

# デモンストレーション用リニアモーターカーの開発とその効果

重松利信\*\*, 宮田英和\*\*\*, 渡辺謙一郎\*\*\*, 西元琢郎\*\*\*, 渡辺哲也\*\*\*\*, 城野祐生\*\*\*\*,  
森保仁\*\*\*\*\*, 中村真一\*\*\*\*\*

## Development of Linear-Motor-Car for Demonstration and Educational Effect

T.Shigematsu\*\*, H.Miyata\*\*\*, K.Watanabe\*\*\*, T.Nishimoto\*\*\*, T.Watanabe\*\*\*\*, Y.John\*\*\*\*,  
Y.Mori\*\*\*\*\* and S.Nakamura\*\*\*\*\*

### Abstract

Young people these days tends to be an unpleasant science. The attempt to make it interested in the science as the measures in the science room is actively done. At the science room there is "World of  $-200^{\circ}\text{C}$ " in the experiment often seen. A physical phenomenon at a low temperature that is much colder than the range of the temperature in which it lives makes the looking person surprised. Moreover, It is very effective as the experiment that introduces the most advanced technology. However, a usual surfacing experiment lacks the impact. Then, the teaching material that ran the surfacing superconductor on the rail was designed, and made for trial purposes. The delivery class was done with a designed teaching material. As a result, the education effect was able to be proven to be high.

### 1. はじめに

若年層の理科離れ対策の一環として、おもしろ実験などの科学イベントを通して科学に興味を持たせる試みが盛んに各所で行なわれている<sup>1), 2)</sup>。その中でよく目にする実験として「 $-200^{\circ}\text{C}$ の世界」がある。これは液体窒素を用いることで、生活温度の範囲を超えた低温での物理現象を体験させることができる。これは比較的容易なわりにはインパクトもあり、科学の不思議を体感させることができるため、有効な実験であると言える。また、酸化物超伝導体を用いれば、近未来の技術である「リニアモーターカー」の原理説明もでき、最先端未来技術の紹介実験としても非常に有効な演習実験である。

この超伝導体の浮上演習実験は、超伝導体の上に磁石を浮かす、あるいは磁石の上に超伝導体を浮かすと

いった演習が一般的で、それをリニアモーターカーの原理に結び付けるには、かなりの説明を要する。

そこで我々は磁石でレールを作り、その上を浮上した超伝導体が走るというデモンストレーション用の実験教材を考案、試作した。この教材を用いることで、難解な説明をせずとも最先端技術の一端に触れさせることができる。そればかりか、より一層の科学教室効果が期待できると考える。本稿では原理・製作について解説し、この教材を用いて行った出前授業のアンケート結果を中心に本教材の教育効果について議論する。

### 2. 原理

製作する教材は超伝導体と磁石とで製作し、浮上は超伝導体の Meissner 効果を利用する。また、出前授業等で使用することも考えて、超伝導体は Y 系の酸化物超伝導体を使用することにした。第 2 種超伝導体である Y 系酸化物超伝導体は臨界温度が 92K であるため、液体窒素を寒材とすることで容易に超伝導を得ることができる。また製作自身も比較的容易で、その性質も

\*原稿受付 平成18年10月12日

\*\*佐世保工業高等専門学校・電子制御工学科

\*\*\*佐世保工業高等専門学校・専攻科

\*\*\*\*佐世保工業高等専門学校・物質工学科

\*\*\*\*\*佐世保工業高等専門学校・一般科目

安定な酸化物超伝導体として広く知られている<sup>3), 4)</sup>。

### 2-1. レール走行の原理

磁石上の浮上自体は Meissner 効果によるが、安定浮上やレール走行のためには、それだけでは不十分である。つまり、Meissner 効果では磁石によって発せられた磁力線によって超伝導体は押し上げられ、レール上に浮上するが、レールから外れない効果は生まれない。そこで、ピン止め効果を利用する。ピン止め効果とは磁力線が入り込んだ状態で超伝導転移を起こすと、磁力線は周りを超伝導状態に囲まれるため動くことができず、そこに留められる現象である。詳細には磁束間相互作用やピン止めセンターなど複雑な問題を含むが、その詳説は本稿の論旨から脱するため他文献に委ねる事にする<sup>5), 6), 7), 8)</sup>。

ピン止め効果の模式図を図1に示す。超伝導体はピン止め効果と Meissner 効果によって磁石上に浮上、停留することができる。また、磁石レールに水平に適度な速度を超伝導体と与えると磁力線のデカップリング、カップリングを繰り返し、レールを外れることなく走行することが可能となる。

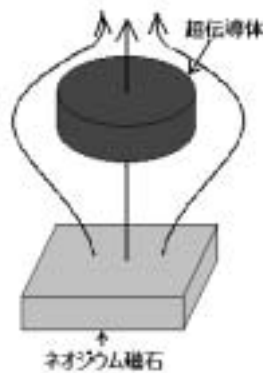


図1：ピン止め効果と Meissner 効果の模式図

## 3. 製作

### 3-1 レールの製作

我々の目指している「デモンストレーション用リアモーターカー」は出前授業や公開講座などで用いる演習用教材である。そこで、持ち運びの簡便さも考えて、全体のサイズを90cm×60cmと決めた。また、浮上する酸化物超伝導体は視覚効果を考慮して浮上高10mm以上を目指すこととし、レールとなる磁石には比較的強い磁束密度を持つネオジウム磁石を用いた。

ところで、レールとなる磁石は安価で入手可能な30mm×20mm程度のサイズのものを用いる。その磁石間

隔はできるだけ狭いことが望ましい。参考までに図2、図3に磁石間隔が5mmと0mmの場合の高さ10mmの位置での磁束密度の計算結果を示す。

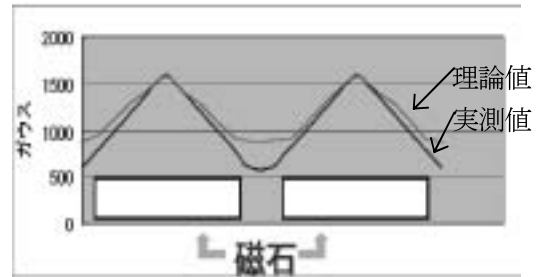


図2：磁石間隔5mmの場合での高さ10mmの磁束密度の場所依存

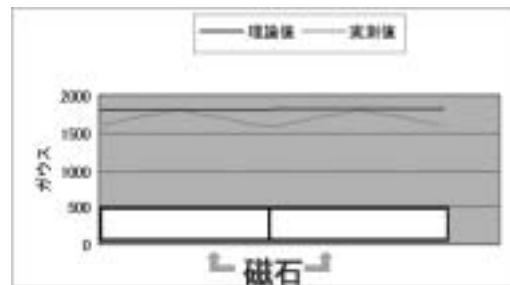


図3：磁石間隔0mmの場合での高さ10mmの磁束密度の場所依存

グラフ内の長方形は磁石の位置を示し、点線は実測値を示している。磁石間隔が5mmの時には磁場変動が40%と大きい、磁石間隔がほぼ0mmの場合には5%程度となる。実際に超伝導体を走らせる場合には、この磁場変化分は超伝導体の上下運動につながるばかりか、磁束のカップリング-デカップリングの際のポテンシャル障壁となる。実際に試作を行い試験走行をしたところ5%程度の磁場変動は視覚的に問題ないことが判明した。

ここで用いた理論式は、一般的な電磁界の計算式を我々の状態に焼直した以下の式を用いている。

$$H_r = -\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{2ml \cos \theta}{4\pi \mu_0 r^3}$$

$$H_\theta = -\frac{\partial U}{r \partial \theta} = \frac{ml \sin \theta}{4\pi \mu_0 r^3}$$

ここで、mは磁荷の大きさを示し、lは磁石の長さ、rは磁石から測定点までの距離を示す。

実際に製作したレールを含む土台の模式図を図4に示す。レールとなる磁石は木板をベースにした土台に

## デモンストレーション用リニアモーターカーの開発とその効果

接着するが、その際、薄い鉄板を用いて磁石の吸磁力を利用して並べてゆく手法が効果的である。

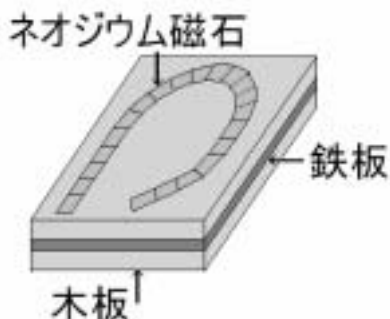


図4：製作したレール土台の模式図

さて、リニアモーターカーの船体となるY系酸化物超伝導体は、 $T_c$  が 92K であるため裸の状態では直ぐに超伝導転移温度を超えてしまう。そこで、図5に示すような発砲スチロール製保冷ホルダーによって5分程度まで超伝導状態を保持できるように工夫した。

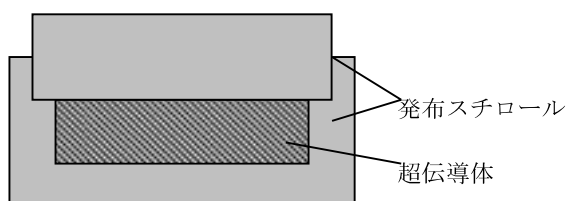


図5：船体となる発砲スチロール製保冷ホルダー

以上のようにして製作した超伝導体を格納した船体を用いて浮上実験をしたところ、安定走行するには高さ 5mm 程度で十分であることが確かめられ、当初のわれわれの要求を十分に満足する教材を完成させることができた。

### 4. 教材の効果

以上のようにして製作したデモンストレーション用リニアモーターカーの教材を用いて、小中学校での出前授業や各種科学イベント、佐世保高専の高専祭での研究室出し物などで演示実験を行い、教材の教育効果を調査した (Table 1 参照)。調査方法は演示実験終了後に行ったアンケート調査である。

Table 1 に演示実験を行ったイベントを示す。

アンケートは「おもしろかったか」などの一般的なものから、行った実験の中から一番面白かったものを選ばせるなど、細部にわたった質問事項を用意した。アンケートの実施方法は、あきさせないため及び、集計の容易なように、パソコン画面にラジオボタンやチェックボックスなどを配置し、マウスクリックで回答させる手法とした (図6 参照)。

イベント名	第10回おもしろ実験大公開
主催	佐世保高専
対象	小中学生・約300名
イベント名	高専祭
主催	佐世保高専
対象	高専生・約150名
イベント名	長崎県・研究者等出張授業
主催	長崎県
対象	野子中学校・38名
イベント名	長崎県・研究者等出張授業
主催	長崎県
対象	今里小学校・44名
イベント名	一日体験入学
主催	佐世保高専
対象	中学生・40名
イベント名	長崎県・研究者等出張授業
主催	長崎県
対象	石田中学校・155名
イベント名	長崎県・研究者等出張授業
主催	長崎県
対象	比田勝小学校・84名

Table 1：演示実験を行ったイベント

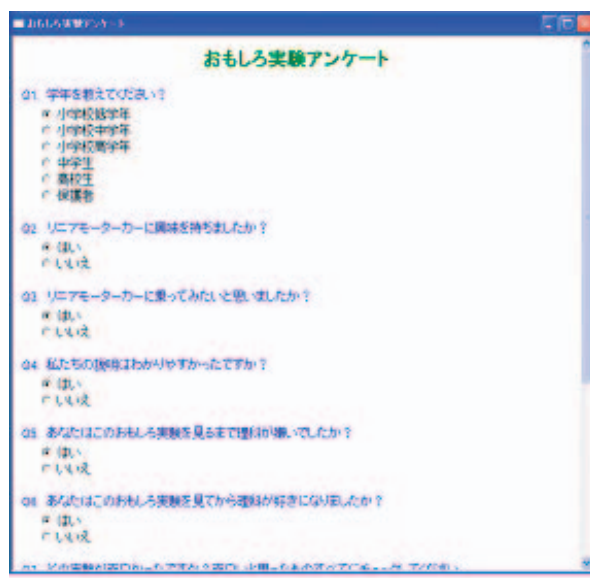


図6：演示実験後に行ったアンケートのPC

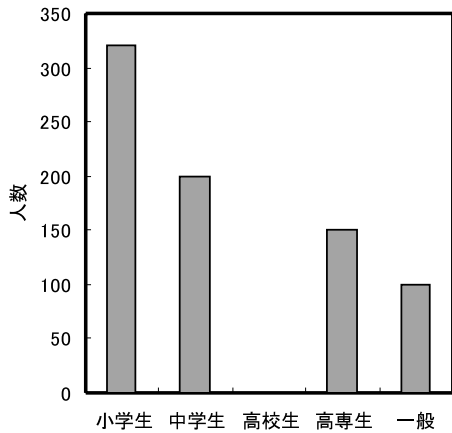


Table 2: アンケート協力者の割合

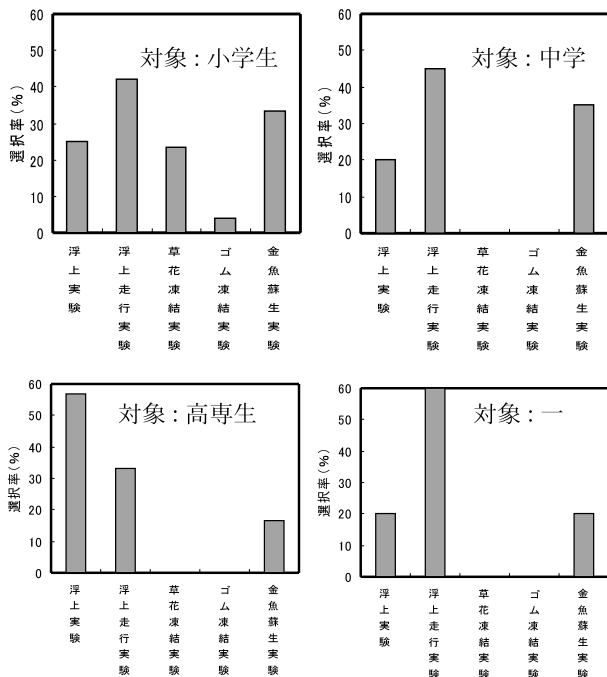


Table 3: 「一番面白かったのはどれですか」の質問に対する対象者別の回答。



Photo 1: 完成した演示教材を用いて、走行実験をしている様子

この度行った演示実験の内、アンケート調査に協力していただいた人数は延べ 811 名であった。その内訳は Table 2 の通りであり、約 8 割が小学生と中学生である。

演示実験は「-200℃の世界」と題して行い、草花の凍結実験から、磁気浮上実験、本教材を用いた超伝導走行実験 (Photo 1 参照) など約 10 種類の低温物理実験を行った。

アンケート結果のうち「一番面白かったのはどれですか」の対象者別の結果を Table 3 に示す。回答は 10 種類の演示実験から 1 つ選ぶ方式とし、その中から上位 5 番目までを示した。縦軸は選択率を示している。

全体的に磁石の上に超伝導体が浮上し、逆様にしても落下しない浮上実験、レール上を超伝導体が走る浮上走行実験、凍結した金魚が蘇生する金魚蘇生実験の人気の高いことが伺える。これらは日常生活温度範囲では体験できないこと故に、非常に興味を持った結果であると思われる。また、小学生では草花凍結実験などにも興味を示しているが、年齢層が上がれば興味の度合いが少なくなる。これはテレビや他科学教室によって見たことがある経験値による減少と思われる。

しかしながら、全対象者から未来の技術に結びつく超伝導を用いた演示実験は 7 割以上の非常に高い興味が示されている。

超伝導演示実験に絞ってみると、小学生、中学生、一般の場合は浮上走行実験の方に興味がいつているのに対して、高専生の場合には浮上実験の方が興味対象となっている。これは科学に対する基礎的な知識のある高専生は「何故浮くのか」「何故傾けて

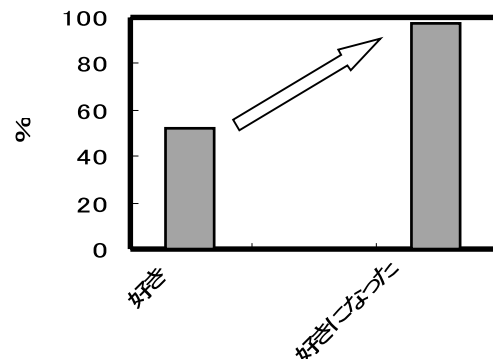


Table 4: 「この実験をみて理科が好きになりましたか」の小中学生のアンケート結果

## デモンストレーション用リニアモーターカーの開発とその効果

も落ちないのか」という浮上原理のほうに興味があったからであると推察できる。

Table 4 に「この実験をみて理科が好きになりましたか」の小中学生のアンケート結果を示す。

演示実験を見る前は 52.4%だった理科好きが、演示実験後は 97.6%に上がっており、教育効果が高いことを示している。

これらのことから我々の製作したデモンストレーション用リニアモーターカーの演示教材の有効性、有用性が明らかになった。

現時点では浮上機構しか完成していなかったため、浮上した超伝導体に手で速度を与え、走行させた。未来の技術をよりアピールするためには、本教材に推進機構を付加することで、さらに高評価が期待できる。それによって本研究の目的である、子供たちの理科嫌い克服の手助けに大きく貢献できる教材が完成するものと推測する。

## References

- 1) <http://www.sasebo.ac.jp/event/omosiro/>
- 2) <http://www.nagasaki-city.ed.jp/starship/>
- 3) 山香英三, 太刀川恭治, 一ノ瀬昇: 高温超伝導入門 (オーム社, 1989)
- 4) 笛木和雄, 北沢宏一編: 酸化物超伝導体の化学 (講談社, 1988)
- 5) P.W.Anderson: Phys.Tev.Lett., **9**, 309 (1962)
- 6) P.W.Anderson & Y.B.Kim: Rev.Mod.Phys., **36**, 39 (1964)
- 7) P.Esquinazi et. al: Low Temp. Phys., **64**, 1 (1986)
- 8) C.P.Bean: Phys. Rev. Lett., **8**, 250 (1962)