

事業報告

サイエンスショー「サクレツ！電磁パワー」実施報告

久松 洋二*

A working report of “powerful magnet and electromagnetic force”

Yoji Hisamatsu

It is reported that the substance of the demonstration of magnetic effects in Ehime pref. science museum. We made use of the powerful magnet $Nd_2Fe_{14}B$ and electromagnetic force induced a powerful electric current. This report describes construction of this demonstration, an outline of experimental equipments and ideas of a safety control.

はじめに

磁力の効果はよく知られていて、ほとんどの人が磁石で遊んだ経験がある。しかし、磁石は紙を貼り付けたり、おもちゃに使われていたりする程度で、たとえば家のどこにあるのか気にしていない。磁石は電気ほど日常での利用を意識されていない。磁力の見せる世界は、慣れ親しんだフェライト磁石の磁力程度との感覚が一般的である。たとえば、2つの磁石の動きは、確かにどんな磁石を使っても、よく知られている弱い磁石の動きと一致する。しかし、単純に強力になっただけでも、意外な事実に出会うことになる。また、なぜ強力な磁石が存在するのかという単純な疑問もある。興味本位であるのではなく、強力な磁石は求められている。実際、希土類磁石はフェライト磁石の生産量を超えている。一方で、身の回りにはそのことが見えてこない。この2つは密接に関係して、磁石の本来の利用法を教えている。磁石は器具や装置の内部で利用され、強力磁石はその高機能、小型化に貢献している。

今回のサイエンスショーは、強力な永久磁石と電磁石を使った実験である。強力さが見せる驚きを体験し、永久磁石と電磁石の類似点・相違点を整理することが目的である。また、永久磁石や電磁石はどこに利用されているか、強力な磁石は何に使われているかを紹介する。永久磁石と電磁石の類似点・相似点の整理は、磁石利用を理解する手助けになると考えられる。また、強力であることに起因する見学者への危険性は、製作装置と演示方法で回避する必要がある。本実験でも、見学者又は演示者へ危害が及ばない対策を講じた。

本稿は愛媛県総合科学博物館において、平成15年3月から6月の間に行われたサイエンスショー「サクレツ！電磁パワー」の実施報告である。実験は1回20分程度行われた。来館者一般が対象で、3ヶ月の間に約200回実演された。

実験項目

- ・ネオジウム磁石体験
- ・磁石の動き
- ・電磁石体験
- ・トムソンリング
- ・加速器

実験の構成と内容

このサイエンスショーは磁気作用を、永久磁石と電磁石とで対比させながら解説するものである。前半に永久磁石を使った実験を行い、後半では同じことが電流を使っても実験できることを示す構成にした。また、導入や実験の合間に、電化製品などに潜む磁石利用についての話題を挿入した。

ネオジウム磁石体験

ネオジウム磁石の強力さを体験することで、なじみ深い磁石の力を見直す機会を与えた。用意した実験は3種で、引っ付いた2つのネオジウム磁石を引き離す実験、反発したネオジウム磁石を無理に近づける実験、ネオジウム磁石の反発力を試す実験である。

磁石を引き離す実験は、取っ手をつけた2個の大型ネオジウム磁石を引っ付けた状態にしておき、観客に引き離してもらった。使用した磁石の強力さを示すと同時に、

* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

磁石の離し方とその意味について触れた。また、ネオジム磁石は強力であるので、怪我をする危険性があること、引っ付いた磁石は力で引き離すことしか方法がないことを説明した。これは、後の電磁石に対する伏線の意味も併せ持つ。

無理に磁石を近づける実験は、リング状ネオジム磁石を使用して、リングの軸方向で反発力に逆らって磁石を近づける実験である。引き離す実験ほど力を必要としないので、体重を使わず手の力だけで近づける実験にし、反発力の強さを強調する実験にした。

反発力を試す実験は、遊びの要素が強い実験で、竿に通したリング状のネオジム磁石を交互に何段も反発させて、その反発力をパネに模してものを飛ばす実験である。フィルムケースのロケットが磁石の反発力で竿から飛び出す仕組みにした。先の2つの実験は力を必要とする実験なので、低年齢層に体験させることが難しい。低年齢層の体験では、コツやヒントを教えても成功せず、結局難しいだけの実験になってしまうからである。これは、いわばそのフォローの実験であり、単純に高く飛ばしたいという欲求が直接現れるので、主に低年齢層に体験してもらった。

磁石の動き

磁力を向心力とする円運動を見せる実験である。これは、磁力による物体の動きを見せるとともに、最後に行う磁力による運動の予告に使用した実験である。円形に配した数個の磁石の近くで磁石の球を転がすと、磁石球の軌道が円運動に変わる。その様子をカメラで撮ってモニタ出力させた。引っ付く、反発する磁石の直線的な運動とは違った印象を与えることができた。ネオジム磁石の強力な吸着力が、磁石球を素早く動かすので、視覚的に面白い効果を見せることができた。

電磁石体験

電流が磁石をつくることを確認する実験である。コの字型の鉄芯にコイル通し、鉄芯の端に鉄柱をかぶせて磁気回路をつくり、乾電池1本で鉄柱を吸着させる。鉄柱には取っ手がついていて、観客に磁力の強度を体験してもらう実験である。乾電池1本で強力な磁石を作ることができること、電池をはずすと磁石でなくなることを強調する構成にした。

トムソンリング

電流による反発磁石を演示する実験である。この実験は、直流電流による実験ではないので、電磁石の反発を表していない。しかし、実験による動きの楽しさから、トムソンリングで反発の姿を見せることにした。電流を流した瞬間にリングが飛び上がることで、LEDでリング

に電流が流れることが確認できることで、電磁石どうしの反発がありえることを印象づける実験である。

加速器

空芯コイルに大電流を流してつくった磁場に吸い付けられることで、鉄片が飛び出すという実験である。「磁石の動き」の実験に呼応し、磁力でものが動くところを見せるものである。荷電粒子を電場で加速させるわけではないので、いわゆる加速器ではないが、鉄片の動きの素早さや電流、磁場といった力の類似性から、この名称を使った。また、実際の加速器の話題も紹介した。

実験機材と解説

ネオジム磁石を引き離す実験装置(写真1)

引っ付いた大型のネオジム磁石を大変苦労して2つに引き離した体験から装置を発案した。引き離すための大きな力を体験できて、かつ、コツによって簡単に引き離せることを目指して製作した。

磁石はボルトに接着させ、境目に金属パテで補強した。ボルトの他端は、樹脂で成形した取っ手を取り付けた。これによって、磁石どうしの軸方向への力が強いことを体験でき、磁石を中心に2つの取っ手を折り曲げることで、簡単に磁石を2つに引き離すことができる。

1シーズン数百回の実験を行うと、磁石とボルトの接着部分、および、ボルトと取っ手の接合部分が疲労して破壊された。磁石1つにつき1回ずつ該当部分が破壊され、修繕することになった。また、引っ付くときの衝撃で、磁石の表面被膜が浮き上がり、磁石が破壊した。

同じ極どうしの磁石を無理に近づける実験装置(写真2)

リング状のネオジム磁石をステンレスの棒に通して反発させる。それを手の力で押し込みながら近づける装置である。磁石の内径にあわせて心棒を選び、なるべく磁石がずれないようにした。体重を使うと簡単に近づけられるため、磁石の両端にクッションをつけ、床に立てると不安定になるようにした。このことにより、体験者は、装置を立てて体重を乗せる方法をあきらめざるを得なくなる。

押しつけて磁石どうしを近づけるコツは特にないが、小学生でも力が強ければ、かなり至近距離まで近づけることができる。体験者とのやりとりでは、このことを利用して、体験者の様子を見て実験の達成度を決めた。積極的な体験者には、触れるまで頑張るように煽り、力が不十分と見て取れるときは、かなり近づいたことで十分とした。

反発力で遊ぶ実験装置 (写真3・4)

ステンレスの棒に、リング状のネオジウム磁石を交互に通し、反発力でバネのような動きをつくった。一番上の磁石の先に、筒状にしたフィルムケースを置き、磁石を手で近づけてはじくように放すと、フィルムケースが上に飛びあがる。反発力に対して磁石を押し込む力や手の離し方で、飛び上がる高さが変わる。この実験は磁石の押し込みに体重を利用するので、低年齢層にも気軽にできる実験である。

体験では、磁石を直接手で押し込む方法をとったが、指先に力を入れる必要があったため、多少大変そうに見えた。磁石の反発力は大きく、手を離れた瞬間の磁石の動きは素早い。余分な仕組みで体験者に怪我をさせないための選択であるが、体験装置としてはこの点に改良の余地があると思われる。

磁石の動き (写真5)

鉄製の板にネオジウム磁石を円上に配置し、アクリルのカバーをかぶせた上で磁石の球を転がす。磁石球の軌道は磁力が向心力となって円運動を描く。磁石球の速度が落ちたところで、磁石球はある一つの磁石へ捕らえられる。その時、急速に軌道の半径をせばめることで加速する動きが興味深い。振る舞いが平面的であるので、カメラで撮影してモニターで観客に見せる演出をとった。

実験は、カバーの天板と磁石との距離を大きくとって、球が直進すること確かめた後、こんどは距離を縮めて、円運動をさせるなど、天板とアクリル板の距離を調整できるように製作することで演出の幅が広がる。

電磁石体験装置 (写真6)

コの字型の鉄芯に500回巻きのコイルを通し、取っ手付きの鉄角棒をのせて磁気回路を形成させる。コイルには単1電池1本を直結させた。スイッチの入切で、取っ手のついた鉄角棒が吸い付いたり、取り外せたりすることを体験させた実験である。鉄芯は鉄板の積層成型。取っ手がついている鉄棒も同様。積層成形後、穴をあけ、ボルトを改造した取っ手がつくようにしている。この装置は、電磁石でぶら下がる実験のために以前製作したものを再利用している。鉄芯の規格は、コイルを利用するために、教材にあるものと同じにしている。2つの鉄芯は密着させることで強力に吸着する。電流を切ったあとも、残留磁化で簡単にはとれないが、永久磁石の引き離しのおさらいにもなった。

鉄のかたまりを使うので、重量的に体験には危険がともなう。必ず、学芸員が装置を支えるようにした。

トムソンリング (写真7・8)

鉄芯に通した500回巻きコイルに交流電流を流すこと

で、同軸の二次コイルが飛び上がる実験装置である。

鉄芯は園芸用の細鉄棒を束ねて製作した。二次コイルは2種のコイルを単純に重ねたものを使用した。2種のコイルとは、飛び上げるためのコイルとLEDを点灯させるためのコイルである。ともに、円形に接続した導線のコイルである。軽さと大きな抵抗値のために、LED点灯コイルには極細のエナメル線を使用し、接着剤で固めた。飛び上げるためのコイルは、太いスズメッキ線を使用した。

電気回路は、コンセント電圧をトランスで130Vまで昇圧させ、手元のスイッチで0.4秒間電流をタイマー出力させるものを製作した。

加速器 (写真9・10)

空芯コイルに大きな電流を流して作った磁場に鉄片が吸引されることで飛び出す実験装置である。荷電粒子を加速させる装置ではないが、鉄片を加速させて飛び出させるという意味において加速器と呼んだ。コイルを手で持ち、適当にねらいを定めて鉄片を飛ばすことができる。演出自身は遊びの要素が強いが、鉄片の動きは電流の磁場でしか起こせないものであり、その優位性を解説する上でも最後の実験とした。

電気回路は、細山謙二氏(高エネルギー加速器研究機構教授)考案の制御器を、細山氏指導の下で複製したものである。コイル周辺の形状と射出させる鉄片は、今回のショーにあわせて製作した。

ま と め

永久磁石と電磁石について、その類似性を指摘する実験である。演出として、強力な磁力を見せることと日常での利用法の指摘を取り入れた。

磁石自身は馴染みがあるのだが、どこに、何に利用されているかを問えば、はっきりと回答できる人は少なかった。身の回りにあるほとんどの電化製品の中に潜んでいるのだが、気づいている人は少なかった。ショーで行う実験と関連する磁石の利用や磁石による器具などは、各実験の内容とともに説明するように心がけた。その際、機材が煩雑になるので実物の提示は行わず、主に画像で紹介した。逆に、電化製品に潜んでいる磁石の使用法から電磁現象を紹介する方法も、十分な意外性を提供できそうである。

強力な磁力を使用する演出は、磁石を見せる上で重要な要素である。磁石の作用自身には、誰もが慣れ親しんでいるからである。観客は、磁石の作用自身に驚くことはない。自分の予想を裏切るほどの強力な磁力に驚くのである。このことは、危険な器具を使わなければならないことと同義である。製作・使用した装置類も、安全対

策を施している。しかし、直接磁石を引っ付けたり引き離したりする実験に対しては、装置に安全装置はついていない。動きに制限をつけて、体験の面白みを奪いたくなかったためである。そのかわり、取っ手の形や大きさ、磁石と力点との距離、動きのなめらかさなどに留意して製作することで、体験者のストレスを減らす工夫をしている。加えて、装置の危険性や体験方法を説明すること、体験者の動きから目をそらさないことなども徹底した。ショーが終了した後、観客の自由な質問や体験時間の管理、装置撤収の際の事故防止意識も重要である。これらの総合的な取扱いが安全装置に替わると考える。

謝 辞

加速器装置を製作するにあたって、高エネルギー加速器研究機構教授の細山謙二氏には、多くの御指導、御助言をいただいた。ここに記して、深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人日本電子材料工業会 <http://www.emaj.net>

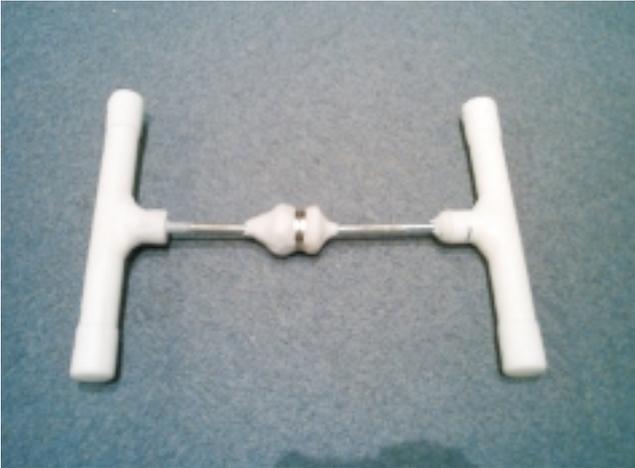


写真1 ネオジム磁石を引き離す実験装置。

磁石と取っ手をボルトに接続して製作。磁力は接着力をこえるので、磁石周りを金属パテで固定した。それでも、数百回の実験でひび割れを起こした。取っ手は成型用ポリウレタン樹脂。

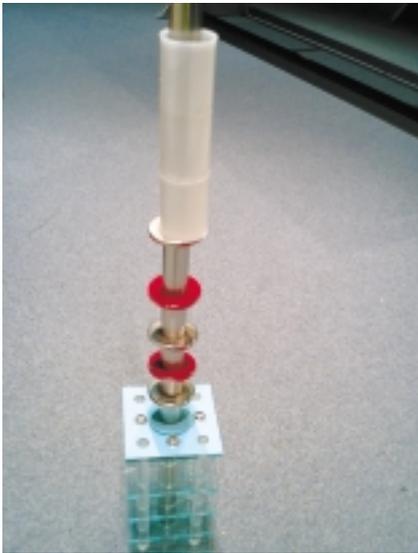


写真3 反発力で遊ぶ実験装置。

リング状の磁石を交互に配置して、反発力でバネのような効果をつくり、フィルムケースを飛ばす。装置は台に置き、磁石は手で近づけて離す。体重を使えるので、低年齢層でも実験可能。



写真5 磁石の動き実験装置。

スチール板にネオジム磁石を円形に並べた上にアクリル板を置き、ネオジム磁石の球を転がす。磁石球の円運動や下のネオジム磁石へのトラップが観察できる。



写真2 同じ極どうしの磁石を無理に近づける実験装置。

スライドできるように2重にしたステンレスパイプにリング状のネオジム磁石を通したもの。磁石は1つのかたまりごと3枚使用。パイプ径と磁石内径をあわせて、ほぼ同軸での反発を実現している。両手で押して反発力を体験する。



写真4 反発力で遊ぶ実験装置全景。

支柱であるステンレスパイプの長さは1800ミリ。フィルムケースをパイプの先まで飛ばすには、手の離し方にコツが必要なので、実験にゲーム性が生じた。

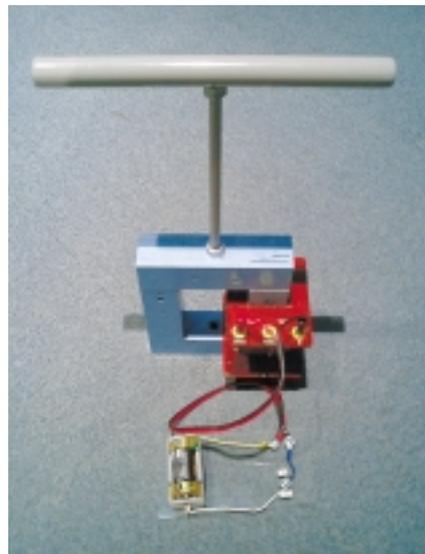


写真6 電磁石体験装置。

500回巻のコイルに単1乾電池1本を直結させる。鉄芯には取っ手をつけている。

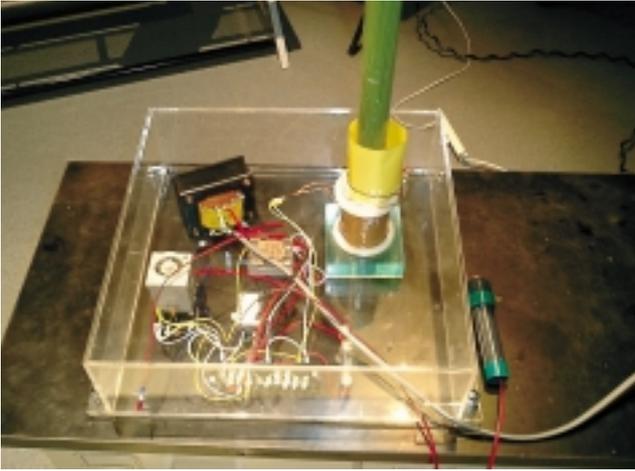


写真7 トムソンリング制御器。

トランスで130V まで昇圧して 0.4秒導通させる。鉄芯は園芸用の鉄棒を束ねたもの。



写真8 トムソンリング用二次コイル。

跳ね上げるための太い導線と LED 点灯用の細い導線を紙筒に貼りつけている。紙筒は遠くの観客に動きをよく見せるため。



写真9 加速器制御器。

コンデンサにためた電荷を空芯コイルへ流す制御器。トムソンリングの制御器同様、事故防止のため、アクリルの箱で覆っている。



写真10 コイルと鉄片。

空芯コイルは飛ばす方向を変えられるようになっている。鉄片はボルトに鉛筆キャップをつけたもの。キャップは遠くの観客への配慮。



写真11 説明用の磁石模型。

発泡スチレンボードで製作。一辺400ミリ程度の大型のもので、先に磁石を埋め込んでいるので、モデルとして説明しながら実験にも利用した。

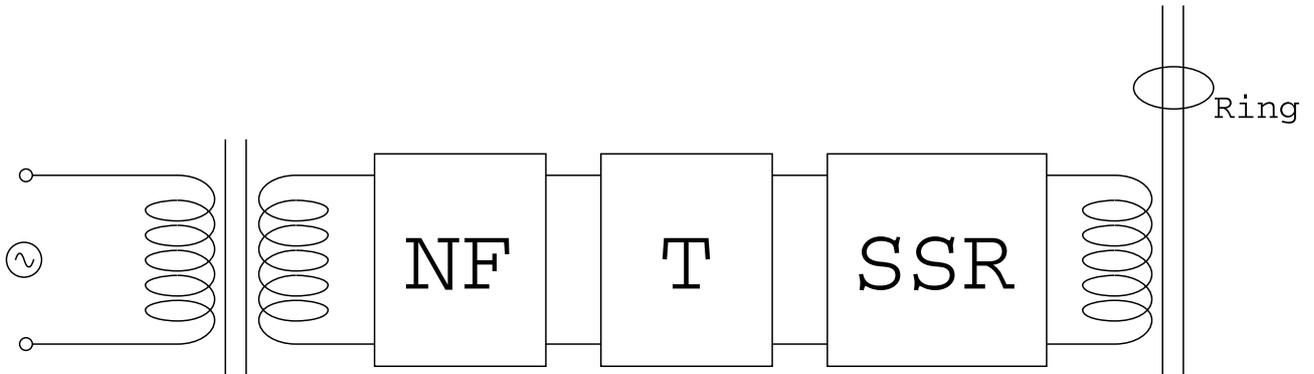


図1 トムソンリング概念図 .

昇圧した交流をノイズフィルタ (NF), タイマー (T), SSR にとおしてリング用のコイルに導通させる .

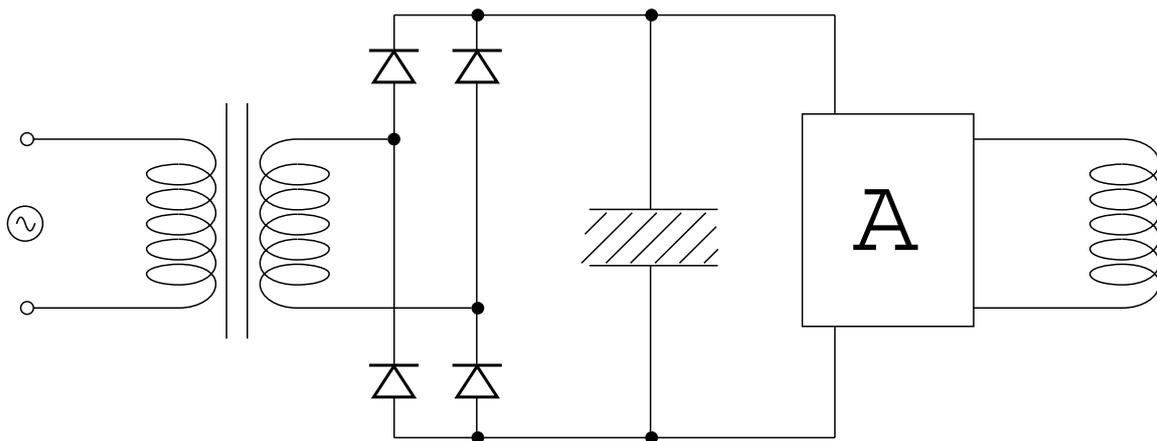


図2 加速器概念図 .

コンデンサの電荷を, 制御部 (A) を介してコイルへ一気に流す .

