

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 11 月 2 日現在

機関番号：54101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24760240

研究課題名(和文) アンビエント情報社会のための振動エネルギーを収穫して駆動・発電する電子デバイス

研究課題名(英文) Electric device which is workable without battery and generable electric energy to harvest vibration energy for ambient information society

研究代表者

西村 一寛 (Nishimura, Kazuhiro)

鈴鹿工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：60343216

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、低周波の振動に対して動作しセンサとして外部電源を必要としない利点をもつ振動電流遮断機の製作とその特性調査を目的とする。特性調査では、周波数特性と温度特性について調査を行った。周波数特性からは、スイッチの周波数に対する動作の特性を得た。温度特性からは、スイッチの時間に対する温度上昇の関係を得た。

さらに、エネルギーハーベスティング技術の応用についての研究に取り組んだ。非平衡車輪、発電ヨーヨー、商用電源の磁場を使用する発電機、手回し発電機を作製し、これら発電機のための蓄電システムを製作した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is fabrication of vibrational circuit breaker and investigation of its characteristics. It has two advantages; it operates to vibration of low frequency and does not need external power source as a sensor. In the investigation of specifics, frequency response and temperature characteristics were examined. The relations between frequency and behavior were obtained from frequency response, and the relations between time and rise in temperature from temperature characteristics.

Moreover, we have been studied an "energy harvesting technology" and their applications. We have developed various generators (unbalanced wheel operate, yo-yo, magnetic field of the commercial power supply, hand generator) and their charge system.

研究分野：磁気工学，磁気応用

キーワード：エネルギーハーベスティング技術 環境発電 振動のリミットスイッチ

1. 研究開始当初の背景

熱、振動、光、電波など、身の回りに希薄に存在するエネルギーを「収穫」(ハーベスト)して電力に変換する技術は、エネルギーハーベスティング技術や環境発電技術と呼ばれており、欧米では日本よりも約10年以上前から注目を集め、発電エアロバイクを使ったジムなど様々な取り組みがなされている。この技術は、電源配線や電池の取替え、充電、燃料補給などを不要とし、長期間にわたって自立的に発電するエネルギー源となりうる技術であり、アンビエント情報社会の実現に必須ともいえる技術である。

本研究では、振動エネルギーに着目し、このエネルギーを収穫して駆動する無給電かつ識別機能をもつ振動検査システムや、日常生活で捨てている健康維持のための運動、ダイエット、スポーツ、遊戯などの振動エネルギーを収穫して回転運動へ変換した小電力発電機などのエネルギーハーベスターの開発を行う。振動を回転に変換することで、慣性力によるエネルギーの変換効率の向上などが期待できる。他にも発電ヨーヨーなどの遊具を利用したエネルギーハーベスターなども提案、試作して、特性評価を行う。

これらの電力はわずかではあるが、低消費電力(μW 程度)で駆動するLED照明、液晶表示、ラジオ、音楽プレイヤー、スマートフォン、火種、電撃殺虫器、エネルギーなどの小型充電器への利用やキャンプ、山登りなどの野外活動、さらには、災害や遭難などの非常時、ユビキタスネットワーク社会など応用を考えていくことが重要である。

前者の振動を用いたシステムでは、永久磁石間の反発磁界を利用して、無給電で加速度を検知するスイッチならびにセンサの開発とそれらの知能化システムへの応用を行う。このスイッチは、図1のように同極を向かい合わせた永久磁石とその間のどちらかの磁石に鋼などの磁性体を吸着させたもので構成する。これらは、身の回りに多く存在する地震、風や交通による構造物のゆれ、手を振ることや居眠りで首が揺れる人間の動作などの振動によって動作し、そのときの磁性体が反発磁石間の間隔によって磁化状態が変化するため、反発から吸着への構造変化を引き起こす現象を利用する。身の回りに存在する振動を受けて、この構造変化を引き起こし、吸着させたときに導通させることによってスイッチとなる。センサでは、工作機械における軸ズレの微振動を検知して無給電で光や音で知らせるシステムを提案してきた(図2)。大きな誘導起電力の出力を得るために磁石を反発させて磁束密度を集中したり、磁性体などで磁束密度を拡散したり、コイルを複数個用いたり、それらを組み合わせたりすることが重要となる。パソコンなどの識別装置や配線が不要なため携帯することが容易となり、駆動のための電池を必要としないため環境に優しい。

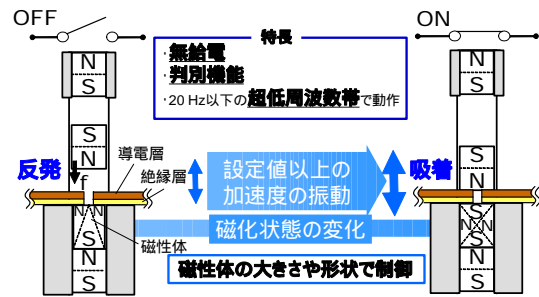


図1 振動のリミットスイッチ (ON)

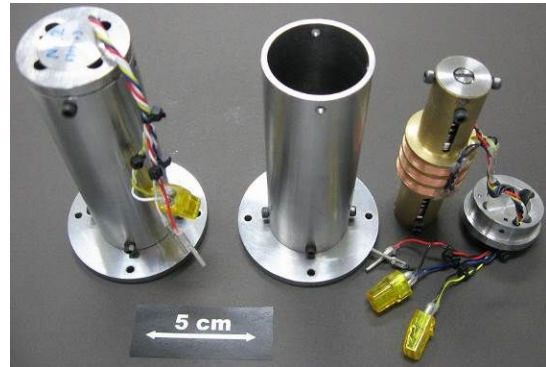


図2 工作機械の軸ズレ検知センサ
製作 株式会社西田機械工作所

そして、後者の発電では、日常生活において、これまでは無意識の内に捨てられていた振動のエネルギーを電力として活用した、小電力発電機を開発する。この発電機の開発においても、前述したシステムにおける磁石とコイルを効果的に用いる方法で発電効率などの向上を検討する。既に振動式懐中電灯が非常時に市販されているが、この方法では発電量が少なく数 mW 程度である。そのため、磁石部の回転を利用した手回し式、握り式、紐引き式発電機が開発されており、数 W 程度まで発電することができている。回転式とすることで、慣性力を用いることができ、そのため速度を速めることができ、大きな誘導起電力を得ることができる。本研究では、振動の運動を効率よく回転運動に変換する装置を開発し、それをウェアラブル機器(スマートフォン、モバイルPC、音楽プレイヤー、ゲーム機)用の小電力発電機に应用することや、授業などの学務を通じて廃棄自転車や廃棄自動車のモータを用いた発電エアロバイク(運動とダイエット)、ブランコやシーソーなどの遊具に組み込むことで園児や小学生児童の遊びに使うエネルギーを活用する発電遊具などの開発も行う。

2. 研究の目的

前述した応用を行うために、本研究では、

- (1) 振動のリミットスイッチ
- (2) 環境・運動志向の発電システム

について、調査した結果を以下に示す。

3. 研究の方法

3.1 振動のリミットスイッチ

ここでは、設置値以上の振動を加えるとOFFする振動のブレーカ(回路遮断機)を製作し、製作したスイッチに対し特性調査を行う。これまではスイッチとして使用するときの電流は、数mA程度の微弱な直流を考えていたが、発熱などの影響が無視できなくなる数A程度の商用周波数の交流について、その温度特性の調査を行った。

図3のように、反発しあう磁石間に2つの磁性体を介することで、それらにかかっていた力が吸着から反発に変わる特性を応用したものである。これは磁石と2つの磁性体が吸着したものにもう一方の磁石が近づくにつれて磁性体の磁化状態が変化し、ある距離で吸着から反発に変化するものである。製作においては、通電による温度上昇で磁石がキュリー温度以上にならないようにするなど工夫した。

実験は、製作した振動電流遮断器の動作周波数特性ならびに、2~8Aの商用周波数の交流電流を流したときの温度特性を測定した。温度特性測定では、スライダックを使用して、スイッチと負荷としたホーロー抵抗に一定の電流を流し、デジタル電力計で電流などを測定した。温度測定は、スイッチの電流が流れる金属部分に、Pt測温抵抗体を取り付け行った。

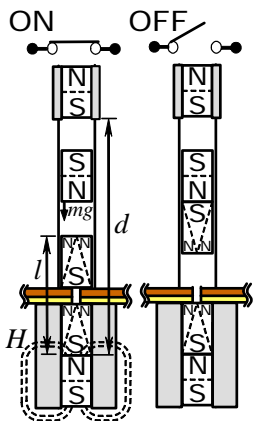


図3 振動スイッチ(OFF) 3.2 環境・運動志向の発電

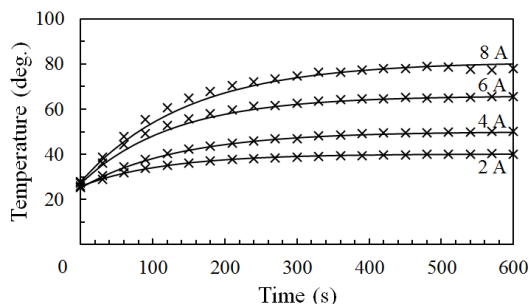


図4 電流通電時における温度特性システム

(1) 非平衡車輪を用いた手回し発電機の開発

発電効率の向上や身近にある手回し発電機を用いることで、腕が可動する非平衡車輪を製作し、回転軸からの距離や力を左右非対称にする事で回転量を増加させ発電効率の向上を目指した。

非平衡車輪を用いた発電機と、同じ腕の配置で腕が可動しない発電機を用意し、この2つの特性を測定し発電量を比較する。

図5のように腕を車輪側面に対角となる位置に配置していく。車輪と腕の接続部を可動式にし、腕を持ち上げるときに腕が折れ、降ろすときに腕が開くように車輪を作り、車輪の左右でトルクに差が出来るようにする。これにより、回転が補助され通常的車輪より効率の良い車輪となる。

図6は、入力電圧によりモータの回転速度を変化させ、その時の出力を示したものである。非平衡車輪では、低速(入力電圧が小さい)であるほど効率が高くなり、高速であるほど通常のものに近づく結果となった。

(2) 遊戯を利用した小型発電機の開発

エネルギーハーベスティング技術では、 $\mu W \sim mW$ 程度のわずかな出力しか得ることが出来ないが、運動、遊戯などに付帯した小型発電機の開発に取り組むことを背景とする。今回は、娯楽を付加価値とした発電ヨーヨーの製作を目指した。出力が数Vとなるように、小型直流モータに着目し、発電機として使用できるか検討した。さらに、それを利用した発電ヨーヨーの実用化を検討した。

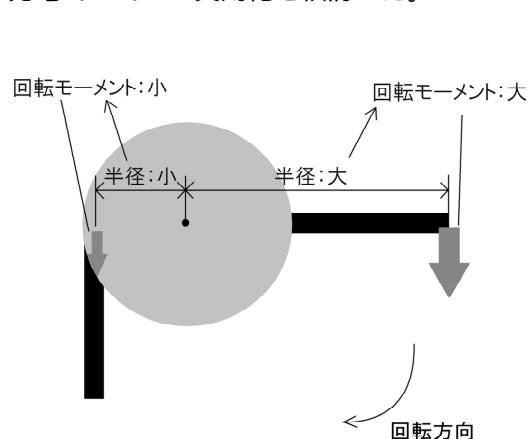


図5 非平衡車輪にかかる遠心力

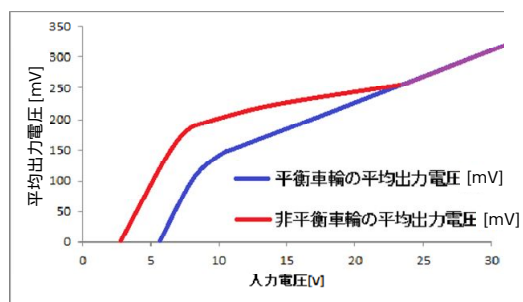
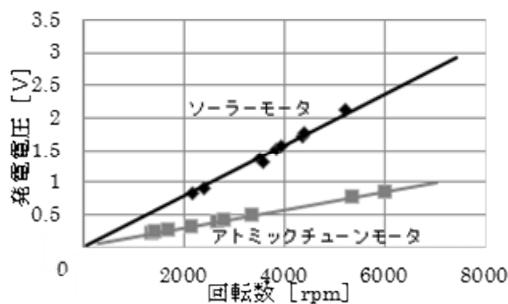
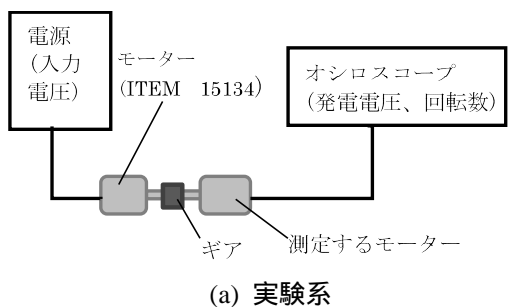


図6 入力に対する出力特性

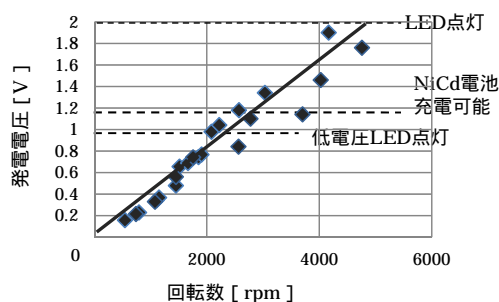
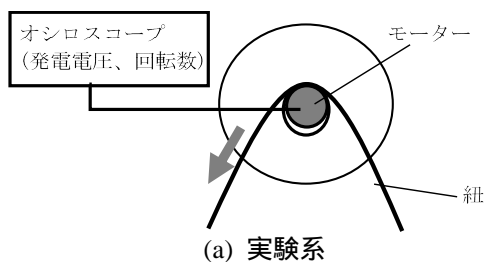
図8では、発電機として使用する小型直流モータを比較した。ソーラーモータは、太陽

電池などの実験に用いる直流モータで、アトミックチューンモータは、ミニ四駆などに用いられているモータである。負荷をかけないようにして、オシロスコープによって測定した。それぞれのモータで、発電電圧と回転数が比例することが分かった。ソーラーモータは、高い出力が出ることが分かった。実用化するためには、1~2V の出力が必要であり、ソーラーモータでは回転数が 2300~5000rpm あればよい。

図9には、製作した小型発電機を使用し、糸引きで実際にどれだけの発電量を得られるか測定した結果を示す。測定結果より、LED点灯や NiCd 電池充電に可能な発電量があることが分かった。



(b) 回転数に対する発電電圧
図8 発電特性 (直流モータが動力源)



(b) 回転数に対する発電電圧
図9 発電特性 (糸引き)

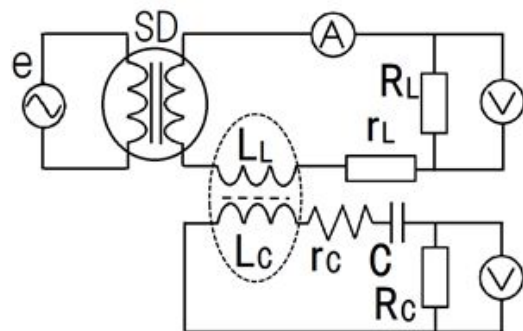


図10 実験回路(上:電源回路 下:収穫回路)

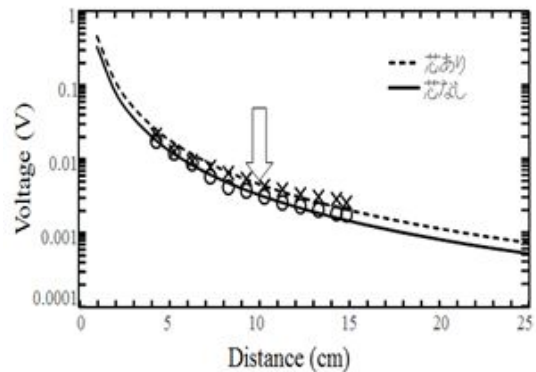


図11 距離と出力電圧の関係

(3) 商用周波数を利用した環境発電機の開発
商用電源から配電線に電流が流れることによって生じる磁界のエネルギーを収穫すること、商用周波数からエネルギーを最大で収穫する回路を作製し実験回路に利用した(図10)。

図11のように商用電源から負荷に接続した電源回路と、作製したフィルタと電圧計を接続した収穫回路を用意し、電源回路の導線と収穫回路のコイルを近づけ距離と電圧の関係を計測した。

電源回路から出る磁界から微小な電圧を収穫することが出来ることがわかり、得られる電圧はおよそ距離の二乗に比例して小さくなることが分かった。

また、コイルに鉄芯を入れた場合と入れなかった場合では、入れた場合の方が入れなかった場合よりも 1.3~1.5 倍程度電圧が大きくなることが分かった。図11の矢印(10 cmの測定位置)において、巻き数約280のピックアップコイルを用いると、出力0.9V, 1.19V(鉄心有)が得られた。巻き数1の3.27 mV と比べ約276倍の出力を得られた。

(4) 環境・健康志向人力発電機の開発

単に鍛えるだけでなく、筋トレ(運動)と発電を結びつける「足こぎ式発電機」の開発を目指したものである。第一段階として「手回し発電機」を作製し、バッテリーに蓄電可能な出力電圧・発電量を得ることを目的とする。また、その結果をもとに足こぎ式発電機を検

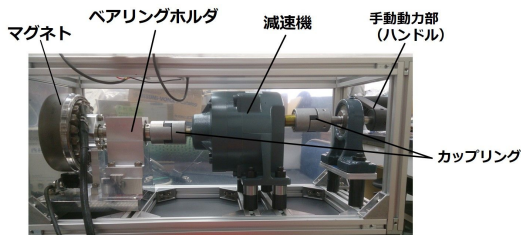


図 12 製作した手回し発電機

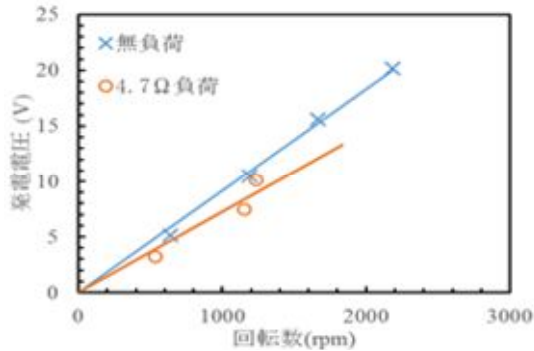


図 13 手回し発電機の発電特性

討する。

低回転でも発電可能なデンソー製 2 輪用発電機を使用し、筋トレになる「重すぎず、軽すぎないハンドル」にするため倍率 20 の減速機を採用し、図 12 のような手回し発電機を製作した。

図 13 には、回転速度を 3 段階設け、デジタルオシロスコープでの測定波形から回転数 N (rpm) を導き、発電特性を求めたものを示す(発電機の極数 $P=6$)。この図から発電電圧と回転数が比例することが分かった。抵抗負荷接続時は無負荷時よりやや低い特性となった。測定結果より高い回転数では、10V の電圧出力・22.6W の発電量が得られた。

実際にバッテリーへの蓄電が可能な発電量があることがわかった。

筋トレ(運動)・発電量ともに、足こぎ式発電機への応用が検討できる研究となった。

(5) エネルギーハーベストした電力の蓄電制御回路の製作と特性

これらの小電力発電は比較的小さい発電設備で運用可能であるというメリットがある一方で、出力が変動しやすい、得られる電力が小さいといったデメリットもある。この電力を有効活用するため、バッテリーに蓄えて利用することが重要になる。

このような蓄電システムに、電流・電圧計や AC アダプターを組み込んだものを製作し、今回は、このシステムでの、放電、充電特性を調査した。

入力から充電回路(高精度電圧レギュレータ IC NJM723 を用いたスイッチング方式の定電圧源)を通してバッテリーに蓄電、またはバッテリーと負荷との接続をスイッチで切り替えられる。65W 級スイッチング AC アダプターを搭載したことにより AC100V の入力に対応している。蓄電池にはメンテナンスの

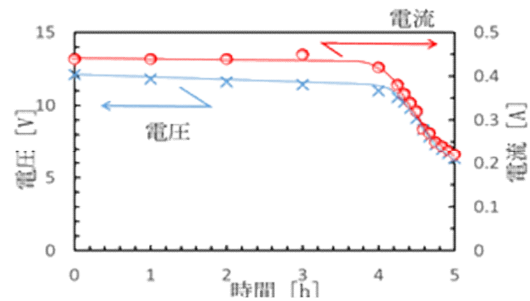


図 14 放電特性

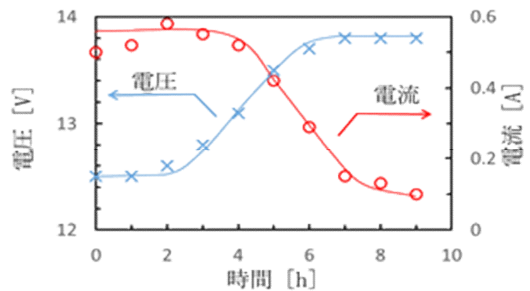


図 15 充電特性

必要のないシールド型バイク用バッテリー (12V3Ah) を用いた。

バッテリーの放電時の特性を製作した蓄電システムに組み込んだ電流・電圧計で測定する。ただし、放電時の負荷は 20W 10 のセメント抵抗を 3 つ直列に接続し 30 の抵抗とした。また、スイッチを切り替え充電時の特性を測定する。充電時の電源には AC100V を用いた。

放電時の時間経過におけるバッテリーの電流・電圧の変化を図 14 に示す。計測開始 0 分から 240 分までは 60 分おきに記録していたが、その後急激に値が変化し始めたので 240 分から 255 分までは 15 分おき、それ以降は 5 分おきに結果を記録した。数時間の間は電流も電圧もほぼ一定の値を保っていたが、240 分を境に急に双方の値が下がるのを確認できた。これは完全放電した状態になっていると思われ、バッテリーを痛める要因になる。

また、充電時の時間経過におけるバッテリーの電流・電圧の変化を図 2 に示す。バッテリーに印加される電圧は充電回路によって制御され、充電が進むにつれて高くなる。抵抗値を変えない限り流れる電流はそれに比例して少なくなる。

今回は AC100V 電源を用いて測定を行ったが、それ以外の手段でも充電ができるように改良を行う。

発電機などから供給された電力をバッテリーに蓄電して充電時と放電時の電流・電圧の時間ごとの変化を記録し、特性がどのように変化するかを研究する。

4. 研究成果

- (1) 振動のリミットスイッチについて、数 A 程度の電流を通電した際の温度変化を調査した。8 A のときに約 80 まで上昇することがわかった。主幹ブレーカーとして使用する場合は、冷却装置やパワーリレーなどを用いることが必要となる。
- (2) 非平衡車輪を用いた手回し発電機を開発した。低速回転のときに平衡車輪よりも小さなトルクで回転することがわかった。
- (3) 遊戯(ヨーヨー)を用いた小型発電機の開発を行った。小型直流モータを回転軸として用いることで数 V の出力が得られることがわかった。したがって、LED 点灯や NiCd 電池充電に可能な発電量があることが分かった。
- (4) 商用周波数を利用した環境発電機を開発を行った。電源回路から出る磁界を利用して収穫回路で電圧を収穫できることがわかったが、電源回路に流れる電流から考えると収穫できる電圧がとても小さいため実用的ではないことがわかった。また、損失は大きくなるがピックアップコイルを用いることで収穫できる電圧を大きく出来ることがわかった。
- (5) 環境・健康志向人力発電機を開発した。10V の電圧出力・22.6W の発電量が得られた。実際にバッテリーへの蓄電が可能な発電量があることがわかった。
- (6) エネルギーハーベストした電力の蓄電制御回路の製作を行った。放電時と充電時の特性を見ることができた。充電時には充電回路によって過充電が防がれるが、放電時は変化が大きく、過放電にならないよう注意が必要である。このバッテリーが使用可能な機器は充電式懐中電灯やラジカセ、電気スタンドなどの小型照明器具、ノートパソコン、ポータブルプレイヤーなどが挙げられるが、いずれも DC/AC インバーターを用いて AC に変換する必要がある。

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 3 件)

- (1) 西村一寛, 篠原雅史, 導入教育としての磁石教材 - 球磁石からなる 3 次元磁石パズル -, 鈴鹿高専紀要 46, 51-55, 2013 年 査読有
- (2) 杉野弘幸, 西村一寛, 松下伸広, 井上光輝, フェライト微粒子凝集体の室温合成とミリングによる色変化, 電気学会研究会資料マグネティックス研究会, MAG-12-78, 33-36, 2012 査読無
- (3) 西村一寛, 松下伸広, フェライトナノ粒子凝集体の合成とその特性, 東京工業大学 応用セラミックス研究所 共同利用研究報告書, No.16, 167, 2012 査

読無

[学会発表](計 7 件)

- (1) 西村一寛, 振動電流遮断器の製作とその温度応答, 第 39 回日本磁気学会学術講演会, 11aC-9, p.323, 名古屋大学, 2015 年 9 月 11 日
- (2) K.Nishimura, Development of lifting magnet having stable separation technique of stacked magnetic thin plates, International Magnetics Conference Intermag 2014, Dresden, Germany, 5/5/14, AP-07, Poster K. Nishimura
- (3) 杉野弘幸, 西村一寛, フェライト微粒子凝集体の室温合成とミリングによる色変化, 第 154 回教育工学研究会, 1 page, 大同大学, 2013 年 9 月 7 日
- (4) 西村一寛, 積層された磁性板の磁場制御アノスト分離技術の開発, 第 37 回日本磁気学会学術講演会, 3pD-5, p.74, 北海道大学, 2013 年 9 月 3-6 日
- (5) 浅井宏昭, 西村一寛, 小型風力発電機の特長調査と環境発電の応用, 第 153 回教育工学研究会, 1 page, 大同大学, 2013 年 3 月 23 日
- (6) K. Nishimura, H. Sugino, N. Matsushita, M. Inoue, Quantification of coloration with milling for ferrite fine-particle aggregate, International Conference of the Asian Union of Magnetics Societies ICAUMS2012, Nara, 2/10/12, 2pPS-62, p.99, Poster H. Sugino
- (7) 杉野弘幸, 西村一寛, 松下伸広, 井上光輝, フェライト微粒子凝集体の室温合成とミリングによる色変化, 電気学会研究会資料マグネティックス研究会, MAG-12-78, pp-33-36, サン・リフレ函館, 2012 年 8 月 7,8 日

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村一寛 (Nishimura Kazuhiro)

鈴鹿工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授

研究者番号: 60343216