化には成功した．発電，充電の電力管理をするためのコントローラ及び，リニアモータ駆動回路（非駆動時）による消費電力を合わせて $19\sim 22\text{mW}$ と，省電力化が成功した．しかしながら，浮上中に電磁石で消費する電力が大きくなってしまったため，太陽光発電電力のみでの浮上は確認できていない．搬送車を軌道上で駆動するためのリニアモータは，まず FEM による磁気解析を行い，また，搬送車実験装置の軌道上において駆動の確認を行った．これらの結果は，次のような学会発表及び論文として執筆した．

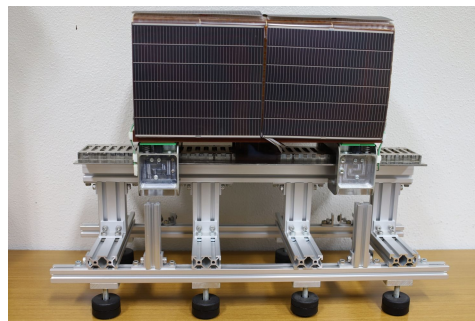


図 1 ソーラー磁気浮上搬送装置写真

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Yuji Ishino, Takeshi Mizuno, Masaya Takasaki, Masayuki Hara, Daisuke Yamaguchi, Development of 3-DOF active controlled magnetic suspension system with common magnetic pole, (1st report : Fabrication of experimental apparatus), Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.26, No.1, pp.178-184 (2018)

石野裕二，水野毅，高崎正也，原正之，山口大介：共通磁極を有する 3 自由度磁気浮上機構の開発（第一報：実験装置の試作），日本 AEM 学会誌，Vol. 26，No.1，p.178-184（2018）

〔学会発表〕(計 2 件)

石野 裕二,水野 毅,高崎 正也,原 正之,山口 大介:自走機能を有したソーラー磁気浮上搬送車の設計,マグネティックス/モータドライブ/リニアドライブ合同研究会, MAG-17-178,MD-17-120,LD-17-099,(2017.12.07).

石野 裕二,水野 毅,高崎 正也,原 正之,山口 大介:共通磁極を有する3自由度磁気浮上機構の開発-第1報:実験装置の試作,第29回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD29)予稿集,pp.123-128(2017.05.19)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

○取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://control.mech.saitama-u.ac.jp/home-j.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名:水野毅,高崎正也,原正之,山口大介

ローマ字氏名:MIZUNO Takeshi, TAKASAKI Masaya, HARA Masayuki, YAMAGUCHI Daisuke

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。