

# ファラデーの単極誘導モーターに生じる力の解析

Φ (nsw495kpr8)

2013年8月13日

## 1 概要

ファラデーの単極誘導とは、イングランド人の化学者・物理学者であるマイケル・ファラデーが1821年に単極誘導モーターを考案し、1832年に単極誘導発電機を製作したことで、発見した現象をいう。<sup>\*1</sup>

単極誘導は、ローレンツ力によって矛盾なく説明できるとされているが、こんにちでも単極誘導には議論がある。単極誘導モーターに生じる力は、「磁力線かつ電流の方向に直交する成分」を持っている。

本論文では、以下に示すいくつかの単極誘導モーターを使うことで、生じる力の分布を求める。実験から得られる分布データを比較検討することにより、単極誘導現象の性質の一端を明かにする。

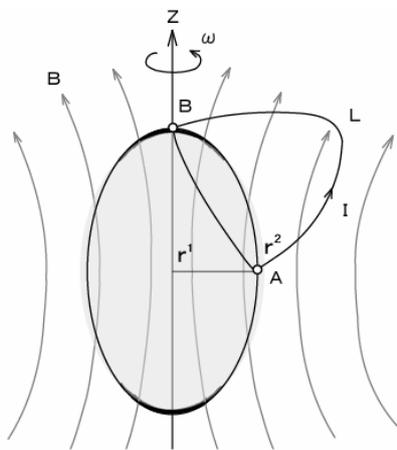
## 2 単極誘導の理論

単極誘導の起電力 $V$ は

$$V = - \frac{\partial B}{\partial t} dS + \oint (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{L} \dots\dots \text{式1}$$

で表現できるとされている。<sup>\*2</sup> (解説は文献2及び文献3を参照)

単極誘導発電機、並びに単極誘導モーターの概念を図1に示す。<sup>\*3</sup> ただし、図1は文献3を参考に筆者が加筆修正した。



軸対称の磁場の中で、軸対称の導体が共通の対称軸のまわりに角速度 $\omega$ で回転するときA-B間に電位が現れ回路L-A-Bに電流Iが流れる。また、回路L-A-Bに電流Iを流すと、導体は角速度 $\omega$ で回転する。

図1 単極誘導発電と単極誘導モーターの概念図

<sup>\*1</sup> ファラデーの単極誘導発電機と単極誘導モーター

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%99%BA%E9%9B%BB%E6%A9%9F>, wikipedia

<sup>\*2</sup> 単極誘導の起電力

<http://www.7b.biglobe.ne.jp/~kochan/workshop/labortry/el9410d.htm>, 電腦実験室

<sup>\*3</sup> パリティ編集委員会著, 続 間違いだらけの物理概念, パリティブックス, 丸善株式会社, 1995年

単極誘導モーターは、図 1 の回路L-A-Bの(L)の位置に電源を置き電流 I を流せば、Z軸を対称軸として導体が角速度  $\omega$  で回転する。単極誘導モーターの実験を行えば理解できるが、投入する電力のほとんどは発熱と放電により消費され、生じる回転トルクはわずかである。(実験 1 参照)

## 2 実験

### 2. 1 実験 1 リング状ネオジム磁石によるファラデーの単極誘導モーターの観察

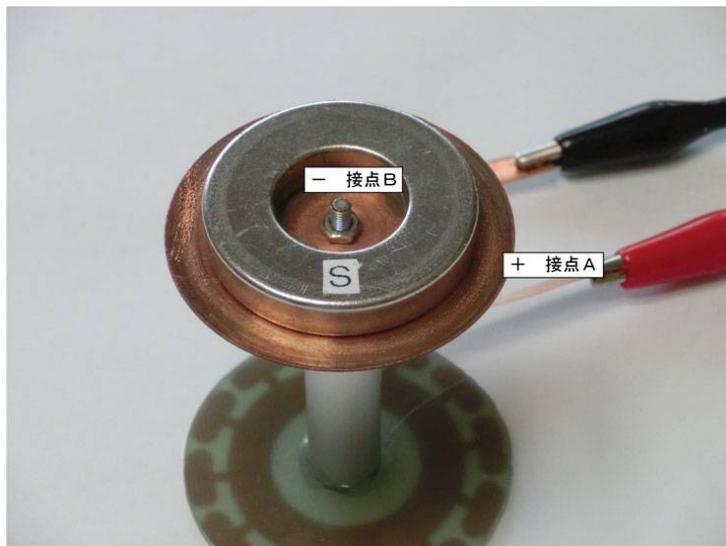


写真1 実験1の装置

理論に基づき、図 1 に示す単極誘導モーターを製作し回転することを確認する。

リング状のネオジム磁石(外径 39 ミリ、内径 19 ミリ、厚さ 7 ミリ、高さ方向に磁化、表面磁束密度 475mT) 2 枚で厚さ1ミリの銅円板をはさんだもの。銅円板の中心をベアリングで支えて自由に回転する。上面をS極、下面をN極とし、回転軸(接点B)をマイナス・外縁(接点A)をプラスの直流電源に接続した。接点であるブラシは厚さ 0.1 ミリの銅板を短冊状に切って用いた。電源はDC5.0V、電流は最大 30Aとした。

実験の結果、ネオジム磁石にはさまれた銅円板は時計方向( $-\omega$ )に回転した。図1と比較して条件が異なるのは、ネオジム磁石の極性が上下面逆であり、回転方向も逆方向であった。

以下、実験に使用する電源は(株)インステックジャパン社 PSW30-72 である。

### 2. 2 実験 2 ネオジム磁石の近傍で銅円板が回転するタイプの単極誘導モーター

実験 1 は、ネオジム磁石の一部分を回路L-A-Bの内部に含み、回路をつらぬく磁束密度Bは大きかった。実験 2 では、図 2 のように回路L-A-Bをネオジム磁石の外側(最大磁束密度の外部)に設ける実験であり、実験 1 を変形したタイプである。

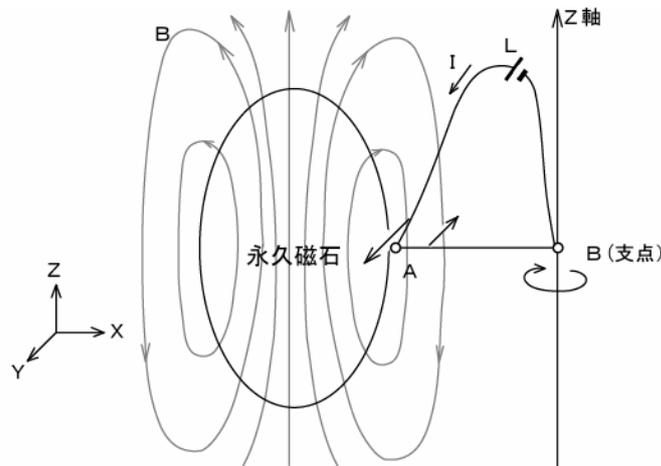


図1の導体を磁石とすると図のような磁力線を描く。磁石の近傍の回路L-A-Bに電流Iを流すことで、回路の一部A-BのA点は、-Y方向に、A-LのA点はY方向の力を受ける。つまり、A-Bは、点Bを支点にすればZ軸を中心に角速度 $-\omega$ で回転する

図2 変形した単極誘導モーター

図1の導体を永久磁石に置き換え、Z軸を点Bに置く。回路をつらぬく磁力線の向きは図1と逆方向になる。

回路の一部A-Bの(点B)の位置を固定し自由に回転する支点とし、接点Aで生じる力をトルクとして受ける。すなわち、回路の一部A-Bを銅円板の一部とすることで、磁石の外部に置いた銅円板は、回路L-A-Bをつらぬく磁力密度に応じた角速度 $-\omega$ で回転するだろう。

銅円板の回転軸B(接点B)を直流電源のマイナスに、銅円板の外縁を接点Aとしプラス極に接続した。(写真2) 磁石と電源の仕様は実験1と同じである。電圧はDC 5.0V、電流は最大30Aとした。

実験の結果、回路L-A-Bをつらぬく磁力線は実験1より弱いですが、かろうじて銅円板は反時計方向(+ $\omega$ )に回転した。ただし、実験2と図2が異なるのは、磁石の極性が上下逆であり、回転方向も逆方向であった。

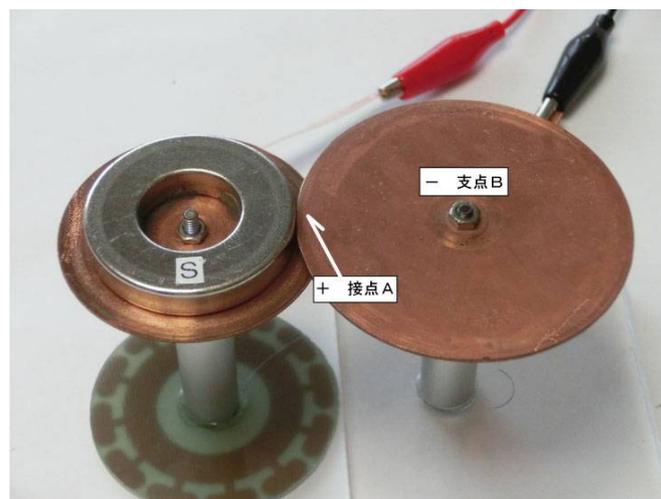


写真2 実験2の装置

左側の銅円板と右側の銅円板は、隙間を設けてあり接触していない。互いに自由に回転できる。

なお、実験の内容は省略するが、別途、図 2 と同じタイプで「単極誘導の起電力」を測定する実験を行った。つまり、電動モーターの回転軸に取り付けた銅円板の近傍にネオジム磁石を置いて、回転軸と「ネオジム磁石に近い銅円板の外縁部」との間に検流計を当てたところ、誘導起電力が生じていることを確認した。回転軸B(接点B)で銅円板を回転させる際に、ネオジム磁石を近づけると反トルクが生じて電動モーターの回転数が低下した。従って実験 2 の単極誘導モーターの銅円板にも、式 1 の第 1 項に対応する作用が反トルクとして生じていると考えられる。

### 2. 3 実験 3 ネオジム磁石の近傍にある接点 A に生じる力によって、回路の一部 A-B であるスズメッキ線が弾かれる実験

図 2 の回路 L-A-B の一部 A-B を銅円板から、スズメッキ線(直径 0.32 ミリ長さ約 7 センチ)に変更し、接点 A として実験 1 で用いた銅円板の外縁部に接触させる実験である。(写真 3) 2 枚のネオジム磁石ではさんだ銅円板は回転しないように固定する。電源の電圧は DC5.0V、電流の設定は最大 8~10A である。

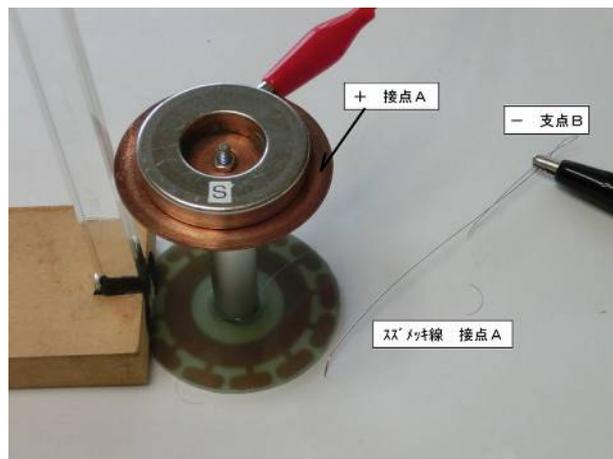


写真3 実験3の装置

回路の一部であるA-B(スズメッキ線マイナス端子側)の接点Aは画面手前側(図2の+Y方向)へ弾かれて、線の弾力により振動を続けた。

実験の結果、固定された銅円板(接点A)に触れたスズメッキ線は、磁力線と直角方向(図2の+Y)に弾かれた。スズメッキ線の弾力により元の位置に戻った後、再度銅円板の外縁部に触れると電流が流れて、再び+Y方向に弾かれる動作を繰り返した。結果、スズメッキ線はY方向に振動を続けた。

図2と異なるのは、磁極の極性は上面がS極、下面がN極の上下逆であり、回路の一部であるA-Bの接点Aが弾かれる方向が+Y方向(写真 2 の画面手前方向)であることである。

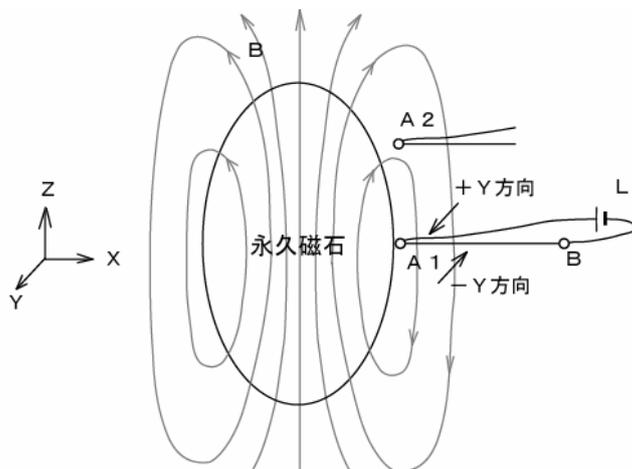
実験3の観察を通して、重要なことは、単極誘導モーターの原理で接点Aに生じる力は、スズメッキ線を+Y方向に弾く力であるとともに、実験 2 において銅円板をして支点Bを中心に回転させるトルクと同じ力であるということである。 更に、スズメッキ線が持つ弾力は、バネとおなじである(加わ

った力とスズメッキ線の曲げによる変位は比例する)から、単極誘導モーターの原理により生じる力は、スズメッキ線の振れ幅に比例するというのである。

すなわち、スズメッキ線の弾かれることによる振れ幅を計測すれば、単極誘導モーターの原理で生じる力を数値化できるということを示している。また、実験 1 のように回路が回転の中心を通る必要がないため、単極誘導モーターの原理で生じる力を磁石の位置ごと(磁極方向)に分布として数値化することができる。ただし、スズメッキ線の振動現象にも実験 2 で示した「式 1 の第 1 項に対応する作用が生じている」と考えられる。

#### 2. 4 実験 4 使用する磁石の種類をネオジム磁石から円柱状アルニコ磁石に変更した上で、回路 L-A-B をつらぬく磁力線を最小にした装置を使い、単極誘導モーターの原理により生じる力の分布を調べる

図 3 のように回路 L-A-B の(L)の位置に直流電源を設け、かつ回路 L-A-B をつらぬく磁力線を最小とする回路\*4 とし、回路の一部 A-B を実験 3 に用いたスズメッキ線とする。図 3 の場合において、磁石近傍に配置したスズメッキ線の接点 A は、実験 3 と同様に力を生じるだろうか。もし、力が生じるならば接点 A の位置を磁極方向(Z 軸方向)に移動して、A1 や A2 の位置で測定することで、生じる力の分布図を作成できる。



回路 L-A-B をつらぬく磁力線を最小にした単極誘導モーターは接点 A に単極誘導による力が生じるだろうか。力が生じるならば、接点 A を磁極方向に位置を変えることで、生じる力の分布を調べられる

図 3 (図 2) の回路 L-A-B を変形した単極誘導モーター

図 3 の通りに実験装置を製作してもスズメッキ線の弾かれる方向が +Y 方向では、変位量の計測に不向きなので、図 4 のように X 軸を中心に 90 度回転した形で、写真 4 の装置を製作した。

\*4 式 1 の第 2 項、線積分値を小さくする工夫をいう。

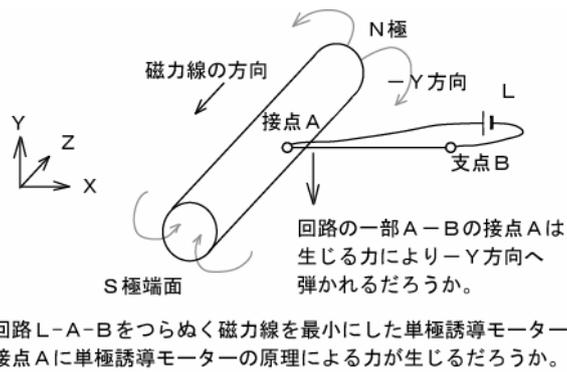


図4 実験4の磁石と接点

アルニコ磁石を横にして乗せる台を製作し、台の上をZ軸方向にスライドさせる。回路の一部A-Bを構成するスズメッキ線は、支点Bを中心に下方向(-Y)へ弾かれることになる。弾かれたスズメッキ線は弾力により接点Aへ復帰し、回路L-A-Bを構成し電流が流れて、再び弾かれることで振動を継続するはずである。

なお、実験3から実験4へ変形する際に、使用する磁石をネオジウム磁石からアルニコ磁石へ変更した理由は考察にて述べる。

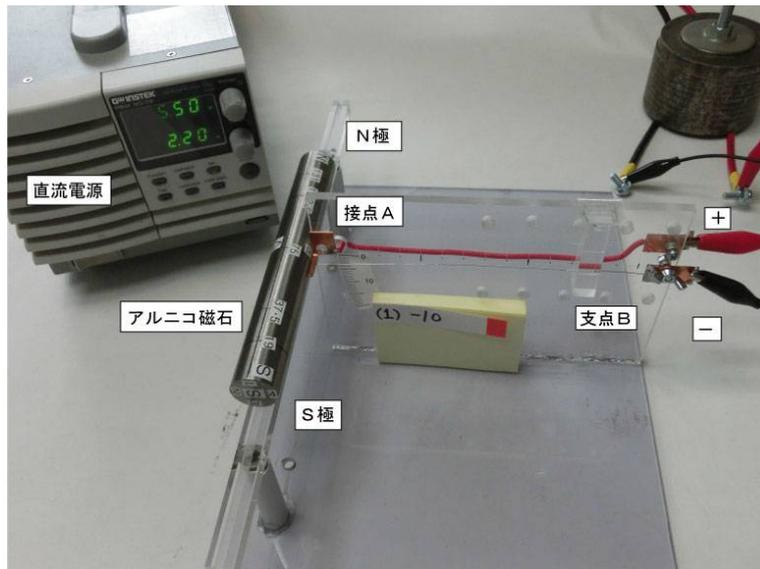


写真4 実験4の装置全体

写真4の中央、太い導線(赤い導線)は、直流電源のプラスから回路の一部L-Aとして接点Aへ配線する。回路の一部L-Aの(Aの部品)は1ミリ厚銅板をL字型に曲げ加工したものである(写真5及び6を参照)。

回路の一部A-Bの(B)は直流電源のマイナスへ接続する。回路の一部A-Bは、直径0.32ミリのスズメッキ線・長さ12センチを支点(B)により支える。(支点はアクリルブロックで製作、アクリルブロックをX軸方向にスライドさせることでスズメッキ線の長さを変えることができる。)接点Aで生じる力によりスズメッキ線は写真5の下方向(-Y)へ弾かれ、スズメッキ線の弾力により接点Aへ復帰

する。

以下、弾かれて復帰を繰り返すことで、スズメッキ線は振動を続けることになる。－Y方向へ弾かれたスズメッキ線は、弾力により復元する。スズメッキ線のY方向の変位は加えられた力に比例するから、弾かれたことによる変位を背後に設けた目盛りで読みとれば、単極誘導モーターとして接点Aで生じた力の強さを数値で表せる。

一方、写真 4 の左にある円柱状アルニコ磁石はアクリルの台上を画面手前から奥に向かって(Z軸方向に)スライドできる。接点Aで生じる力をアルニコ磁石の磁極からの位置ごとに数値化すれば、磁石の各位置での単極誘導モーターが生じる力をグラフ化できる。(実験に用いるアルニコ磁石に座標を設けた。座標の取り方はグラフ1右を参照)

実験 4 に用いる装置の回路の一部A－Bに用いる導線の振動は、材質・線の直径・長さ・接点の形状・接触圧に影響を受けることから、単極誘導の原理により生じた力を振れ幅の読み値として数値化しても単位はなく、絶対値に意味はないが、測定条件が実験をとおして一定であれば読みとった各々の数値間では、生じた力の分布として意味をなす。

なお、接点A(アルニコ磁石表面とスズメッキ線)の隙間は凡そ 0.5 ミリである。

振れ幅を読みとる作業は、接点Aと支点(B)の安定に注意を払いつつ、座標(1)－10、(1)0、(1)19、(1)37、(1)75、(1)112、(1)137、(1)150、(1)160、(2)－10、・・・(4)160の36カ所(4×9カ所)をビデオ装置にて微速度撮影した。

本測定するにあたり、接点Aが焼き付かず、振動が10秒程度持続する組み合わせを各種(導線の材質・直径・長さ・最高電圧・最大電流の各組み合わせ)試験した上で決定した。接点Aの状態について、実験4全体を通してほぼ同じ状態に保つことはかなり工夫が必要であった。

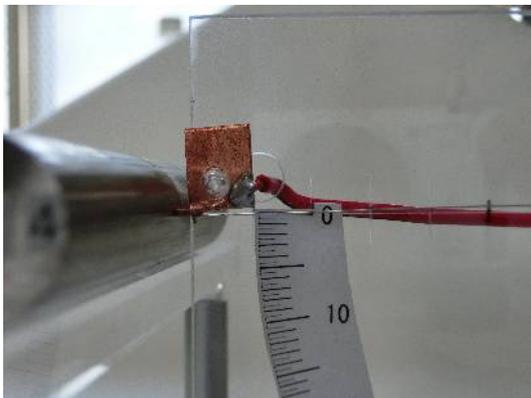


写真5 接点Aの部分

ビデオ装置から見たスズメッキ線と目盛り

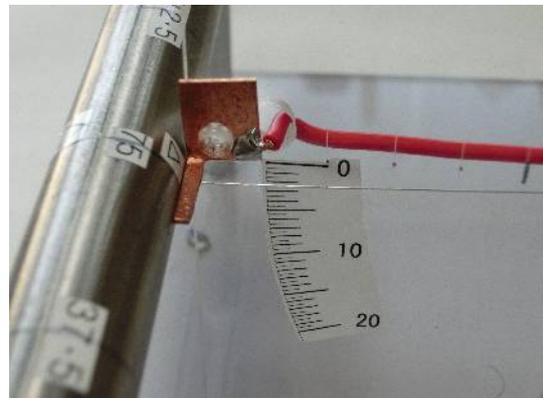


写真6 接点Aの部分

回路をつらぬく磁力線を最小にすべく製作したが、厚さ 5 ミリのアクリル板の背後を配線しているため、プラス側の配線(太い導線)とスズメッキ線は約 1 センチの間隔がある。写真 6 では、接点Aの位置にアルニコ磁石の△印(磁束密度 $B=0$  付近)をセットしている。ちなみに磁束密度ゼロである△印の位置は、必ずしも磁石中央であるS極端面から 75 ミリの位置になく、1～2 ミリずれることがある。アルニコ磁石の表面磁束密度の測定結果を表 1 に示す。

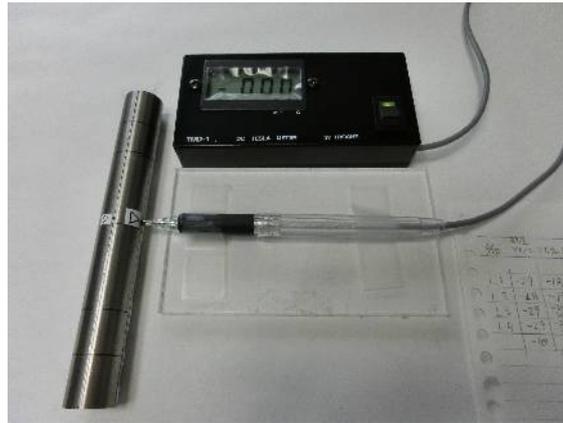


写真7 テスラメーターによるアルニコ磁石の測定

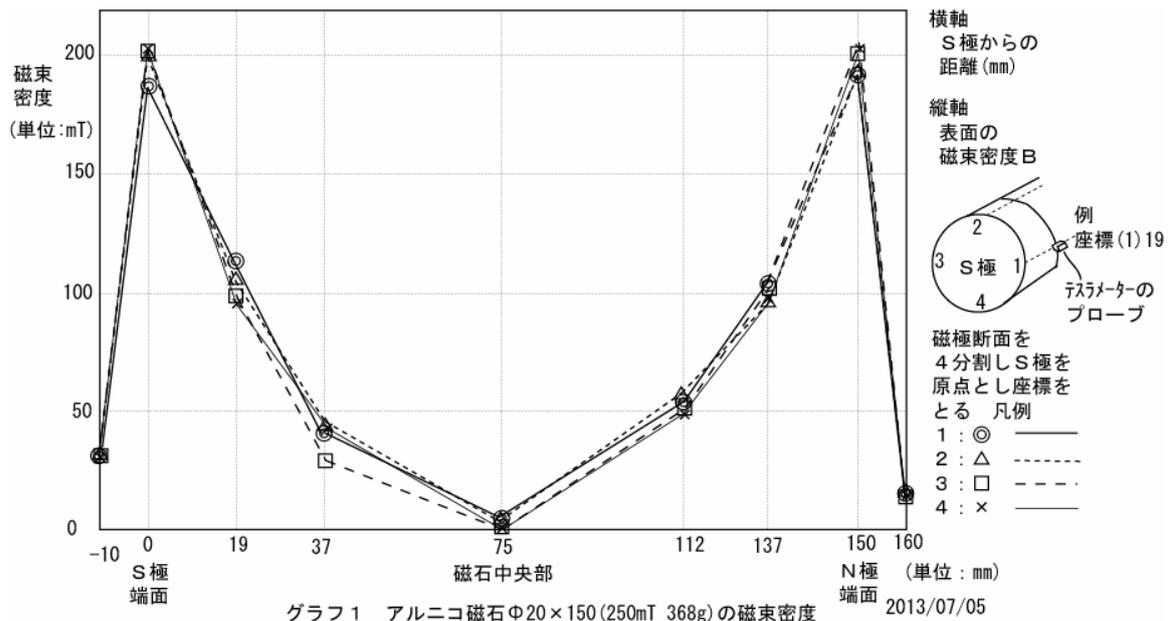
円柱状アルニコ磁石(Φ20×150ミリ磁極端面での表面磁束密度250mT重量368g)の各座標での表面磁束密度を測定。使用したテスラメーターは TROCHE 製 TMD-1

アルニコ磁石Φ20×150ミリの表面磁束密度(カタログ値:端面で250mT)

表1	S極端面		中央部				N極端面		
S極からの距離(mm)	-10	0	19	37	75	112	137	150	160
(1)	-29	-181	-120	-40	-8	55	106	180	22
(2)	-28	-199	-110	-44	-5	60	91	179	23
(3)	-29	*-200	-98	-29	-2	53	103	*200	23
(4)	-29	*-200	-91	-43	0	47	95	*200	23

※マイナス数値はS極を示す。また、計測に用いたテスラメーターの最大計測値は200mTであることから

\*印の欄は測定時にエラーとなった。\*印の欄は200~250mTの値であるが、ここでは仮に200mTとした



グラフ1は、表1を折れ線グラフにしたものである。S極端面を原点として端面を90度ごとに4

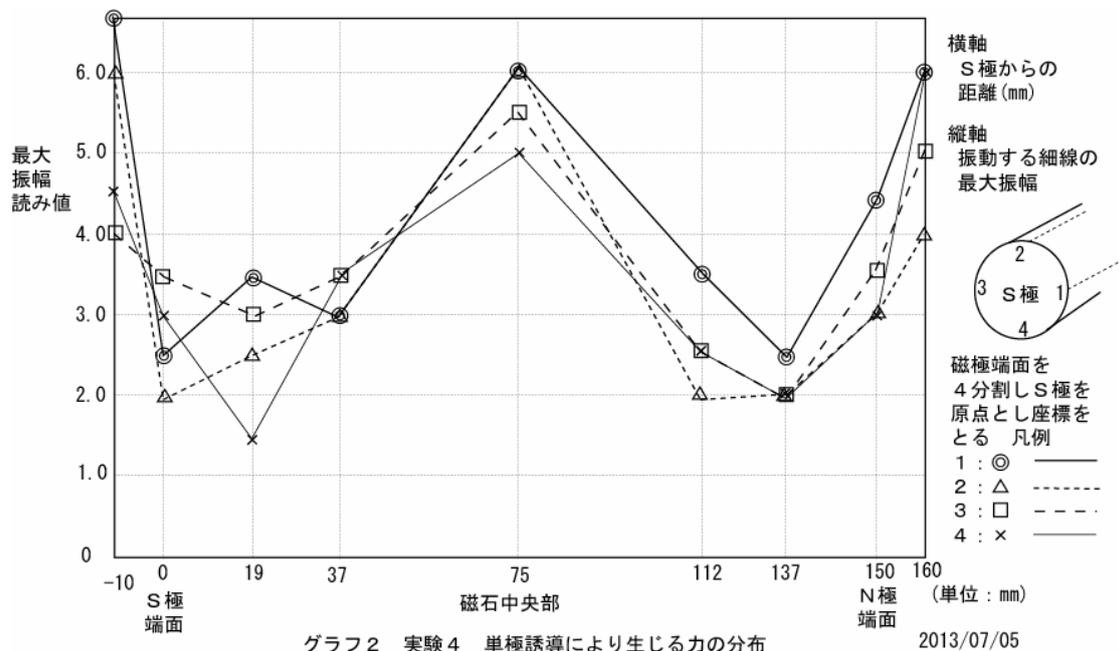
分割し(1)～(4)とする。座標(-10)ミリから0, 19, 37, 75, 112, 137, 150, 160までの9カ所×4回の表面磁束密度を計測した。磁極端面角で磁束密度が最大であった。テスラメーターの数値はS極が(-)表示になる。グラフ1はS極に関して絶対値を用いた。

実験の結果、回路L-A-Bに電流を流した際に、アルニコ磁石の中央部(磁束密度がほぼゼロの位置△印)が接点Aの近くにあるときは、スズメッキ線が弾かれて振動を起こしたが、磁石を離れた場合は、電流が流れていても接点Aでスズメッキ線が弾かれなかった。従って、磁石中央部で、単極誘導モーターの原理による力が生じていることが分かった。

次に、磁石表面に設けた座標の順に接点Aの様子を写真5の位置から微速度撮影した。後に映像を再生しながら振動の様子を観察して、最大振れ幅を読みとって表2を作成した(最大振れ幅を実験データに採用した理由については考察を参照)。

表2 単極誘導モーターの原理により生じる力のスズメッキ線の最大振れ幅

	S極端面				N極端面				
S極からの距離(mm)	-10	0	19	37	75	112	137	150	160
(1)	6.5	2.5	3.5	3.0	6.0	3.5	2.5	4.5	6.0
(2)	6.0	2.0	2.5	3.0	6.0	2.0	2.0	3.0	4.0
(3)	4.0	3.5	3.0	3.5	5.5	2.5	2.0	3.5	5.0
(4)	4.5	3.0	1.5	3.5	5.0	2.5	2.0	3.0	6.0



グラフ2は表2を折れ線グラフにしたものである。結果は、磁石端面から10ミリの位置と磁束密度が最小付近であるS極端面から75ミリ(磁石中央部)の位置に振幅のピークを持つW型のグラフになった。磁石端面から10ミリ以上離れた位置での計測は行わなかった。

## 2. 5 実験5 アルニコ磁石の中央部を支点にX軸を中心に角度を変えることで単極誘導モーターの原理によって接点Aに生じる力を観察

実験4に用いた装置のスライド台の代わりにアルニコ磁石の中央部を支点にX軸まわりに回転させる機構を設けた。アルニコ磁石を傾斜させる角度はアクリル板に設けた目盛りにて読みとる。

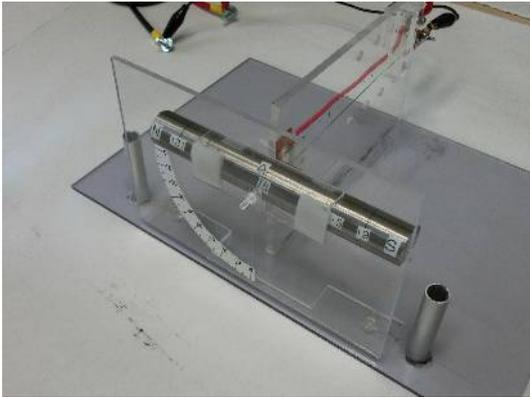


写真8 傾斜角度0度

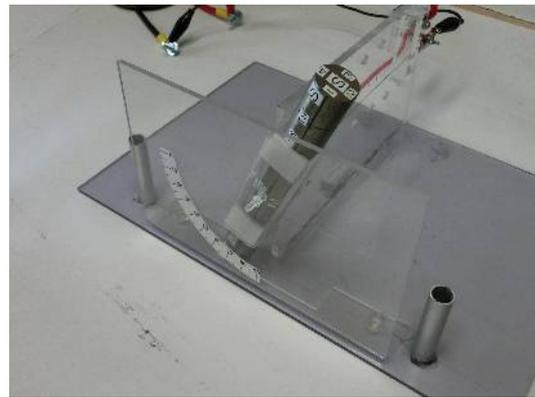


写真9 傾斜角度70度

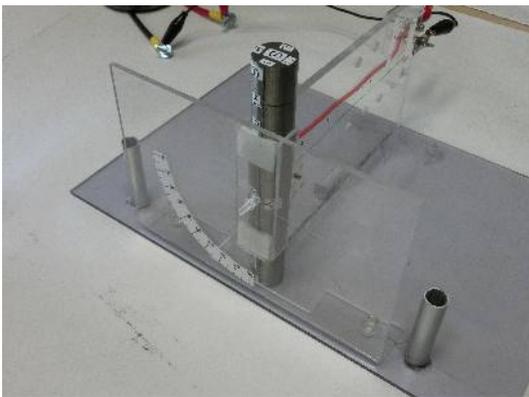


写真10 傾斜角度90度

角度を変化させながらスズメッキ線が弾かれる様子をビデオカメラにて微速度撮影して観察した結果、0～70度付近まで最大の振れ幅はあまり変化がなかった。90度にしたときにスズメッキ線は、写真4の手前-Z方向へ弾かれてプラス側端子(接点A)であるL型銅板端子の上へ乗り上げた。90度以上回転させるとスズメッキ線は接点Aで上方(+Y方向)へ弾かれるようになる。

単極誘導モーターの原理からして磁力線かつ電流の直角方向へ力が働くから、当然の結果であり、スズメッキ線が弾かれる様子は実験3と同じであった。

## 2. 6 実験6 実験4で用いた永久磁石の種類・形状・表面磁束密度・重量によってスズメッキ線が弾かれる強さを比較する

実験4と実験5で用いた永久磁石は、一般に入手可能な磁石の中で最大(大きさ・重量)のものであった。実験6では実験4で用いた装置を使って、永久磁石を区分(大きさの別:大中小)として3種類を用いて、最大振れ幅を比較する。測定するZ軸の位置は、いずれの磁石も区分に関わらず磁石の中央部付近に設けた△印(磁束密度 $B=0$ )での最大振れ幅の読みとり値とした。

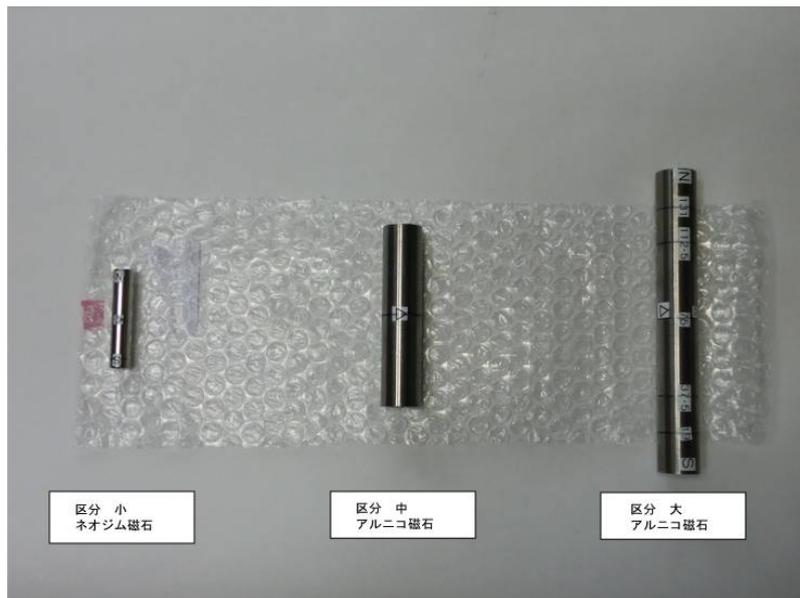
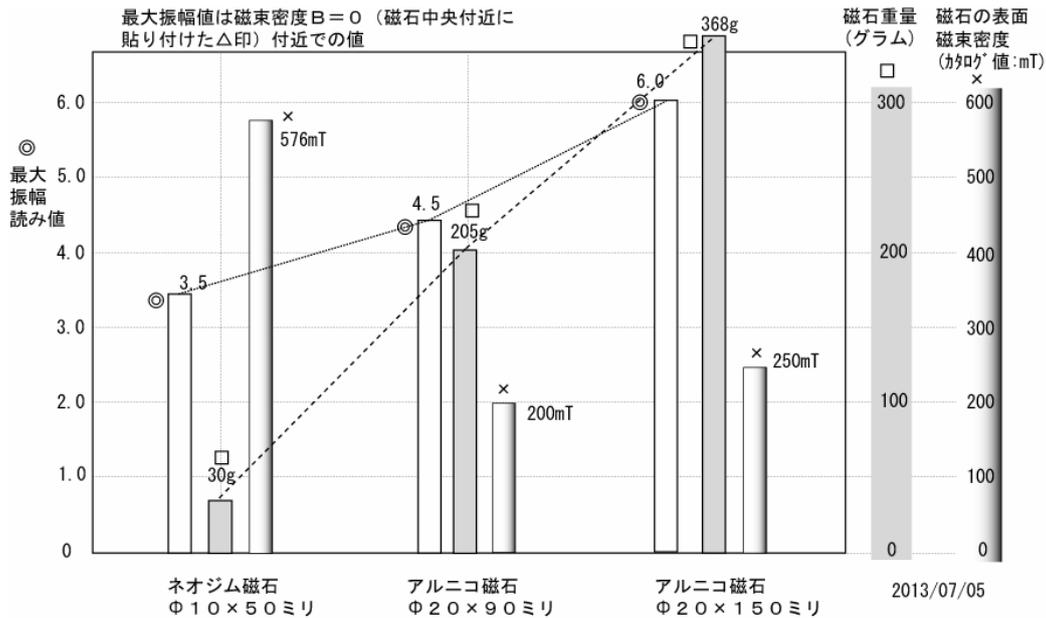


写真11 実験6に使用した磁石、左から(小・中・大)

3種類の磁石の区分(種類等の仕様)と計測した最大振れ幅の読みとり値を表3に示す。

表 3

区 分	小	中	大
磁石の種類	ネオジウム磁石	アルニコ磁石	アルニコ磁石
形状	φ 10×50 ミリ	φ 20×90 ミリ	φ 20×150 ミリ
磁極端面での 表面磁束密度(B)mT	576	200	250
重量 g	30	205	368
最大振れ幅	3.5	4.5	6.0



グラフ3 実験6 単極誘導により生じる力と (磁石の種類・磁束密度・重量)

表 3 を棒グラフにした。

実験の結果、単極誘導モーターの原理により磁石中央部にある接点Aに生じる力の大きさは、磁石の重量に比例しているように見受けられる。磁石(小:ネオジウム磁石)の磁極端面での表面磁束密度は、磁石(大:アルニコ磁石)の磁束密度の2倍強あるけれど、重量は、磁石大の方が約12倍である。いわゆる磁力の強さより重量の方が生じる力の大きさに影響を与えている。

(注:計測値は、磁石の磁束密度がゼロである磁石中央部付近の値であり、かつ回路をつらぬく磁束密度が小さくなるように工夫した上での結果である。)

## 2. 7 実験7 実験2における右側の銅円板を液体水銀に変更した単極誘導モーターを観察

(注:本実験に使用する液体水銀を個人で入手することは、ほぼ不可能である。仮に実験を行う場合は、水銀に大電流を流すことになる。大電流により水銀は気化するようである。実験の際は、部屋の換気を十分におこない、実験後は水銀の廃棄について法規・条例等に則って適正に処分されたい。)

原理及び装置の構成は、図 2 と同じである。回路をつらぬく磁束密度を小さくする工夫はしていない。また、実験2の写真2と電源の+が逆である。(写真12)

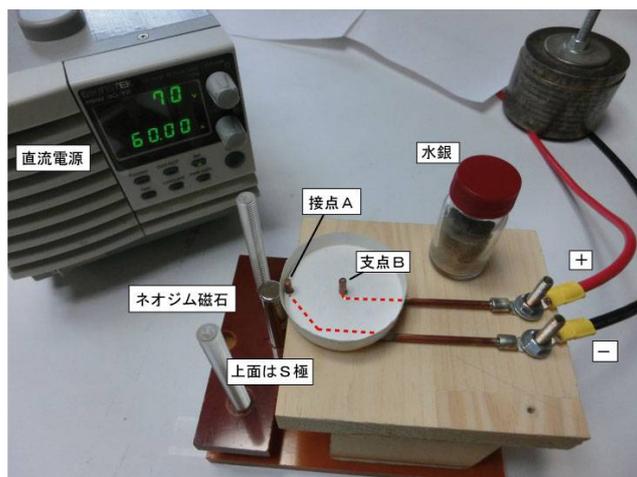


写真12 実験7装置の全体

電源のプラス端子から圧着端子を介して回路の一部(接点B:渦の中心となる)まで直径 3 ミリの銅線で配線する。磁石近傍に位置する接点Aも直径 3 ミリの銅線で配線する。いずれも底の浅い容器の下側を通す。

用いる磁石はネオジウム磁石(Φ10×50ミリ、磁極端面で表面磁束密度 576mT)であり、ベークライトの板に垂直に取り付けて、接点Aの近くを上下(図2のZ軸方向)にスライドさせる。

電源は、DC0.6V~0.7V 電流は 60A~70Aである。

#### 実験の結果

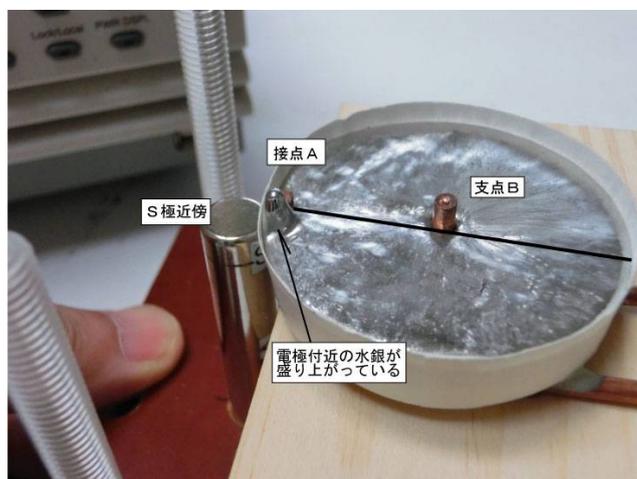


写真13 接点AをS極に近づけたときの水銀の様子 電極A(接点A)の付近の水銀が盛り上がる

直流電圧 0.7V電流 70A時では、接点AがS極近傍にあるとき、電極A(接点A)の画面手前に水銀の盛り上がりが見えた。水銀の盛り上がりについて、S極の磁場中を電流が流れることで、水銀がローレンツ力を受けて水銀の流路が曲げられたためと見られる。写真 13~15 には、水銀表面の動きが比較しやすいように電極A-B間に平行に補助線を入れた。写真 13 では電極B(支点B)を中心に渦は生じていないことが分かる。

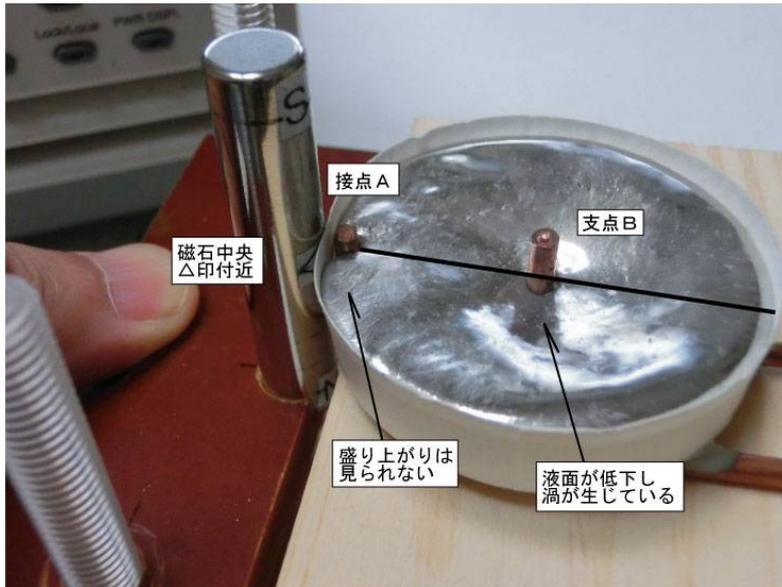


写真14 接点Aを磁石の△印(磁束密度 $B=0$ 付近)に近づけたときの水銀の様子 渦が生じている

写真 14(電極Aが磁石中央△印にあるとき)では、電極A(接点A)の回りに水銀の盛り上がりは見られない。水平に入れた補助線を目安に写真 13 と比較すると電極B(支点B)が露出し、水銀が凹面を形成し電極B(支点B)を中心に渦ができた。0.6V・60A程度のときは、水銀がきれいな凹面を作るが、70A流すと表面が波打つとともに、水銀の渦による凹面で、電極B(支点B)と水銀との接触面積が小さくなり、電流が断続して放電が起きた。

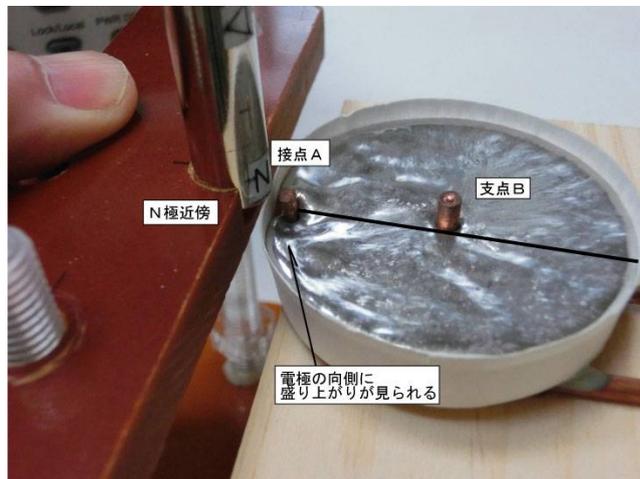


写真15 接点AをN極に近づけたときの水銀の様子

写真 15(電極Aが磁石N極付近にあると)では、電極A(接点A)の向側に水銀の盛り上がりが見られた。写真 13と比較すると水銀の盛り上がる位置と形状が異なる。また、電極B(支点B)を中心とする渦はできなかった。

なお、水銀の観察では、渦の回転方向は、明確には判別できなかった。実験2と比較して時計方向( $-\omega$ )の回転のはずである。

### 3 結論

① 実験7の観察の結果、「一:電極A(接点A)付近での水銀の盛り上がり」と「二:容器の中心にできる渦」は互いに独立して起きているように見えることから、2つは異なる現象であるようだ。

ただし、磁極両端において、水銀の渦がゼロであるかどうかは判明しなかった。電極A(接点A)付近にできる水銀の盛り上がりと電極B(接点B)を中心にしてできる渦とが干渉を起こし、結果的に水銀の渦が観察できなかつたのかも知れない。

一方で、実験4の結果であるグラフ2において、「I:S極・N極の両磁極に現れた振幅のピーク」と「II:磁石中央部での振幅のピーク」は一の現象「スズメッキ線の振動」としてグラフ化できた。

しかし、すべての実験の観察を通して感じたことは、2つの現象は回路L-A-Bの異なる部分で生じているのではないかということである。

前者(I)は回路を構成する導線全体で、後者(II)は接点Aでのみで起きているようだ。

結論①で述べたいことは、現象は(一)と(I)、(二)と(II)が対応し、2つが独立した現象であるということである。

結論を図5に模式図とした。図5.2及び図5.3の中央部のピークが単極誘導モーターの原理により生じた力であるとともに、各装置の設定条件からして式1の第2項に対応していない。2つの現象が同時に実験4に現れることで、グラフ2(図5.3の一部分)が得られたと考えられる。

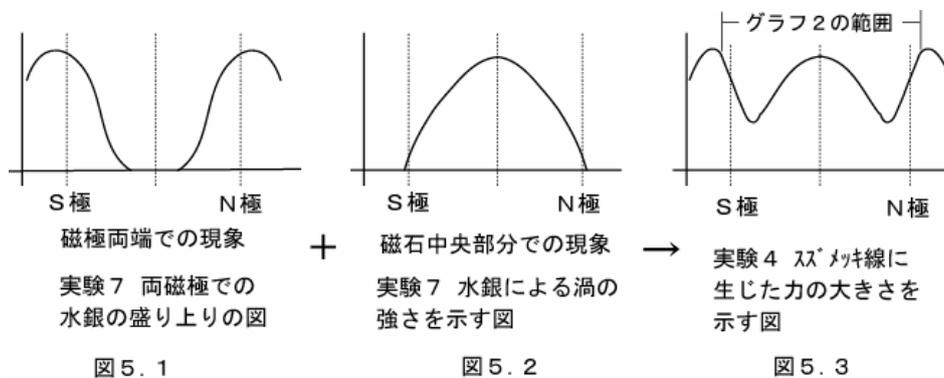


図5 円柱状磁石の両端と中央部に起きる現象(概念図)

② 単極誘導モーターの原理により生じる力は、「回路をつらぬく磁束密度」と相関しない。

実験4の装置は回路をつらぬく磁束をできるだけ小さくしたがゼロではない。また、実験4や実験7において、磁石の中央部に位置する磁束密度 $B=0$ (△印)付近での計測も正確に磁束密度がゼロというわけではない。しかしながら、

1. 実験4において、永久磁石の中央部が近傍になれば、スズメッキ線に電流を流しても接点Aで弾かれることはなかった。
2. グラフ2より磁石の中央部においてスズメッキ線の振れ幅が最大となるピークが存在した。また、
3. 実験7から水銀の渦が最も強いのは磁石中央である磁束密度 $B=0$ (△印)付近であった。

以上、3点から②の結論を得た。同様に結論②は、「単極誘導の起電力」にも当てはまるのではないだろうか。

③ 単極誘導モーターの原理により生じる力は、永久磁石の質量に比例する。

実験6から、単極誘導モーターの原理により生じる力の大きさは、磁石のカタログ値である磁極端面の表面磁束密度に比例してはいるが、同時に磁石の重量にも比例している。(グラフ3) 何より、結果②を考慮すれば、単極誘導モーターの原理により生じる力は、永久磁石の質量の大小が寄与していると考えられる。<sup>\*5</sup> (文献5, p7~8 参照)

④ 単極誘導モーターの現象は、「磁石の重心もしくは磁石中央部(あるいは△印:磁束密度がゼロの位置)」と電子の相互作用だと考えられる。

結論②③④は整合がとれていると考えられる。

#### 4 考察

実験4において、単極誘導モーターの原理により生じる力を計測するに、なぜスズメッキ線が弾かれる際の最大振れ幅を計測値データとして採用したかについて。

一般に、測定は複数回行い統計処理を行った上で、有意判定を行う。筆者は、実験4においてスズメッキ線の振れ幅を測定するため微速度撮影した映像を何度も確認する内に、接点Aに火花放電の起きるときと、起きないときがあり、火花放電が起きないときにスズメッキ線が大きく弾かれることに気づいた。

この現象と類似する現象がクリーンエネルギー研究所、所長井出治氏より文献6に報告されているので、一部引用する。括弧内は引用部分。<sup>\*6</sup>

「機械的エネルギーを引き出した方が、機械出力がゼロの場合よりコンデンサーの逆充電電圧が上昇する」とあり、その際「この逆転現象が起こるときに限って、スイッチSの接点で生じる火花放電の音が異様に低い音となる。しかも、その現象は、「数回の試行に対し一度の割合で」起きたことが報告されている。

つまり、引用文の「機械出力」を「スズメッキ線の弾かれる力」に対応させ、「火花放電の音が低い」ことを「接点Aで火花放電が起きない」ことに対応させるならば、単極誘導モーターの原理により弾かれる力が大きいのは火花放電が起きない場合であることに一定の合理性が得られる。むしろ、統計処理を用いた判定のために、振れ幅の平均を求めることは「生じる力の数値化」に弊害となると考えた。現象を正しく捉えるためには、当該測定座標での最高値をとることが必要と判断した。

結局、最大の振れ幅をデータとして採用して得られたグラフ2の中央部分のピークは、実験7で観察された写真14の現象(渦の強さが磁石中央部△印付近で最大になること)に符合していることから、実験4のデータ採取の方法は妥当であり、文献5の報告を補強するものであると考える。し

<sup>\*5</sup> Φ(nsw495kpr8)著,弧電磁気論による中性子を含まない原子模型とファラデーの単極誘導について(考察),2013年

<sup>\*6</sup> 井出治共著,未知のエネルギーフィールド,「共振回路とフリーエネルギー p109」,世論時報社,1992年

かしながら、接点Aで何が起きているのかは、不明である。

本論文の主題であるファラデーの単極誘導に関して、弧電磁気論による原子模型(文献 5)から結論②③④は予想していた。

ネオジム磁石を用いた予備的な実験(実験 7 を含む)を進める中で、実験観察の結果、結論の②③④をほぼ確信していたが、これまでの慣習から、暗黙の内に磁束密度の大きいネオジム磁石を使用して研究を進めていた。結果、「ネオジム磁石を用いた実験 4」(実験 4 の装置とは別の装置)では、現象が微弱であった為に、どうしても安定性が得られず有効なデータが得られなかった。

「有効」とは、接点が焼き付かず振動が一定時間持続し、必要とする実験データが最初から最後まで 1 セット分、ほぼ等しい条件で取得されるということである。

ただし、有効となる「等しい条件」を担保するものはない。筆者が装置を調整した結果、等しい条件でデータが得られたというしかない。有効となるデータを複数回取得した上で統計処理すべきことは認識しているけれど、装置の安定性からいって困難であった。

ネオジム磁石では現象が微弱であったことから、改めて(文献 5)の予想である{ファラデーの単極誘導の「起電力及びモーターに生じる力」は「磁石の質量に比例するだろう」}ことを意識して、ネオジム磁石より重いアルニコ磁石を使う実験 4 の装置を製作し実験を行ったところ、有効なデータを得ることができた。

実験の経緯を時系列(思考の順)で記すと、

1. ネオジム磁石を用いた実験 1、実験 3、実験 2
2. ネオジム磁石を用いた水銀の実験 7
3. ネオジム磁石を用いた振動の実験 4
4. アルニコ磁石を用いた振動の実験 4
5. 3 種の磁石を比較した実験 6
6. 実験 5 の順であった。

結果、2と3で確認した結論②③④を4. で補強した形になった。特に1から2や3への変更は事前に予想していなければ試すことはなかった。惜しむらくは、実験 7 に関して、水銀の量が不足して満足な結果が得られなかった。十分な量の水銀があれば、生じる渦の強さを数値化できる見込みはあった。

ファラデーの単極誘導に関して次のように記載されている。(文献 3p138)

「円板を固定して磁石を回転すると、誘導電流は流れない」

上記現象の説明として、「1. 磁力線は磁石に固着する。2. 磁力線は磁石の運動とは無関係に空間に静止する。」として考察する文献が多い。

文献 5 の p7 図 7 に示すとおり、「磁石が電氣的に中性な超巨大単原子である」という仮説を考慮しつつ図 3 と結論④を見て思考する。図 3 の磁石がZ軸を中心に回転するとして、接点Aを含む観測者には、磁石が静止しているか回転運動しているかを決定する方法はない。<sup>\*7</sup> そもそも、単極誘導の原理は、磁力線と関係していなかった。

<sup>\*7</sup> 磁石を構成する「磁区の集合」が完全にZ軸に軸対称である場合をいう。

運動は相対的であり、運動エネルギーは相対的なものである\*8。従って回転運動のエネルギーも含め、エネルギーは相対的なものである。

高速度で遠ざかる惑星の運動エネルギーは暗黙の内に無視するけれど、地球に衝突の恐れがある小惑星の運動エネルギーの大きさは現実と捉える。しかし、何れも厳然とした現実である。そして、観測しうる宇宙全体が運動しているか静止しているかを決定する方法はない。つまり、エネルギーは相対的であり、エネルギーの総量は不定であると暗黙の内に認めている一方で、エネルギー保存の法則を信じることは奇妙といえる。

図 3 と結論④について思考することで、(回転)運動とエネルギーの関係に気付くことがあると考える。余りにも簡単なことだから見過ごしているけれど、観測者と被実験対象との運動の相対性に関して注意を払うべきである。筆者は、今一度17～19世紀の物理観から思考し直すべきだとの観点を持っている。

## 5 まとめ

結論に示したように、ファラデーの単極誘導にかかる、単極誘導モーターの原理により生じる力は、磁石の質量に比例する。

もし、これまでの定説通りファラデーの単極誘導現象(誘導による起電力と生じる力)が回路をつらぬく磁束密度(式1の第2項の線積分)に比例するならば、ファラデーの単極誘導現象の発見は、強力な磁石であるネオジム磁石が1984年に発明されるまで待たねばならなかったかも知れない。実のところファラデーの時代でも十分な重量の永久磁石は製作できた。

実験7については、十分な直流電源と水銀の入手が可能であれば、再現性は高い。実験7をとおして本論文の結論(単極誘導モーターの原理により生じる力は、磁束密度がゼロである磁石中央部分が最も強いこと)を容易に確認できる。水銀とアルニコ磁石の組み合わせを用いれば、さらに容易だろう。

本論文は、盛り込んだ内容が過多であること、更に深く検討すべき内容を含んでいることを理解しているけれど、研究の区切りとして本論文をまとめた。

本論文の用語・用法や論理展開などについて、疑義があることは理解している。また、筆者の誤解や理解不足、力不足な点も含めてご容赦願いたい。

弧電磁気論の理論研究からようやく実験に辿り着くことができた上に、理論から何らかの現象の一端を説明できることを確信できたことは、筆者にとって収穫であった。

---

\*8 Φ(nsw495kpr8)著,弧電磁気論 p8,2011年