

# 自転車型トレーニング発電機の制御と可視化

～発電量管理システムと生体情報を用いたフィードバック機構の提案～

## Control and Visualization for the Bicycle-Type Training Power Generator -Proposing a Feedback System with Power Management Using Physiological Data-

浅井 修<sup>†‡</sup>                      中村龍二<sup>†</sup>                      綿貫理明<sup>†</sup>  
Osamu ASAI<sup>†‡</sup>                      Ryuuji NAKAMURA<sup>†</sup>                      Osaaki WATANUKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 専修大学 ネットワーク情報学部

<sup>‡</sup> 現 筑波大学大学院

<sup>†</sup> School of Network and Information, Senshu University

<sup>‡</sup> Presently at Graduate School, Tsukuba University

### 要旨:

開発時には主として発電量を高めることを目的とした自転車型人力発電機を、操縦者の脈拍データを測定し発電負荷にフィードバックすることにより、人間の体力・疲労度に応じて発電量の負荷を調整できるシステムに改良した。機械中心のシステムから、人間中心の“人にやさしい発電システム”へと進化させた。

### Abstract:

This bicycle-type human power generator was originally a technology-centric system aimed at generating higher electric power. However, the power-generator is improved to be a human-centric training system which employs feedback mechanism with physiological pulse data.

### 1. はじめに

世界人口は既に 70 億を突破し、人類の生存に必要なエネルギー需要は年々増大している。エネルギー源の 70%以上は化石燃料に依存しており、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度は 2013 年時点で 400ppm を超えるようになった。これは 1970 年代から警鐘が鳴らされており、早魃・水害などの異常気象や海面上昇、食糧生産への障害など地球温暖化・持続可能性の危機が益々現実化している[1,2,3,4]。気温は大気中の CO<sub>2</sub> 濃度だけでは決まらないため、経済成長の減速を不都合と考える人々からは、温暖化に対する懐疑論が出された。しかし CO<sub>2</sub> 濃度の幾何級数的な上昇は、季節変動も含め精密に測定できる。CO<sub>2</sub> 濃度の上昇により、大気が太陽エネルギーをより多く吸収し、台風やハリケーンの凶暴化、ゲリラ豪雨、大雪や竜巻など、異常気象が年々増加しているのは厳然たる事実である。

月尾[5]は、内燃機関など従来型の技術に比較して、“情報通信技術は、社会の利便性を増してもエネルギー消費は増加しないという稀有な特性を具備した史上最初の技術”であり、今後は社会で情報通信技術の活用を進めるべきと述べている。実際、物を遠隔地に運ぶより、情報を伝送した方がエネルギーの消費ははるかに少ない。また松山[6]は、“エネルギーの情報化”と言う概念を提唱し、情報技術の活用により電力の供給と消費の細かい管理を行い、米国のスマートグリッドとも比較しつつ、地域家庭など社会の各階層で省エネを図ることを提案している。モバイル機器の普及により、また防災の観点から、エネルギーハーベスティング(環境発電)技術の重要性も増してきた。慶應

義塾大学の武藤教授[7]は、圧電素子や熱電素子を使い、日常無駄に捨てられている僅かなエネルギーを小電力に変えて、情報機器等に有効活用する研究を行っている。日本では 2011 年 3 月 11 日に起こった東日本大震災を契機としてエネルギー問題が社会で注目されるようになった。原発停止により日本のエネルギー自給率の低さとエネルギー政策の脆弱性が表面化した。今後はエネルギーを生み出す創エネ、及びエネルギーを節約する省エネが益々重要な課題となっていくと思われる。

専修大学では震災以前から、経済産業省の表彰を受けるほど性能の高い省エネ施設を構築しているが、創エネの研究も行われている。第 3 筆者の研究室では、2007 年度から継続して社会にとって重要な“情報通信技術を環境及びエネルギー問題に適用する研究”を行ってきた。青木ら[9]がビジネスモデルを提案した“スポーツによる集散的創エネ”は、2010 年度に綿貫ら[10]が人力発電機の試作品を開発し、実験的研究を開始した。2011 年度は発電量の可視化が実装され[11]、2012 年度には発電量と消費カロリーを表示するアプリケーションソフトの開発を行い、発電型トレーニングシステムへと進化した[12]。

人力発電機では、発電量が大きいほど大きな力を必要として発電負荷が大きくなる。200W の電球を点灯するには、100W の電球より大きな力をペダルに掛ける必要があることを実際に体感できる。このシステムに、今回人体の疲労度を脈拍により測定し、発電負荷にフィードバックする新たな機能を加えた。具体的には、自転車操縦者の生体情報(脈拍)を取り、それに応じて自転車の負荷を変動させるシ

システムを実装した。このシステムにより、対象の運動レベルと状況に応じて負荷が変動し、無理なく発電が行える。結果的に、より長時間のトレーニング活動が行え、効果的な発電をすることが可能となる。

また、自転車漕いでいる際の発電量をマイコンボード (Arduino) で計測し、その計測値をリアルタイムでタブレット端末に送信することにより、Android アプリとして発電量の記録を可能にした。

## 2. 生体情報フィードバックによる発電量負荷制御

自転車発電を行う際の発電量の計測、負荷の変動、対象者の心拍の計測は全て自転車に取り付けられたマイコンボード (Arduino) で処理を行う。

発電量は、自転車に接続している充電制御器 (太陽電音 株 WINTEX-880A) から直接取り出している。この充電制御器は、風力発電用の機種を特注により、手で負荷の調整ができるよう、人力発電用に改造してもらったものである。この出力は鉛蓄電池 (GS ユアサ製 EB-100) に接続されている。発電量データは直流電圧として取り出せるが、Arduino は入力された電圧を読み取る際、10 ビット幅 (0~1023) の分解能で A/D 変換を行う。そのデジタル値から電圧を求めた後、充電制御器のデータシートにある、電圧-発電量の対応関係に基づき、発電量を割り出す。

この発電量は、ZigBee というワイヤレス通信規格を備えた XBee と呼ばれるパーツと、Arduino をサーバーにするイーサネットシールドというパーツを使用することにより、Android タブレット端末、PC 等にリアルタイムで無線通信することが可能になっている。図 1 にシステム全体の概要を記す。



図 1 人力発電システム概要図

心拍の計測は、心拍センサを使用することにより可能にしている。使用した心拍センサ (Sparkfun 社 SEN-11574) は、対象の耳たぶや指先に装着し、光源である LED を生体内に向けて照射し、受光部となる Photo-diode を用いて、生体内を透過又は反射した光を計測する、「光センシング原理」が用いられている。

これは、血中のヘモグロビンが光を吸収するという性質を利用している。心臓の鼓動が血液を送り出し血管が太くなっているときは、ヘモグロビンの量も増え、より多くの光が体内で吸収される。一方、血管が細くなっているとき

は、ヘモグロビンの量は減り、吸収される光の量が少なくなる。つまり、心拍が激しい時は返ってくる光が少なく、心拍が弱いときは多く光が返ってくる。この計測部に入る光量の多寡により脈拍を測定している。

心拍の計測は、心拍センサを使用することにより可能にしている。使用した心拍センサは、対象の耳たぶや指先に装着し、光源である LED を生体内に向けて照射し、受光部となる photo-diode を用いて、生体内を透過又は反射した光を計測する、「光センシング原理」が用いられている。

これは、血中のヘモグロビンが光を吸収するという性質を利用している。心臓の鼓動が血液を送り出し血管が太くなっているときは、ヘモグロビンの量も増え、より多くの光が体内で吸収される。一方、血管が細くなっているときは、ヘモグロビンの量は減り、吸収される光の量が少なくなる。つまり、心拍が激しい時は返ってくる光が少なく、心拍が弱いときは多く光が返ってくる。この計測部に入る光量の多寡により脈拍を測定している。

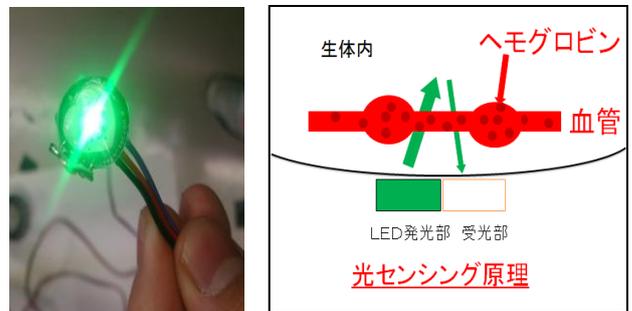


図 2 心拍センサと光センシング原理

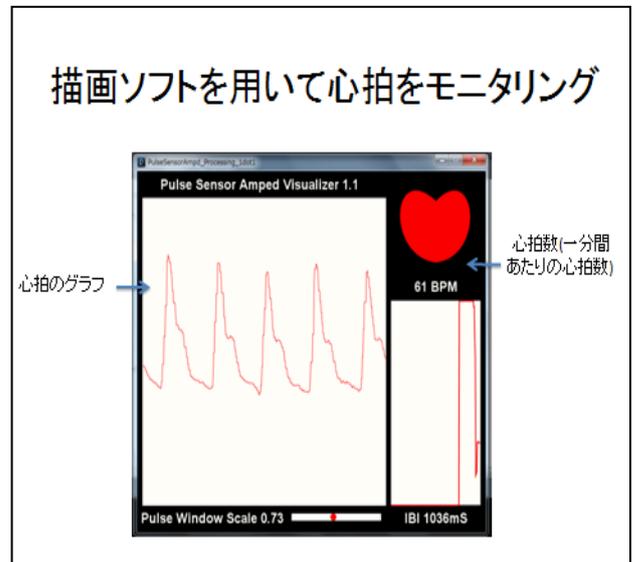


図 3 Processing による心拍計測表示

計測した心拍情報を元に、Processing によって脈波形を描画することで、心拍情報をリアルタイムで可視化した (図 3)。

効率的に発電を行うには、負荷 (自転車のペダルの重さ) が軽すぎず、かつ無理なく長時間行うことができる重さであることが重要である。そこで筆者らは、無理なく長時間発電を行うために、リアルタイムで計測している対象の心拍に応じて、負荷を変動させるシステムを実装した。脈拍

が低く安定している時は負荷を重く、逆に脈拍が高くなっている時は負荷を下げる処理を行うことで、対象の状況、運動レベルに応じて無理なく長期的に発電することができる。

通常平静時の人間の脈拍は一分間に 60~70 前後であり、ダイエットやエクササイズ等で推奨される、無理のない心拍数は 110 前後である。よって今回のシステムでは、対象の心拍数が 60~80 である間は負荷を上げ、80~105 では負荷を僅かに上げ、105~110 で負荷の変動はせずそのままの状態を保ち、110 以上であるときは負荷を減少させるようにしている。

図4には、脈拍のデータに基づきサーボモータを駆動して、WINTEX-880A 充電制御器の負荷調整つまみの動きにフィードバックするための機構を示した。



図4 WINTEX-880A 充電制御器とサーボ機構

表1に実際にシステムを使用した場合の発電量と、負荷(ペダルの重さ)を固定した場合の発電量の比較を記す。

表1 発電負荷と発電量

負荷	発電量(5分)
最少(100W 固定)	3.2Wh
最大(500W 固定)	6.7Wh
システム使用(70-500W 可変)	5.3Wh

表1で負荷調整ボリュームのつまみは、最少は 100W 固定、最大は 500W 固定である。またフィードバックシステム使用時は、サーボモータにより負荷を 70W~500W の間を可変とした。表1の中の発電量は各5分間測定の値で、1時間に換算すると負荷最小の場合には 38.4Wh に、負荷最大では 80.4Wh、生体情報フィードバックシステム使用の場合には 63.6Wh に相当する。

実験の結果、システム使用時は負荷最大と最少負荷の中間の発電量を得ることができた。また、本システムを使用することにより辛くなってきた時に、心拍数に応じて負荷が下がるので、発電終了後の疲労感は軽く感じた。負荷を固定すると、使う筋肉も一定となるので、最少の負荷であっても同じ部位を使い続ける疲労感があったが、システムを使用した場合は負荷の変動に対応して様々な足の部位をバランスよく使うことができたためであると思われる。

今回開発したシステムは、効率的に、また人間の生体情報をフィードバックすることにより、人に寄り添った発電が行えたと言える。

### 3. 発電量の可視化と無線によるデータ通信

第3 著者の研究室では、自転車型人力発電機の開発、発電量を Web 上で可視化、発電型トレーニング機器などの研究が行われてきた。しかし、発電量をトレーニングスケジュールと一体化して管理するといったことは行われていない。したがって、発電量を可視化するだけでなく、スケジュール管理を実装する必要があった。そこで、Android タブレットにより発電量を可視化し、その発電量とトレーニングスケジュールを Android 端末で記録・管理するアプリケーションの開発を行った。



図5 Android 端末発電量受信画面

発電量のデータ伝送は無線通信によって行った。無線によるデータ伝送は、ルーターを用いた Socket 通信により行われる。この方法は、2012 年度綿貫プロジェクトで開発された Socket 通信のプログラムをベースに、今回の目的に合うように修正した。

図5に示すように、Android タブレットに発電量を表示(可視化)する際は、Socket 通信を使用するためリアルタイムで表示できる。

図6及び図7には、それぞれ発電量記録画面と、予定(スケジュール) 作成画面を示した。



図6 Android 端末発電量記録画面

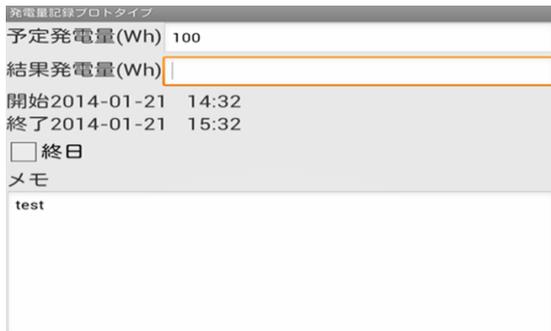


図 7 Android 端末予定作成画面

#### 4. 研究会と展示会への成果公開及び表彰

本学の研究・教育の理念「社会知性の開発」を実践するため、研究成果は積極的に外部へ発表した。公式な発表の場として下記の3つがあげられる。

##### 4.1 平成 25 年度第 5 回情報科学研究所定例研究会

これは学内教員のみならず、他大学の教員、及び教育・研究に携わる企業や研究機関の方々が参加する研究会である。

日時：2014年1月23日(木) 9:30-17:30

場所：専修大学生田校舎9号館 M969 会議室

筆者らは産官学連携により本学の教育理念「社会知性の開発」を実践していること、2010年度より継続している人力発電機にフィードバック機構を付けて、人間の体力に応じた発電を可能とするシステムに改良したことを動画によって説明した[8]。この研究会において、魚田勝臣名誉教授により情報システムは技術中心(機械中心)から人間中心のシステムに変遷してゆくことが指摘され、筆者らが行った研究は、その流れに沿った研究であることが確認できた。

##### 4.2 川崎国際環境技術展 2014

開催目的：アジア地域を中心に優れた環境技術を移転し、環境技術による国際貢献、産業の活性化の統合的な実現をめざす。川崎市が過去の環境問題を克服することにより蓄積した技術を、世界にアピールする。

開催日時：2014年2月14日(開催)、15日(大雪のため中止)

場所：とどろきアリーナ

出展者：157団体、237小間

展示会来場者数：約4500名

本学小間来場者：

(財)川崎市産業振興財団、専修大学広報、電気自動車普及協議会、太陽電音(株)、新日鉄住金ソリューションズ(株)、川崎市民アカデミー、川崎市中原区まちづくり推進本部、川崎商工会議所、(社)神奈川デザイン機構、本学卒業生と後輩、その他一般市民の方々など約30名

本学出展内容：

- ① 浅井修、中村龍二(ネットワーク情報学部綿貫研究室)「自転車型人力発電機の制御と可視化～発電量管理システムと生体情報を用いたフィードバック機構の提案～」(エネルギー)
- ② 細矢ひかる(経営学部森本研究室)「セルフインタ

クションによる音のビジュアライズ～Arduinoを使用したピアノ演奏ロボットアーム～」(家庭内環境)

- ③ 田中・綿貫プロジェクト「圧電素子を利用した発電器具」(エネルギー)
- ④ 田中・綿貫プロジェクト/綿貫研究室「川崎市第2回スマートライフスタイル大賞奨励賞【省エネ貢献賞】受賞」(環境問題・エネルギー)

2009年の第1回から情報科学研究所の成果として川崎国際環境技術展には出展を続けている。川崎国際環境技術展2014では、多くの来場者が本学の研究成果の発表に関心を持ち聞いてくださった。筆者らは上記①の研究成果を動画とパネルによって発表した(図8)。来場者とは有意義なディスカッションをすることができ、また参考になるアドバイスもいただいた。このような経験は、学内の発表会では得られないもので、「社会知性の開発」という本学の教育研究の理念を実践する上で大変有意義なものであった。著者らに限らず、出展参加者にとって外部での発表は社会と接する良い経験になり、また達成感を感じた。

川崎市のスマートライフスタイル大賞でも継続性が評価されており、将来的に本学の研究成果発表の場として、後輩たちが継続することを期待する。



図 8 川崎国際環境技術展本学出展小間

##### 4.3 川崎市第2回スマートライフスタイル大賞奨励賞

川崎市には、研究室の成果として「専修ネットワーク&インフォメーション」、「専修大学情報科学研究所所報」、情報処理学会全国大会や研究会などで発表した2007年度からの論文17編を添付して申請を行った。申請は田中プロジェクトと合同で「環境問題に情報技術を取り込む活動：創エネと電気エネルギーの見える化」と題して手続きを行った。川崎市の【省エネ貢献賞】授賞理由として、『「社会知性の開発」という大学理念のもと、2007年度からコンテンツデザインとコンピューターグラフィックスによる環境問題の分かりやすい解説と消費電力等の可視化や自転車型人力発電機の開発・製作などに取り組んでおり、その成果を川崎国際環境技術展で発表している。学生が環境保護の重要性を学んで、日常生活や大学卒業後の仕事での実践につなげていくことを目的として取り組んでいる。』と発表された[14]。2013年11月8日の授賞式には、当研究室を代表して第1筆者が参加した。

## 5. まとめ

研究の目的である、生態情報を用いた自転車型人力発電機のフィードバック制御システム、その発電量の管理システムを実装できた。また従来から行っていた太陽光発電と人力発電を統合して充電し、研究室のエネルギー源として利用することが可能となった。成果は情報科学研究所の情報教育研究会において、また川崎国際環境技術展においても発表し、過去の成果の蓄積として川崎市のスマートライフスタイル大賞奨励賞も受賞した。2010年度から継続する研究室の研究テーマを進展させ、主とする研究目標は達成できたが、それぞれに課題が見つかった。

サーボモータと負荷調整用ボリュームつまみ間の機械的接続は、今回時間の都合で暫定的に固定することになった。今後はネジを用いた恒久的な接続に改善する必要がある。またデータ測定には長い撚り線を使用しているため、環境によってノイズが混入し、正確な測定ができない恐れがある。この課題を改善するために接続にはシールド線を用いて測定する必要がある。今回は心拍数に応じて負荷を変動するシステムであったが、今後は、計測した心拍数と対象者の年齢などのデータから、運動強度計算式をリアルタイムでマイコンにより計算し、より密接なフィードバック処理を行う改良が考えられる。現状では、データを Android 端末ごとに管理するシステムとなっている。しかし、個々の Android 端末を越えてデータ共有するためには、今後 Google カレンダーなどの機能を活用するクラウド化を検討する必要がある。

当研究室で研究を継続してきた人力発電機は、単なる発電機から、発電型トレーニング装置へと進化し、今回脈拍データの生体情報を発電負荷の調整にフィードバックすることにより、人に優しい人間中心のシステムへとさらなる改良を行うことができた。

## 参考文献

- [1] D・H・メドウズ, D・L・メドウズ, J・ランダース, W・W・ベアランズ三世(大来佐武郎監訳),『成長の限界 ローマ・クラブ「人類の危機」レポート』,ダイヤモンド社, 1972年5月
- [2] D・H・メドウズ, D・L・メドウズ, J・ランダース(茅陽一監訳, 松橋隆治, 村井昌子訳)『限界を超えて 生きるための選択』,ダイヤモンド社, 1992年12月
- [3] ドネラ・H・メドウズ, デニス・L・メドウズ, ヨルゲン・ランダース(枝廣淳子訳),『成長の限界 人類の選択』,ダイヤモンド社, 2005年3月
- [4] ヨルゲン・ランダース(野中香方子訳, 竹中平蔵解説),『2052 今後40年のグローバル予測』,日経BP社, 2013年1月
- [5] 月尾嘉男,“環境問題へ挑戦する情報通信技術”,電子情報通信学会誌, Vol.90, No.11, pp.930-935, 2007年11月.
- [6] 松山隆司,“エネルギーの情報化とは一背景,目的,基本アイデア,実現手法”,情報処理, Vol.51, No.8, pp.926-933, 2010年8月.
- [7] 武藤佳恭,『発明の極意』,近代科学社,2013年3月.
- [8] 浅井修,中村龍二,小林貴紀,鈴木俊,綿貫理明,“自転車型トレーニング発電機の制御と可視化”,第5回情報科学研究所定例研究会,2014年1月23日(木)

- [9] 青木豊,綿貫理明,楠裕行,“人力発電ビジネス EPS(Eco Power Service)の挑戦 - 専修大学ベンチャービジネスプランコンテストに入賞して -”,専修ネットワーク&インフォメーション, pp.25-32, No.14, Jan. 2009
- [10] 綿貫理明,石坂得一,嶋俊夫,木村康廣,“産官学連携による自転車型人力発電機の開発と川崎国際環境技術展2011への出展 - 自然エネルギーと人力エネルギーの統合と持続可能な社会を目指して -”,専修大学情報科学研究所所報, No.77, pp.45-53, Nov. 2011.
- [11] 坂本亘,天野喜将,木所文彦,水野裕和,二上貴夫,綿貫理明,“自転車型人力発電機の発電量の可視化システム提案”,専修大学情報科学研究所所報, No.78, pp.1-10, June 2012年.
- [12] 綿貫理明,田中稔,“社会知性の開発とプロジェクト成果の展示会出展 - 川崎国際環境技術展2013への出展報告 -”,専修大学情報科学研究所所報, No.81, pp.42-45, Nov. 2013.
- [13] 佐藤雅幸,野呂進,“わかりやすいスポーツサイエンス”,文化書房博文社, 2011年
- [14] 川崎市,第2回スマートライフスタイル大賞報道資料 <http://www.city.kawasaki.jp/templates/press/cmsfiles/contents/000005252330/251015.pdf>

## 謝辞

本研究を川崎国際環境技術展2014に出展するにあたり、専修大学情報科学研究所(所長渥美幸雄教授,事務局長関根純教授)には経費の支援を,所員田中稔教授,所員森本祥一准教授には出展の際にご協力いただいた。

本研究に使用した充電制御器 WINTEX-880A は,風力発電用の製品であるが,太陽電音株式会社,木村康廣代表取締役社長,嶋俊夫氏のご協力により,人力発電用にカスタマイズしていただいた。この充電制御器により本研究室の太陽光発電と人力発電を統合することができた。

本研究を含め,当研究室では2007年度からのネットワーク情報学部3年次必修科目プロジェクト及び4年次卒業制作において,環境教育を継続してきた。研究成果を毎年継続して川崎国際環境技術展に出展した実績が認められ,綿貫研究室及び田中・綿貫プロジェクトは2013年度に,川崎市第2回スマートライフスタイル大賞奨励賞【省エネ貢献賞】を受賞した。この際,元本学管理課第1種電気事業主任技術者の石坂得一氏に川崎市への推薦をしていただいた。また川崎市への申請手続きは,3年次田中・綿貫プロジェクトの阿比留孝造氏が中心になり行った。

第5回情報科学研究所定例研究会において本研究を発表する際には,魚田勝臣名誉教授,経営学部大曾根匡教授,に有意義な助言とご指導をいただいた。

専修大学スポーツ研究所の所長佐藤雅幸教授,所員齋藤実准教授にスポーツのトレーニングと発電負荷について助言をいただいた。

本研究の成果は,2012年度のプロジェクトで組込技術,ネットワーク技術を担当した小林貴紀氏,鈴木俊氏の成果の上に改良を重ねたもので,両氏の技術と協力を資するところが大きい。

本研究を完成する上で不可欠であった上記のご指導ご支援ご協力に深く感謝いたします。

