

コアレス型同期発電機を利用した 実用的自転車発電機の提案と試作

Proposal and Development of Practical Bicycle Generation Using Coreless Synchronous Generator

高橋 俊行 *¹
Toshiyuki TAKAHASHI

安田 陽 *²
Yoh YASUDA

大本 親吾 *³
Shingo OHMOTO

Abstract

Human-powered generation system using bicycle nowadays are being common as innovations by do-it-yourselfers and Sunday-innovators. But, unfortunately, there still remain rooms to discuss to realize practical use and industrial design. Human-power can produce electric power more than hundreds watts by pedaling bicycle and shall be deemed as huge unutilized energy resource.

In this report, the concept and possibility of practical human-powered generation are discussed. Also, its experimental study using prototype systems is described. As a result of experiments, the maximum power of 956 W was obtained, using a "trainer type" bicycle generation. Therefore, it is clear that the proposed human-powered generation system using bicycle functions enough from the viewpoint of the output power.

キーワード：人力発電，未利用エネルギー，風力発電機，永久磁石方式，コアレス型同期発電機

Key Words: human-powered generation, unutilized energy, wind turbine, permanent-magnet type, coreless synchronous generator

1. はじめに

環境に対する関心が深まるとともに、太陽光発電や風力発電のような自然エネルギーを用いた発電に注目が集まっている。我々は自然エネルギーとは多少異なるが同じ再生可能なエネルギーを用いた発電方式である、人力発電に焦点を当て、中でも身近なものであり、かつ本来ならば捨てられていたエネルギーを回収することができる自転車型の人力発電システムを対象として研究を進めている。

今日、自転車型の人力発電システムは、科学博物館の教育用体験装置や日曜発明家の手作り品、ネット販売からテレビのパラエティー番組まで、誰もが考えつき、比較的容易に製作が可能であるポピュラーな「エコ商品」として市民に受け入れられつつある。事実、インターネットの検索エンジンを使った検索結果を例として挙げると、キーワードを「人力発電」とした場合では 88,300 件、「自転車発電」の場合においては実に 741,000 件もの Web ページがヒットするほどである（いずれも 2006 年 5 月、Google による検索）。

これほどまでに一般的に広く知れ渡った技術である自

転車型人力発電ではあるが、工学的・学術的観点から見た場合では、意外にもまだまだ解決されていない点が多く、残念ながら実用化のレベルには程遠い趣味の領域を出ていないものが殆どである。

例えば、国内外の学術情報データベースおよび特許データベースを用いて「自転車発電」、「人力発電」あるいは「エルゴメータ」のキーワードで調査を行なったところ、表 1 に示されるような結果となった。特に、既製品である「エルゴメータ」は、ペダルの負荷や回転数、脈拍数測定からカロリー消費やワットの表示をするため、実際の発電量と異なる場合があると考えられる。学術的にも自転車の運動に関する論文は多くなく、いずれも医学・体育学的な考察であり⁽¹⁾⁽²⁾、発電システムとしての工学的な検証は殆ど存在しないことが分かる。これらの文献調査結果から、上記で述べた「社会一般的には認知されているが、工学的・学術的アプローチはまだ発展途上である」という状況が強く裏付けられる。したがって、既製品が存在する中で発電機、コンバータ、蓄電システムなどの選定や適正容量の整合性が十分に確立されたとは言えず、システム全体の耐久性、堅牢性、安全性、経済性といった工学的検証、さらには運転に関する医学的・体育学的な議論や、普及にあたっての社会的・環境学的な予測などについても充分議論され尽くされたとは言い難い状況である。

本論文では、このような自転車型人力発電システムの現状を踏まえた上で、工学的アプローチに基づく実用的な発電システムを構築するため、その意義や利用用途の提案、

*1 関西大学大学院工学研究科大学院生
(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

e-mail: gc4d101@edu.kansai-u.ac.jp

*2 関西大学工学部助教授

*3 (株)マザーズ 代表取締役

(原稿受付：2006 年 7 月 28 日)

Table 1 Results of data-base searches

Database	JDream II (former JICST)		
URL	http://pr.jst.go.jp/jdream2/		
Keyword	人力発電	自転車+発電	エルゴメータ+ {kW or Wh}
Number of hit	10	81	5
Manual classification by authors	教育関係：12 風力など(ダイナモ応用)：10 医学・体育学関係：7 電動自転車関係：10 人力発電：6		

Database	Industrial Properly Digital Library	
URL	http://www.ipdl.ncipi.go.jp/homepg.ipdl	
Keyword	自転車発電	自転車+発電
Number of hit	特許：2 実用新案：1	特許：389 実用新案：88
Manual classification by authors	ダイナモ・照明：155 電動・アシスト自転車：74 エルゴメータ・健康器具：4 人力発電：1	

Database	ISI Web of Science	
URL	http://portal.isiknowledge.com/	
Keyword	bicycle + generator	bicycle + electric
Number of hit	5	26
Manual classification by authors	dynamo 応用：2 electric bicycle 関係：9 physical/medical 関係：11	

さらに工学的な見地からの試作機の開発と性能評価について述べる。

2. 意義と利用用途の提案

自転車型人力発電システムの直接的な利用目的はトレーニングやダイエットなどの運動の際に生じるエネルギーの回収にあり、本来ならば捨てられていたエネルギーを

回収できる点において「未利用エネルギー」の有効利用であり、再生可能エネルギーの一種と位置付けることができる。しかし、様々な利用形態に応じてその応用範囲が広がる可能性も含んでいる。(図1参照)

自転車型人力発電機の応用範囲の一例として、フィットネスクラブでの利用が普及の点で重要であると考えられる。フィットネスクラブは全国に1,500～2,000軒あるとも言われ、そこで使用されるエアロバイクの大多数に発電機を搭載すれば、全国規模で相当量の「未利用エネルギー」が回収できる。また、その自転車型人力発電機の利用客に

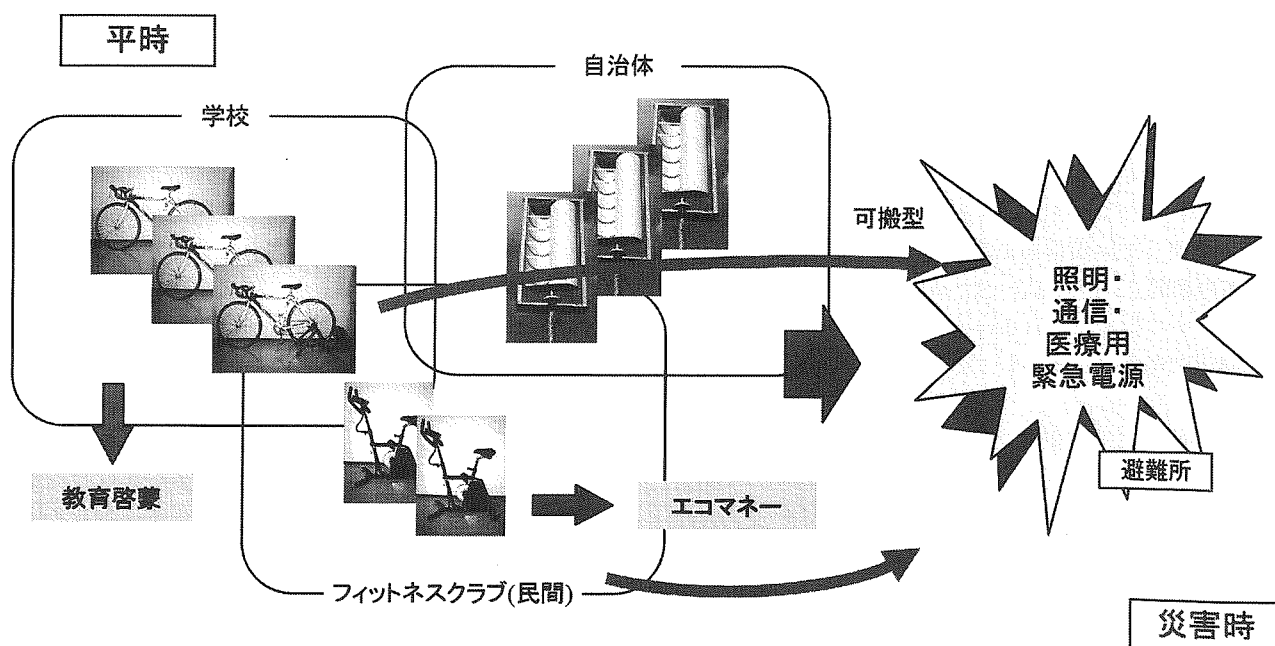


Figure 1 Concept of Bicycle Generation System

対して、発電量に応じたポイントの取得を可能にし、エコマネーなどに換算できるようになれば、一般市民への環境啓蒙にも役立つものと考えられる。

また、可搬性を持たせた自転車型人力発電機の場合、災害時の緊急電源としての応用も可能である。通常時においては科学館や学校で児童・生徒らの教育教材用として利用する一方で、万一の災害時には、避難所の緊急電源として用いることができる。特に、自転車本体と容易に着脱でき、可搬性にも優れているため、災害対策機器の緊急輸送にも対応可能である。災害時に数台の自転車型発電機を用いて数 100 W 程度の電力を一時的にでも発生できるということは、照明や通信機器の使用を可能にするだけでなく、中規模の蓄電システムと組み合わせることで医療機器用の緊急電源としても十分に役立つと考えている。

3. 自転車発電機の設計に関する工学的アプローチ

3.1 発電可能範囲

実用的な自転車発電機を実現するために、まず、人間が自転車を漕いだ際にどの程度発電が可能か検討する。

体育学や栄養学の教科書においては、自転車によるエネルギー消費を表 2 のように規定しているのが一般的である⁽³⁾。表 2 より、1 kcal = 1.163 Wh として換算すると、体重 75 kg の男性が時速 10 km/h の速さで自転車を 1 時間漕いだ場合、単純計算で 419 Wh のエネルギーを消費する計算になる。実際には、運動条件によって変化するが、発汗や発熱によるエネルギー放出などを考慮し、人間の機械的効率が 20~25 % 程度とすると⁽⁴⁾⁽⁵⁾、発電装置の機械的・電気的損失などにより、得られる電力は上記の値の数分の 1 以下になるものと予想されるが、健康な成人であれば「軽い運動」程度においても 100 W 前後の発電能力が期待できる。さらに、トップクラスのスポーツ選手では表 3 に見られるように瞬間的に 800 W 以上の発電が可能であり、一時間持続的に漕ぎ続けた場合でも 200 Wh 以上の発電量を発生させる能力があることも報告されている⁽⁶⁾。

3.2 発電機の選定

従来提案されている自転車型人力発電機では、発電機の性能により発電能力自体が著しく制限されているケースが多く目立つ。これは、日曜大工などでも比較的入手しやすい自動車用オルタネータや直流機が多く使われているためであり、その多くは定格電力が 10 W 程度の小容量のものである。また、比較的安価で整流回路の不要な直流発電機も多く用いられる傾向にある。例として、中学生のある体験学習において、自転車を利用した人力発電機の発電実験では一人当たり 3 分前後を目安に漕ぎ、一人平均 0.5 Wh の発電量となったとある⁽⁷⁾。しかし直流機の場合、摺動部を持つことから、寿命やメンテナンス性の点で実用性に難点がある。また、3.1 で述べたように数 100 W クラスの発電機を採用した場合、従来型の鉄心を持つ構造では自転車やその支持機構と比較してかなりの重量を占めるこ

Table 2 Calorie consumption
by bicycle and running⁽³⁾

speed	male (65kg)	male (75kg)	female (45kg)	female (55kg)
bicycle (8 km/h)	257 kcal	297 kcal	165 kcal	201 kcal
bicycle (10 km/h)	312 kcal	360 kcal	200 kcal	244 kcal
running (7.2 km/h)	456 kcal	527 kcal	316 kcal	386 kcal
running (12 km/h)	811 kcal	936 kcal	562 kcal	686 kcal

Table 3 Example of average power measured at Tour
De France⁽⁶⁾

Duration	3:51:36
Distance	181.5 km
Average Speed	47.0 km/h
Average Power	206 W
Peak Power for 5 sec.	830 W
Peak Power for 1 min.	403 W
Peak Power for 5 min.	308 W
Peak Power for 1 hour	231 W

Table 4 Comparison of size of generators

Type	proposal coreless generator	conventional iron-core generator	ratio
output [W]	200	200	1.0
diameter [mm]	165	150	1.1
height [mm]	22	197.5	0.11
weight [kg]	1.7	9.0	0.19

とになり、コンパクト性や可搬性に欠けることになる。

そこで筆者らが注目するのは、近年、小型風力発電に多く利用されているコアレス型永久磁石方式の同期発電機である⁽⁸⁾⁻⁽¹²⁾。このタイプの発電機は鉄心を持たないため、従来型発電機と比較すると軽量で容積も小さく、また永久磁石方式であるため、高トルクで摺動部を持たないという利点もある。また、コアレス機は鉄心が無いため鉄損が存在せず、銅損、電機子巻線の渦電流損、機械損が主な損失となっている。渦電流損に関しても銅線径を細くすることでその損失を抑えることが可能で、95%以上の高効率な発電機も製造されている⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾。したがって、コアレス型の回転機は鉄心型の回転機よりも高効率な回転機であると言える。実際、今回提案する自転車型人力発電試作機に使用している発電機は、コアレス型アウターロータ永久磁石方式同期発電機であり、三相交流出力の定格電流 2 A、連続定格出力 200 W、定格回転数 2000 min⁻¹ というものであ

自転車		目的	速度	人力発電
子供	子供用	遊び	< 10km/h	
主婦	快走車	買い物	< 10km/h	エアロバイク型 教育啓蒙 エクセサイズ < 200W
一般	快走車	通勤	< 20km/h	
愛好家	MTB	サイクリング	< 40km/h	
セミプロ	ロード	レース	> 40km/h	トレーナー台型 趣味 トレーニング < 800W
プロ選手	ロード	レース	> 60km/h	

Figure 2 Classification of depend upon applications

る。また、定格時の発電効率、短絡試験の結果によって97.9%という値が得られている。この値は機械損および電機子渦電流損を含まないことから、実際の効率はこれより若干低下することが予想されるが、十分高効率の発電機であると考えられる。このような試供発電機と同程度の電力であるA社製鉄心型モータとを比較すると試供発電機の場合、表4に示すように容積で1/8、重量で1/5の優位性があり、コアレス型永久磁石方式の同期発電機が如何にコンパクトで可搬性に富んだものであるかが分かる。

上述のコアレス型同期発電機は永久磁石を使用しているため、従来の直流機や誘導機に比べ価格が高いという欠点を持っている。しかし、小型風力発電機やマイクロ水車用発電機とほぼ同一の思想で設計可能なことから、自転車型人力発電システムに用いることで自然エネルギー用発電機としての利用用途の拡大に繋がり、再生可能なエネルギーに対する教育啓蒙に役立つだけでなく、将来の量産化によるコストダウンを促すことができる。

また、最も重要な発電機定格の選定であるが、表2および3から、

- (1) 家庭での健康器具としてやフィットネスクラブでの利用形態を考える場合、最大出力100~200W程度で平均発電量50~100Wh程度を想定
- (2) アマチュア愛好家のトレーニングやプロ選手の練習・訓練用として想定する場合、最大出力200~800W程度で平均発電量100~200Wh程度を想定

といった具合にそれぞれ用途に合わせた発電機を選定し、全体を設計する必要がある。

3.3 形状の検討

一般に、自転車の利用形態は通勤や主婦の買い物から愛好家のサイクリングやプロ選手のレースに至るまで多種多様な形態を持つため、自転車を利用した人力発電システムにおいても多様な利用形態に即して全体設計をする必要がある。3.2で述べたように家庭やフィットネスクラブでの利用を想定した場合には、一般的な快走車（所謂「ママチャリ」）と同じ姿勢で無理なく漕げる乗車姿勢が最も受け入れられると予想される。そうした利用形態において

は、従来のエアロバイク型の健康器具に発電機を付加したシステムや普通の快走車がそのまま使えるようシステムが望ましいと考えられる。文献(13)では、筆者らが提案したエアロバイク型の自転車型発電機を紹介しているが、このシステムは定格100Wのコアレス同期発電機を4台連結し、20代後半の男性が適切な負荷で漕ぐと最大で334W、10分程度の無理のない運動で50~100W程度の電力を出力し続けることができています。

逆にプロスポーツ選手やアマチュアの中でも高級ロードバイクやマウンテンバイクを楽しむ層にとっては、自分専用の自転車に簡便に着脱可能なアタッチメント型の発電システムを提供する方が受容されるのではないかと考えられる。特に、ロードバイクは身長や腕の長さなど個々人に合わせて設計製造されるものが多く、プロ選手やアマチュアにとって自分専用の自転車をそのまま使えることは非常に重要なファクターである。図2に使用者の区分による発電機定格、使用形態の選定を示す。

以上のように、「効果的に発電できる」、「多くのユーザーに使い続けて貰える」と言った実用的な人力発電システムを構築するためには、適切な発電機定格の設定、利用形態・用途による形状設計などを行なうことが必要不可欠である。

4. 自転車型人力発電機の試作と性能評価

利用形態に即した発電機の選定および形状を踏まえ、通常時はトレーニングなどに用いることができ、災害時にはより有効に用いることができるような可搬性を持った自転車型人力発電機の試作を行なった。

4.1 トレーナー台型自転車発電機の提案と試作

図3は市販のロードバイク用トレーナー台と同様の形状を持つ人力発電システムの試作例である。市販のトレーナー台は通常、ロードバイクやマウンテンバイクなどの自転車の後輪にローラー部を押し当てる方式で、通常の自転車を用いるトレーニング装置である。従来では油圧やマグネットなどにより負荷をかけていたが、試作システムでは

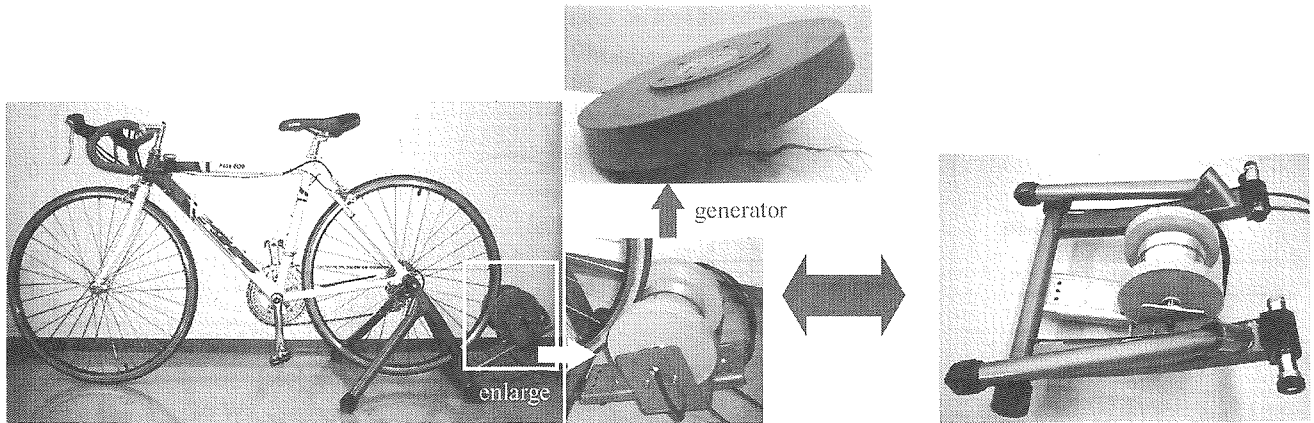


Figure 3 Photo of "trainer type" generator

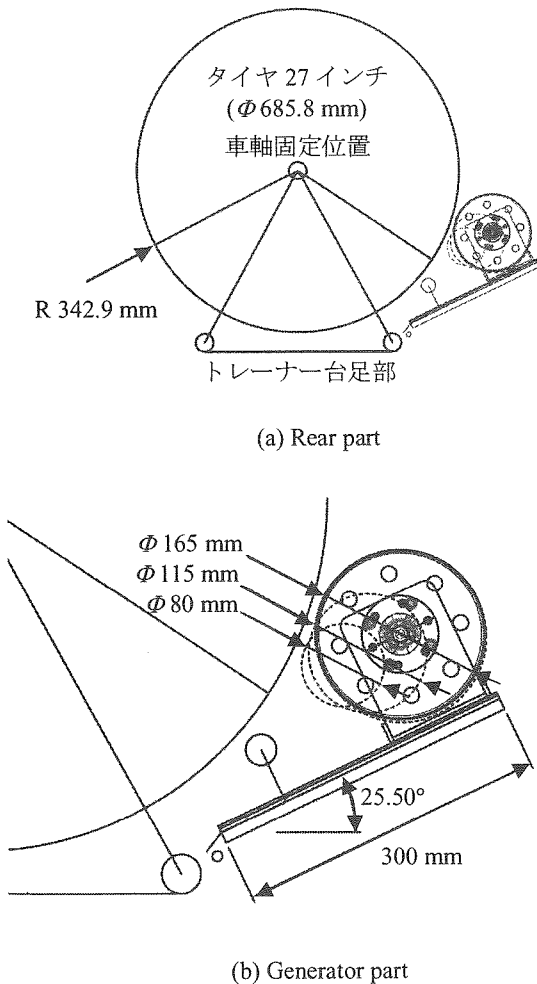


Figure 4 Configuration of "trainer type" generator

発電機に接続された抵抗負荷を調節することにより負荷調整が可能である。図4にトレーナー台型自転車発電機の構成図を示す。また、3.2で述べた通り、コアレス型永久磁石方式の同期発電機を採用しているため、

- (1) 通常の自転車がそのまま利用可能
- (2) 自転車からの着脱が容易に可能

Table 5 Axle ratio of "trainer type" generator

	front : rear	rotation ratio (tire : generator)	axle ratio α (crank / generator)
1	42 : 26	680.58 : 115	0.104
2	42 : 23		0.092
3	42 : 21		0.084
4	42 : 19		0.076
5	42 : 17		0.068
6	42 : 15		0.060
7	42 : 14		0.056
8	42 : 13		0.052
9	52 : 26		0.084
10	52 : 23		0.074
11	52 : 21		0.068
12	52 : 19		0.061
13	52 : 17		0.055
14	52 : 15		0.048
15	52 : 14		0.045
16	52 : 13		0.042

(3) 発電部が小型軽量で不使用時にはコンパクトに収納でき、可搬性に優れている

(4) ローラー部は発電機直結でギヤや歯車を持たず、寿命やメンテナンスの点で優れている

などの利点を有するのが特徴である。

本試作機では、発電機には(株)マザーズ製165型を2台並列に接続して用いている。また、ローラー部には中空円筒を用いており、直径が80 mm、115 mm、165 mmの3種類のものを用意し、発電機の回転数がある程度調整できるように設計した。今回の試作機評価では直径115 mmのローラーを使用し、試供自転車のタイヤ（直径680.58 mm）と発電機間の回転比を0.17と設定した。また、試供自転車にはフロント2段×リア8段の変速機構があり、最終的なギヤ比(クランク回転数と発電機回転数の関係)は表5のようになる。

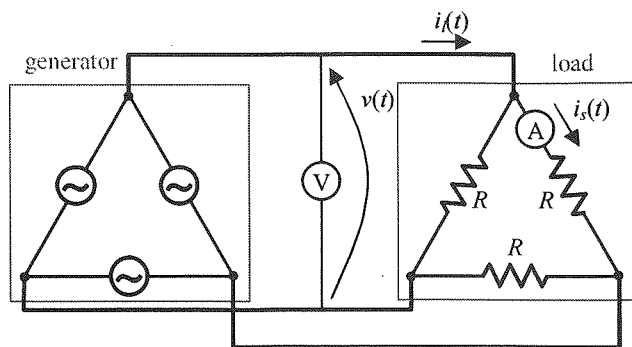


Figure 5 Measurement circuit (AC output)

4.2 実験方法

図5に実験回路を示す。三相平衡負荷による交流出力測定を行なった。図5より、まず線間電圧の瞬時値 $v(t)$ [V] (Δ結線であるため、相電圧と同等) と相電流の瞬時値 $i_s(t)$ [A] を HIOKI 製 8842 メモリハイコーダにてサンプリング間隔 500 μs で測定した。図6のように得られた交流波形から真の実効値 V [V] を、

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (1)$$

より PC 上で算出した。また、相電流の瞬時値 $i_s(t)$ [A] から線電流の真の実効値 I_l [A] を以下の式から算出した。

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_s^2(t) dt} \quad (2)$$

$$I_l = \sqrt{3} I_s \quad (3)$$

さらに、図6の交流観測波形から位相差 θ [deg] を算出し、三相交流電力 P [W] を、

$$P = \sqrt{3} V I_l \cos \theta \quad (4)$$

から算出した。ここで、 $\cos \theta$ は力率である。

なお、4.3 に示す被験者のうち、被験者(a)～(c)の測定に関しては、測定の簡便性の観点から整流器を通して直流出力を測定している。整流器の効率、発電機の定格電流である 2 A の場合に 90.7% であった。

また、回転計は(株)小野測機製接触・非接触両用式デジタルハンドタコメータ HT-5500 を用い、負荷にはメタルラッド抵抗3種類 (18.75 Ω, 30 Ω, 50 Ω) を用意し、発電したエネルギーは熱として消費させた。

次に、得られた出力と発電機の回転数から簡易的な計算によって脚に掛かるトルクを算出することができる。まず発電に必要なトルク T [Nm] は、

$$T = \frac{60P}{2\pi n} \quad (5)$$

から求められる。ここで、 P [W] は得られた電力、 n [min^{-1}] はその時の発電機の回転数である。また、クランクの回転数 (ケイデンス) と発電機の減速比は表5から分かるため、式(1)より、最終的なトルク T_f [Nm] は、

$$T_f = \frac{60P}{2\pi n_c} \quad (6)$$

となる。ここで、 n_c [min^{-1}] はクランク回転数であり、ギヤ

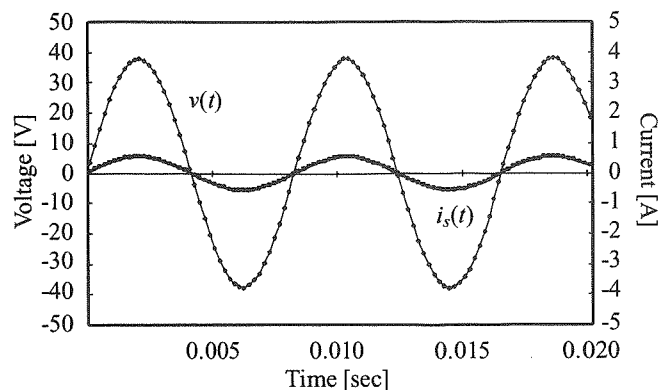


Figure 6 Wave form of three-phase alternating current

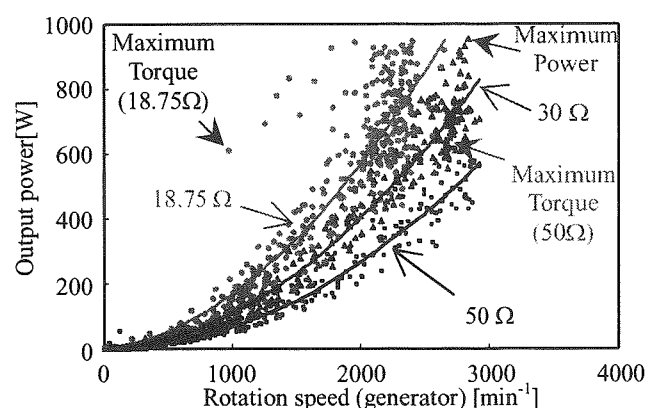


Figure 7 Output power characteristics (operator (a))

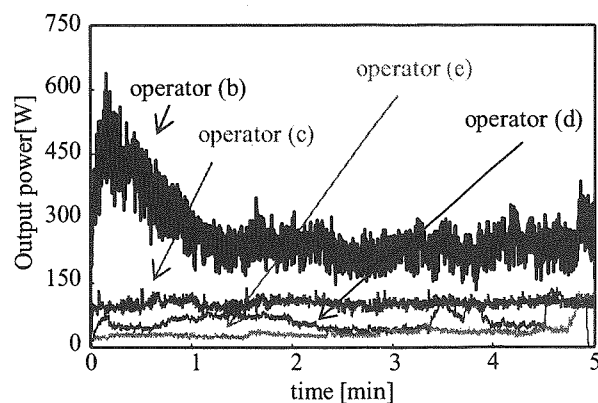


Figure 8 Measurement of 5-minutes pedaling

比 α によって以下のように変化する。

$$n_c = \alpha n \quad (7)$$

なお、 α については表5を参照のこと。

4.3 実験結果

図7はトレーナー台型自転車発電試作機の運転により得られた発電特性の一例である。測定自体は瞬間的な出力を測定しているため、10秒程度で終了している。被験者は20代前半(男性)の短距離系アマチュア自転車競技者(被験者(a))である。図7より、人間がクランクを回すことによる回転ムラがあるため、結果にバラつきがあるが、発電機の回転数が 2688 min^{-1} のときには最大 956 W の出力が得

Table 6 Conditions on Results of measurement

operator	Load [Ω]	Gear Ratio	Maximum power [W]	Rotation Speed of Maximum power [min^{-1}]	5-minute average [W]
(a)	30	52 : 13	956	2688	—
(b)	30	42 : 15	639	2205	242.0
(c)	18.75	52 : 13	139	869	102.3
(d)	50	42 : 17	141	1225	62.1
(e)	50	42 : 17	131	1113	35.9

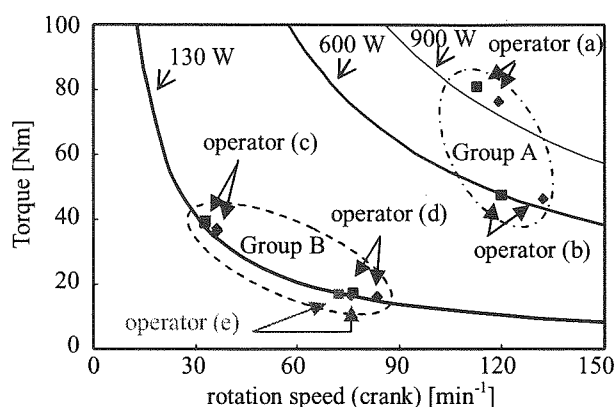


Figure 9 Torque – crank rotation speed characteristics

られていることが分かる。また、式(6)より、脚に掛かる瞬間的なトルクとしては、軽負荷(50 Ω)の場合には最大で約 56 Nm (5.7 kgm)、重負荷(18.75 Ω)になると最大 120 Nm (12.2 kgm)程度と算出される。

次に、図 8 は 5 分間連続でトレーナー台型自転車発電機を漕ぎ続けた測定結果である。被験者は 20 代前半の長距離系アマチュア自転車競技者(被験者(b)), 30 代後半の自転車通勤者(被験者(c)), 20 代後半の普段運動をしていない者(被験者(d)), 20 代前半の普段運動をしていない者(被験者(e))の男性 4 名である。負荷抵抗は試走段階で被験者自身にあった漕ぎやすいものをそれぞれ選んでもらい、それぞれ表 6 のような負荷抵抗を使用した。図 8 より表 6 に示すような 5 分間平均の出力が得られている。これより、4 名の平均は 110.6 W であるため、複数名で交替しながら漕いでいくことで平均 100 W 程度の出力が充分得られ続けると考えられる。したがって、現状でも災害時の緊急電源としての能力を充分有している。

最後に被験者(a)～(e)のトルク・クランク回転数特性を図 9 に示す。図 9 は図 7 および 8 の測定データを用いて式(6)から算出し、プロットしている。ただし、図 7 のように回転ムラによる測定値のバラつきがあるため、代表的な 2 点を■(最大トルク時)と◆(最大クランク回転数時)で示している。図 9 より、グループ A のアマチュア競技者とグループ B のそれ以外のものにはっきりと分類できることが分かる。グループ A のうち被験者(a)は短時間にできるだけ最大の電力を記録するように、被験者(b)は一定時間にできるだけ多くの電力量を出すように指示をして漕

いだ場合であるが、両者ともに 120 min^{-1} 程度のクランク回転数を選択している。これは自転車に熟練している漕ぎ手であるためと推測される。一方、同程度のクランク回転数でも被験者(a)は短時間運転のため高トルク、被験者(b)は一定時間運動を持続させるため比較的低トルクで運転していることが分かる。また、グループ B に分類された被験者(c)は、ある程度スポーツ型自転車に乗り慣れているため、グループ A の競技者のように高トルクでの運転を維持できるが、回転数を上げて発電させられず、差ができたと考えられる。さらにグループ B の被験者(d), (e)のようにスポーツ型自転車に乗り慣れていない人物は乗車姿勢も適切でなく力もうまく伝えられないため、瞬間的には回転数を上げて、被験者(c)と同程度の出力電力が得られるが、長期的には維持できないので、平均出力電力は低い結果となっていることが分かる。しかし、数回の運転で乗車姿勢に慣れることでより高い出力が得られる可能性があると考えられる。

5. まとめ

本報告では、実用的な自転車型人力発電システムの実現を目指して、現状と問題点を検証し、それらの問題点を顧みながら試作機の紹介を行なった。

試作した自転車型人力発電機であるトレーナー台型自転車発電機において、コアレス型同期発電機を用いることで、

- ・ 通常の自転車をそのまま利用でき、着脱が容易に可能
- ・ 発電部が小型軽量で収納性、可搬性に優れている
- ・ ギヤや歯車を持たず、寿命やメンテナンスの点で優れている

などの特徴を持つ試作機を製作することができた。出力においても、

- ・ 最大で 950 W 程度の出力
- ・ 持続的な運転に対して、複数名で交替しながら漕ぐことで 100 W 程度の出力

が得られることが確認できた。

以上の結果から、コンバータや蓄電システムの整合性、被験者の安全やトレーニング効果など体育学・スポーツ科学的な考察など、いくつか解決せねばならない問題点も残

されているが、出力電力の観点から十分に災害時の緊急用電源としての機能を有しており、一般市民への環境啓蒙に役立つ実用的な自転車型人力発電システムを実現した。

今回の自転車型人力発電試作機の測定にあたり、御協力頂いた関西大学学部生竹田哲紘氏および関西大学体育会自転車部に謝意を表します。

参考文献

- 1) 長田尚彦・伊東春樹, 慢性心不全 診断 運動耐容能, カレントセラピー, Vol.18, No.6, pp. 1072-1075 (2000)
- 2) 前田浩和・荒川規矩男, 特集 高血圧のすべて 現状と将来の展望 ライフスタイル・モディフィケーション 軽症高血圧の運動療法, 医学のあゆみ, Vol.169, No.5, pp. 570-574 (1994)
- 3) 橋本勲, 運動・栄養生理学, 同文書院 (2003)
- 4) 佐藤哲夫・佐藤陽彦・板原裕・横山真太郎, 人間工学基準数値数式便覧, 技報堂出版 (1992)
- 5) 石橋健司, 自転車エルゴメータを使用した機械的効率の算出, 大分大学教育学部研究紀要, Vol. 18, No. 1, pp. 113-119 (1996)
- 6) Allen Lim, Tour De France 2005, Bicycle Magazine Website, <http://www.bicycling.com/tourdefrance/experts/report/0,5970,s1-1542-2-10-23,00.html>
- 7) 宮下晃一・松岡慎也・長松正康, 電動カートを利用したエネルギー教育実践とその分析, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 47, No. 1, pp. 17-23 (2005)
- 8) 森本茂雄・武田洋次, 永久磁石同期機の技術動向, 電気学会誌, Vol. 122, No. 11, pp. 761-764 (2002, 11)
- 9) 安田陽, 風力発電機の開発動向, 日本応用磁気学会第 147 回研究会資料, pp. 25-32 (2006, 2)
- 10) 田中祐弥・高橋勲・長田雅裕・武藤修・劉小紅, アキシシャルギャップ形超高速高効率モータ, 電気学会回転機研究会資料, RM-98-143, pp. 139-144 (1998)
- 11) 星野昭広・磯部真一・森本雅之・真田雅之・武田洋次・松井信行, コアレス巻線アキシシャルギャップ型発電機の損失分析と高効率化, 電気学会論文誌 D, Vol. 121-D, No. 9, pp. 971-977 (2001)
- 12) Rong-Jie Wang・Kamper, M.J.・Van der Westhuizen, K.・Gieras, J.F., Optimal Design of a Coreless Stator Axial Flux Permanent-Magnet Generator, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 41, No.1, pp. 55-64 (2005)
- 13) 安田陽・大本親吾, 風力発電機を応用した実用的自転車発電システム, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2005, pp. 427-430 (2005, 10)