慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	テスラの「コロンブスの卵」
Sub Title	Tesla's "Egg of Columbus"
Author	竹下, 有節(Takeshita, Yusetsu) 下村, 裕(Shimomura, Yutaka)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2011
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of the natural science). No.50 (2011. 9) ,p.53- 59
JaLC DOI	
Abstract	Nikola Tesla constructed a device called "Egg of Columbus", which uses the principle of the induction motor to spin a copper egg. In the present study, Tesla's "Egg of Columbus" is reproduced using a single-phase AC, and it is confirmed that the reproduction can spin an aluminum spheroid though only slowly.
Notes	50号記念号 研究ノート
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20110930-0053

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

Hiyoshi Review of Natural Science
Keio University No. 50, 53-59（2011）

テスラの「コロンブスの卵」

竹下有節*・下村　裕**

Tesla's "Egg of Columbus"

Yusetsu Takeshita and Yutaka Shimomura

Summary —— Nikola Tesla constructed a device called "Egg of Columbus", which uses the principle of the induction motor to spin a copper egg. In the present study, Tesla's "Egg of Columbus" is reproduced using a single-phase AC, and it is confirmed that the reproduction can spin an aluminum spheroid though only slowly.

Key words: Nikola Tesla, egg of Columbus, rotating magnetic field, induction motor, spinning egg

1．はじめに

ゆで卵を回転させると立ち上がる理論[1, 2]が提出された後，卵を十分速く回転させると立ち上がる途中で自発的に微小なジャンプをすることが理論的に予想された。[3]その予想を検証するために，慶應義塾大学の研究チームによって卵回転装置が作られた。[4, 5]

その装置では，モータに連結されたシャフトに金属円盤が取り付けられ，その金属円盤には４枚のついたて状の金属板が装着されている。その金属板に卵を挟んで軽く固定し，シャフトを回転させることによって卵を回転させるものである。この装置を用い，アルミ製回転楕円体を十分回転させたところでシャフトを引き抜いて自由回転させると，回転楕円体が立ち上がる過程で複数回，微小にジャンプすることが実証された。

手動以外の方法で金属製卵形物体に回転を与える別の装置として，テスラの「コロンブスの卵」[6]と呼ばれる装置がある。1893年に開催されたシカゴ万国博覧会において，ニコラ・テスラが回転磁場による効果を実演するために用いた装置である（図１[6]）。この装置の上部に置

* 慶應義塾大学法学部法律学科 4 年
** 慶應義塾大学法学部日吉物理学教室（〒 223-8521　横浜市港北区日吉 4-1-1）：Department of Physics, Hiyoshi Campus, Faculty of Law, 4-1-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8521, Japan [Received April 12, 2011]

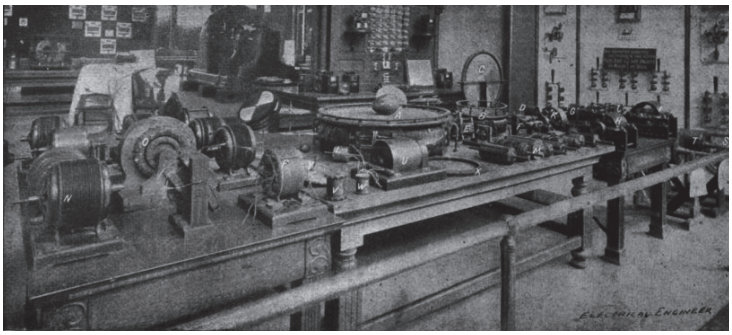

図１．シカゴ万国博覧会に展示されたテスラの「コロンブスの卵」[6)]

図２．大阪市立科学館に展示されている卵形物体回転装置[7)]

かれた銅製卵形物体は，誘導モータの原理により回転を始め，その回転速度は物体が立ちあがるために十分な程度まで徐々に加速される。セルビアにはベオグラードのニコラ・テスラ博物館にその装置が再現されており，日本でも大阪市立科学館に類似の装置（図２[7)]）が展示されている。

本研究ノートでは，テスラの「コロンブスの卵」と同じ機能をもつ装置の製作について報告する。第２節で誘導モータに用いられている金属物体の回転原理を，第３節で製作方法と動作結果を，そして最後に第４節でより機能的な装置の製作に向けた改良について記述する。

２．回転原理[8, 9)]

本節では，テスラの「コロンブスの卵」の原理，すなわち回転磁場を利用した誘導モータの原理を概説する。

2−1．アラゴーの円板

導体に磁石を近づけたり遠ざけたりすると，導体を貫く磁束が増減し，電磁誘導の法則によって，その増減を打ち消す方向に電流が流れることが知られている（図３）。

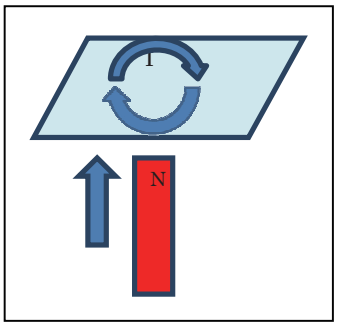

図３．電磁誘導の法則

ここで，例えば図４のように，導体円板に永久磁石のＳ極を下側から垂直にあて，その永久磁石を円板の上から見て時計回りに動かしてみる。すると，電磁誘導の法則により，中心線より左部分では導体を上から下に貫く磁束が増えるため反時計回りに，右部分では磁束が減るため時計回りに，（渦）電流が流れる（図５）。したがって中心線上では電流は円板の中心方向に向かって流れる。このとき，上から下向きの磁場があるので，フレミングの左手の法則により図６のような向きに力Ｆを受ける。この原理に従って，円板は磁石の動きと同じ方向に回転することになる。この円板はアラゴーの円板と呼ばれている。

アラゴーの円板における回転磁石の本質的役割は，回転する磁場を生じることである。この回転磁場は，固定した回路でも交流を用いれば発生可能であり，交流回路によって導体の回転運動を生みだす装置が誘導モータである。

本研究では，誘導モータと同様の機構により，回転磁場を発生させてアルミニウム製の回転楕円体を回転させる。

2－2.　回転磁場

2－1で説明された回転磁場を，固定した電気回路によって発生させるためには，通常三相交流が用いられる。しかしながら，今回は家庭に引き込まれている電源を用いて装置を簡単に製作するため，単相交流によって回転磁場を作成する。その原理を以下に説明する。

図７のように，鉛直方向に４個のコイルを置き，それぞれを直列につなげ交流電源を与える。隣り合うコイルは，回路中心から見て直角をなすように設置する。そして，隣り合うコイルは向きが逆になるよう配線する。すなわち，上方から見て，コイル①は時計巻に，②は反時計巻に，③は時計巻に，④は反時計巻になるように設置する。

この回路に交流が流れることにより，それぞれのコイルに発生する磁場の方向は時間的に変化する。磁場の方向を，上向きを＋，下向きを－，大きさが無い場合を０，によって表現すると，コイル①②③④の方向は，＋－＋－，0000，－＋－＋，0000，のように時間的変化をする。これは，コイルの向きに合わせた極性をもつ磁石が交流周期の２倍の周期で回路を回転している場合の磁場方向変化と同じである。ただし，磁石が右回りしても左回りしても同じ変化が生

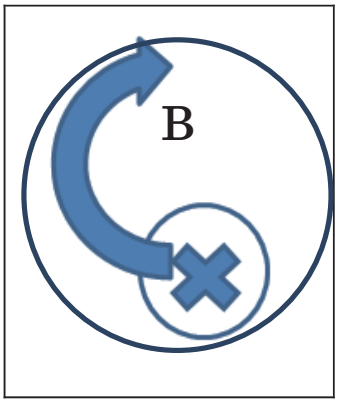

図４．回転永久磁石

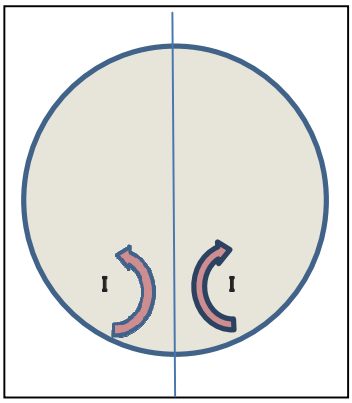

図５．発生（渦）電流

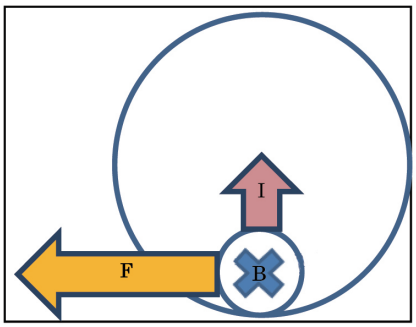

図６．力の発生

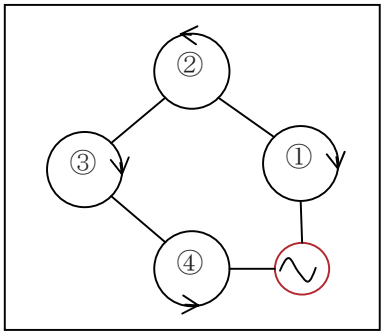

図７．電気回路

じるので，初期トルクが無い場合，この回路ではアラゴーの円板のように導体は回転できない。

そこで，くまとりコイル[8] を用いれば，コイルに生ずる磁場の位相がずれるので磁場の回転方向が決まる。あるいは，通電開始直後のコイルの振動等のノイズによって，導体がある方向に微小に回転した瞬間，その方向への磁場の回転が選択され，導体のその方向への回転運動が加速されることが知られている。本研究では，なるべく簡単に製作するため，後者の現象を利用する。

３．製作方法と動作結果

図８は本研究で製作した装置の写真である。コイルは，直径4.5㎝の円筒形の容器に，絶縁のため表面がコーティングされた銅線を500回巻き付け，４個作成する。これらのコイルを，木材を組み合わせて作成した台上斜めに置く。コイルは，４本のコイル中心軸が台上に底面のある正四角錐の各斜辺に重なるよう，それぞれ１本の円筒形鉄心を通して配置し，隣り合うコイルの巻く向きが逆になるよう直列につなぐ。この４つのコイルがなす電気回路に交流変圧器

図８．台，コイル，鉄心

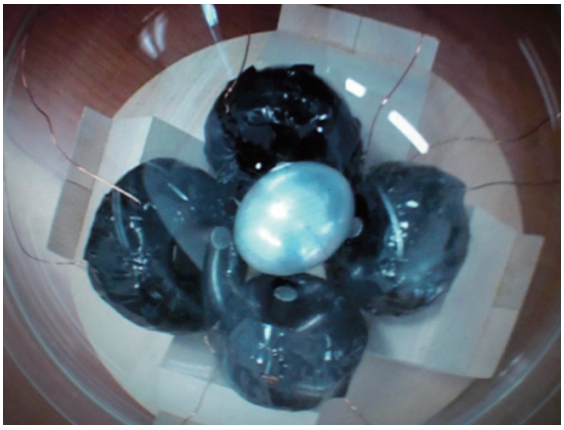

図９．装置上部に置かれた半球状透明容器中のアルミ製回転楕円体

（VLTSTAT SLT-110，SHIMADZU，出力電圧０～約120V）を直列に挿入する。そして，プラスチック製の透明な半球状透明容器を図８の装置の上に乗せ，その最下部にアルミ製の回転楕円体を置く（図９）。

この装置における電気回路に，交流変圧器を用いて約100Ｖの交流電圧を加えると，回転楕円体がゆっくり（秒速約0.06回転）ではあるが回転する。

４．改良に向けて

テスラの「コロンブスの卵」では，銅製卵形物体の回転が十分加速され，物体がついには立ち上がる。しかしながら，第３節に記述したように，本研究で製作した装置では，アルミ製の回転楕円体がゆっくり回転をするのみで，立ち上がらなかった。本装置に，テスラの「コロンブスの卵」のような加速機能を持たせるためには，どのように改良すれば良いのだろうか。

表１．鉄心コイルにより発生する磁場の大きさ［mG］

コイルからの距離	0 cm	30cm	60cm	90cm
①	100以上（計測不能）	18	2.8	1
②	100以上（計測不能）	12	1.6	0.4
③	100以上（計測不能）	5.5	0.7	0.2

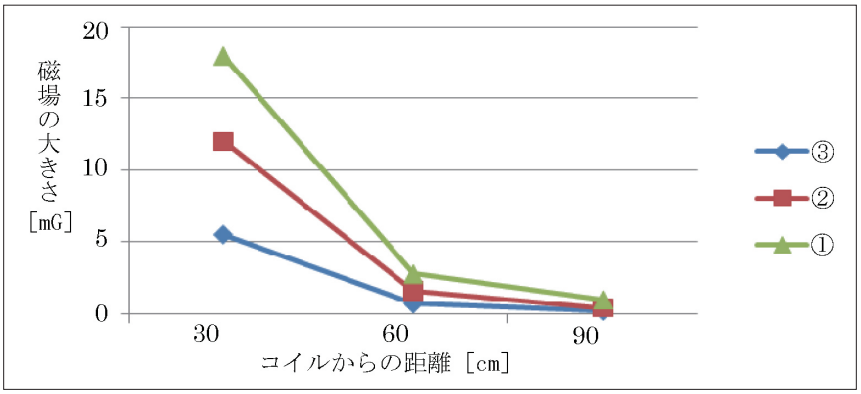

図10．鉄心コイルにより発生する磁場の大きさの変化（表１のグラフ表示）

単相交流を用いる方式の本装置によって回転が十分加速しない原因は，コイルによって発生する磁場が弱いことと考えられる。磁場を強くするためには，より高い電圧をかければよいが，その場合回路に発生する熱が増加し，装置の十分な運転時間が確保できない。そこで，コイルに挿入する鉄心について考えてみる。

コイルの中に鉄心を挿入すると，コイルに電流を流した時に発生する磁場が強くなることが知られている。このため，本研究で製作した装置には，細い円筒形鉄心（直径１cm，長さ８cm）を各コイルに１本ずつ挿入している。これに替えて，本装置のコイルにより太い鉄心を挿入すると，発生磁場はどの程度大きくなるであろうか。これを調べるために，コイルの中が①太い円筒形鉄心（直径３cm，長さ10cm）②細い円筒形鉄心（直径１cm，長さ８cm）③空，の各場合に，コイルからの距離が０，30，60，90cm の地点における磁場を TRIFIELD METER Model 100XE で測定した。その測定結果を表１に示す。ただし，表１中の測定数値の単位は [mG] である。図９は，この結果をグラフ表示している。

表１と図10より，鉄心直径を３倍にすると発生磁場の大きさは約3/2倍大きくなることがわかる。その場合，誘導電流も約3/2倍となるので，回転楕円体に働く力は約 $(3/2)^2=9/4$倍となる。したがって，回転楕円体の回転角加速度も約9/4倍となるはずである。この考察より，本装置において回転楕円体の回転加速度を上げるためには，コイルに太い円筒形鉄心（直径３cm，長さ10cm）を挿入する方法が有効であると思われる。

参考文献

（1）H. K. Moffatt and Y. Shimomura: “Spinning eggs–a paradox resolved”, Nature **416** (2002) 385–386.

（2）H. K. Moffatt, Y. Shimomura and M. Branicki: “Dynamics of an axisymmetric body spinning on a horizontal surface. I. Stability and the gyroscopic approximation”, Proc. R. Soc. **A460** (2004) 3643–3672.

（3）Y. Shimomura, M. Branicki and H. K. Moffatt: “Dynamics of an axisymmetric body spinning on a horizontal surface. II. Self-induced jumping”, Proc. R. Soc. **A461** (2005) 1753–1774.

（4）T. Mitsui et al.: “Can a spinning egg really jump?”, Proc. R. Soc. **A462** (2006) 2897–2905.

（5）下村裕：『ケンブリッジの卵―回る卵はなぜ立ち上がりジャンプするのか』，慶応義塾大学出版会，2007.

（6）http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla’ s_Egg_of_Columbus，2011年４月10日 .

（7）http://www.sci-museum.jp/server_sci/map/exhibit/4_16.html#8，2011年４月10日.

（8）井出萬盛：『図解入門　よくわかる最新モータ技術の基本とメカニズム―モータの基礎講座と工作ガイド』，秀和システム，2004.

（9）http://www.geocities.jp/take5ybb/Physics/induction_motor.html，2011年４月10日.