

自転車の発電器を転用した 自力・自家発電装置の構築 - その3

- 自転車のハブダイナモの改変 -

金野茂男

1. はじめに

自転車の発電器を利用した自力・自家発電装置の構築を行っていることは既報である^{(1),(2)}。近年では、前輪のゴムタイヤに接触させて発電する「横型型」の発電器に代わって、前輪の中心部に配置された「ハブダイナモ」の発電器が自転車に登場してきている。このハブダイナモを使用した発電装置もやってみたくを、既報の論文でも書いていたと思う。今年度、ハブダイナモを簡単に入手することができた。多くの学校でもそうであろうが、年度末になると、自転車通学であった最上級生たちが、自転車を残したまま卒業していく。学校にとっては迷惑な状況であるが、小生にとっては結構な状況である。昨年度まではほとんどなかったが、今年度には結構な台数の自転車にハブダイナモが付いていた。スパナを持参していき、有り難くいただいた。



写真1 細コイル杖型発電器

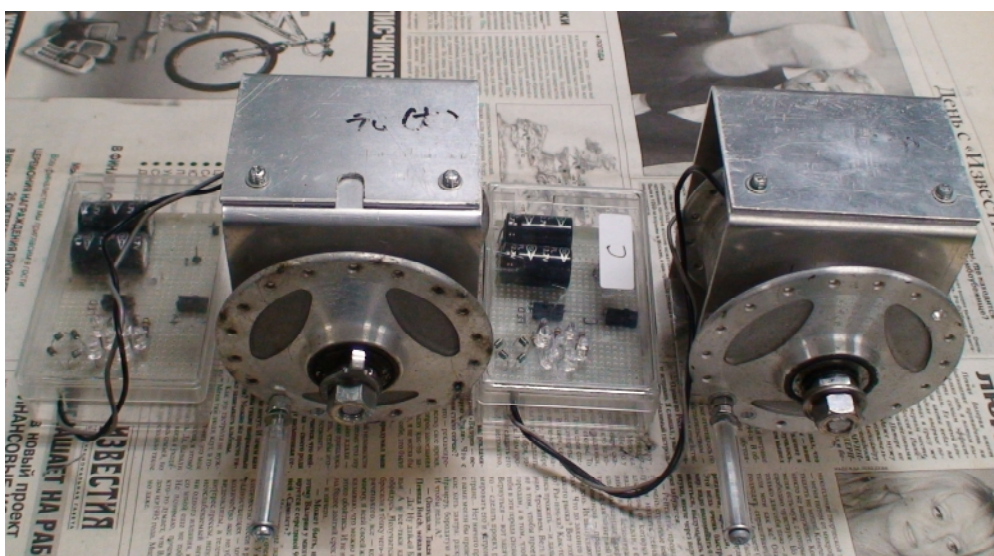


写真2 2つの手動発電器

既報の論文と同じく、ハブダイナモ内部のコイルを、細い直径のコイルに巻き替え、低回転数でも十分な発電能力を持つハブダイナモに作り替えた。そして、当初、実証・展示用として2つの応用装置を製作した。コイルを細いものに変更したハブダイナモは、前論文で報告しているように、ゆっくり

りした回転でもよくLEDを発光させてくれる。が、出力電流を測定してみると、最大出力電流（これは飽和する）は、コイル変更前と比較すると、大分小さくなっていることに気が付いた。このことから、比較対照のためにも、コイルを変更しないで、いただいたハブダイナモそのものを手動発電器とした応用装置も準備することにした。

従って、現時点で3台の発電装置を製作した。3台の発電器の内容は次の通りである。1つは「細コイル杖型発電器（仮称）」である。写真1に、ドアに立てかけた状態での外観を示している。下部の車輪部を床や道路面に置き、杖を手に持って前方に押しながら歩く。充分ゆっくりでも良い。車輪が回転し、発電器が回る。LEDは充分に明るく発光する。また、電気2重層コンデンサへの充電も行える。残りの2つは「手動発電器」である。1つはコイルに変更を加えないで、そのまま手動発電器とした「並コイル手動発電器（仮称）」である。残りの1つは、コイルを細いものに巻き替えた手動発電器とした「細コイル手動発電器」である。写真2にそれらの外観を示している。左が「並コイル手動発電器」、右が「細コイル手動発電器」であるが、外観は全く同じである。アルミの収納箱部を押さえ、取っ手を回転すると、杖型発電器と同じくLEDの発光や電気2重層コンデンサへの充電が行える。

2. ハブダイナモの改変

参考文献(1)で紹介しているように、内部のコイル径を細い径のコイルに変更すると、遅い回転数でも十分な発電を行ってくれることが実証されている。これより、2台のハブダイナモ中のコイルを細い物に変更する。なを、製作した装置の性能との比較検討のため、もう1台のハブダイナモはコイルを変更しないで使用することにした。

コイル変更のためには、ハブダイナモを手際よく、かつ壊すことなく分解する必要がある。使用したハブダイナモはBRIDGESTONE社名のTENTOUMUSHIである。コイルの変更手順は、付録として本論文の最後部に分解写真付きで紹介している。従って、ハブダイナモの外見には何の変更もない。写真3に、スポークも取り外した状態でのハブダイナモの外観を示している。コイル変更前後の外見の違いは全くない。



写真3 いただいたハブダイナモの外観

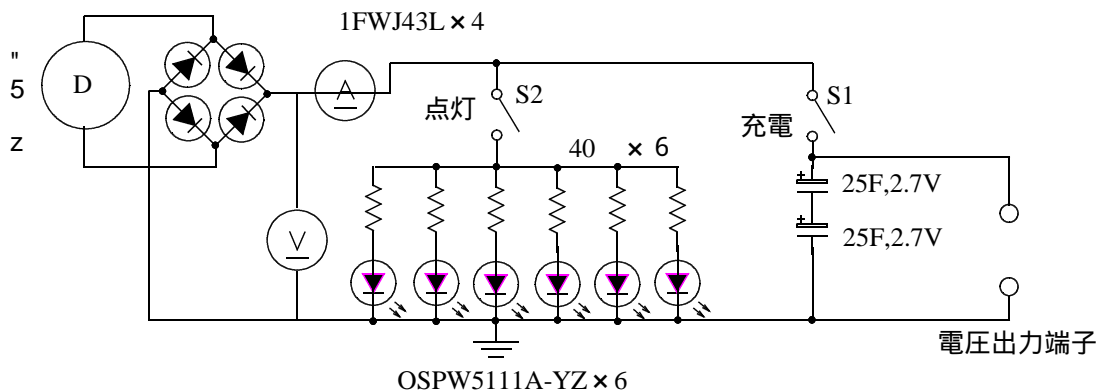


図1 整流・発光・充電回路

図1に、ハブダイナモに接続する整流・発光・充電回路を示す。ほぼ参考文献(1)で示している回路と同じである。が、発光素子であるLEDは6個としている。LEDを6個にしたことに大きな理由はない。6個でも十分に発光動作をしてくれるからである。もっとLEDの個数を多くしても良いかも知れない。

充電用電気2重層コンデンサは25Fを直列に2個使用している。理由は簡単である。コンデンサは耐圧が2.7Vである。この耐圧では不安なので、耐圧を大きくしたいがためである。手持ちの容量1Fのコンデンサでは、充電容量が小さすぎる感があった。放電時間が短いのである。当然ながら、相対的であるが。容量100Fのコンデンサも手元にある。が、ガサが大きいので使用を見送っている。図1の回路は3組製作している。ダイオード、LEDは同じ素子の在庫が切れてしまったので、同程度のダイオード、同程度の高輝度LEDを用いてもいる。なを、回路図中の電流計と電圧計は発電特性測定のために挿入したものである。測定後には取り外している。

写真4に、杖型発電機の発電部の詳細写真を示している。2mm厚のアルミ板をコの字型に曲げ、ハブダイナモの中心軸に取り付け固定している。アルミ板の上面に、L字金具を取り付け、当面杖の代わりに角材を転用して取り付けしている。回路基板は角材に固定している。写真3から見て取れるように、ハブダイナモのスポーク取り付け部は滑らかな円盤状となっている。このまま床をこすらせようとしても滑ってしまう。円盤部分をノコギリ状に加工することも考えたが、地面の上ならば、多少の傷は問題ないであろうが、床などで転がすわけにはいかない。写真のように、ゴムを取り付けた。使用したゴムは、研究室にあった真空用ゴムホースである。ゴムホースを魚の腹開きをするように、切り開き、円盤の周囲にはめ込む。一周分の必要な長さを切り出す。後は接着剤で固着させるだけである。非常にぴったりと収まっている様子が見て取れよう。回転の滑り止め及び振動の軽減の役目も果たしている。

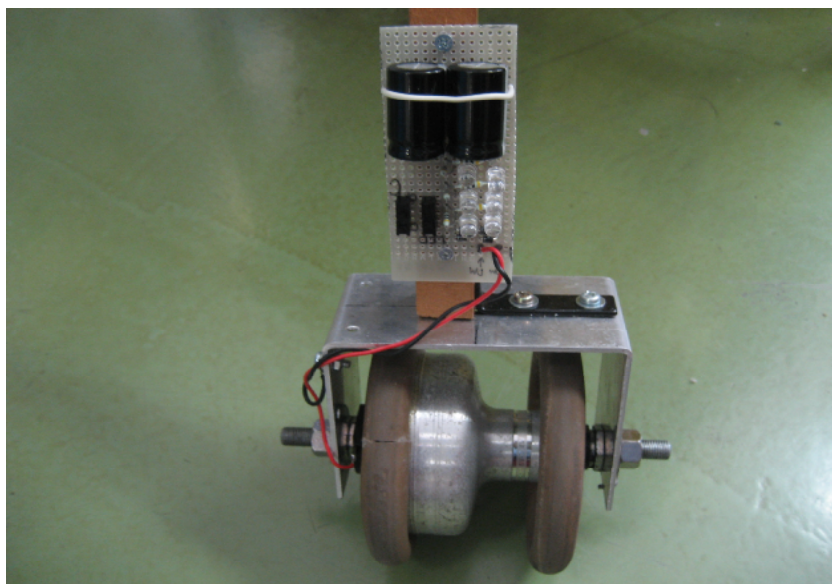


写真4 杖型発電機の発電部の詳細

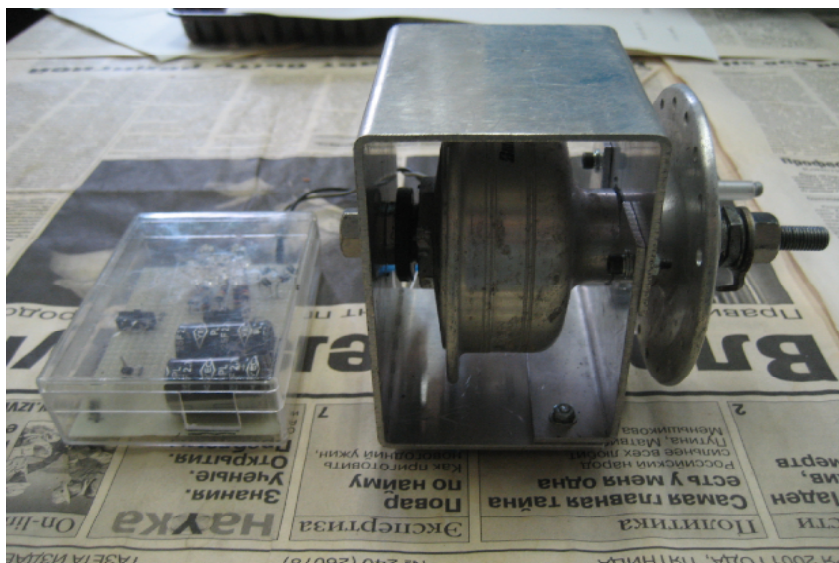


写真5 手動発電機の発電部の詳細

写真5には手動発電機の同じく発電部の詳細写真を示している。中心軸を固定し、円盤部分を回転しなければならない。写真4のような固定器具は使用できない。2mm厚のアルミ板を2枚使用して、写真のように発電器を固定した。中心軸の片方はアルミ板に固着させる。このアルミ板を手などで固定し、円盤部にハンドルを取り付けて回すことはできる。つまり発電させることはできるが、中心軸の残っている片方が宙ぶらりん状態となっているので、動いて回しにくい。ハンドルの回転動作に影響なく、そして発電器も余計な動きをしないようにするために、写真で示しているように、発電器の真ん中当りの細い部分を、アルミで挟み込んで、余計な動きを止めるようにした。使用しているアルミ板形状は、1枚はL字型であり、もう1枚は角張ったC字型と言っても良いであろう。

3.動作試験

手動型発電機の2台、則ち、コイルを変更しない発電器と、コイルを細いものに変更した発電器で、発電特性試験を行った。発電器を回してLEDの発光状態を視認することで、簡単に次のことがわかった。コイル変更後の発電器では、極めてゆっくりした回転でもLEDを良く発光する。回転数を早くしていくと、発光強度は飽和する。一方、コイル変更前の発電器では、相対的であるが、ゆっくりした遅い回転数ではLEDは点灯しない。回転数を上げていくと発光し始める。更に回転数を上げていくと、LEDの発光強度は更に大きくなり、コイル変更後の発電器のLEDの飽和発光強度を大分大きく上回る。が、更に回転数を上げて、発光強度は飽和する。

発光強度が飽和した時点での、発電器の出す電流と電圧を測定した。コイル変更前の発電器では、電圧は約6V、電流は約300mAであった。コイル変更後の発電器では電圧は約4V、電流は約70mA。どちらの発電器でも、電流、電圧とも飽和し、回転数を上げて増加することはない。これらの様子を図2に示している。

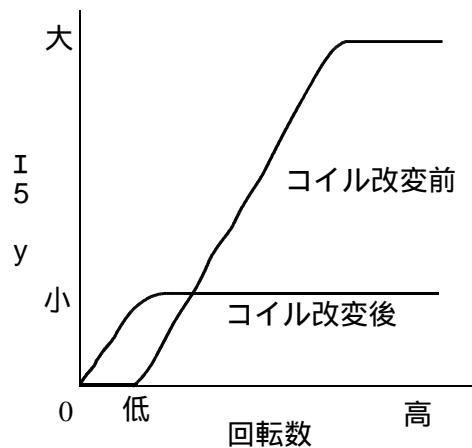


図2 発電機の回転数と出力電流の関係

注意点がある。未使用状態の電気2重層コンデンサを初めて充電し、その蓄えられた電気量でLEDが点灯するまで、杖型発電器では約5分以上の充電歩行(充分ゆっくりでも結構)が必要である。LEDには順方向電圧降下があるので、コンデンサ電圧がその値以上にならないと点灯しないからである。が、一度充電すれば、LEDが点灯していなくても、コンデンサ電圧は、LEDの順方向電圧降下値程度となっている、つまりコンデンサには電気量が残っているので、2度目以降では充電のための歩行は短時間で済むし、LEDの点灯とコンデンサの充電を並行して行うこともできる。

LEDに流れる電流制限抵抗として40Ωを使用している。が、もっと小さくても大丈夫である。試しに、この抵抗をなくした場合のLEDの発光特性を短時間ながら調べてみた。抵抗がある場合より明るく発光する。短時間の試験であったが、LEDに支障はなかった。が、不安なので、抵抗は残しておくことにした。

コイルの変更前と、変更後の発電器の特性比較を表1にまとめている。手動発電器では、図1に示しているように、コンデンサの両端から、電圧出力端子をもうけ、外部電子機器の駆動が行えるようにした。外部電子機器として、携帯AM・FM受信器(乾電池電圧3V)で試験を行ってみた。ハンドルを軽く回し続けるだけで、好調にスピーカーは鳴ってくれた。

	改変前	改変後
コイル径 コイル重量 コイル抵抗	0.6 mm 100 g 2.5	0.2 mm ? (量り忘れ) 120
豆電球の点灯 開始時点	高回転数で開始	高回転数以上にしても点灯せず
LEDの発光 開始時点 この時の回転 トルクの大小	高回転数で開始 小	低回転数で開始 大
回転数による LEDの発光特性	ある回転数以上で飽和	ある回転数以上で飽和 発光強度は改変前より相対的に弱い
飽和出力電流 この時の出力電圧	大凡 300 mA 大凡 6 V	大凡 70 mA 大凡 3.5 V

表1 発電器の改変前後の比較
(注釈 ここで高回転数と低回転数は相対比較での高と低である。)

4. 考察

幾つかの点について考察を行う。

(1) コイル改変後の発電器では豆電球(ハブダイナモをいただいた自転車に付いていたランプ)を点灯させることができない。

改変前では、豆電球を点灯させることができていたが、改変後には、高速(一応人の手での)で発電器を回転しても、豆電球を点灯させることができなくなった。原因は、改変前後のコイルの抵抗値の大小と、豆電球の小さい抵抗値によって説明できる。豆電球の抵抗値は、電球に刻印されている規格6V、2.4Wから求めると、15 となる。がこれは定常動作下、即ち明るく点灯している状態での抵抗値である。点灯していなければ、フィラメントの抵抗値は非常に小さい。1 以下である。一方、改変前のコイルの抵抗値は2.5、改変後のコイルの抵抗値は120 である。50倍も発電部の抵抗値が大きくなっている。これでは、発電器部の内部インピーダンス(つまりコイルの抵抗値)が負荷と比較して極めて大きくなってしまっているため、低抵抗値を持つ豆電球に振り向けられる電力は極めて小さくならざるを得ない。つまり、低抵抗値を持っている豆球を点灯させることができないのは明らかである。

コイル改変後でも、豆電球を点灯させるのには、次の方法が考えられる。前もって、豆電球を乾電池で点灯させておく。この状態ではフィラメントは赤熱しているため、既定値の15 となっている。この時点で発電器を回し、豆電球に接続し、乾電池を取り外すのである。実際にやっではないが、できると思う。が、今の所やるだけの意味がない。最近では発光部品はフィラメント式から発光ダイオード式に大きく移り変わっているからである。

LED群は、コイル改変前でも改変後でも確実に点灯する。LEDはダイオードの1種である。ダイオードにかけるバイアスが順方向では電流はよく流れ、逆方向では電流は流れない。これから、ダイオードは順バイアスでは抵抗がゼロであり、逆バイアスでは抵抗は無量大、であるとの簡易な説明が行われることがある。極端な間違いではないが、本装置の場合にはこれでは間違いである。ダイオードの順方向電圧降下を考慮しなければならない。順方向バイアスを印加しても、規定電圧以上でなければ、ダイオードは電流を流さないのである。つまりその間では、順方向電圧を印加していても、LEDの抵抗は結構大きいのである。従って、発電機の内部抵抗が2.5 であろうと120 であろうと、コイルの改変前後において、共に発電器はLEDを良く点灯してくれる。

豆電球を点灯できなくなったが、それほど問題ではない。近年、発光素子はフィラメント型から半導体型に移行している。半導体型の発光素子は発光効率が高く、寿命は長いからである。素子の費用もかつては高かったが、年々安くなってきている。近年では、懐中電灯、自転車の電灯などLED仕様が増えてきている。今更、豆電球でもないであろう。豆電球が保守品種となるのはそう遠くではないであろう。ところで、ホームセンターで自転車用の豆電球を探してみた。豆球と言えば、電気部品の中で昔は安い物の代表であったような気がするが、いまでは何の何の。LEDの方が安いのではないかと思う。天井からぶら下がっている白熱電球のソケットには、蛍光灯型電球がぶらさがり始めて久しい。値段はまだ高いが、発光効率の良さ、長寿命である点が評価されているからである。この蛍光灯も発光ダイオードに移行しつつある。

(2) 発電器の回転数を上げれば、上げるほど、発電量(発光量)は増えるか?

発電機の回転数を上げていくと、出力電力はあるところで飽和する。これはコイル変更前でもコイル変更後でも同じである。ただし、コイル変更後は低い回転数で既に出力電力は飽和する。LEDの発光程度から判断すると、コイル変更前と比べると数分の1以下の回転数で出力電力は飽和する。これらの関係を図2に図示している。

(3) 発電機を回す外力のトルクについて

前器(コイル変更前のハブダイナモ)では、結構軽く回すことでLEDを点灯することができていた。が、後器(コイル変更後のハブダイナモ)では、LEDを同じ程度に点灯させるためには、遅く回転しても良いのであるが、強く回す必要がある。則ち、遅い回転数で、十分な出力電力を得ることができるが、より大きな回転力、則ちトルクを与える必要がある。前器では早い回転数で小さなトルクで良かった。この相関関係は、エネルギー保存則に合っている。

(4) どの程度の低回転数でも十分な発光を行えるのか?

細コイル手動発電機は、1回転に10秒位かけても、結構良くLEDを発光してくれている。ハンドルを回転させるのではなく、軽く振動させるだけでも、結構な発電をしてくれる。と言うことは、ハンドルを振動させる方式、則ち振動を利用する発電装置としても応用できそうである。

5. 終わりに

自転車のハブダイナモを応用し、3台の自力・自家発電機を製作した。その内のコイルを細くした発電機は低速回転、振動動作でもLEDを結構明るく点灯させてくれる。杖型細コイル発電機は、ゆっくりした回転でも発電できると言うことは、高齢者の歩行補助器具としての杖としての役目とともに、夜間の懐中電灯の役目も果たしてくれよう。

細コイル手動発電機は、極めてゆっくりした回転動作でも良く発電してくれる。軽い振動でも発電してくれる。つまり、取っ手を回転させなくても、適度に前後にわずかに振動させるだけで、発電してくれる。このことは、細コイル手動発電機は小さい振動運動で発電させることができることを意味している。このことは様々な応用例が考えられる。例えば、人体の膝などに取り付け、歩行などによる関節部の開閉状態をこの発電機に伝達すれば、歩行発電機となる。その他に、床に振動装置板を取り付け、板の振動をこの発電機に伝達すれば、床発電機となる。等々。

本装置の優点の1つに、発電機自体が無償で入手できている点である。従って、装置自体を格安で製作出来る。粗大ゴミとなりかけた、捨てられた自転車からの部品の転用であり、資源の有効利用の点から見ても褒められるであろう。

写真3に、ハブダイナモの外観を、写真2に、手動発電機としたときの外観を示している。付録のハブダイナモの分解写真を見ると、実のところ、肝心の発電機の部分は、写真3で示している全体の部分の極一部分であることがわかる。コイルが収まっているボビン部分と、磁石が収まっている円柱部分が主要部分である。中心軸とベアリング部分を他の適当なものに変えるならば、金属加工が必要となるが、だいぶ体積を小さくした発電機となりそうである。手の平の上で発電できそうでもある。左手で本体を握り、右手で回転させて発電できる。

1つやってみよう。コイルを太いものに交換してみることである。発電電圧は高く、発電電流も大きくなる事が予想される。少し早く回転させる必要があるだろう。並コイル手動発電機での回転速度からすれば、このために必要な回転速度はそれほど高速の回転速度とはならないであろう。十分に手で回転できる速度内に収まる。1A程度の電流が取り出せるならば、ノートパソコン用の携帯発電機として使用できるかも知れない。

著者としては、出来ないことであるが、磁石をフェライト磁石からネオジウム磁石にする方法がある。これだけで、発電能力は数倍となる。

ところで、「携帯電話の充電用に使用できる携帯型充電器が出来ないものか?」と言うことが、自力・自家発電機の自作開発の動機であった。携帯電話は自宅に帰ると毎晩のごとく、AC100VのコンセントにAC/DCアダプタを接続し、一晩かけて自宅充電している。AC100Vのコンセントが身近にあれば何でもないのであるが、このコンセントがなければ、どうなるのか。お手上げであることは請け合いである。電話自体が「携帯」という単語を冠しているので、充電器もAC100Vから解放され、充電器も「携帯」出来れば、結構なことではなからうか。

最近の携帯電話の仕様の中で、装置と関係している大事なデータとして次の項目を掲示しておく。ある会社の1つの携帯電話の場合であるが、代表値として試してみても良い。

- (1) 連続通話可能時間 約200分
消費電流 約240mA
- (2) 連続待ち受け時間 約600時間
消費電流 約1.3mA

なを、この携帯電話の内蔵バッテリーの公称電圧はDC3.7Vである。

本装置の「並コイル手動発電機」を、携帯電話のための発電機としてみた場合を考えてみる。本発電機の発電電流は表1から300mAである。従って、電話の受信或いは送信時に、本発電機を回すことで十分な電力を得ることが出来るはずである。前もって充電しておけば、少なくとも充電した時間以上の通話可能時間が保証される。待ち受け時間を見積もると、を1分間弱の発電・充電時間で1日半の長さが保証される。

手動発電装置を組み込んだLED式懐中電灯、更には災害時の非常備品と銘打ってラジオ付きの懐中電灯も市場に出回っている。これはこれでよいのであるが、心配な点が1つはある。これらの商品の中に組み込まれている発電器は高比率のギアを用いている点である。遅い手動の回転を高比率のギアで回転数を上げ、そして発電器を回している。これらの商品で試してみれば直ぐ気が付く事である。かつ商品原価を抑えるために、耐久性が十分に保証された程丈夫にできていそうはない。模型工作などで使用しているギヤ部品を思い出せば良いであろう。ギアで回転数を上げる機構はギア部分での致命的な破壊がよく起こるのである。起こってしまったら終わりである。著者の一連の論文で紹介している装置では、ギアを使用していない。従って、このような破壊による使用不可は起こることはない。また、自転車の発電器が親なので、耐久性は保証付きである。

参考文献

- (1)「自転車の発電器を転用した自力・自家発電装置の構築 - その1」、金野茂男、小山高専電子制御工学科、2008年8月、著者のURLで公開済。
- (2)「自転車の発電機を転用した自力・自家発電装置の構築 - その2」、金野茂男、武田智行、小山高専電子制御工学科、2009年4月、著者のURLで公開済。

2009年7月23日 脱稿

付録 ハブダイナモの分解・コイル変更・組み立ての手順

1. 自転車の前輪を前輪フレームから取り外す。



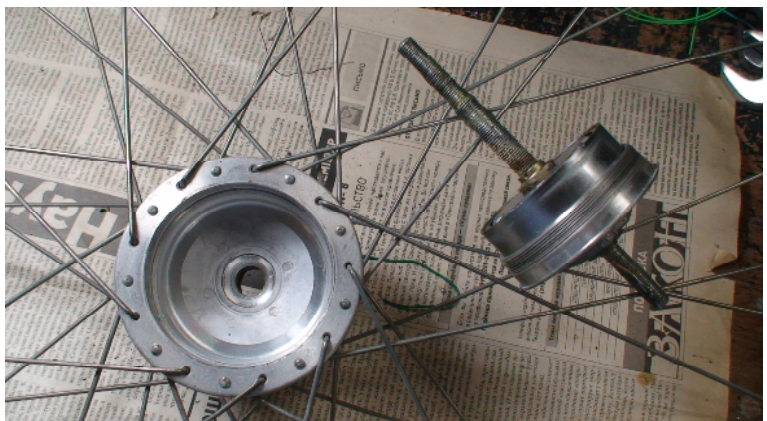
2. ダブルナットなどを利用して、外側から順にナット類をゆるめていく。ボルトを万力でそのまま啣える、ピッチが潰れてしまうので注意！



3. ベアリングがあるので、紛失しないように取り出す。



4. 車輪を裏返し、ハブ部分から発電器部分を緩めて外す。大口径のスパナが必要となる。未だスポークが付いた状態ならば、外しやすい。右側の同心体が発電器本体。スポークの付いている左側の円盤がハブ本体である。



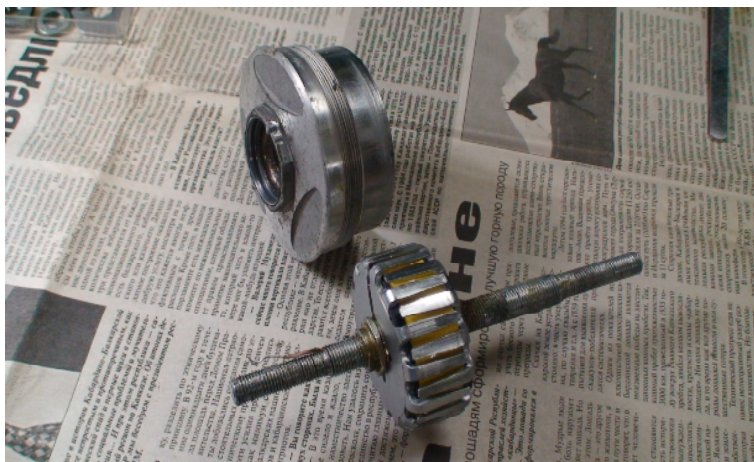
5．ここまでで分解した部品の一覧。
右側の回転体が発電機本体、上の写真のスポークの付いた回転体は、言うならば発電機の固定体である。



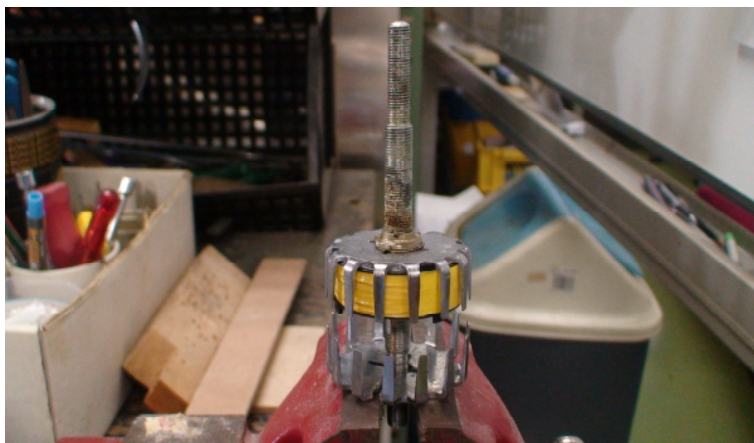
6．発電機本体の分解に入る。同じようにして、外から外していく。ここにもベアリングがあるので、無くさないようにして取り外す



7．回転子を取り外す。下の部品がコイルを持った「固定子」である。上の部品は「回転子」であり、内壁にフェライトの磁石が取り付けられている。



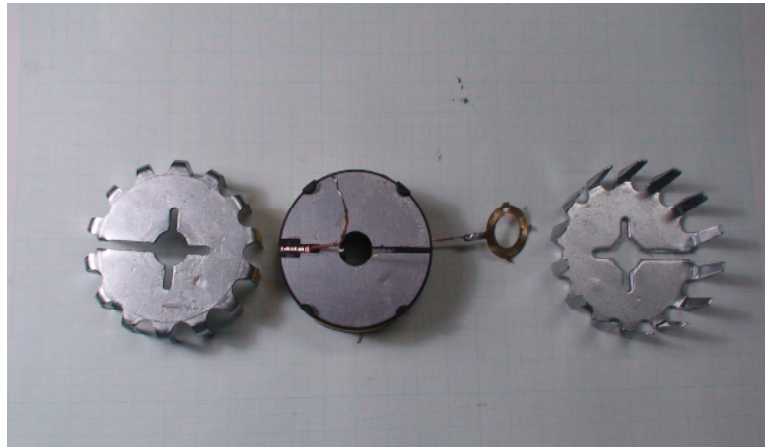
8．固定子から、先端が交互に配置されている2枚の磁極板を回転軸から順に取り外す。



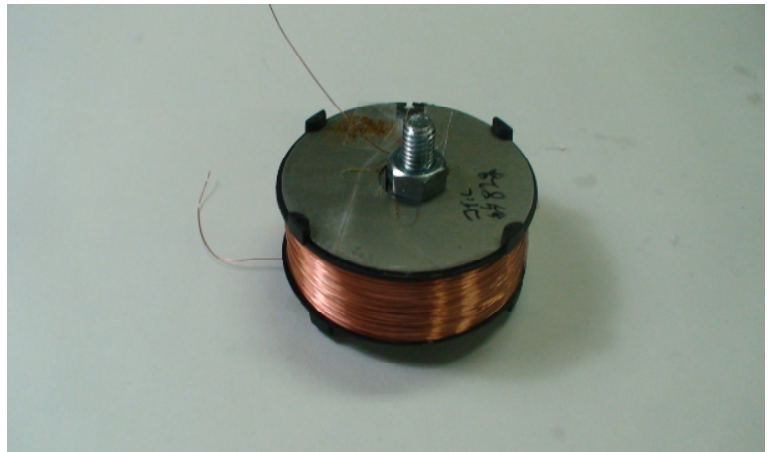
9 . ここまで外す。



10 . コイル部の部品。真ん中のボビンから既成のコイルを解き外す。コイルの巻き始め、巻き終わりの位置を確認しておくこと。また、磁極板には溝が入っているのです、それらとボビンとの配置関係を分解前にしっかりと確認しておくこと。とにかく各部品間の配置関係・組み立て順番をしっかりと記録しておくこと。

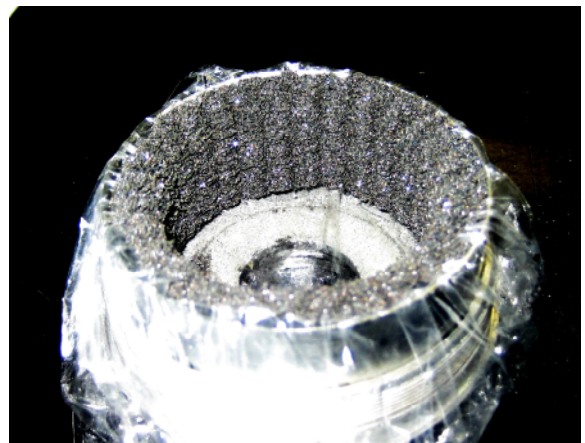


11 . ボビンに細い新しいコイル（直径0.2mm）を巻き上げる。ボール盤などを使用すると、巻き上げは簡単である。写真にはボルトとナットが見える。このようにして、ボルトをボール盤のチャックに啞えて回すと、コイルを巻く時間が大幅に短縮できる。が、ボール盤は速度可変である必要がある。ACスライダックトランスがあれば便利である。



12 . 後は逆順でくみ上げて行く。

回転子体の内壁に、取り付けられているフェライト磁石の磁場の様子を、砂鉄を使い可視化した。サラップを磁石面に張り巡らし、直接砂鉄が磁石に付かないようにしている。写真がそれである。磁極の様子は一目瞭然となる磁極の数は $14 \times 2 = 28$ と確認できた。



ハブダイナモの分解手順写真









