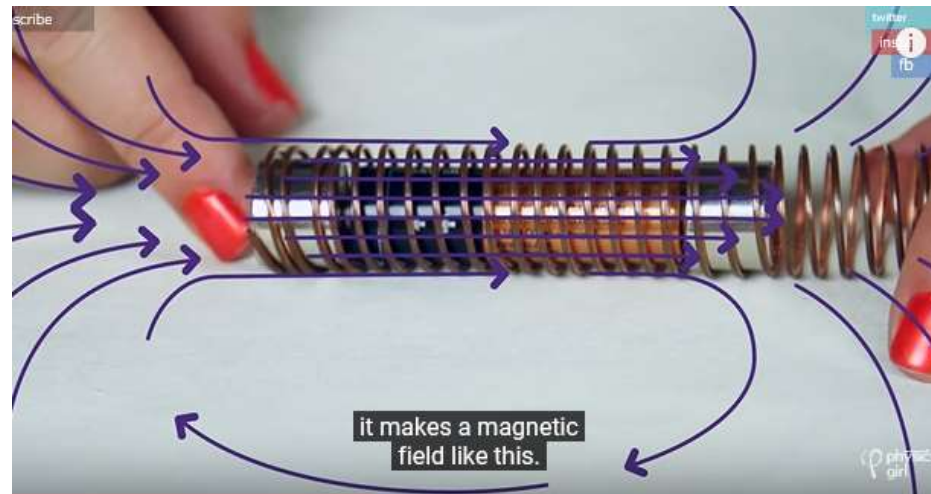


# Simple Electric Train

電池の両端にネオジム磁石を磁気吸着させた“簡単な電車”

## 作り方と走る原理の説明



2018/10/8 Rev.2020/4/27

東京タワー・キッズ環境科学博士

日本ボンド磁性材料協会 磁石すきすきチーム 広瀬洋一

## ネオジム磁石の取扱注意事項

“簡単な電車”は電池の両端に強力なネオジム磁石を磁気吸着させてます。下記に十分留意して取扱い願います。

(1) 下記に示す精密・電子機器、磁気記録媒体等に近づけると悪影響を及ぼす可能性があります。

パソコン、携帯電話、テレビ、人口心臓、腕時計、キャッシュカード、他

(2) ネオジム磁石は極めて磁気吸着力が強く、離れた位置から離すと、互いに吸引し合って、**指を挟み血豆を造ってしまう危険性があります**。また、ネオジム磁石は脆く衝撃で割れる可能性があります。

(3) **飲み込むと極めて危険です。**

特に、タイミングをずらして2個以上飲み込むと、胃腸の壁を隔てて2個の磁石が吸引し合い、排出されずに胃腸壁に穴が開く危険性さえあります。

そのため、**必ず小さなお子様の手の届かない所に保管願います。**

## “簡単な電車”の取扱注意事項

---

“簡単な電車”はコイルに通常の電池の使用時より大きな電流が流れます。

そのため、コイルの中で詰まって停止した状態で、そのまま放置すると、電池やその周囲のコイルの温度が上昇します。**火傷や電池の破損、液漏れの原因になります。**

また、そのままの状態では、ドライバー等の鉄製の工具に磁気吸着して、短絡状態になり同様な問題を引き起こす危険性があります。

**必ずコイルから外した状態で、かつ少なくとも片側は電池から磁石を引き離れた状態で保管願います。**

# “簡単な電車”の製作に必要なもの

(以下では主に**単4**の電池を用いた例について説明)



Dry Cell

Copper wire

Strong Magnets

アルカリ乾電池  
(**単3**、**単4**、**単5**)

裸銅線

ネオジム磁石  
( $\phi 13\text{mm} \times t 2.5\text{mm}$ )

いずれも100円ショップで入手可能  
(但し、銅線は10m  $\Rightarrow$  5m)

## 丸棒

- 裸銅線を巻き付けてコイルを作製するために用いる丸棒。
- 単4電池と $\phi 13\text{mm}$ ネオジム磁石を組み合わせる場合、 $\phi 15\text{mm}$ が適当。

# “簡単な電車”の製作要領

---

## “簡単な電車”が走る軌道となるコイルの製作方法

- 裸銅線を用いる。注\*
- 銅線の太さ(直径)は、巻きやすさ、強さ、電気抵抗のバランスから0.9mm～1.2mmが適当  
磁石の外径より若干大き目の直径の棒に巻き付けて製作する。  
巻き方は、右ネジの方向、その反対方向どちらでも可  
(短いコイルを繋いで長くする場合には、全て同じ巻き方とすること。)
- 裸銅線を丸棒に巻き付けてコイルを作製する。  
コイルの内径(≒丸棒径)は磁石直径より大きめとする。  
単4電池(外径:10.5mm)を用いる場合は。  
ネオジム磁石径は100均で売っているφ13mmとして、  
棒径は入手しやすいφ15mmが適当。

注:絶縁被覆を施したエナメル線では、電池から磁石を通じてコイルに電気が流れない。



## 簡単な電車の製作方法(銅線の巻き方)



裸銅線の先端をφ15mmの丸棒の先端の切込に差し込み巻き付ける。なるべく強めに密着状態でかつ重ならないように巻き付ける。

外した後に、2~3倍に引き伸ばして使用。引き伸ばすほど、走る様子が見やすくなるが、“簡単な電車”の走行速度は遅くなる。



## “簡単な電車”の製作要領

---

電池の両端に、電池の直径より大きめの径のディスク状ネオジム磁石を磁気吸着させる。

磁石の向きは同じ極（**N** or **S**）がともに外側を向くようにする。

磁石の厚さ：5～10 mm（薄目の磁石を重ねても可）

（注：磁石は包装されている表側が**N極**）

磁石はフェライト磁石ではなくて、ネオジム磁石とする。

その中でもより高性能の磁石ほど速く走る。

フェライト磁石は絶縁体で電気が流れない。また磁力も弱すぎる。

## 簡単な電車の組み立て方法



- プラスチックワッシャー: 電池のプラス極の凸部を平らにするため
- 小径磁石: φ13mmの磁石が中心から外れにくくするため
- ゴムクッション: 磁石同士が離れた位置から引き合い飛んでぶつかり合うときの衝撃を和らげるため
- Φ13mm(厚さ2.5mm)の磁石は片側に2個重ねた例を示したが、3個重ねた方が良く走る。
- ・ **N極**が外側向きの場合を示したが、**S極**が外側でもOK。  
ただし、複数組準備する場合は全て同じにした方が無難。

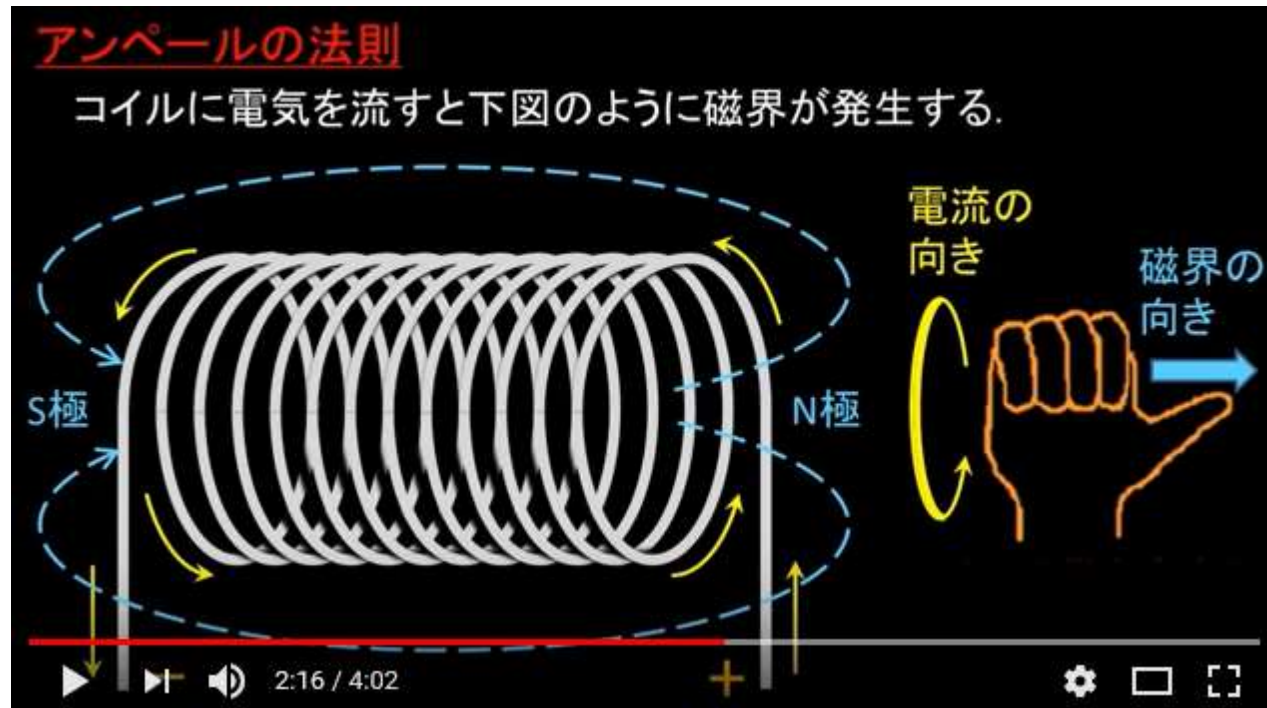


## 電池へのネオジム磁石の取付方法



同じ極がともに外側を向くように取り付ける。

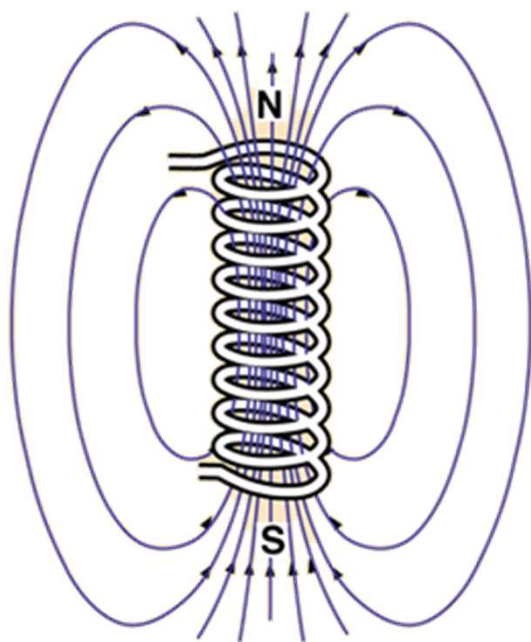
# 電磁石の磁界の向き



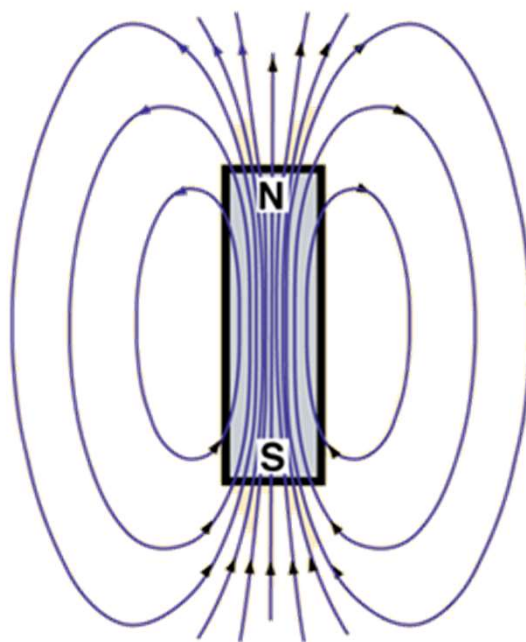
「右手の法則(右ねじの法則)」

# 電磁石と磁石の比較

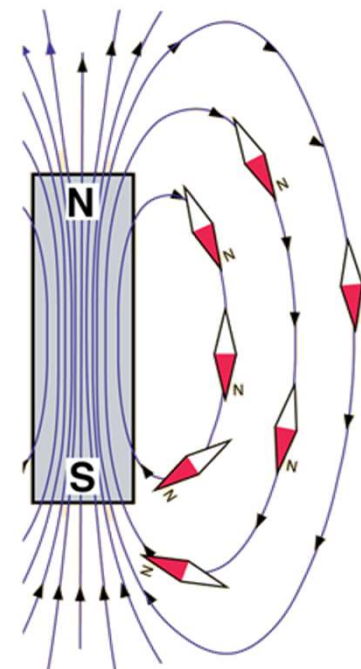
電磁石



磁石

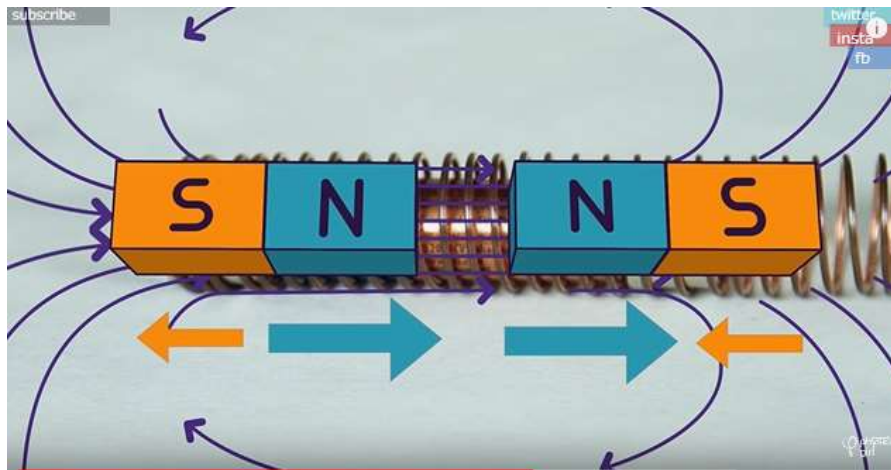
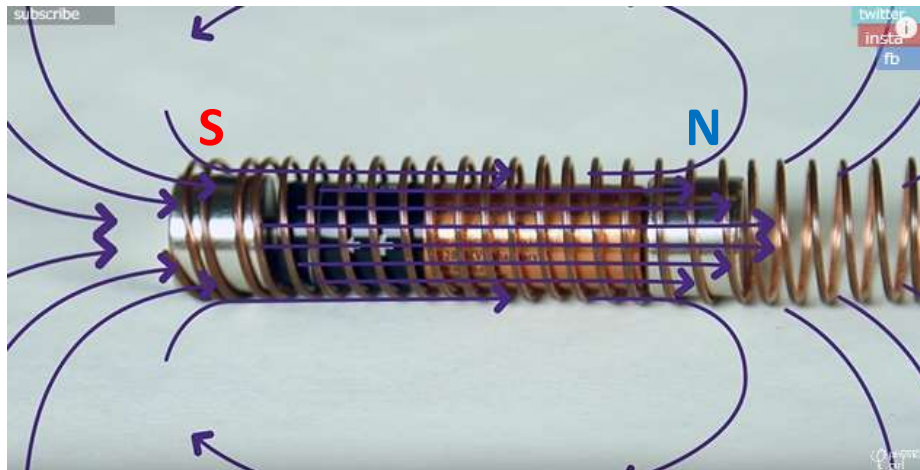


磁石の周囲の  
磁力線

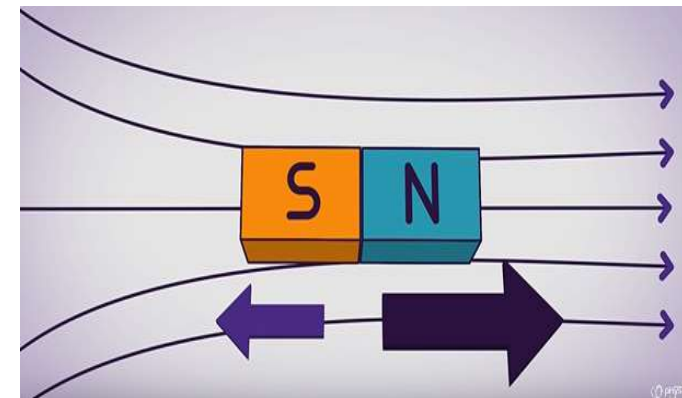


電磁石と磁石の周囲の磁力線の発生状況は同じ

# “簡単な電車”が走る原理

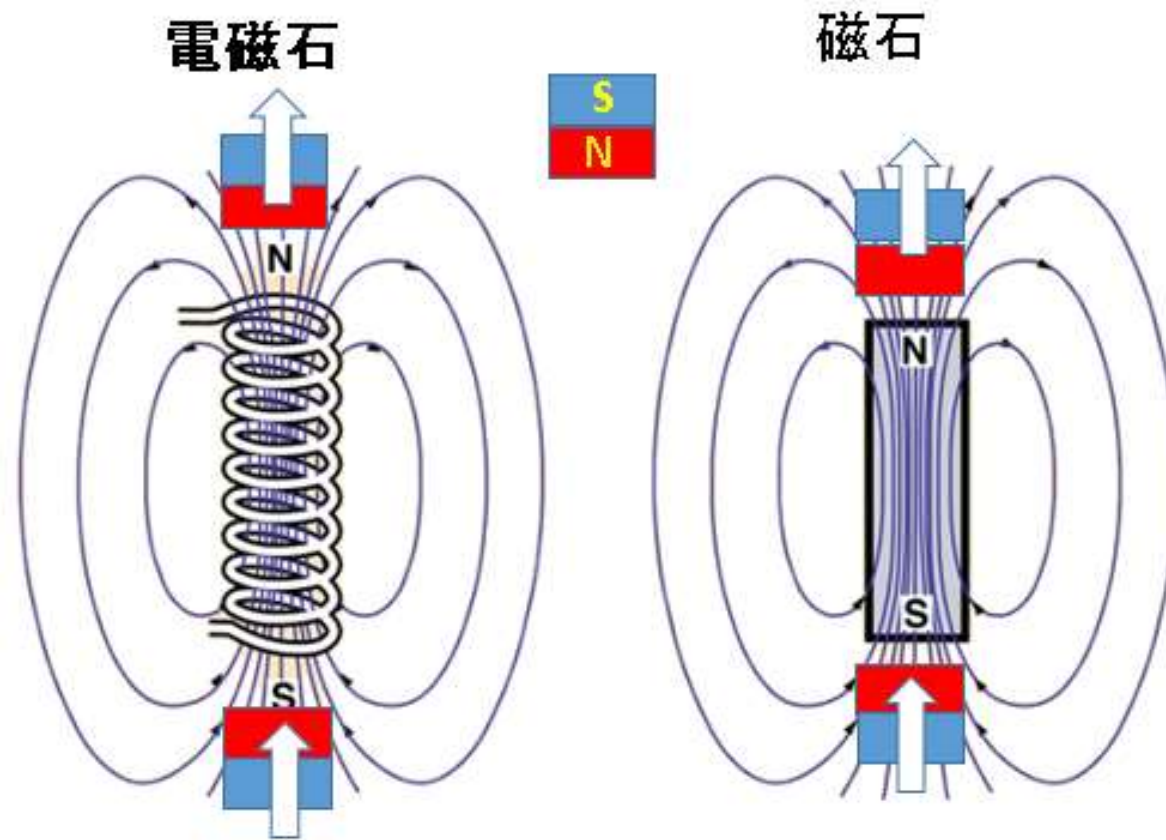


電池に吸着させた磁石からコイルに電気が流れ“簡単な電車”の周囲が電磁石になる。その電磁石の進行方向先頭側の磁極とネオジム磁石の間には反発力が、一方後側の電磁石の磁極と磁石間には吸引力が働き、“簡単な電車”が走る。



磁力線が広がり(or 絞り込み)がある位置では磁石に力が働く。  
均一な磁界では磁石には推進力は働かない

# 電磁石（コイルの磁界）が磁石に作用する力



周囲の磁力線の発生状況は同じ



## 参考動画

<https://www.youtube.com/watch?v=J9b0J29OzAU&t=14s>

World's Simplest Electric Train

AmazingScience 君 • 公開2014/08/26 • 44,730,001 回視聴  
“簡単な電車”を考案した同氏の最初の動画



<https://www.youtube.com/watch?v=Y1MDOerruDU&t=32s>

World's Simplest Electric Train 【Ver.2】

AmazingScience 君 • 公開2015/03/01 • 7,188,277 回視聴  
コイルの内側だけでなく2本のコイルの上側も走行させる例



<https://www.youtube.com/watch?v=9k7zywli4Vg&t=96s>

World's Easiest DIY Electric Train

Physics Girl • 2016/06/07 に公開 • 視聴回数 569,133 回  
MIT出身のPhysics Girl女史の作成動画。走行原理について詳細な説明。



[https://www.youtube.com/watch?v=EeT\\_rZmd894&t=9s](https://www.youtube.com/watch?v=EeT_rZmd894&t=9s)

Simple Electric Train. All Mono-Rail Version.

Yoichi Hirose • 2016/06/02 に公開 • 視聴回数 3,521 回  
モノレール上を走らせる例

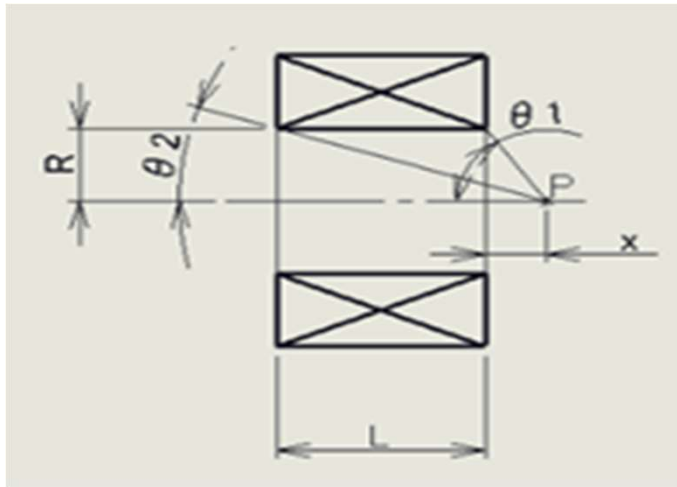


視聴回数の確認年月日:2020/4/27



## 補足：有限長さコイルの中心軸に沿った磁界の強さ

### コイルの概略図



[http://jpuni.co.jp/coil/coil\\_design.html](http://jpuni.co.jp/coil/coil_design.html)

日本ユニバーサル電気株式会社

コイルの設計

2. 設計の仕方 ソレノイドコイル

### 点Pの磁界の強さの計算式

(1) 点Pの磁界の強さ

$$H = n l / 2 \times (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \quad [A/m]$$

n : 単位長さ当りの巻数

l : 電流値

(2) 点Pの磁束密度

$$B = \mu_0 \times H \quad [T]$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.2566 \times 10^{-6} \quad [T / (A \cdot m)]$$

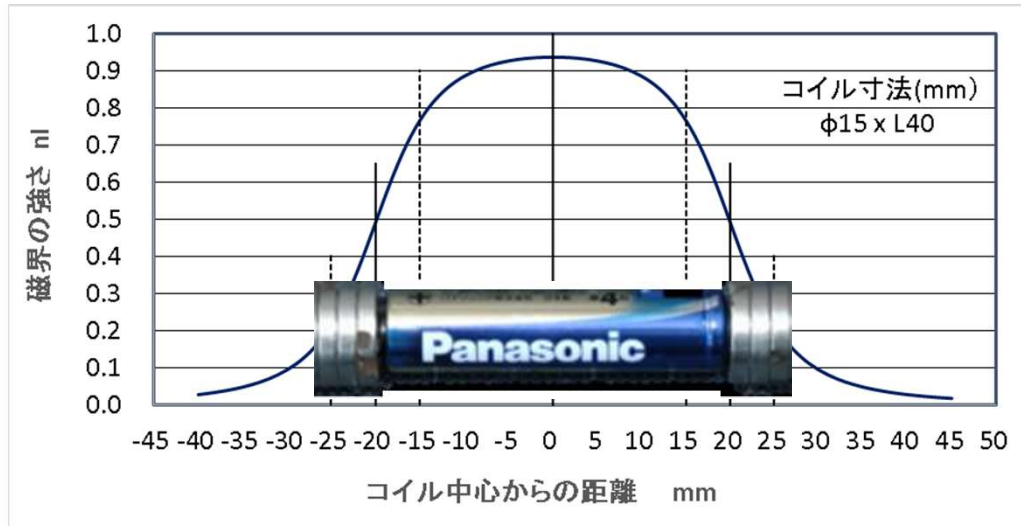
$$1[mT] = 10[Gauss]$$

(3) 単位長さ当りの巻数

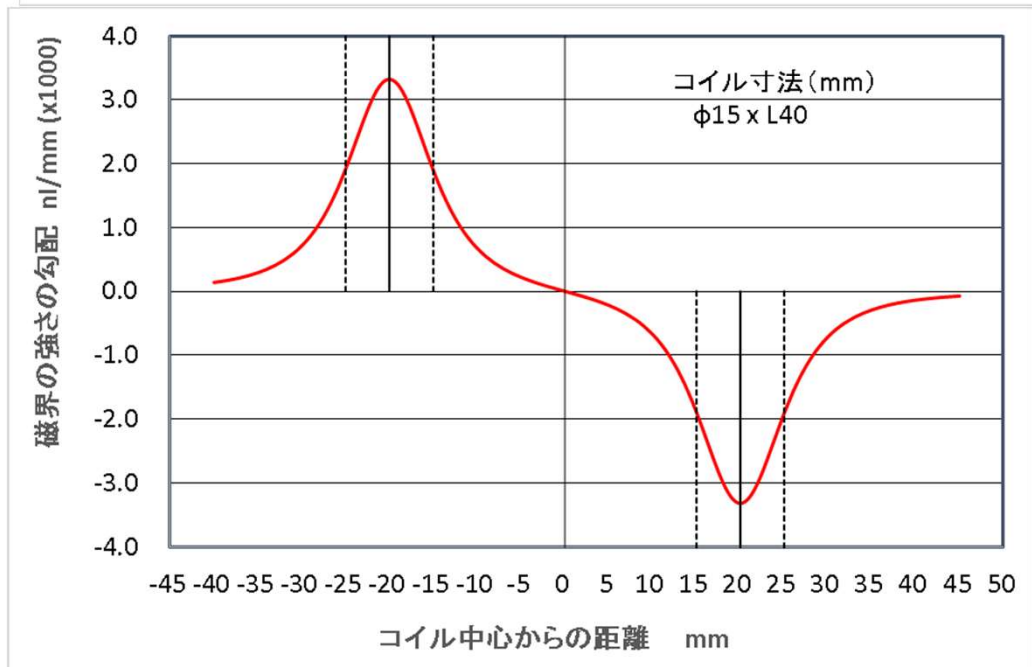
$$n = N/L \quad [回/m]$$

N : コイルの巻数 [T]

L : コイルの長さ [m]



← 単4型電池長さコイルの中心軸に沿った磁界Hの強さ分布



← 磁界Hの勾配( $dH/dx$ )の分布

コイルの両端部から約10mmの範囲内で磁界Hの勾配 $dH/dx$ が大きいことが分かる。

両端に磁気吸着させるディスク状磁石の長さは10mm程度以下が適している。

それ以上では、推進力は増えず、重さが増し、摩擦力が増すため、“簡単な電車”の速度は落ちる。

## 参考 銅線コイルの巻き方（その2）



電動ドリルを用いると短時間で綺麗なコイルの製作が可能。



単3電池を用いた“簡単な電車”用のコイル、長さ約1m  
直径19mmのパイプに巻き付けて作製  
使用銅線  $\phi 0.9\text{mm}$ 、約70m、400g  
コイル巻所要時間は約1分