

セルフパワード（Self-powered）への挑戦

Aiming to realize self-powered systems

中野 公彦
Kimihiko Nakano

1. はじめに

セルフパワードとカタカナ表記にすると何を意味する言葉か分かりにくいですが、英語表記では、Self-poweredとなる。これは、自分自身に動力を供給することを意味し、まわりの環境から必要なエネルギーを取り出して、エネルギーの供給を受けずに動作するような装置を指す言葉である。太陽光発電と二次電池の利用によって、電気を供給しなくても光るLED照明器などは、セルフパワードと呼ぶことができる。明らかにゼロエミッションであり環境にも良いのであるが、基本的には発電規模が小さく、世の

中の環境問題を解決するほどの大きさはない。どちらかという、電力線を設置したりする手間を省くことを目指したものが多く、小形センサやマイクロマシンなど、小さくて電力を伝送することが困難なものへの応用を目指すことが一般的である。

この研究には学生時代から取り組み、再開と中断を繰り返しながらも、続けている研究である。この紙面を拝借して、今まで行ってきたことと、本技術の周辺を紹介させて頂こうと思う。

2. セルフパワード・アクティブサスペンション

振動・制御を専門とする私がこのようなことに関心を持つようになったきっかけは、自動車のアクティブサスペンションに関する研究を始めた時である。自動車などの乗り物には、多くの場合、サスペンションというものが設置されている。タイヤと車体の間に、ばねとダンパと

呼ばれる減衰装置を取り付け、振動が車体に伝わらないようにしているものだが、これがないと、道の凹凸が直接車体に伝わって、乗り心地は大変悪くなる。さらに、これに、加速度計（振動レベルを測定するセンサ）とアクチュエータ（力を出す装置）を取り付けて、振動の状態に

応じて、アクチュエータが力を出すことによって、より効果的に振動を抑制するものがアクティブサスペンションである。1989年に実用化し、最先端技術を駆使したものであった。様々な自動車にも普及することが期待されたが¹、残念ながら、思ったよりも普及はしなかった。その理由の1つとして挙げられるのが、消費エネルギーの問題である。電子制御式の油圧アクチュエータを用いていたが、このシステムを動作させる際のエネルギー消費量が大きく、その結果、燃費が悪化してしまう。この問題を解決する必要があった。

一方、振動とは、ばねなどに蓄えられたポテンシャルエネルギーと運動エネルギーが交換されながら一定量のエネルギーが存在している状態であり、それ自体がエネルギー源である。そこで、振動から発電を行い、そのエネルギーを用いて、アクティブサスペンションを行うことを考えた。発電できるエネルギー量が消費する量を上回れば、エネルギーを供給せずにアクティブサスペンションを実現することができる。

このコンセプトは、まさに、セルフパワードの考えであるが、当時はこの言葉も知らずに研究を始めていた。そのような時に、振動から発電を行い、そのエネルギーを使って半導体回路を動作させることを提案した論文に出会い²、初め

て、セルフパワードという言葉を知った。それ以降、このシステムを、セルフパワード・アクティブサスペンションと名付け、研究発表を行っている。今では、この言葉も論文雑誌や講演会でチラホラ見られるようになり、少しずつ市民権を得つつあるのではないかと考えている。

模型実験によって、エネルギーを供給せずにアクティブ制御を行い³、セルフパワード・アクティブサスペンションができる可能性があることを示した。その後は、大型トラック、乗用車、新交通システム車両などへの応用も検討したが、実は、同じ考えを船用能動型減揺装置（100tの錘を電動モータで動かして船の横揺れを抑制する装置）に適用したものが最もうまくいきそうであった。波の力は、陸上の交通機関が受ける外乱に比べて大きいので、船舶の能動型減揺装置では、多くの発電量を得ることができ、理論上は、最もセルフパワード化しやすい対象であった。メーカーとの共同研究も進み、模型船での実証試験にも成功している⁴。ただ、船舶と言う孤立した系の中で、多大な発電電力をどのように蓄え使うのかなどが不明であり、装置も高価であることから、まだ、実用化はしていない。技術的には十分に可能と分かっているので、機が熟するのを気長に待っている。

3. 電磁サスペンション

理論的には、自動車のアクティブサスペンションのセルフパワード化は十分に可能である。ただし、実際にサスペンションで発電を行う装置が存在しないので話に信憑性がなく、実

用化に向けた話が進まない状況であった。そのため、当時学生であった私が所属していた研究室（情報学環兼任の須田教授の研究室）の後輩が、自動車のサスペンションに設置可能な、発

電を行うアクチュエータを試作した。アクチュエータは電動モータと回転と並進運動を変換するボールねじから構成されている電磁式のものである（図1）。このような電磁式アクチュエータを取り付けたサスペンションを電磁サスペンションと呼んでいる。図2はアクチュエー

タを搭載した自動車の写真である。電磁サスペンションが装着されている後輪が図3のような板を乗り越えるだけで、最大160W程度の発電を行うことができ⁵、セルフパワード化の可能性を示すことができた。

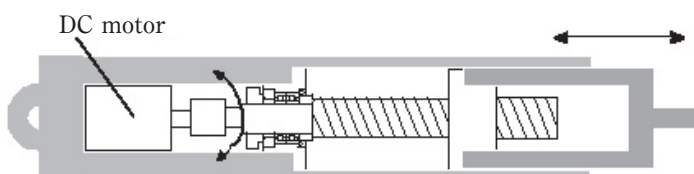


図1 電磁式自動車サスペンション用アクチュエータの模式図



図2 電磁式アクチュエータを搭載した自動車



図3 サスペンションによる発電実験

このように発電を行う目的で試作した電磁式アクチュエータであるが、電磁式であるため応

答性が良く、また、コンプレッサーや高圧タンクが不要な油圧や空気圧アクチュエータと比べ

て、システムが簡潔にでき、エネルギー効率も向上することが期待できる。そのようなことから、セルフパワード化を目的とするよりも、このようなアクチュエータを実際の自動車のサスペンションに取り付ける研究を、メーカーと共

同で進めている。実際に販売されている自動車に取り付けられるまでに越えなければならないハードルはまだあるが、近い将来には、当たり前前の技術になることを期待している。

3. パワーハーベスティング

セルフパワードの研究をしてきたが、歩行時に発生する人体振動からの発電、圧電素子による振動からの発電など、振動からの発電技術のみに注目した研究も行ってきた。このような研究の発表件数は、近年、増えてきており、パワー（エネルギー）ハーベスティングと呼ばれている。英語表記では、power（energy）harvesting であり、身の回りの環境、特に振動などの今まで発電の対象とされなかったエネルギー源から発電（収穫）する技術を指す。前述したとおり、太陽光、風力などの自然エネルギー発電と比べられるほどの発電量は期待できないが、地産地消型の発電装置として、電力供給が難しい小形センサ、半導体回路、マイクロマシ

ンなどへの応用が期待されている。国内では、多数の研究者によって発電システムが提案されており、例えば、人が改札を歩いて通過する際に床に生じる歪から圧電素子によって発電する発電床など発表されている⁶。また、国外に目を転じれば、今年（2010年）3月にアメリカ・サンディエゴで開催されたSPIE, Smart Structures/NDEにおいて、このトピックのみで複数のセッションが組まれるほど、多くの研究が発表されていた⁷。どうしても、流行り廃りがあるが、長い目で見れば、パワーハーベスティングの研究は着実に増えていくものと感じている。

4. おわりに

長い間、セルフパワードの研究を行ってきた。エネルギーを供給せずに制御を行うことに成功して喜んだりする一方、予測よりもあまりにも少ない発電量にがっかりしたり、一喜一憂しながら、研究を続けてきた。電磁サスペンションに関しては、実用化に近い段階まで進んできたと思うが、世に出るためにはこれからが勝負と思っている。

自動車1つを挙げても、多数の電子回路やセンサが取り付けられている。今後もエネルギーが必要なデバイスが身の回りに増えていくことは間違いない。今は、状態監視などの研究を中心におこなっているが、如何に簡便にセンサ網を動作させるかが課題の1つである。セルフパワードの概念は、これからますます必要になると思っている。

参考文献

- ¹ 川原崎由博、福永由紀夫、長谷川晋一、奥山雄司、黒豆友孝、飯島徹也、日産油圧アクティブサスペンションの開発、自動車技術会 学術講演会前刷集、892、193-196 (1989)。
- ² Rajeevan Amirtharajah and Anantha P. Chandrakasan, IEEE Journal of Solid-state Circuits, 33-5, 687-695 (1998)。
- ³ Kimihiko Nakano, Yoshihiro Suda, Shigeyuki Nakadai, Self-powered active vibration control using a single electric actuator, Journal of Sound and Vibration, 260-2, 213-235 (2003)。
- ⁴ 須田義大, 林隆三, 小池裕二, 中野公彦, 中代重幸, セルフパワード・アクティブ制御による船用減揺装置 (模型船による実証実験), 日本機械学会論文集C編, 2002-6, 68巻670号, 1735-1740。
- ⁵ 末松啓吾, 須田義大, 中野公彦, 椎葉太一, 自動車における電磁サスペンションの研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, 4-00, pp.1-4 (2000)。
- ⁶ 速水浩平, 振動力発電のすべて, 日本実業出版社 (2008)。
- ⁷ 例えば, M. Karami, D. Inman, Nonlinear hybrid energy harvesting utilizing a Piezo-magneto-elastic spring, Proc. of SPIE on CD-ROM, 7643-31 (2010)。



中野 公彦 (なかの きみひこ)

1972年9月3日生まれ

[専攻領域] 制御工学、信号処理、車両・交通工学

[著書・論文]

中川智皓, 中野公彦, 須田義大, 川原崎由博, 小坂雄介, 歩行空間におけるパーソナルモビリティ・ビーグルの安全性と安心感, 日本自動車技術会論文集, 2010-07, 41 巻4号, 20104520, 941-946

中村弘毅, 中野公彦, 独立成分分析法を用いた車両振動の解析, 日本機械学会論文集 (C 編) 2010-5, 76 巻765号, 論文No.09-0855, 139-146。

Kimihiko Nakano, Stephen J Elliott and Emiliano Rustighi, A unified approach to optimal conditions of power harvesting using electromagnetic and piezoelectric transducers, Smart Materials and Structures, 2007, 16, pp.948-958。

[所属] 大学院情報学環 (兼) 生産技術研究所 先進モビリティ研究センター

[所属学会] 日本機械学会、自動車技術会、計測自動制御学会

『東京大学大学院情報学環紀要』 投稿規定

- (1) 東京大学大学院情報学環教員等（教授、准教授、助教、客員教授・准教授、研究員等）は、本紀要および英文紀要に論文を日本語または英語で執筆することができる。
- (2) 東京大学大学院学際情報学府博士課程在籍者および東京大学大学院人文社会系研究科博士課程在籍者で大学院情報学環教員を指導教員としている者は、論文を日本語または英語で投稿することができる。大学院博士課程学生の投稿論文の採否は、図書・出版委員会が指名した情報学環教員と外部の委託された研究者による査読を経て、図書・出版委員会において決定される。
- (3) 執筆及び投稿される論文は未刊行のものに限る。定期刊行物（学術雑誌、商業雑誌、大学・研究所紀要など）や単行本として既刊、あるいは、これらに投稿中の論文は本誌に投稿できない。但し、学会発表抄録や科研費などの研究報告書はその限りではない。
- (4) 投稿する者は、指定された期日までに、執筆要項の諸規定にそって作成した原稿をプリントアウトしたもの2部およびそのデータファイルのフロッピーディスクやCD等を、東京大学大学院情報学環・学際情報学府図書室に提出しなければならない。
- (5) 本紀要に掲載された論文は、大学院情報学環のホームページで公開される。

『東京大学大学院情報学環紀要』 執筆要項

執筆・投稿

- (1) 執筆・投稿に際しては、東京大学大学院情報学環・学際情報学府図書室のホームページ（<http://www.lib.isics.u-tokyo.ac.jp/index.html>）に本投稿規定と執筆要項に関連する最新の情報が掲載されているので必ず参照すること。特にテンプレートに記載された細則に注意すること。
- (2) 原稿はA4版、横書きを原則とする。1頁は40字×34行。パソコンで作成する。
- (3) 分量は原則としてA4版で打ち出し10～30頁とする。大学院生の投稿の場合はA4版で打ち出し、表紙・英文要旨を除き本文14頁以内とする（注・参考文献・図表を含む）。枚数の上限は厳守すること。
- (4) 執筆要項に適した書式のテンプレートを東京大学大学院情報学環・学際情報学府図書室のホームページからダウンロードできるように準備してあるので、これらの雛形を用いて執

筆・提出を行うこと。

ファイル形式

- (5) ファイルは「Word」または「一太郎」の文書ファイルで提出すること。併せてプレーンテキストファイル形式で保存したものを提出する。その際、改行コードは1パラグラフに対して1つ入れること。表示行に対して改行コードの入ることのないように注意する。論理行に対して改行コードが1つとする。
- (6) Macを用いて執筆した場合は、提出するフロッピーディスクはDOS/Vフォーマットを使用すること。
- (7) フロッピーディスクのラベルには、論文名・執筆者名（複数の場合は代表者）・使用したワープロソフト名を明記すること。

全体の構成

- (8) 論文は、「表紙」「英文要旨」「本文」からなり、この順番で構成される。図・表は本文中に組み込む。
- (9) 右上ヘッダ部分に、通しのページ数をふること。
- (10) 1頁の余白は、上25mm 下30mm 右23mm 左23mmに設定する。
- (11) フォントはMS明朝10.5ポイントを標準とする。
- (12) 字句・叙述は簡潔・明確にして常用漢字、現代仮名遣い、算用数字を原則として用いる。

表紙書式

- (13) 表紙には、日本語の標題、著者名、著者の所属を、和文および英文で記載する。また主要著者の連絡先、研究助成に関する記述、謝辞、共同執筆の場合の執筆分担なども表紙に記す。
- (14) 日本語の標題は30字以内とする。副題がある場合は、「－」（ハイフン）の後に主題と明確に区別する形で記載する。その下に著者名と著者所属を日本語で記す。1頁目の日本語標題はMS明朝12ポイントで記す。
- (15) 日本語の標題、著者名、著者所属の下に、英語での標題（主題・副題）、著者名、著者所属を記す。英語標題は、筆頭語と主要語の頭文字を大文字で表記する。また英語の主題と副題は「:」で区切る。
- (16) 著者名の英語表記は原則としてFirst name を先とし、頭文字を大文字にする。日本名のローマ字使用法は執筆者の慣行を尊重し、統一しない。
- (17) 執筆者の所属に、教授・准教授・助教その他の別を記す必要はない。共同執筆の場合の記

載方法詳細はテンプレートを参照すること。

- (18) 標題、著者、著者所属に続けて、主要著者の連絡先、研究助成に関する記述、謝辞、共同執筆の場合の執筆分担などを記す。

英文要旨

- (19) 英文要旨の頭に「**Abstract**」（ゴシック体）と記す。
- (20) 英文要旨はA4版で1～2頁とする。英文に関しては、特に記述に注意し、執筆者の責任において英語を母語とする人の校閲を経ること。
- (21) 英文要旨の下に、キーワードを日本語と英語で記す。日本語キーワードは「キーワード：」に続けて6つ前後記す。日本語キーワードに続けて、英語キーワードを「Key Words:」（ゴシック体）に続けて記す。キーワードの筆頭語および主要語の頭文字は大文字とする。各キーワードはコンマで区切り、最後のキーワードの末尾にピリオドを付ける。

本文書式

- (22) 本文の開始ページの頭に、日本語および英語の標題を記す。
- (23) 本文中には、数字・記号を用いて章・節を設ける。章にあたるものは「1. , 2. , …」（全角数字及びドット）とし、節にあたるものは「1.1 …, 1.2 …,」（半角数字及びドット）とする。以下これに準ずる。章題・節題、強調部分は、太字ではなく、MSゴシック10.5ポイントを用いること。

例) 章題の例	2. 携帯電話利用実態（全角の数字とドット）
節題の例	2.1 利用頻度・利用料金（半角の数字に全角スペース）
節以下の例	2.1.1 男性の利用頻度（上に同じ）
	2.1.1.a 男性の利用頻度の詳細（上に同じ）

- (24) 目次は、原則として各論文毎には付けない。但し、学位論文の一括掲載や長編の調査研究論文などの場合には付けることができる。
- (25) 本文中における外国人名などの固有名詞は、原綴りあるいは英語綴りを原則とするが、公式の名称として著名なものはカタカナでもよい。
- (26) 本文中での参考文献の引用は著者姓と発行年をつけて次の例のようにする。著者が3人以上の場合には初出の際には全著者の姓を書き、2度目以降は第一著者の姓を書き、和文献では「他」、欧文文献では「et al.」を書き添える。

例) Rumelhart, Hinton, & Williams (1980) は…
…と主張している（丸山・田中・谷口, 1998）。

- (27) 査読にあたっての匿名性を確保するため、自己の既発表論文等の引用にあたっては、「拙

稿 | 「拙著 | 等による表示は避け、氏名を用いる。

- (28) 註は、一連番号を参照箇所の右肩に「1」「2」「(3)」などのように書き添え、各論文末に一括掲載する。
- (29) 参考文献は、著者の姓のアルファベット順によって並べ、各論文末に一括掲載する。欧文、和文を分けて掲載してもよい。

図・表・写真

- (30) 図・表は本文中の該当箇所に組み込む。
- (31) 図版は原則として白黒とする。
- (32) 仕上がり具合について希望がある場合は、その指示内容を欄外に付箋をつけて記すこと。
また、貼り付ける図・表・写真のできるだけ鮮明なコピー（写真の場合は原版）を、プリントアウト原稿とは別途1部用意すること。
- (33) 図・表・写真について、ワープロ以外のアプリケーション（表計算ソフト、ドローソフトなど）で作成した電子的なデータがある場合は、そのデータファイルも併せて提出すること。印刷業者が適切な措置を取るためのものである。
- (34) 図・表・写真のタイトルは、標準フォント（MS明朝10.5ポイント）を用い、以下のようにセンタリングを施して記載する。図・写真の場合はタイトルの上に図・写真、表の場合はタイトルの下に表を貼付すること。英語タイトルは省略してもよい。

例) $\langle \boxtimes \rangle$

図4.2.2 利用目的との関係

(Fig.4.2.2 Comparison of the patterns by purpose of use)

外字

- (35) 外字が必要な場合は、当該箇所を空欄にしておき、プリントアウトに自記しておくこと。
外字は印刷時に業者が作成する。

その他の注意

- (36) 上記の他、章立て、見出し、引用、註、参考文献などは各学問領域における慣行に拠ることとする。
- (37) 図書・出版委員会は、内容及び形式の双方について改稿または再提出を求めることができる。
- (38) 校正は原則として、初校のみ執筆者校正とする。大幅な修正は、原則として認めない。大学院生の投稿の場合は、字句の修正以外は原則として認めない。

- (39) 各論文執筆者には別刷30部と掲載誌3部を配布する。
- (40) 本投稿規定及び執筆要項の改正は図書・出版委員会の決議を経なければならない。

著者紹介の執筆

- (41) 論文の掲載が決まった著者は、著者紹介と自分の写真一葉を提出する。著者紹介には、生年月や出身大学などの履歴、専門、主たる著書・論文、所属、所属学会などを書くことができる。

附則 この規定・要項は、平成21年1月16日から施行する。

東京大学大学院情報学環 図書・出版委員会

東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究 No.79

印 刷	平成22年11月10日
発 行	平成22年11月10日
編集・発行	東京大学大学院情報学環
郵便番号	113-0033
住 所	東京都文京区本郷 7 - 3 - 1
電話番号	03-5841-5905
ファクシミリ	03-5841-5916
E-mail :	tosyo@iii.u-tokyo.ac.jp
装 丁	木 下 弥
印刷・製本	株式会社創志企画