

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24年 5 月 1 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20500775

研究課題名（和文）燃料電池駆動「ペットボトルモータ」エンジンカーの開発と新環境教育への展開研究

研究課題名（英文）Research on “Pet bottle motor” car driven by fuel cell and its application for the new environmental education

研究代表者

畑 俊明（TOSHIAKI HATA）

静岡大学・教育学部・名誉教授

研究者番号：40005351

研究成果の概要（和文）：

近年、自動車の多くはガソリンエンジンを使用しているが、環境負荷の小さなモータを用いた電気自動車への転換が進んでいる。そのため、学校では、電流と磁界の関係を扱った電磁気学の学習が重要である。特にモータの理解が必要であるが、しかしながら、教育現場においてはモータの学習はほとんどされていないし、その重要性も認識されていない。そこで本研究では、児童生徒が磁石を手作りで作り、この「手作り磁石」を使った「ペットボトルモータ」を作り、このモータを駆動力とする「ペットボトルモータ」カーを作成し、環境に優しいエネルギーで駆動すれば、環境に優しいエネルギーの重要性が理解でき新たな環境教育を構築することができる。

研究成果の概要（英文）：

The majority of cars use gas-burning engines, but concerns about air pollutions have rapidly brought electric motors into the market which rely on energy stored in batteries, and are pollution-free. In school, students should study the characteristics of electromagnetism: a magnetic field generated by an electric current. However, most of motor learning has not been in the education field and students do not recognize the importance of the motor. Therefore study of the electromagnet is greatly enhanced by actually building an electric motor and learning the interaction between electricity and magnetism. In the study, students make the magnets by themselves, complete the PET bottle motor with the magnets, and run the car with the PET bottle motor engine by the clean energy. Students will understand the importance of eco-friendly energy through this learning.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20年度	1,400,000	420,000	1,820,000
21年度	900,000	270,000	1,170,000
22年度	600,000	180,000	780,000

23年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：産業・技術教育，環境教育，ペットボトルモータ，手づくり磁石，クリーンエネルギー，燃料電池

1. 研究開始当初の背景

現在、環境問題は人類が解決しなければならない重要なテーマとなっている。そのため、公営バスのアイドリング時のエンジン停止、さらに、トヨタのプリウスの様なハイブリッドカーの開発などの研究が炭酸ガスの排出規制対策として重要な意味を持っている。しかし、内燃機関で化石燃料を燃焼させている限りにおいては、どのようなエンジンを開発しても、炭酸ガス排出をゼロにすることは出来ない。つまり、内燃機関は地球温暖化を阻止するためには、最終的には廃止しなければならない技術である。

では、環境にやさしいエンジンとはどのようなエンジンなのであろうか？それは、日産や三菱が開発している電池自動車にほかならない。特に、燃料電池で自動車を動かすモータエンジンこそ、22世紀に向かって開発しなければならない技術であり、将来を担う小中学生に学習させなければならない科学技術である。

この教材化のため次の3課題を解決する必要がある。

- ① 身近な手作りモータ教材の開発
- ② 車搭載可能な燃料電池等のクリーンエネルギーカーの開発
- ③ 科学技術的側面からの環境教育の展開

2. 研究の目的

まず、任意形状で児童生徒が好むように磁化することの出来る画期的な「手づくり磁石」を開発する。この磁石の開発は、小・中学生の磁石についての常識を一変させ、磁石は買うものから作るものへと進化させる。さらに、進歩的な児童生徒は、「手づくり磁石」を使ったクリップモータ作りに挑戦した。しかし、実際のモータ教材では、児童生徒が自由に設計することが可能な教材は存在しない。

そこで、本研究では、モータの回転原理が見え、かつ、環境にやさしいペットボトルに組み込む形で、界磁磁石と回転する電機子磁石を「手づくり磁石」で作成し、これをペットボトルに組み込む「ペットボトルモータ」

を開発する。この全て手づくりの「ペットボトルモータ」エンジンカーを電池で駆動させれば、電気自動車の仕組みを完全に学習できる。さらに、電池をクリーンエネルギーである燃料電池などを使えば、環境に優しいエネルギーを使ったモータエンジンカー教材を開発する事が出来る。

これを、小学校、中学校、工業高校で実践し、地球環境の保護とクリーンエネルギー駆動モータエンジンカーの重要性がリンクしていることを児童生徒に認識させれば、将来、人類に寄与する環境にやさしい科学技術を開発する能力を持つ子供達を育成することが出来る。

このような理科教育・技術教育と環境教育を融合させる様な、環境に優しいエネルギー駆動「ペットボトルモータ」エンジンカー教材を教育現場での実践をふまえて開発するのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

研究手法は、下記の三課題に整理して基礎研究、製品の開発、教育現場での実践の順序で行った。

(1) 「手づくり磁石」とモータ教材の開発と理科教育・技術教育での実践

このテーマでの研究手法は、「手づくりハードフェライト磁石」を開発し、この永久磁石が、モータを回転させる界磁磁石の性能を持っていることを実証し、「手づくり磁石」を使ったクリップモータとして実践する。

(2) 磁石も手づくり「ペットボトルモータ」の開発と理科教育・技術教育での実践

このテーマでの研究手法は、「手づくりソフトフェライト磁石」の開発と、この磁石で作成したコアがモータの電機子として機能することの検証と、ペットボトルに組み込んでモータ化することである。

(3) 環境にやさしいクリーンエネルギー駆動「ペットボトルモータカー」の開発

このテーマでの研究手法は、「手づくりペットボトルモータカー」を開発し、それを燃料電池などの環境に優しいクリーンエネルギーで駆動させ、クリーンエネルギーの環境

負荷が小さいことを理解させる。

4. 研究成果

(1) 「手づくり磁石」とモータ教材の開発と理科教育・技術教育での実践

「手づくり磁石」は、まだ、未知の部分が多く、その作成時に焼結割れにより破壊するケースがある。この磁石をより安全に製作するためには、焼結時の熱応力の発生機構が問題になる。そこで、この破壊現象に大きく影響を及ぼす熱応力について詳細に研究を行い研究結果を公表した。

次に図1の「手づくりハードフェライト磁石」を作成し、この磁石でモータが回転することを証明した。図1の磁石を表面がS極裏面がN極に磁化し、これを用いてもフレミングの左手で回転する新型クリップモータ教材を開発した。クリップモータも、星形などの回転残像が残るクリップモータ、かご形で回転する3D型クリップモータを開発し、研究結果を公表した。



図1 手づくりハードフェライト磁石

この「手づくりハードフェライト磁石」をモータを回転させる際の界磁磁石とすることが可能であることが明らかとなったので、次に、「手づくりソフトフェライト磁石」の製作に着手した。

(2) 磁石も手づくり「ペットボトルモータ」の開発と理科教育・技術教育での実践

市販のモータの教材はほとんど規格化され単に軟鉄製のコアにエナメル線を巻いて電機子として回転させるので、その寸法は固定化され、ペットボトルモータや、空き缶モータなどを製作することは不可能とされてきた。そのため、モータはほとんどブラックボックス化されてしまった。その結果、モータの回転原理に関しては、ほとんどの人は、モータはフレミングの左手の法則で回転していると考えている。しかし、実際の直流モータは電機子磁石と界磁磁石の吸引反発力で回転している。このような物理理論と実際の製品との違いは、モータ教材の欠陥といわざるを得ない。

そこで、図2の「手づくりペットボトルモータ」の開発を行った。

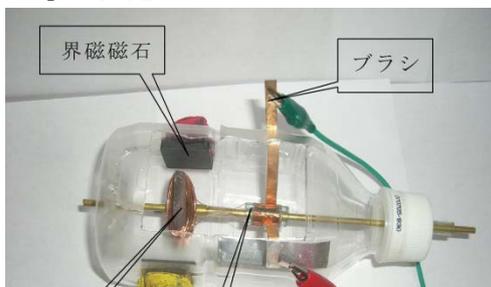


図2 「手づくりペットボトルモータ」

図2の最大の特徴は、電機子磁石をペットボトルのサイズに合わせて製作した点にある。このコアには、ソフトフェライト磁性粉体に少量の粘土を混合し、それを電気炉で焼結して製作する。そのコアにエナメル線を巻くと電機子磁石ができあがる。この性能についても詳細に研究した。

ここでは、珪素鋼板を用いた従来のロータラミネータに比較して、軟質酸化磁性材料に少量の粘土で粘結し焼結して作る「手作り磁石」は比透磁率は1/50程度である。一般に、この様な比透磁率の低い材料で、モータを作成しても回転させることは困難であると思われる。しかし、以下の解析で、この考えが間違いであることが証明される。

無限長の円形断面を持つ磁性体コアに、単位長さあたり n 回のまき数を施し、このコア内の磁界の大きさを H_0 とすると、 $H_0 = nI$ [AT/m] となる。今、この平等磁界中に、磁界と平行におかれた長さ l 、断面積 S 、比透磁率 μ_s の磁性体中の平均の磁化の強さおよびこの磁性体中の磁界の大きさを求める。

今、自己減磁力を H' 、磁化の強さを J [Wb/m²] とすれば、 $H' = NJ / \mu_0$ 、 $J = \chi H$ である。ここで、 N 、 χ はそれぞれ、減磁率、磁化率である。従って、磁性体中の磁界 H は、次のようになる。

$$H = H_0 - H' = nI - \frac{NJ}{\mu_0} = nI - \frac{N\chi H}{\mu_0}$$

$$\therefore H = \frac{nI}{1 + \frac{N\chi}{\mu_0}} \quad (1)$$

$$1 + \frac{\chi}{\mu_0} = \mu_s \quad \text{より} \quad \chi = \mu_0(\mu_s - 1)$$

$$\therefore H = \frac{nI}{1 + N(\mu_s - 1)} \quad (2)$$

従って、磁束密度は、

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_s H = \frac{\mu_0 \mu_s n I}{1 + N(\mu_s - 1)} \quad (3)$$

ここで、 $\mu_0 n I = 30[\text{G}]$ ，減磁率 $N = 0.1$ と
して計算すると次のグラフが得られる。

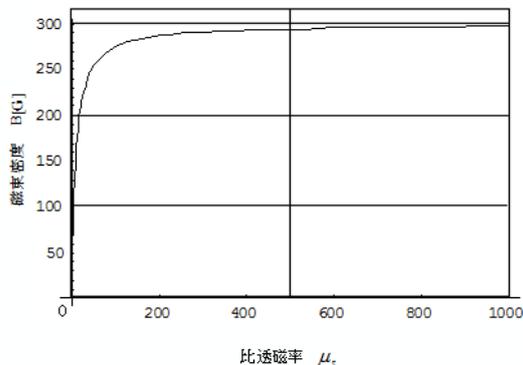


図3 比透磁率と磁束密度の関係

このグラフより

比透磁率 $\mu_s = 1$ の時 30 [G]

比透磁率 $\mu_s = 20$ の時 207 [G]

比透磁率 $\mu_s = 1000$ の時 297 [G]

この結果より，珪素鋼板は比透磁率 $\mu_s = 1000$ 程度で「手作り磁石」の比透磁率は $\mu_s = 20$ であるが磁束密度は30%程度しか小さくならない事が明らかとなった。言い換えると，30%巻き数を多くした「手作り磁石」製電機子は，珪素鋼板製ロータラミネータを使った電機子と同一の性能が得られることを意味している。

その結果，本研究では，このフェライト系磁性粉体に，少量の粘土を添加したソフトフェライト磁石粘土を作成する。これを図4の電機子の型紙に載せて，電機子磁石を作る。これを，電気炉で，1000度以上の温度で焼結し，それに銅線を巻くと電機子磁石が完成する。



図4 電機子磁石型紙

これにより児童生徒が飲料水を飲み干し

たペットボトルをモータ化することができ，強力に回転する吸引反発型モータを作ることが出来る。このモータは，サイズを自由に変えることが出来るので，任意のペットボトルに組み込むことが出来る，いろんな大きさの「ペットボトルモータ」を作ることが出来るようになる。さらに，「手作り磁石」を応用したコイル変更機能を有する「ペットボトルモータ」教材を開発し，この研究結果も公表した。

(3) 環境にやさしいクリーンエネルギー駆動「ペットボトルモータカー」の開発

図5は全て手作り「ペットボトルモータカー」である。これを燃料電池や，手回し発電機のような環境にやさしいエネルギーで駆動することに成功した。このモータカーの特徴は，透明なペットボトルなので回転原理がすぐ理解でき，回転トルクと駆動エネルギーの関係が明確となる。

これを学校現場で実践すれば，環境に優しいエネルギー利用の観点で理科教育・技術教育の融合と科学技術的な環境教育への発展が図られる。このような研究は世界でもほとんど例がなく，日本の科学教育の先進性が国際的に注目され，22世紀に向けた新環境教育と言えよう。



図5 「ペットボトルモータカー」

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8件)

- ① T.HATA, N.Sumii, Thermal Stress Focusing Effect in a Transversely Isotropic Cylinder with Phase Transformation, J.Thermal Stresses, 審査：有, Vol.35, 2012, pp.269-280 DOI: 10.1080/01495739.2012.637830
- ② 江口，櫻井，畑：クリップモータのコイル形状に関する回転特性の解析，静岡大学教育学部研究報告(教科教育学編)，審査：有，43巻，2012, pp.135-149

- ③ 江口, 櫻井, 畑: 回転残像を生じるクリップモータを用いた実践授業, 日本産業技術教育学会誌, 審査: 有, 53巻, 2011, pp. 161-168
- ④ T.HATA, Thermal Stress-Focusing Effect Following Dynamically Transforming Strains in a Cylindrical Zirconia Inclusion, Proceeding of the 8th International Congress on Thermal stresses, TS2009, 審査: 有, Vol. 1, 2009, pp. 197-200
- ⑤ 紅林, 中野, 室伏, 畑: 教材用蒸気タービンカーの開発と評価, 日本産業技術教育学会誌, 審査: 有, 51巻, 2009, pp. 25-32
- ⑥ 紅林, 技術科におけるエネルギー環境リテラシーについて, エネルギー環境教育研究, 審査: 有, 3巻, 2009, pp. 19-24
- ⑦ T.HATA, Thermal stress-focusing effect in a spherical Zirconian Inclusion with dynamically transforming strains, J.Eng.Math, 審査: 有, Vol.61, 2008, pp.133-141
- ⑧ T.HATA, Thermal stress-focusing effect in a cylinder with phase transformation, Acta Mechanica, 審査: 有, Vol.195, 2008, pp.60-80

[学会発表] (計 13 件)

- ① 畑, 江口: クリーンエネルギー駆動「ペットボトルモーターカー」の開発, 第29回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集, 平成23年12月3日, 岐阜大学
- ② 畑, 江口: ペットボトルをモータ化する「手づくり磁石」活用法に関する研究, 第54回日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集, 平成23年8月27日, 宇都宮大学
- ③ S. Itou, T. Hata, Stress-Focusing Effect in a Spherical Zirconia Inclusion with Dynamic Phase Transformation Under Quenching Process, Proceeding of the 9th International Congress on Thermal Stresses, TS2011, 2011年6月6日, ブダペスト工学経済大学
- ④ 櫻井, 江口, 畑: 連通型コイルを用いたクリップモータにおける回転特性への影響, 第28回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集, 平成22年8月28日, 愛知教育大学
- ⑤ 畑, 江口: コイル数変更機能を有するペットボトルモータの開発, 第53回日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集, 平成22年8月28日, 岐阜大学
- ⑥ 畑, 江口, 櫻井: クリップモータにお

ける界磁磁石の磁化方向による回転特性に及ぼす影響—「手作り磁石」の任意磁化特性を用いて—, 日本産業技術教育学会第52回全国大会講演要旨集, 平成21年8月22日, 新潟大学

- ⑦ 畑: 手づくり磁石を用いたペットボトルモータのエンジンとしての性能, 日本産業技術教育学会第51回全国大会講演要旨集, 平成20年8月23日, 宮城教育大学

[図書] (計 1 件)

- ① 江口, 畑: 「手づくり磁石を用いたクリップモータ」の研修報告書, サイエンス・パートナーシップ・プログラム 理数系教員指導力向上研修テキスト, 2009, pp. 19-28

[その他]

ホームページ等

<http://solid-mechanics.org/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 畑 俊明 (TOSHIAKI HATA)
静岡大学・教育学部・名誉教授
研究者番号: 40005351
- (2) 研究分担者 松永泰弘
(YASUHIRO MATSUNAGA)
静岡大学・教育学部・教授
研究者番号: 80181741
- (3) 研究分担者 紅林秀治
(SHUJI KUREBAYASHI)
静岡大学・教育学部・教授
研究者番号: 60402228
- (4) 研究分担者 江口 啓
(KEI EGUCHI)
静岡大学・教育学部・准教授
研究者番号: 00321521

