

短 報

## サイエンスショー「磁石で遊ぼう！」におけるガウス加速器の演示方法について

篠原 功 治\*

How to Demonstrate the Gauss Accelerator in the Science-show of “Let’s Play the Magnets”

Shinohara Koji

**Abstract** : This paper reports the essential part of the demonstration to explain the gauss accelerator on “Let’s play the magnets” which was carried out as one of the science-show programs at the Ehime prefectural science museum. In the gauss accelerator, the energy, as well as momentum, are conserved. The law of the conservation of energy can be explained by the relationship between the change in potential energy, that drops is associated with the magnetic field, and the change in kinetic energy. But these explanations are excepted from the science-show because the audience may be confused.

**キーワード** : 磁石, サイエンスショー, ガウス加速器, エネルギー, 運動量

**Key words**: magnets, science-show, gauss accelerator, energy, momentum

### はじめに

愛媛県総合科学博物館では、平成22年10月1日(金)から平成23年1月30日(日)の約4カ月間にわたって、「磁石」をテーマとしたサイエンスショーを行った。1回20分程度で行われ、来館者一般が対象で、約100回実演された。今回のサイエンスショーは、導入部分で科学手品を入れ(図1)、永久磁石と電磁石を比較しながら電気と磁気の関係についても実験を通して説明した。そして、最後にガウス加速器を紹介した。

なお、平成21年度以降、博物館運営は、学芸部門を除き、愛媛県から指定管理者(イヨテツケーターサービス(株))へと変わり、原則として、愛媛県の学芸員がサイエンスショーを企画し、指定管理者(企画普及担当)が実施することとなっている。

本稿では、サイエンスショー「磁石で遊ぼう！」で演示したガウス加速器についての原理と演示方法について述べた。

### サイエンスショー「磁石で遊ぼう！」概要

本サイエンスショーの目的は、永久磁石や電磁石を紹介しながら大きな磁力を利用した科学実験を行い、私たちの暮らしが電気や磁気の力によって、発見・発明された多くの機器に支えられていることを知り、また、これ

らの不思議な性質や働きについて理解を深めることである。著者としては、この中で、ガウス加速器を紹介して、加速器がどのような分野に応用されているのかを知ってもらいたい意図があった。

実験内容は、「磁力線を使った手品」、「磁石にくっつくもの」、「永久磁石と電磁石」、「ガウス加速器の紹介」で構成した。本稿の趣旨から外れるので、これらすべての実験については詳しくは触れないが、様々な実験を通して見学者を引きつけた上で、「ガウス加速器の紹介」を行ったので、「磁力線を使った手品」、「磁石にくっつくもの」、「永久磁石と電磁石」については、サイエンスショー全体をイメージするため概要のみ述べる。



図1 サイエンスショー風景  
導入部分の科学手品。演示者は指定管理者

\* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科  
Curatorial Division, Ehime Pref. Science Museum

「磁力線を使った手品」では、スケッチブックとマジックペンを用意し、まず見学者にマジックペンでスケッチブックに簡単な絵を描いてもらう。次に絵を描いた紙を破り取り誰にもみえないようにポケットに入れて保管してもらう。このとき、演示者は、目をつぶっておく。最後に演示者は、見学者が描いた絵と同じ絵をスケッチブックに描く。科学的とはいえないが、見学者を引きつけショーとして魅せる演出をするため「見学者の頭の中を透視した」、「見学者からテレパシーで送ってもらった」等と演じる。あらかじめ、スケッチブックには下敷きの代わりに磁界観察シートを挟んでおき、マジックペンのペン先には強力なネオジム磁石の小片を仕組んでおく。見学者が紙に描いた絵は、紙の下の磁界観察シートにも描かれるため演示者は、磁界観察シートに描かれた絵をみることで、見学者が描いた絵を知ることができる。手品の種を見学者に伝えた後に、棒磁石の磁界を観察する。

「磁石にくっつくもの」では、ゼムクリップ、スチール製とアルミ製の空き缶、木、鉄分が多く入っている保健機能食品のチョコフレーク等のお菓子、鉄を含むインクが使用されている日本のお札が、磁石にくっつくか否かを実験し、鉄を原料としているものは磁石にくっつくことをみせる。この後に、アルミ製と銅製のパイプを用いて渦電流の実験を行う。磁石が静止していれば、アルミや銅は磁石に反応しないが、磁石が動いていれば、アルミや銅の中で電流が渦状に発生する。この渦電流から新たに磁力が生まれることで、アルミや銅の金属は一時的に電磁石となる。この作用が、アルミ製と銅製のパイプの中へ球状のネオジム磁石を落下させると抵抗力になり、磁石の落下時間が長くなる。また、渦電流が発生すると熱が生じるが、この性質を利用して熱を発生させることを電磁誘導加熱(Induction Heating)という。電磁誘導加熱はIHと呼ばれ、お鍋やフライパンを温めて調理することもできることを紹介する。

「永久磁石と電磁石」では、フェライト磁石、ネオジム磁石(小)、ネオジム磁石(大)の順番に、ゼムクリップをつけていく。ネオジム磁石は日本人が発明したことも紹介する。ネオジム磁石は強力であるが、そのためにくっついたゼムクリップを外すことが困難になることにも触れておく。次に、棒磁石を、LED付きのコイルの中で動かし発電させて、LEDを点灯させ、磁石をコイルの中で動かすと電流が発生することを実際に確認する。さらに、館内で製作された誘導電流感電装置を用いて、複数の見学者を感電させる実験を行う。誘導電流感電装置は久松(2000)により製作されたもので、 $12\phi \times 400\text{mm}$ のボルトに $0.13\text{mm}$ のエナメル線を2万回程度巻き付けたものが基本構造であり、見学者は装置から出ている2本の導線の端を持ち、演示者がボルト片方の端にネオジム磁石をくっつけて、このときに発生する電気が体内に流れる。

ペースメーカーを使用している方や心臓の弱い方には実験の参加を控えてもらう。最後は、コイルに電気を流し電磁石にしてスチール製の空き缶をくっつける。電気を流すのを止めれば、スチール缶は簡単に外すことができ、永久磁石にはないメリットとなることを伝える。

## ガウス加速器とは

ガウス加速器の紹介では、市販の教材を利用した(図2)。ループになっているレールと、 $15\text{mm}\phi$ の鉄球と球状のネオジム磁石から構成されており、レール上に鉄球2個と球状のネオジム磁石1個をくっつけて静止させる(右側から鉄球1個、鉄球1個、球状のネオジム磁石1個)。なお、球状のネオジム磁石は、半球がN極、反対側の半球がS極になっている。次に球状のネオジム磁石側に一定の距離をおいて、鉄球1個を静止させて置くと、球状のネオジム磁石に引き寄せられてくっつく。このとき、鉄球は磁力によって加速されて、球状のネオジム磁石に衝突して反対側の鉄球1個が勢いよく弾き飛ばされる。鉄球2個と球状のネオジム磁石1個をくっつけたものを1セットとし、2~3セットに増やすと、連鎖して鉄球が弾き飛ばされるが、2~3セット目の弾き飛ばされる鉄球の速度は、1セットのみの場合で弾き飛ばされる鉄球の速度より大きくなる。



図2 ガウス加速器1

## 運動量保存の法則

図3のように鉄球(入射球)は、みためにゆっくりとした速度 $v_a$ で球状のネオジム磁石に衝突する。一般的に、カチカチボール等とも呼ばれる従来の運動量保存の法則を利用した玩具がイメージとしてあるため、反対側の端にあった鉄球(射出球)は、入射球とほぼ同じ速度 $v_a$ で飛び出すであろうと思ってしまう。しかしながら、射出球は、入射球の速度 $v_a$ よりも遥かに速い速度 $v_b$ で弾き飛ば

されてしまう。本実験では、衝突前と衝突後では、運動量保存の法則や次の章で述べるエネルギー保存の法則が成り立っているのかどうか分からなくなるが、この要素こそがガウス加速器の特徴であり見学者の興味を引く理由でもある。結論から先に述べると、David Kagan (2004)や右近修治(2006)、杉山剛英(2006)、愛知エースネットによれば、ガウス加速器における運動量保存の法則及びエネルギー保存の法則は成り立っている。

ガウス加速器における衝突前と衝突後の運動量について考えてみたい。レール上の摩擦はないものとし、鉄球と球状のネオジウム磁石の質量は等しく $m$ とし、それぞれの回転エネルギーを考えないものとする。衝突前の入射球の運動量は $mv_a$ 、衝突後の射出球の運動量は $mv_b$ である。衝突後では、射出球以外の3球は負の方向に少しだけ速度 $v_c$ で動くため、運動量は $3mv_c$ である。よって、運動量保存の法則は、

$$mv_a = mv_b + 3mv_c$$

となる。ただし、 $v_c < 0$ である。 $v_a = 0$ の場合であれば、 $v_b = -3v_c$ の関係が成り立つ。

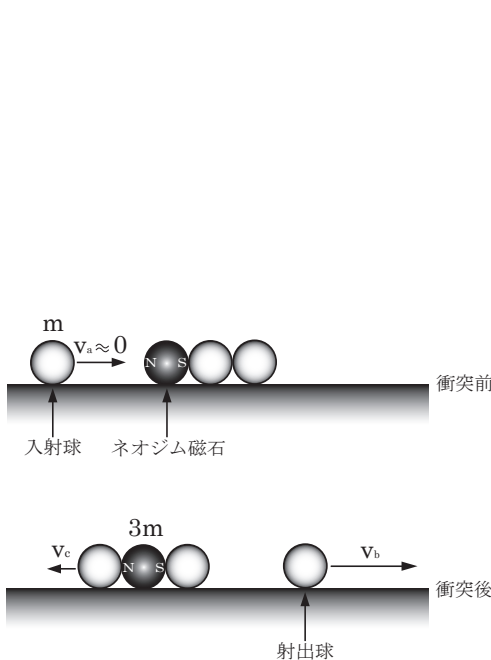


図3 ガウス加速器2

### エネルギー保存の法則

エネルギー保存の法則は、磁界における位置エネルギーを考えると成り立っている(図4)。石を空に向かって真上に投げると重力によって地面に落下してくる。ロケットのように重力があまり及ばないところまで飛ばすと、地球には落ちてこなくなる。重力を磁力に、石やロケットを鉄球に、地球を球状のネオジウム磁石に、垂直方向から水平方向の運動に置き換えて考えると、入射球の磁界における位置エネルギーは0であり、球状のネオジウム磁石に近づけばこの磁界における位置エネルギーは負の値をとり衝突時は最低値 $-E_a$ となる。このときの磁界における位置エネルギーの減少分が、入射球の衝突前の運動エネルギー $\frac{1}{2}mv_a^2$ となる。このエネルギーが、カチカチボールの衝突球と同様に球状のネオジウム磁石と射出球との間の鉄球を伝搬して最終的に射出球を弾き飛ばす運動エネルギー $\frac{1}{2}mv_b^2$ と、射出球以外の3球を少しだけ動かす運動エネルギー $\frac{1}{2}(3m)v_c^2$ になる。ただし、弾き飛ばされる前の射出球にも磁界における負の位置エネルギー $-E_b$ がある。よって、エネルギー保存の法則は、

$$E_a - E_b = \frac{1}{2}mv_a^2 + (-E_b) = \frac{1}{2}mv_b^2 + \frac{1}{2}(3m)v_c^2$$

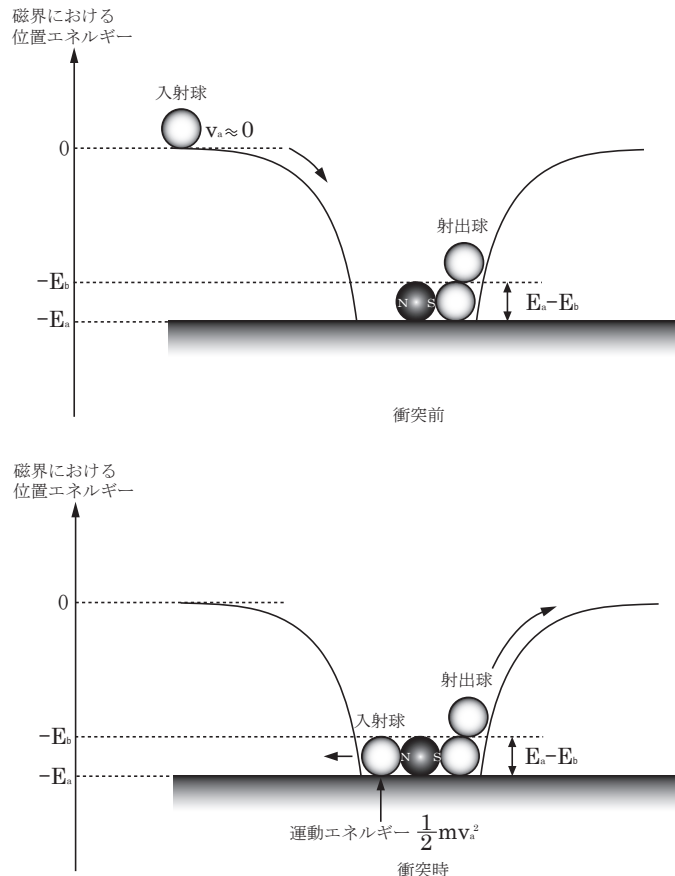


図4 ガウス加速器3

となる。

### 演示方法について

本サイエンスショーでガウス加速器を演示するのにあたり、大切な要素は2点ある。一つ目は、サイエンスショー自体を締めくくる実験であり、「終わりよければすべてよし」ということわざがあるように、失敗が許されないことである。二つ目は、ガウス加速器の演示と解説が長く単調になり、見学者に飽きられないようにすることである。この2点に注意して次のように演示を行った。

始めに、ケーブル保護用プラスチックカバーのモールを直線のみをのルールとして使用して、鉄球4個のみを使った衝突の実験をみせる。入射球の速度を遅くして、静止しているルール上の鉄球3個に衝突させると、射出球は、入射球の速度とほぼ同じ速度で弾き出される。次に入射球の鉄球1個と、鉄球2個と球状のネオジウム磁石1個をくっつけたものを1セットとした実験を行う。すると見学者から予想以上に速い射出球の速度に対して歓声が上がります。

続いて、ループになっているルールを使用して、入射球の鉄球1個と、鉄球2個と球状のネオジウム磁石1個をくっつけたものを1セットとした実験を行う。この時点では、射出球はループを一回転しないが、鉄球2個と球状のネオジウム磁石1個をくっつけたものを3セットとして実験すると射出球はループを一回転する。

既に述べたが、ガウス加速器の興味を引く要素は、衝突前と衝突後では運動量保存の法則とエネルギー保存の法則が成り立っているのかどうかにあるが、この原理を説明するのは20分という限定された時間内では難しく、子どもが多く観覧している中で見学者が理解する上でも混乱する可能性があると考えた。そのため、鉄球2個と球状のネオジウム磁石1個をくっつけたもの1セットだけ使用するよりも、2～3セットの方が射出球の速度が速くなりループを一回転させることができるという説明だけを行った。実験の最後は、この仕組みの発展形では物理学の実験や医療機器などへの使用がなされていると説明してこの実験を終えた。

### おわりに

ガウス加速器の紹介では、運動量保存の法則やエネルギー保存の法則の説明を行わずに実演するには、遊びを重視することが望ましいと考え、磁石で遊ぼう！というタイトルにし、電気と磁気のふしぎな世界というサブタイトルを入れた。

当館には「マグネカタパルト」という常設展示物がある。この展示物は、永久磁石ではなく、電磁石により鉄

球を加速させているため、コイルに流す電気の量で鉄球の飛ぶ距離を調整できる。反省点としては、このマグネカタパルトを取り入れなかったことである。

家族連れや小中学生が多く見学する当館のサイエンスショーでは、やはりガウス加速器の原理の説明を行わなくて正解であった。原理に関しては、高校物理の「仕事と力学的エネルギー」や、「物体の運動」の「運動量と力積」の応用として適した教材になるのではないかと思う。

球状のネオジウム磁石は、鉄球と接する点は常に同じである。そのため、実演を複数回行うと消耗してしまい上手く実験できなくなるので、定期的な交換が必要である。

本サイエンスショーでガウス加速器の紹介を行って来て、体験はさせずに演示するための実験器具としてなら、取り入れることができたので、今後、当館のイベントや出張講座などでも活用していきたいと考えている。

### 引用文献

愛知エースネット：ガウス加速器をつくろう。愛知県総合教育センター。

<http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koutou/buturi/bu12/gauss/gauss.html>, (参照2010-12-19)

David Kagan(2004): "Energy and Momentum in the Gauss Accelerator", The PHYSICSTEACHER, Vol.42, No.1, pp.24-26. <http://phys.csuchico.edu/kagan/profdev/GaussAccelerator.pdf>, (accessed 2010-12-19)

久松洋二(2000): エレキギターの実験報告。愛媛県総合科学博物館研究報告, 5. 愛媛県総合科学博物館, 81-88.

杉山剛英(2006): ガウス加速器と位置エネルギー—最大値が0のエネルギーとは—。わかる!なるほど理科実験。裳華房, pp.61-66.

右近修治(2006): ガウス加速器に物理法則のメスを入れる。理科教室4月号, 星の環会, pp.17-21.