

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 52, No. 218
2013. 1

HSTJ

◆特集：エネルギーハーベスティング

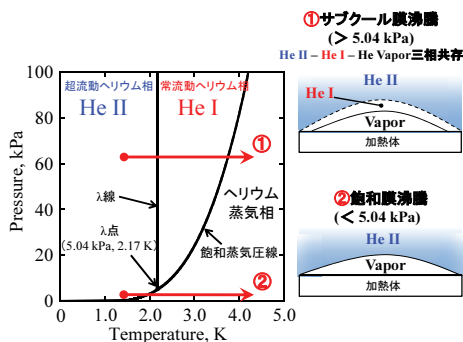


図 1. ヘリウムの状態図と膜沸騰状態

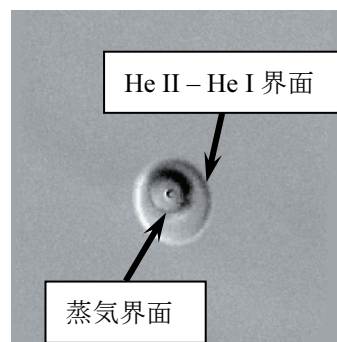


図 2. 沸騰開始時における He II - He I 界面と蒸気界面

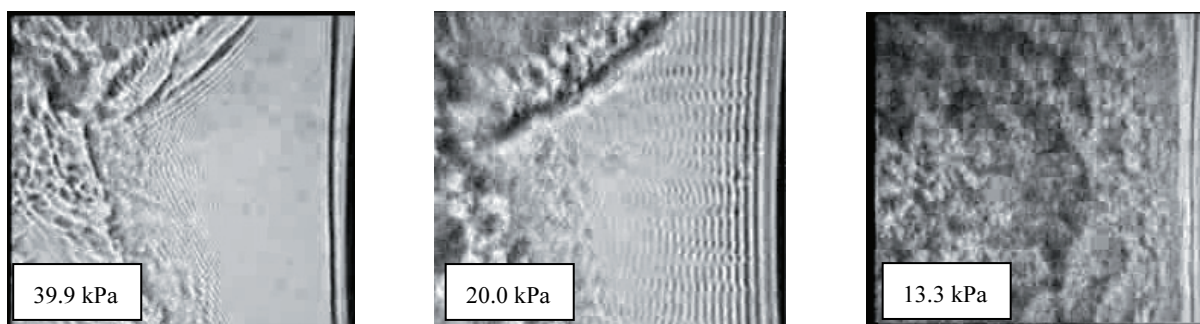


図 3. サブクール He II 中の膜沸騰状態の変化. 温度 2.1 K, 熱流束 $1.2 \times 10^5 \text{ W/m}^2$.

超流動ヘリウム中の特異な極低温膜沸騰現象

Unique Cryogenic Film Boiling in Superfluid Helium

超流動ヘリウム (He II) は、液体ヘリウムの低温側 (< 2.17 K) の液体相である。He II の性質は、二流体モデルと熱カウンタ流で説明され、通常の流体には見られない特徴を持つ。特に、「超熱伝導性」と呼ばれる良好な伝熱特性を持つため、超伝導体や宇宙用赤外線観測機器の冷却に用いられている。

H. K. Onnes がヘリウムの液化に成功してから 104 年、P. Kapitza が超流動を発見してから 74 年が経つが、He II 中の熱流動現象は、十分に解明されたとは言い難い。He II 中では、超熱伝導性により、熱が速やかに He II 中から移動するため、沸騰が発生しないイメージがあるが、実際にはその様なことは無く、特徴的な膜沸騰が発生する。近年の極低温用実験装置の発展や高速度ビデオカメラによる可視化技術の進歩により、He II 中の沸騰現象の実相が徐々に明らかにされてきている。図 1 に示すように、He II のサブクール膜沸騰では、He II と蒸気相の間に、もう一方の液体相の常流動ヘリウム (He I) 相が発生し、大変興味深い物理状態となっている。実際に、シュリーレン法を用いた可視化法により、沸騰開始時における He II - He I 界面と蒸気界面の両方が捉えられている (図 2: 筑波大・高田先生よりご提供)。

He II 中の膜沸騰現象に関しては、加圧圧力 (サブクール度) が大気圧以下から飽和蒸気圧までの範囲で、4 種類の膜沸騰モードが発見されている。図 3 は、加圧圧力が約 40 kPa ~ 15 kPa までのサブクール膜沸騰時の、蒸気膜の一部分を拡大した可視化写真である。サブクール度が高い条件 (39.9 kPa) では、正方形の平板ヒータ上で、ピラミッド状の蒸気膜が形成され、穏やかな沸騰状態である。一方、圧力が低下するに従って蒸気界面の変動が大きくなり、約 15 kPa 以下になると膜沸騰モードが変化し、蒸気挙動が激しくなる様子が観測されている。

野澤 正和 (秋田工業高等専門学校)

Masakazu NOZAWA (Akita National College of Technology)

e-mail: nozawa@akita-nct.jp

伝 熱

目 次

〈特集：エネルギーハーベスティング〉

エネルギーハーベスティングの現状

.....竹内 敬治（株式会社 NTT データ経営研究所） 1

エネルギーハーベスティング用熱電変換デバイス：技術と応用

.....阿部 英雄（マイクロペルト GmbH） 7

エネルギーハーベスティングを利用したワイヤレスセンサネットワーク

.....中寺 和哉（村田製作所） 13

環境発電のワイヤレスセンサーネットワークへの応用

.....甲斐田 陽一（株式会社アルティマ） 21

〈特別寄稿〉

日本「再創造」ープラチナ社会の実現に向けてー

.....小宮山 宏（三菱総合研究所理事長） 30

〈プロジェクト Q〉

寒冷地の微細藻類培養における伝熱問題と微細藻類由来バイオ燃料の製造

前川 孝昭（(株) 筑波バイオテック研究所），

.....中野 和弘，大橋 慎太郎（新潟大学） 38

〈海外レター〉

INSA de Lyon 滞在日記小宮 敦樹（東北大学） 44

〈巻頭グラビア〉

超流動ヘリウム中の特異な極低温膜沸騰現象野澤 正和（秋田工業高等専門学校） 表紙裏

〈行事カレンダー〉

..... 47

〈お知らせ〉

第 50 回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集 48

優秀プレゼンテーション賞（第 50 回日本伝熱シンポジウム）について 52

編集出版部会からのお知らせ 53

編集出版部会ノート 58

Vol.52, No.218, January 2013

CONTENTS

<Special Issue>

Current Status of Energy Harvesting

Keiji TAKEUCHI (NTT Data Institute of Management Consulting, Inc.) 1

Thermoelectric Power Generation Device for Energy Harvesting: Technologies and Applications

Hideo Abe (Micropelt GmbH) 7

Wireless Sensor Network using Energy Harvesting

Kazuya NAKATERA (Murata Mfg. Co., Ltd.) 13

Wireless Sensor Network with Energy Harvesting

Yoichi KAIDA (ALTIMA Corp.) 21

<Contribution>

The Revitalization for Japan —Platinum Society—

Hiroshi KOMIYAMA (Mitsubishi Research Institute, Inc.) 30

<Project Q>

Thermal Transfer Problems of the Cultivation of Microalgae in the Cold Climate Regions and
Manufacturing Biological Diesel Fuel (BDF) Come from Microalgae

Takaaki MAEKAWA (Research Institute of Tsukuba Bio-tech Corporation),
Kazuhiro NAKANO, Shintaroh OHASHI (Niigata University) 38

<International Letter>

A diary in INSA de Lyon

Atsuki KOMIYA (Tohoku University) 44

<Opening-page Gravure:heat-page>

Unique Cryogenic Film Boiling in Superfluid Helium

Masakazu NOZAWA (Akita National College of Technology) Opening Page

<Calendar> 47

<Announcements> 48

<Note from the Editorial Board> 58

エネルギーハーベスティングの現状 Current Status of Energy Harvesting

竹内 敬治 (株式会社 NTT データ経営研究所)

Keiji TAKEUCHI (NTT Data Institute of Management Consulting, Inc.)

e-mail: takeuchik@keieiken.co.jp

1. はじめに

環境中に存在する未利用のエネルギーを電力に変換するエネルギーハーベスティング技術が注目されている。太陽光、風力、波力、地熱などの大規模な再生可能エネルギーとは異なる位置づけで、今後の発展が期待されている技術である[1]。

本稿では、エネルギーハーベスティング技術全般の現状を解説し、併せてエネルギーハーベスティングコンソーシアムの活動を紹介する。

2. エネルギーハーベスティングとは

熱、振動、光、電波など、周りの環境に様々な形態で存在するエネルギーを「収穫」(ハーベスト)して、電力に変換する技術が、エネルギーハーベスティング技術である。環境発電技術とも呼ばれる。

エネルギーハーベスティングの概念を広くとらえると、太陽光発電、風力発電、地熱発電、波力発電などの、いわゆる再生可能エネルギーも含まれることになる。しかしながら、エネルギーハーベスティング技術として、最近注目が高まっているのは、小型の電子機器向けの独立型電源となりうる、 $\mu\text{W}\sim\text{W}$ 程度の出力のエネルギー変換技術である。

ひとくちにエネルギーハーベスティングと言っても、エネルギー源は様々であり、対応した数多くの技術が開発されている。具体的には、表1に挙げたような技術が主に各種研究開発の対象となっている。

発電量的にも、また発電コスト的にも、原子力発電による電力を代替するような可能性はないが、グリッドに依存しない自立的な電源としての意味は大きい。エネルギーハーベスティング技術は、周囲の環境にエネルギーが存在する限り、電力を供給し続けられるため、電源配線や、電池の取り換え、充電、燃料補給なしに、長期間にわたって

電源として利用できる。いままで電源の制約で実現しなかったような、様々なアプリケーションを生み出す可能性のある技術である。

エネルギーハーベスティング技術に対する注目が高まってきた理由はいくつかある。発電技術の進歩もさることながら、発電した電力を有効に利用するための蓄電技術など周辺技術の進歩、センサーや無線技術など電力を利用する技術の低消費電力化が相まって、その適用領域が拡大してきていることが挙げられる。「創エネ」「蓄エネ」「省エネ」の複合的な進歩によって、今までは有効活用できなかった小さなエネルギーの利用可能性が広がりつつある。

表1 主なエネルギーハーベスティング技術[2]

エネルギー源	発電技術
電磁波 (可視光、電波など)	太陽電池, レクテナ, その他
力学的エネルギー (振動など)	磁石+コイル (電磁誘導), 圧電素子 (圧電効果), エレクトレット・誘電エラストマーなど (静電誘導), 磁歪材料 (逆磁歪効果)
熱エネルギー (温度差)	熱電発電, 熱磁気発電, 熱電子発電, 熱音響発電, 熱機関, その他
その他のエネルギー	生体エネルギー発電, 浸透圧発電, その他

3. エネルギーハーベスティングの歴史

エネルギーハーベスティングの歴史は1世紀前に遡る。20世紀初頭、ラジオ放送が開始された当時、ラジオの受信機は電波のエネルギーのみで作動する無電源の鉱石ラジオが主体であった。鉱石ラジオが、世界で初めて普及したエネルギーハーベスティング製品である。その後、1936年、英国の Sturmev-Archer 社により、自転車のランプを点灯させるためのダイナモ Dynohub が発売された。当時はトランジスタの発明前で、小電力の使い途

が無かった。

1970年代、半導体のCMOS化による消費電力低下に伴い、太陽電池駆動の電卓や腕時計が登場した。これらは、エネルギーハーベスティング技術を利用した日本発の先駆的な製品と言える。

1980年代にINAXが特許を取得し、製品化したのが水流発電である。現在は広く普及しているトイレの手洗い用水栓に応用されている。手を差し出すとセンサで検知して水が出るが、このときに水車で発電した電力でセンサを駆動するため、電源配線が必要ない。この、水周りの配線が不要な自動水栓は、INAXの特許失効後、多くの会社が製造・販売するようになった。

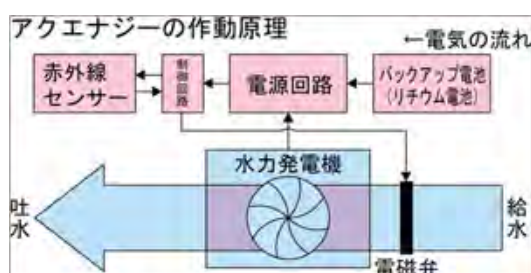


図1 自動水栓の水流発電の原理[3]

1980年代から90年代にかけて、腕の動きで発電し駆動される腕時計や、体温と外気温の温度差で発電し駆動される腕時計がセイコーやシチズン時計から発売されるなど、20世紀終わりにかけて、エネルギーハーベスティング市場を日本がリードする状態が続いた。

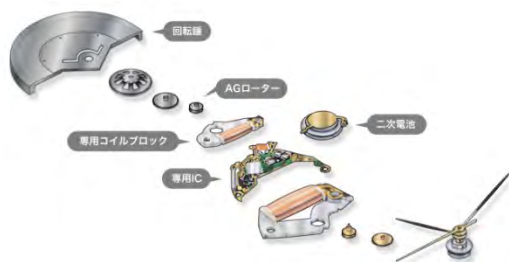


図2 腕の動きで発電する腕時計
セイコーキネティック[4]

しかしながら、21世紀に入ってからは、欧米に先行を許す状況が続いている。2001年には、スイスのスポーツ用品メーカー大手のHEAD社が、圧電素子とICチップを内蔵したテニスラケットを発売している。このラケットは、テニスボールの打撃時の振動で圧電素子により発電し、その電力で

ICチップを作動させて、さらに圧電素子をアクチュエータとして用い逆位相の振動を発生させることで、テニスラケットの振動を抑制し、テニス肘を防止する。

2000年代半ばには、ドイツのシーメンスからスピノフしたEnOcean社、米国のNASAからスピノフしたPuleSwitch社が、無電源ワイヤレススイッチを発売した。これらのスイッチは、押す力で発電して無線でON/OFF信号を送信するもので、配線のための人件費・材料費の削減効果、レイアウト変更の容易さが評価されて、徐々に普及が進んでいる。

欧米には、他にもエネルギーハーベスティング製品を製造・販売する企業が多くあり、企業間の連携や国際標準化の動きも進みつつある。我が国は、優れた要素技術を持つものの、最近では事業化で欧米に後れを取っている状況である。

4. 最新技術と製品化の動向

4.1 電磁波利用技術

環境中に存在する主な電磁波源としては、太陽や室内照明などから発せられる可視光と、テレビ、ラジオ、携帯電話などの電波が挙げられる。

可視光を利用したエネルギーハーベスティング技術として注目されているのは、室内照明をエネルギー源とする発電技術である。室内には、白熱灯、蛍光灯、白色LED、有機ELなど様々な光源が存在する。これらの室内光をエネルギー源として発電する場合、屋外向けに広く普及している単結晶シリコンやCIGS太陽電池よりも、アモルファスシリコンの太陽電池や色素増感太陽電池の方が、発電効率が高い。

これらの太陽電池は、単結晶シリコン太陽電池よりも発電効率が劣ると言われているが、それは、太陽電池の変換効率の評価方法が、太陽光のスペクトルと光量を前提としているためである。室内光向けには、蛍光灯や白色LEDなどを想定した効率評価指標が必要であろう。

色素増感太陽電池に取り組む日本企業は多く、新日鉄住金化学、ソニー、フジクラ、ペクセル・テクノロジーズ、ロームなど枚挙にいとまがない。東京大学瀬川研究室が取り組むエネルギー貯蔵型色素増感太陽電池など、日本にシーズが多い分野である。

テレビ、ラジオ、携帯電話などの電波を収穫して電力回生するためには、レクテナ（整流器つきアンテナ）と呼ばれるデバイスを使用する。電波をアンテナで受けると高周波の交流電流になるため、電子機器用の直流電源とするためには整流器と組み合わせる必要がある。環境電波で温度センサーの測定値を無線で送信する実験が東京大学などで行われているが、環境中の電波源は、一般には電源にできるほど強くないため、実用化には時間がかかるとみられている。電波による無線電力伝送（ワイヤレス給電）の方が、電波ハーベスティングよりも実用化は近いが、両技術で使用される受電デバイス（レクテナ）は共通のため、補完的に使われて両者とも普及するという可能性もある。

4.2 力学的エネルギー利用技術

力学的エネルギーを電力に変換する原理としては、電磁誘導、圧電効果、静電誘導、逆磁歪の4種がある（図3）。電磁誘導方式は、コイルと磁石の相対運動により、誘導電流を発生させる。圧電方式は、圧電材料を歪ませて表面電荷を発生させる。静電誘導方式では、電荷を打ち込んで帯電させたエレクトレットをコンデンサの一方の電極とし、対向電極を移動させるなどの方法で静電容量を変化させるなどして発電する。逆磁歪方式では、磁場をかけると変形する磁歪材料を歪ませて周りの磁場を変化させ、コイルに誘導電流を発生させる。

発電デバイスが大きい場合には、4つの発電原理のうち、電磁誘導が最も発電効率が高いが、小型の発電デバイスになると、条件によっては、他の発電原理の方が有利になる場合もある。

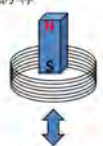



	磁場の時間変化を利用 (インピーダンス低い)	電場の時間変化を利用 (インピーダンス高い)
メカニカルな構造を利用 (材料選択と装置設計の自由度が高い)	電磁誘導 	静電誘導 
材料の特性を利用 (構造が単純)	逆磁歪効果 	圧電効果 

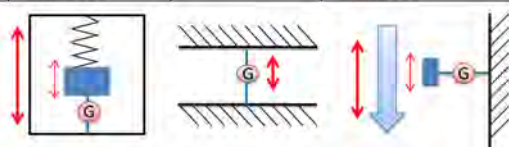
図3 力学的エネルギーを利用した発電原理[2]

一方、力学的エネルギーから発電する方式として主なものに、振動発電、相対運動発電、流体発電がある（図4）。振動発電は、外から見ると剛体の発電機の中に、錘とばねと発電機が入っており、環境振動と発電機内部の錘とを共振させて発電を行う技術である。相対運動発電は、押す、踏む、曲げるなど力が加わったときに、発電機自体が変形して発電を行う技術である。また、流体発電は、羽根等の可動部を流体で振動させて発電を行う技術である。

これらの「発電原理」と「発電方式」の組み合わせで、様々なバリエーションの発電技術が開発されている。

現在、最も完成度の高い振動発電機を販売しているのは英国の Perpetuum 社である。同社の振動発電機（図5）は、直径5cm、高さ5cm程度の円筒形で、内部には永久磁石とコイル、ばねが封入されており、電磁誘導方式で発電する。ポンプ等

	振動発電	相対運動発電	流体発電
発電方法	周囲の振動に内部の錘を共振させ、錘の運動エネルギーを電気に変換する	発電機自身が変形し、環境中の運動エネルギーを直接電気に変換する	周囲に存在する流体の運動エネルギーを装置の可動部に取り込み、可動部の運動エネルギーを電気に変換する
発電量の制約	・錘の振幅と質量 ・発電材料	・発電材料	・可動部の大きさ ・発電材料



「振る」ことで発電 「押す」「踏む」「叩く」「曲げる」などで発電 「流れ」から発電

図4 力学的エネルギーを利用した主な発電方式[2]



図5 Perpetuum 社の振動発電機 PMG FSH[5]

の振動に共振するようにチューニングでき、最大出力は 20mW 程度 (DC5V, 4mA 出力) である。防水、防塵、防爆性能があり、製油所内や浄水場に設置されたセンサネットの電源などに使用されている。平均故障間隔は約 900 年である。

日本には、まだ振動発電機を市販している企業はないが、オムロン、村田製作所、ミツミ電機などがプロトタイプを発表している。

4.3 熱エネルギー利用技術

熱 (温度差) を利用した発電方式では、現在、熱機関 (ランキンサイクルなど) が広く普及しており、発電効率も高い。しかし、エネルギーハーベスティング用途の小型発電では、一般的な熱機関の効率が低下するため、小型化しても効率が低下しない熱電発電デバイスの方が有利となる。

熱電発電は、温度差を与えると起電力を生じる熱電材料を利用した発電方式である。構造が単純で可動部がないというメリットがあるが、熱伝導 (格子振動) で失われるエネルギーが多いため、発電効率が低い。熱電子発電など、より発電効率の高い各種の発電方式が研究されている。従来型の熱電子発電は、電極を非常に高温にする必要があったが、トンネル効果を利用して数十度の温度差でも発電できる熱電子発電デバイスが考案されている。

熱エネルギーを利用した発電方式には、これら以外にも熱磁気発電、熱光発電、熱音響発電など様々な技術の開発が進められている。これらの技術に共通しているのは、発電デバイスの電極間の温度差を維持するための熱設計や材料選択が重要ということである。

現在、熱電発電デバイスの製品化で先行しているのはドイツのマイクロペルト社であり、米国の Marlow, Nextreme などが後を追っている。

熱電子発電の製品化では米国の MicroPower Global 社が、熱音響発電の製品化ではカナダの Etalim 社が、熱光発電の製品化では米国の MTPV 社が先行しているが、現状では、まだ発売に至った製品はない。これらの技術が実用化すれば、自動車などの排熱利用や太陽熱発電などの、中規模の発電技術として活用が進むと予想される。

熱電発電デバイス製品とセンサネット等への応用例については、本特集のマイクロペルト社の記事に詳述されている。

4.4 その他のエネルギー利用技術

以上挙げた電磁波エネルギー、力学的エネルギー、熱エネルギー以外にも、生体のエネルギーを利用する技術、生体内に普遍的に存在するグルコースなどの物質を利用する技術、胃酸や尿などを電解質として利用する技術、淡水と海水の浸透圧差を利用する技術、温度の時間変化を利用する技術、送電線の周りの電磁場を利用する技術など、様々な発電技術の開発が進んでいる。

また、複数の発電技術を組み合わせたハイブリッド発電方式についても、様々な試みがなされている。

これらの技術を活用することで、様々な環境条件下で自立電源を得られるようになる。

4.5 関連技術

前述した発電技術で得られる電気エネルギーは、電圧も電流も様々で変動も大きいため、電子機器の電源に適する安定した定圧直流電源に変換するための回路技術が不可欠である。電源回路技術の低消費電力化・高効率化が、エネルギーハーベスティング技術実用化の鍵になっている。

また、発電した電力を蓄積し、間欠的に利用するアプリケーション (無線センサネットなど) を想定した場合には、蓄電技術との組み合わせが必須である。蓄電技術の効率や寿命がシステム全体のボトルネックとなる可能性もある。エネルギーハーベスティング技術と組み合わせる蓄電技術としては、全固体薄膜リチウムイオン電池、電気二重層キャパシタ、リチウムイオンキャパシタが有力とされている。いずれも、数万回の充放電が可能で製品が出てきている。デジタル回路の低電圧駆動技術が進展すれば、リチウム以外のより安定した金属を電極とする蓄電デバイスの利用可能性も広がる。

その他、低消費電力の (特にスリープ時の消費電力が小さい) MCU、低消費電力の無線技術なども必要となる。

実用的な自立電源システムを作るためには、エネルギーハーベスティング技術だけでは不十分で、多くの低消費電力技術と組み合わせることが必要である。

本特集では、アルティマ、村田製作所、マイクロペルト社の記事に、多数の実用化例が紹介されている。

5. 将来展望

現状ではエネルギーハーベスティング市場は限定されたものであるが、今後、発電技術や関連技術のさらなる進歩、半導体の低消費電力化の進展によって、エネルギーハーベスティング技術の適用可能領域は拡大を続け、市場のグローバルな拡大が予想されている。

特に小型電子機器向けの自立型電源として、確実な市場拡大が見込まれているのは、まず各種モバイル機器の電源であり、照明スイッチや自動車TPMSなども含むワイヤレスセンサネット市場も拡大が予想されている。ただし、照明スイッチについては、照度センサや人感センサで自動ON/OFFできる照明も多いこと、リモコン（スマートフォン）やジェスチャ、音声などでのON/OFF制御も技術的に可能なことから、将来的に壁スイッチ市場自体が縮小していく可能性もある。

これらは既存技術の代替用途であるが、一方で、新規市場の拡大も期待されているところである。特に、新規市場として期待されているのが、「モノのインターネット」（IOT: Internet of Things）である。あらゆるモノがインターネットにつながるためには、あらゆる場所に電源が必要であり、エネルギーハーベスティング技術を活用した自立電源が、選択肢のひとつとなる。

中国や欧州では、モノのインターネットの普及に向けた政策を推進しており、中国の2020年におけるモノのインターネット市場は60兆円と予測されている。わが国でも、総務省や経済産業省でモノのインターネット実現に向けた検討が行われている。[6]

また、米国の調査会社 Park Research 社は、2015年のワールドワイドでのエネルギーハーベスティング市場を95億ドル（約7400億円）と予測している。

6. エネルギーハーベスティングコンソーシアム

我が国は、エネルギーハーベスティングの個別要素技術では高いポテンシャルを有しているものの、製品化では欧米に後れを取っている。我が国のエネルギーハーベスティング技術を、国際的に競争力のあるビジネスとするため、2010年5月、エネルギーハーベスティングコンソーシアムが設立された。[7]

2012年9月時点では、コンソーシアムへの参加企業数は60社近くまで増加し、関係企業を中心とした情報共有、共同活動、オープンイノベーションの推進等を行うプラットフォームとしての活動を進めている。2012年度からは、経済産業省の国際標準共同研究開発事業と連携し、振動発電デバイスの特性測定手法に関する国際標準化に向けた活動を開始した。

今後、エネルギーハーベスティングの普及に向けてさらに積極的に活動を進める予定である。

エネルギーハーベスティングコンソーシアム参加企業一覧（2012年9月28日時点）

旭化成株式会社
 旭化成エレクトロニクス株式会社
 アズビル株式会社
 アダマンド工業株式会社
 株式会社アルティマ
 アルプス電気株式会社
 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
 オリンパス株式会社
 株式会社きんでん
 株式会社 KDDI 研究所
 株式会社コベルコ科研
 シチズン時計株式会社
 昭和電工株式会社
 新日鐵化学株式会社
 住友ゴム工業株式会社
 ソニー株式会社
 ソフトバンクテレコム株式会社
 田中貴金属工業株式会社
 株式会社タムラ製作所
 TDK 株式会社
 東海ゴム工業株式会社
 東京エレクトロン デバイス株式会社
 株式会社東芝
 東洋インキ SC ホールディングス株式会社
 東洋ゴム工業株式会社
 東レ株式会社
 トーヨーカラー株式会社
 トーヨーケム株式会社
 株式会社豊田中央研究所
 ナブテスコ株式会社
 日本ガイシ株式会社

日本電気株式会社
日本特殊陶業株式会社
パナソニック株式会社
株式会社半導体理工学研究センター
バンドー化学株式会社
株式会社日立製作所
株式会社フジクラ
富士通 VLSI 株式会社
株式会社富士通研究所
富士通セミコンダクター株式会社
富士通マイクロソリューションズ株式会社
富士電機株式会社
富士フイルム株式会社
ブラザー工業株式会社
ペクセル・テクノロジーズ株式会社
株式会社本田技術研究所
マイクロペルト GmbH
ミネベア株式会社
ムネカタ株式会社
株式会社村田製作所
ヤマハ株式会社
ラピスセミコンダクタ株式会社
リンテック株式会社
ルネサス エレクトロニクス株式会社
ローム株式会社
NTT データ経営研究所（事務局）

参考文献

- [1] 鈴木雄二（監修），環境発電ハンドブック
～電池レスワールドによる豊かな環境低減負
荷型社会を目指して～，NTS 出版(2012)
竹内敬治他，Electric Journal 別冊 2012 エネ
ルギーハーベスティング技術，電子ジャーナル
(2012) など
 - [2] 竹内敬治，エネルギーハーベスティング技術，
電気評論 11 月号(2012)
 - [3] Project INAX
http://iinavi.inax.lixil.co.jp/project/product/set/syo/pd_s_s01.html (2012 年 11 月 4 日アクセス)
 - [4] KINETIC 機構解説
<http://www.seiko-watch.co.jp/eeco/technology/kine/tic.php> (2012 年 11 月 4 日アクセス)
 - [5] PMG FSH Free Standing Harvester
<http://www.perpetuum.com/fsh.asp> (2012 年 11 月 4 日アクセス)
 - [6] 経済産業省，スマート社会における競争優位
の確保 ～ I T 融合による出口主導型システ
ム産業の育成に向けて～ 平成 23 年 5 月
http://www.meti.go.jp/committee/summary/ipc0002/027_03_00.pdf (2012 年 11 月 4 日アクセス)
総務省，IPv6 によるモノのインターネット社
会ワーキンググループ など
 - [7] エネルギーハーベスティングコンソーシアム
<http://www.keieiken.co.jp/ehc/index.html> (2012 年 11 月 4 日アクセス)
-

エネルギーハーベスティング用熱電変換デバイス：技術と応用

Thermoelectric Power Generation Device for Energy Harvesting: Technologies and Applications

阿部 英雄 (マイクロペルト GmbH)

Hideo Abe (Micropelt GmbH)

e-mail: abe@cpj.co.jp

1. はじめに

エネルギーハーベスティングは、環境に存在する熱、光、振動、電磁波などのエネルギーをハーベスト（収穫）し電力に変換する技術で、クリーンで充電、交換なしで長時間使用可能な自立型電源として期待されている。

特に熱は、工場や住宅などに排熱として身近に存在し、この排熱を電力に変えてセンサーネットワークなどの電源として省エネ制御に活用したり、機器のモニタリングやメンテナンスへの活用が考えられる。さらに体温から電力に変換することでヘルスケア・医療機器への応用が期待されている。

本稿では、エネルギーハーベスティングとしての熱電変換技術の技術および応用について、マイクロペルト社の取り組みを中心に紹介する。

2. 熱電変換のしくみ

2.1 熱電変換の方式

表 1 に代表的な熱電変換の方式を示す。

表 1 おもな熱電変換方式

熱電発電	ゼーベック効果(異なる金属や半導体に温度差を与えると起電力が生じる)による発電
熱磁気発電	ネルンスト・エッティングハウゼン効果(電流が熱流束と磁場に垂直に流れ、電流の発生により熱流束が発生する現象)による発電
熱電子発電	熱により金属などの表面から熱励起された電子が飛び出す現象(熱電子放電)による発電
熱光(TPV)発電	高温の固体素子(エミッタ)から出る輻射光をフィルタリングしてPVセルに入射して発電

熱電変換としては、ゼーベック効果を利用した熱電変換デバイス(以降は熱電デバイスと略す。)

が広く知られているが、光電変換と熱電子発電を組み合わせた PETE (Photon Enhanced Thermionic Emission)[1]や、東北大学・内田氏らによるスピントリック効果[2]など、新技術の研究も盛んである。本稿では、主にゼーベック効果により熱電変換技術について述べる。

2.2 熱電材料

熱電変換の効率については、熱電材料の性能指数 Z を式(1)で表す。

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{\rho} \quad (1/K) \quad (1)$$

ここで、 S は材料固有のゼーベック係数(V/K)、 σ は導電率(S/m)、 ρ は熱伝導率(W/(m·K))である。よって、そのゼーベック係数と電気伝導率が大きく、熱伝導率が小さい(熱抵抗が高い)物質ほど熱電変換の効率が高いことになる。しかしながら、これら3つの物性値は、キャリア濃度の関数で、ゼーベック係数と導電率はキャリア濃度に対して反対の依存性を持ち、導電率と熱伝導率は比例(ヴィーデマン・フランツ則)するため、独立に制御することはできない。

従来から知られているおもな熱電材料の ZT (性能指数 Z に絶対温度を掛けた無次元性能指数) を図 1 に示す[1]。Bi, Pd, Te, Sb といった重金属の化合物半導体が多く、高いキャリア移動度と低い格子熱伝導率を特長とする。さらに LAST (Lead Antimony Silver Tellurium) や TAGS (Telluride of Antimony, Germanium and Silver) といった多元系の化合物も検討されている。最近では、これら希少金属より自然界に多く存在する SiGe 混晶系材料や酸化物熱電材料も検討されている。

図 1 から分かるように、 Bi_2Te_3 化合物が比較的低い温度領域で性能指数が高いことから、エネルギーハーベスティング用途として多く検討されている。一方、多元素の化合物や SiGe は高温で使えることから、主に排熱を有効利用する再生可能エ

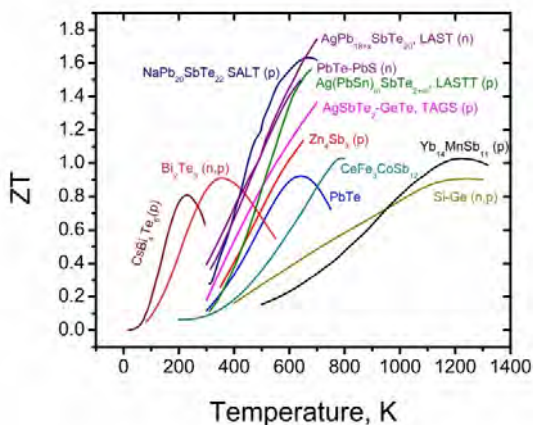


図1 各種熱電材料の無次元性能指数 ZT
(Northwestern University/ Mercuri G. Kanatzidis
Research Group Website [1]より)

エネルギーとしての検討が行われている。

2.3 製造方法

Bi_2Te_3 化合物の熱電材料は、従来からペルチェデバイスとして知られ、バルクモジュールと呼ばれている。一般的な製造方法は次の通りである[4]。

- (1) 原料の Bi および Te は、ガラス管に密閉され脱気・アルゴン置換され、これを高温で溶かし組成を均一化したインゴットを作る。
- (2) 溶製材製法では、インゴットをブリッジマン法やゾーンメタル法で一方向凝固させる。焼成材製法では、インゴットを粉碎・分級し、ホットプレスや放電プラズマ焼結する。
- (3) 溶製材製法や焼成材製法で製造された材料をスライスしウエハ形状とし、表面をメッキ加工し、ダイシングにより直方体の熱電材料が作られる。
- (4) これを電極形成されたセラミック基板に多数個、直列に並べられロー材により電氣的に結合される。

バルクモジュールの構造を図2に示す。熱電デバイスの起電圧 $U(\text{V})$ は式(2)により求められる。

$$U = N_{LEG} \cdot \Delta T \cdot S \quad (\text{V}) \quad (2)$$

ここで N_{LEG} は熱電エレメントの数、 ΔT は温度差、 S は熱電材料固有のゼーベック係数である。式(2)より熱電エレメントの数を多くすることにより高い起電圧が得られることが分かる。つまり n 型 Bi_2Te_3 と p 型 Bi_2Te_3 ペアからなる熱電材料を直列により多く使用すれば高い起電圧が得られる

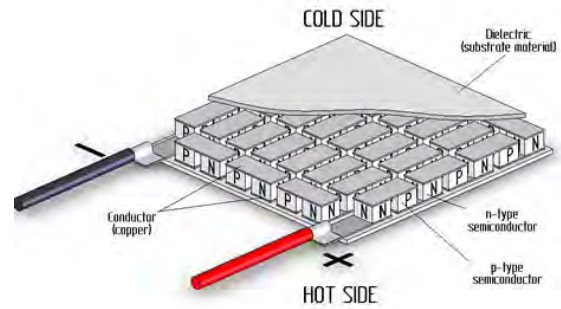


図2 バルクモジュールの構造
(Kryotherm/TEM Construction Website より)

ことになる。しかしながら、この熱電エレメントは、小さいものでも 1mm^3 程度であり、それを多数個配置するには、大きな面積が必要となる。

3. マイクロペルトの熱電デバイス

マイクロペルトは、スパッタリング技術（真空チャンバー内に金属ターゲットを置き、高電圧をかけてイオン化させて希ガス元素を衝突させ、ターゲット表面の原子がはじき飛ばされ基板に到着し製膜する）を使い、熱電性能指数の高い多結晶 Bi_2Te_3 を成膜する技術と MEMS 製造技術を用い、熱電材料を高密度形成する技術を開発した[5-9]。

3.1 マイクロペルトの熱電デバイス製造方法

マイクロペルトの熱電デバイスの製造方法について説明する。シリコン基板上に Bi_2Te_3 をスパッタリング成膜し、MEMS 製造技術で微細加工することにより、超小型で大量生産に適した熱電デバイスの製造を可能にした。その方法を図3の示す。

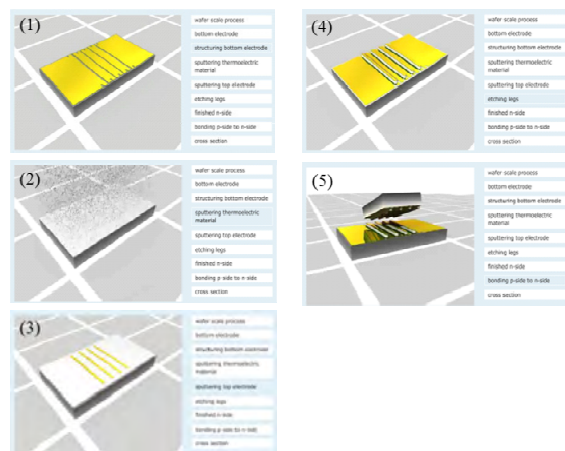


図3 マイクロペルトの熱電デバイス・製造方法

- (1) シリコン基板上に電極パターンを蒸着・パターンニング.
- (2) スパッタリングで n 型 Bi_2Te_3 熱電材料を成膜し高温アロイ.
- (3) さらにソルダー層をスパッタリング.
- (4) リソグラフィーおよびドライ・エッチング技術で微細な熱電エレメントを形成.
- (5) 別のシリコン基板に同様な方法で p 型 Bi_2Te_3 を作成し, 最後に両方のチップを貼り合わせてデバイスを完成させる.

図4は, この方法で作られた熱電デバイス(モデル名:MPG-D751(下)とMPG-D651(上))とその熱電エレメント部分の拡大図である.

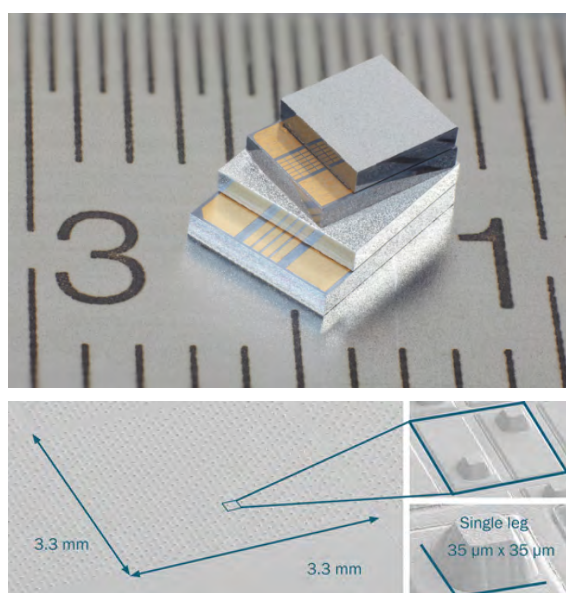


図4 マイクロペルト熱電デバイスと熱電エレメントの拡大図

1つの熱電エレメントのサイズは $35\mu\text{m} \times 35\mu\text{m}$ と非常に小さく, 1mm^2 当たり 100 個以上の n 型と p 型の熱電エレメントペアを配置することができる. MPG-D751 は, $3.3\text{mm} \times 4.2\text{mm} \times 1\text{mm}$ (高さ) のサイズで, 電力取り出し用のパッド部分を除いたサイズ $3.3\text{mm} \times 3.3\text{mm}$ 部分に 540 ペアの熱電エレメントが形成されている. 式(2)で示したように熱電エレメントの数を多くすることで, より高い起電圧が得られる. MPG-D751 は, 540 ペアの熱電エレメントが形成されているので, 起電圧は 1°C の温度差で 140mV と非常に高い. 代表的特性を表2に示す.

表2 マイクロペルトの熱電デバイスの特性

	MPG-D651	MPG-D751
Chip Size	3.3 mm (W) 2.5 mm (D) 1.09 mm (H)	4.2 mm (W) 3.3 mm (D) 1.09 mm (H)
Number of leg pairs	286	540
Thermal Resistance	22 K/W	12.5 K/W
Electrical Resistance	185 Ω	300 Ω
Net Seebeck Voltage	75 mV/K	140mV/K

熱電デバイスから取り出せる電力は, 負荷抵抗に依存し, 熱電デバイスの内部抵抗と負荷抵抗が等しいときに(出力負荷整合時), 最も大きな電力を得ることができる. 図5にMPG-D751の発電電圧・電力の負荷抵抗依存を示す. 10°C の温度差を与えた場合で約 1mW 以上, 20°C の温度差を与えた場合には 5mW 以上の電力を取る出すことができる.

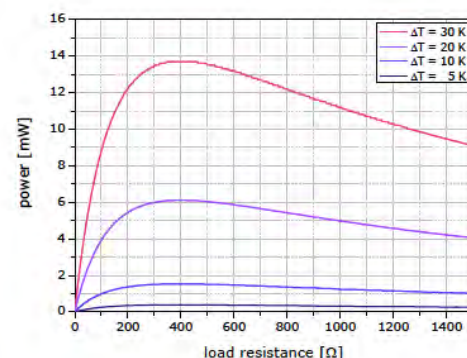
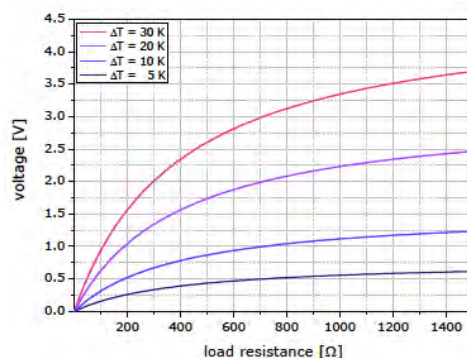


図5 マイクロペルトの熱電デバイスの負荷依存

4. 熱電変換の高効率化

熱電デバイスの発電効率を高めるためには, 2.2

章で述べた無次元性能指数 ZT の高い材料の開発が必要である。最近では、九州工業大学の宮崎氏らが Bi_2Te_3 のナノポーラス化により $ZT=1.8$ を達成した[10]。また PbTe 系バルク材料で $ZT=2.2$ の報告がある[11]。

一方、熱電デバイスは、温度差に比例して発電電力が増すため、大きな温度差獲得が重要となる。排熱を利用する再生可能エネルギー用途では、強制冷却装置などにより大きな温度差を得る工夫がなされているが、5章で説明するワイヤレスセンサネット応用では、同様な方法を採用することが難しく、図6のようなヒートシンクなどを使用し熱エネルギーの流れを作ることにより温度差を得るのが一般的である。今、マイクロペルトの熱電デバイスに 40°C の熱源を与え、反対側に 18K/W のヒートシンクを取り付け、周囲温度 25°C の環境下で実験したところ、熱源と周囲温度の温度差が 15K に対し、熱電デバイス部では約 9K の温度差であった。

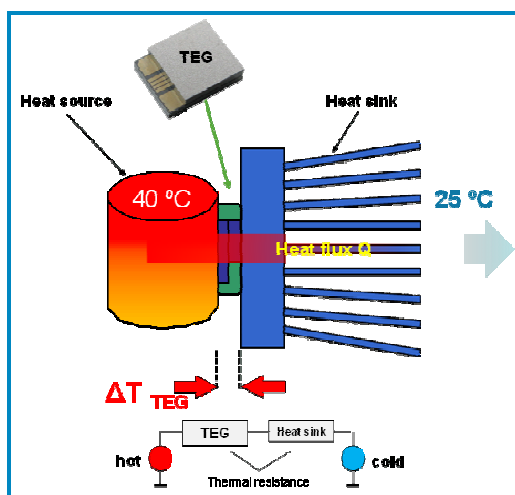


図6 熱流とヒートシンク

図7に実際にヒートシンクのサイズを変えた場合の取り出せる電力の違いを示す。使用したヒートシンクは、ドイツ Fischer Elektronik 社のモデル SK-422 で、(1) $33\text{mm} \times 42\text{mm}$, (2) $33\text{mm} \times 50\text{mm}$, (3) $33\text{mm} \times 90\text{mm}$ の3種類のサイズで比較した(ヒートシンクの高さ、フィンの間隔は同じ)。図7から分かるように、発電電力はヒートシンクのサイズに大きく依存(温度差の変化)する、熱電デバイスでは、デバイス自身の性能向上と同時に、大きな温度差を得るための熱伝達検討が不可欠である。

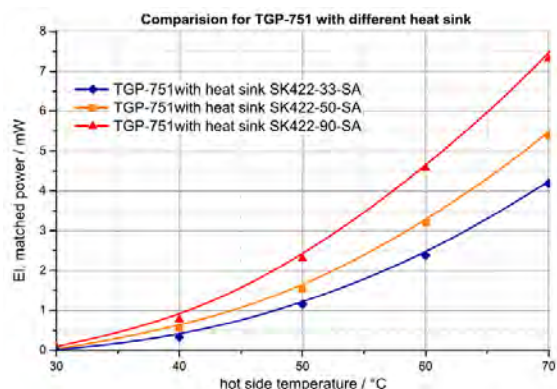


図7 ヒートシンクサイズの発電依存

5. 熱電デバイスの応用

ワイヤレスセンサネットの電源に熱電デバイスを使用した場合、電池交換が不要という利便性から、たくさんの無線センサノードを使用する場合や電池の交換が困難な場所への適用が可能で、このような用途から普及していくものと考えられる。具体的には、

- (1) 石油化学、発電所などのプラントの計装制御
- (2) 商業、工場設備における空調設備の状態監視、制御
- (3) 電力送電システムの予知診断

などの工業応用用途が挙げられる。

5.1 工場プラント応用

図8は、工場やプラント用途に設計された熱電発電ユニット TE-Power PROBE である。主にプラントのパイプを流れる高温熱源または冷熱源を利用して熱電変換を行う。TE-Power PROBE で得られた電力は、フィールドセンサ機器の電源として使用される。 20°C の温度差で 1mW の電力が得られ、これは 2000mAh の単3電池3個分に相当する。温度差が 65°C あるとさらに10倍のエネルギーが賄える。これは年間30個の単3電池の使用量に相当する。この TE-Power PROBE は、ロイヤル・ダッチ・シェル社のオランダ デンヘルダーにある工場で実際に実験され、寿命5-10年程度の 16Ah 容量のバッテリーパックを充分置換できることが実証された(図9)。配線敷設工事やバッテリー交換の必要性がなくなれば、立ち入り禁止区域や爆発危険区域、あるいはこれまで敷設費用面で難しかった場所にもフィールドセンサを設置できる。現在、フィールドセンサ機器メーカーで製品化が進められている。

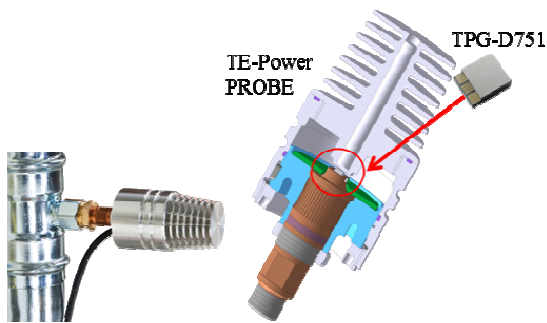


図8 工場プラント応用 TE-Power PROBE 製品

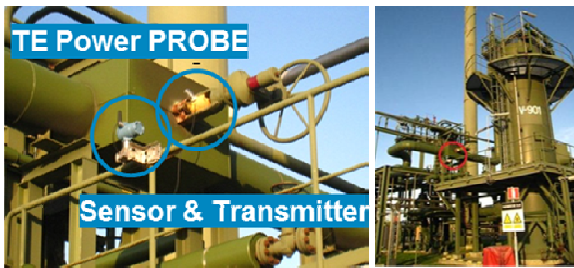


図9 プラントでの実験例

5.2 電力送電応用

図10は、電力送電用バスバーシステムの予知保全を主な目的に設計された TE-Power QNODE である。バスバーは、一般の電力送電ラインに替って使用される細長い棒状の銅の金属板で、放熱性が良く表面積が大きいので大電流システムに適している。一般的に、バスバー自体の組立不具合や経年劣化などに起因して、接合部の緩みや腐食が発生すると、その箇所では抵抗発熱による温度上昇が現れるため、負荷がピークとなり最終的に致命的な障害を起こすことになる。これを防止するため、サーモグラフィー等による検査などで定期的なメンテナンスが一般的に行われている。しかしながらこれらの方法では、稼働時の実検査が必ずしも容易でなく、また頻繁に検査を行えないという課題がある。また電池を使用した無線センサノードでは、保全のために必ず定期的な停止が必要とされる。TE-Power QNODE は、バスバーの排熱を利用して発電し、温度や電流をセンシングすることにより予知保全役立てることができる。

バスバーの表面温度が周囲の温度より 5°C 以上高ければ、熱電デバイスの発電する電力だけで、バスバーの温度を毎秒測定しデータを送信することができる。バスバーが突然ブレークし、設備稼働停止に伴うロスを低減出来るだけでなく、メンテナンスコストの削減にもつながるものである。



図10 電力送電応用 TE-Power QNODE 製品

商業・工場設備における空調設備の状態監視も熱電発電の無線センサノードの最適な用途のひとつである。状態監視を行うだけでなく、暖房機器用ラジエータの蒸気や温水を利用して発電し、その電力でラジエータのバルブの開閉制御を行う等の応用も検討されている。省エネと安全・安心につながる技術として、将来の一層の発展が期待できる。

6. おわりに

エネルギーハーベスティング技術を使った自立電源型ワイヤレスセンサノードは、エネルギーハーベスティング市場のけん引役になると考えられる。マイクロペルト社は高効率の熱電デバイスの開発はもちろん、熱電デバイスを電源とした無線センサノードへの応用開発に今後も積極的に取り組んで行く。さらに量産効果が高い製造技術が充分発揮され、工業応用分野からコンシューマ分野、ヘルスケア分野へと実用分野の裾野がさらに広がっていくことが大いに期待される。

最後に本稿執筆にあたり、ご支援いただいた W. Punt, 西秀敏両氏に深く感謝する。

参考文献

- [1] Jared W. S. et al., Photon-enhanced thermionic emission for solar concentrator systems, *Nature Materials*, 01 August (2010)
- [2] K. Uchida, et al., Observation of the spin-Seebeck effect, *Nature* 455 (2008) 778-781

- [3] Northwestern University, Mercuri G. Kanatzidis Research Group Website, http://chemgroups.northwestern.edu/kanatzidis/gr_eatthermo.html
- [4] 佐野 精二郎, 他, 高性能ビスマス・テルル系熱電変換モジュール, 金属 74(8), (2004), 767-772.
- [5] Böttner, H. et al., New Thermoelectric Components Using Microsystem Technologies, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 13, No.3 (2004) 414-420.
- [6] Böttner, H., Micropelt Miniaturised Thermoelectric Devices: Small Size, High Cooling Power Densities, Short Response Time, Proc. 24th Int. Conf. Thermoelectrics, Clemson, USAN, (2005) 1-8
- [7] Böttner, H. et al., A., in D.M. Rowe(Editors), Thermoelectrics Handbook: Micro to Nano, CRC Handbook, Taylor & Francis (2006)
- [8] Böttner, H. et al., Aspects of Thin-Film Superlattice Thermoelectric Materials, Devices and Applications, MRS Bulletin Vol.31 (2006) 211-217
- [9] Böttner, H. et al., Formation of Nanometerscale Layers of V-VI(Bi₂Te₃-related) Compounds Based on Amorphous Prestages, Proc. 23rd Int. Conf. Thermoelectrics, Adelaide, Australia (2004)
- [10] M. Kashiwagi et.al., Applied Physics Letters, Vol.98, No.2 023114 (2011)
- [11] Kanishka, B. et al., High-performance bulk thermoelectrics with all-scale hierarchical architectures, Nature 489, (2012) 414-418
-

エネルギーハーベスティングを利用した ワイヤレスセンサネットワーク *Wireless Sensor Network using Energy Harvesting*

中寺 和哉 (村田製作所)
Kazuya NAKATERA (Murata Mfg. Co., Ltd.)

1. はじめに

近年エネルギーハーベスティングという言葉が随所で聞かれるようになり、ずいぶん世の中に定着しつつあるのではないかと思う反面、具体的な話をするに従って、正確に理解している方は意外に少ないかも知れないと思うことも多い。

ハーベスティングは、日本語で「収穫」という意味であるので、落ちている、もしくは捨てられているエネルギーを集めるというような意味として理解できるが、これが新たな化石燃料代替エネルギーとなるかと言われると、否定せざるを得ない。

現状、エネルギーハーベスティングに興味を持っている人たちは、環境エネルギーを電気エネルギーに変換する部分にのみ興味をもっていることが多いが、図1にあるように、身近にある小さいエネルギーを使用することや、どんなデバイスを動作させるかということも含めて考えることによって、初めてエネルギーハーベスティングが成立すると考えている。



図1 エネルギーハーベスティング

環境にあるエネルギーはとても小さく、私たちが携帯している機器であっても動作させるほどの

エネルギーを回収することはなかなか難しい。我々が携帯している小さな機器は、使用しているエネルギーが想像以上に大きいと言ってもいいかも知れない。

今、この小さなエネルギーに注目が集まっているのは、センサネットワークの電源として使える可能性が見出せそうであるからだと考えている。原発問題や、CO₂問題で省エネルギーが叫ばれているが、使用エネルギーを削減するためにはセンシングが必要であり、そのセンサを動作させるためのエネルギー源として使用できれば有用であるとの考えから高まってきているからだと理解している。

センサネットワークという言葉を目にするようになってからすでに10年以上が経過していると思うが、普及のための障害の一つは電池の問題であったと思われる。電池の寿命が短く頻繁に電池交換が必要となり、電池の管理に膨大なコストがかかってしまうということだと考えられる。そして、今エネルギーハーベスティングに注目が集まっているのは、これがこの問題の解決策となるのではないかという期待があると考えている。

ここではまず、エネルギーハーベスティングで使われる環境エネルギーについて説明し、どの程度のエネルギーが存在しているかを明らかにしたい。その上で、村田製作所で開発した発電デバイスを紹介し、発電量がそれほど期待する量からかけ離れていないことを確認する。さらに、その応用例であるワイヤレスセンサネットワークデバイスを構築する際の考え方を示し、実際に試作したデバイスを紹介する。

2. 環境に存在するエネルギー

2.1 光

太陽電池の付いた電卓は30年以上前から発売され、今では多くの電卓に太陽電池が付いている。

太陽電池を使った腕時計や携帯電話も発売されており、一番古くから活用されている環境エネルギーだと言える。

太陽光から得られるエネルギーはかなり大きく、約 1kW/m^2 であるので 10cm 角の太陽電池パネルに太陽光が直角に入射するように設置すれば、パネルの表面には太陽から約 10W のエネルギーが届いていることになる。

当然ながらこのエネルギーすべてを電気に変換できるわけではない。太陽電池の変換効率は、単結晶のもので $15\sim 19\%$ 、多結晶だと $12\sim 17\%$ 、アモルファスで $10\sim 12\%$ 程度であるが、とりあえず効率を 15% として、太陽が斜め 45° から差しているような状況を考えると、 10cm 角の太陽電池で 1W くらいが電気として取り出せることになる。

太陽光は比較的エネルギー密度の高い環境エネルギーであるが、天候に左右されることが弱点である。夜は言うまでもなく発電できないし、朝夕は効率が落ち、曇りや雨の日も発電は期待できない。しかし、それらを考慮してもかなり質のよい環境エネルギーであると考えている。

センサネットワークのエネルギー源として考えた場合、センサは人間の身の回りで使うことが多いため、室内で得られるエネルギーについても考えてみたい。室内にも太陽光は差しこんでくるが、屋外と比較しエネルギー量はかなり小さい。電球や蛍光灯の光が主流になり、直接太陽光を受けた場合と比較し、 100 分の 1 から 1000 分の 1 のエネルギー量になると言われている。

人が暮らしている室内の照度はおよそ 100 ルクス ~ 1000 ルクス程度であるが、エネルギー密度としては $100\mu\text{W/cm}^2\sim 1\text{mW/cm}^2$ 程度であり、太陽電池で変換すると $10\mu\text{W/cm}^2\sim 100\mu\text{W/cm}^2$ 程度の発電量が期待できることになる。

2.2 位置エネルギー

位置エネルギーを使って発電するというだけでは水力発電がすぐに思いつくが、電力源として供用できているのは、大きな規模を実現しているからである。ダムでメガワット級の電力を発電できているのは、落差は大きいもので 500m 以上、水量も毎秒数十トンと、とてつもない量を扱うからである。

もう少し身近な値で位置エネルギーを考えてみたい。約 100g の物体を 10cm 持ち上げると、 0.1J

の仕事をしたことになる。この物体を 10cm 下に落とせば 0.1J のエネルギーの一部を電気エネルギーとして取り出すことができる。変換効率を 10% としてみれば 10mJ の発電量となる。いいかえると、 10mW の発電をするためには毎秒 100g の物体を 10cm 落下させるような装置を作らねばならない。そしてそれと同時に 100g の物体を毎秒 10cm 持ち上げるような仕事もしなければならぬのである。

2.3 振動

錘とばねを組み合わせ、そこに固有振動数の振動を加えると、その物体は振動を始める。これはエネルギーが共振体に渡され、蓄えられている状態を意味する。この共振体に蓄えられたエネルギーがどの程度エネルギーを持っているかを調べるためには錘の最大速度もしくは、ばね定数と変位が分かれば求めることができる。例えば 1N の力でばねを 1cm 変形させるような力を加えて自由振動を始めたのであれば、そこには 5mJ のエネルギーが蓄えられていることになる。これが連続的に加われば、振幅はどんどん増えていく。振動の振幅限界が十分大きければ、機械的 Q に応じて Q 倍までエネルギーを蓄えることができることになるが、この時、入力エネルギーと損失のエネルギーが釣り合っていることを意味する。ここで言う損失は機械的損失と変換器によって変換されたエネルギーが含まれているので、この状態でのエネルギー変換率が 10% だとすると、 $500\mu\text{W}$ の発電ができることになる。

2.4 熱

電気エネルギーは抵抗を通せばジュール熱に変わるし、物体が運動をすれば、最終的には摩擦熱や音のエネルギーに変わる。音のエネルギーも空気に吸収され熱に変わっていく。エネルギーのほとんどが熱に変わって消えていくことになるので、この熱を電気エネルギーに戻すことができるなら、有望なエネルギー源となりうるかも知れない。しかし、エネルギーは温度差によって定義されること、大きな温度差のある場所が制限されること、熱エネルギーが媒体を移動する速度が遅いこと、などから熱エネルギーを電気エネルギーに変換することはかなり難しいと言える。

例えば 100cc の水の温度を 10°C あげれば約 4200J のエネルギーが蓄えられたことになるが、これをエネルギーとして認識するためにはもとの

10°C低い水に移動できる状態が必要である。もしこの4200Jを70分かけて、すべて移動させたとすると、平均で1W相当の熱エネルギーを移動させたことになる。しかし熱の移動速度は比較的遅く、水の熱伝導率を例に考えると、1cm²の断面で接続した時、数mWしか伝達できないと考えられる。もし、変換効率が10%ということであれば、数百μWの発電ということになる。しかもすべての熱が移動することは考えられないし、熱の移動によって両者の温度差が低くなればなるほどエネルギーの移動は難しくなる。

2.5 音

大音量によって不快な思いをした人は、音も大きなエネルギーを持っていると考えるかもしれないが、空気が軽いこともあり、音響エネルギーはさほど大きくない。例えば平面波で伝わる（距離に依存しない）94dB（実効値で1Paの音圧）の音のエネルギーは約1.1mW/m²ということになる。飛行場のような120dBの騒音環境下であっても、450mW/m²程度である。このエネルギーを電気に変換するにはスピーカやマイクロホンなどの電気音響変換器を使用し、一旦機械振動に変換した上で、電気に変換するが、空気の音響インピーダンスが低いため、機械振動に効率よく変換することが難しい。

例えば120dBの音を出すために何Wのアンプを用意しないといけないか考えてみると、その変換効率の悪さが理解できる。

2.6 電波

AMラジオ局やFMラジオ局、テレビ局、携帯電話、無線LAN、タクシーの無線など、世の中にはたくさんの電波が使われており、それぞれの送信局の出力を調べてみると、数十Wや数十kWと、かなり大きな値が記載されているので、ここからエネルギーを集める方法も考えられる。

どの程度のエネルギーが収集できるかを概算してみるため、反射やアンテナの指向性などを除外して考えると、アンテナで受信できるエネルギーは送信局から見た受信アンテナの開口面積に相当する立体角で決まることが分かる。言い換えると、受信電力は距離とアンテナの開口面積で、およそ決まることになる。例えば300m離れたところに、開口面積30cm²のアンテナを置くと、送信電力の約3.8億分の1を受信できることになる。3kmの

距離であれば、380億分の1である。例えば、送信出力が10kWの送信局から3km離れた地点で受信すると、期待できる電力は数μWということになる。

2.7 人間

エネルギーハーベスティングでは人間がエネルギー源として登場することもある。踏む、歩く、漕ぐ、回す、押すなどの動作によって発電させようというものであり、自転車を漕いで『電池を充電させよう』、『なんとか電灯を付けてみよう』、『家電を稼働させよう』などと言った取り組みを時折見ることがある。しかし、人間はいったいどれくらいエネルギーを持っているのかと考え、元をたどっていくと、食事がその源であることに気づく。

1日に食事から摂取するエネルギーは成人男性で2000kcal程度と考えてみる。このうちの約3/4、1500kcalは基礎代謝として、体温維持や生命維持に必要な分であり、運動に使うことができない。また、残りの500kcalがすべて使えるかと考えた時、運動による体温上昇の影響が大きいことが分かる。例えば60kgの水を1°C上昇させるような状態を考えるとこのとき60kcalの熱量が必要であり、激しい運動をすれば、これ以上の発熱が発生すると思われる。運動を介して発電機を動作させた時に半分が熱に変わり、発電機を20%の効率で動かせたとすると、50kcalが発電に寄与することになる。これは約210kJであり、電力量に換算して約60Whということになる。

この60Whのエネルギーが小さいと感じる人もいるかも知れないが、位置エネルギーに直してみると、60kgの錘を350m持ち上げたエネルギーに匹敵するし、発電前の仕事量で計算すれば、1750m持ち上げるエネルギーを使うことを意味している。種々の実験を見ると、このあたりが人間の限界に近い値ではないかと考えている。

3. 変換デバイス

前章で、環境エネルギーが予想以上に小さいことを詳述したが、この章ではこの環境エネルギーを電気に変換するデバイスを紹介する。村田製作所で開発した4種類のデバイスについて動作原理を説明するとともに、実際に変換デバイスを作った場合にどの程度のエネルギーが得られるかについて述べる。

3.1 圧電型デバイス

圧電素子を使ってカンチレバー型発電デバイスを試作した。構造を図2に示す。おもりを上下に振らせると圧電素子には交流電圧が発生する。このデバイスの共振周波数は6.1Hzで、0.1Gの加速度を加えたとき101 μ Wの出力が得られた。構造の工夫により同程度の外形状で10倍程度までは発電が可能だと考えられるが、構造が複雑になるため、必要電力と要求されるサイズを見極めて設計することが重要である。



図2 圧電素子を使ったカンチレバー型発電デバイス

3.2 エレクトレット型デバイス

電荷を蓄積しておくことのできるエレクトレット材料を使うと、図3に示すような静電型の発電デバイスを作ることができる。エレクトレット材料はマイナスの電荷を帯びており、その近傍に電極がくると、電極にはプラスの電荷が誘起される。電極が離れた時にはプラスの電荷が流出するため、この2つの状態が交互に起こると、交流の出力が得られることになる。低い周波数の振動でも発電できること、形状的には薄いデバイスを作ることができることが特徴であり、村田製作所では30mm \times 30mm \times 3mmのデバイスを試作した。0.1G、10Hz程度の振動を加えると約100 μ Wの出力が得られた。

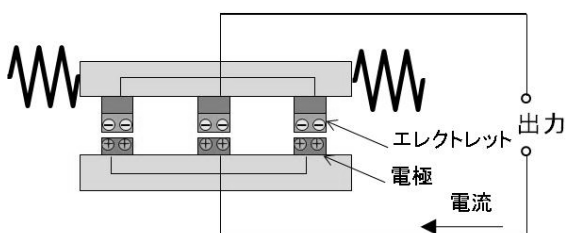


図3 エレクトレット発電デバイスの原理

3.3 熱電デバイス

熱電デバイスはゼーベック効果を使って発電する。図4に発電原理を示した。素子の両端に温度差が与えられると、P型の素子はホール密度差が、N型の素子は電子の密度差が発生し、電荷の移動が始まる。P型の素子とN型の素子を π 型に接合し、センサなどの負荷を接続すれば電流が流れ、発電デバイスとして機能する。しかしながら、PN1対では発生する電圧が低く、通常数十～数百素子を直列に接続して構成する。

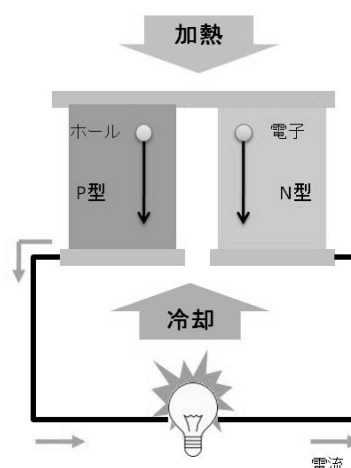


図4 熱電素子の発電原理

我々は積層セラミックコンデンサの材料・加工技術を活用し、50対100素子の熱電素子をシートにし、一体焼成することで、1個の発電デバイスでも利用可能な電圧を供給できる素子を開発した。開発したデバイスのサイズは6mm \times 7mm \times 2.7mmで、10 $^{\circ}$ Cの温度差を与えたときに100 μ Wの発電量が得られた。

3.4 光発電デバイス

光を照射すると電子を放出する色素を利用することで、照度の低いところでも発電可能な色素増感型光電池デバイスを開発した。

図5に示すように、一般的にガラスなどの基板の上に透明電極を形成し、多孔質半導体膜を形成して、そこに色素を吸着させる。色素から放出された電子は陽極に流れるが、電解質を介して色素に電子を返すことで、電池が形成できる。

このデバイスを形成するに当たり、多孔質膜の形成がポイントになるが、村田製作所では、山形大学吉田司教授（当時岐阜大学）の技術指導のもと、ZnO多孔質膜が低温で形成^[4]できることを

利用して、樹脂フィルムを使ったデバイスを開発した。フレキシブルで、割れにくいという特徴を持っている。

200lx の環境下で発電量を測定したところ約 $7\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の電力が得られた。

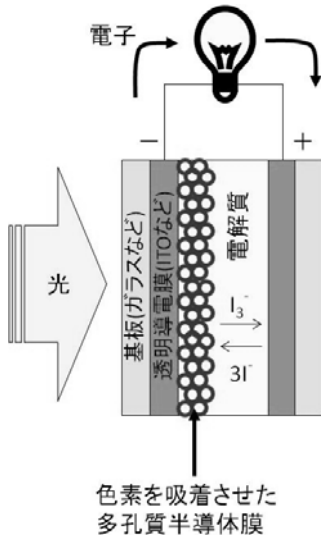


図5 色素増感型光発電デバイスの原理

4. エネルギーの活用

エネルギーハーベスティングによって発電できるエネルギーは小さく、身の回りで日常使用している機器をそのまま動作させることは難しい。

小さなエネルギーが使えるアプリケーションを探すにあたり、消費電力が小さいことはもちろんだが、連続的に動作しないことを許容できることを考えると、センサネットワークは有望な市場であると考えられる。この章では、エネルギーの使い方について考察してみたい。

4.1 蓄電

得られた小さなエネルギーを活用するために蓄電を行う方法がある。簡単な事例としてはコンデンサを使う事例である。

コンデンサに蓄えられるエネルギーは $1/2CV^2$ (C:コンデンサの容量, V:電圧) で表わされるが、エネルギーを蓄えれば電圧が上昇し、取り出せば電圧は降下する。従って、負荷が動作する上限電圧と下限電圧を設定して初めて、コンデンサに蓄えられたエネルギーのうち、使用できるエネルギーが決定できることになる。

蓄電する量をどの程度にするかは、環境に依存

する。環境エネルギーの供給されない間、デバイスを動作させるかどうかは重要であり、環境エネルギーの供給できない時間に負荷に対して出力するエネルギーをためておく必要がある。

蓄電しておく時間が長くなるに従い、コンデンサではリークが許容できなくなってくる。その場合は2次電池を使うことになるが、充電電圧制御、放電電圧制御などのロスも考慮して、使用する必要がある。

4.2 断続使用

前節で述べたように、上下限の電圧を決めて負荷を動作させるということは、断続動作を意味している。例えば、圧電素子を使って発電した電気エネルギーを安定に負荷側に供給するために、図6のような回路を使うことができる。

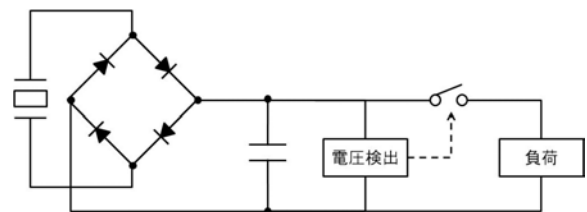


図6 エネルギー管理回路の例

このとき、与えられるエネルギーは限られており、動作時間はかなり制約される。この短い時間の中で、負荷の一連の動作が完結している必要がある。コンデンサの両端の電圧を観測すると図7のような電圧波形になるが、不連続に電圧が降下しているように見える部分が負荷に電力を供給している部分である。

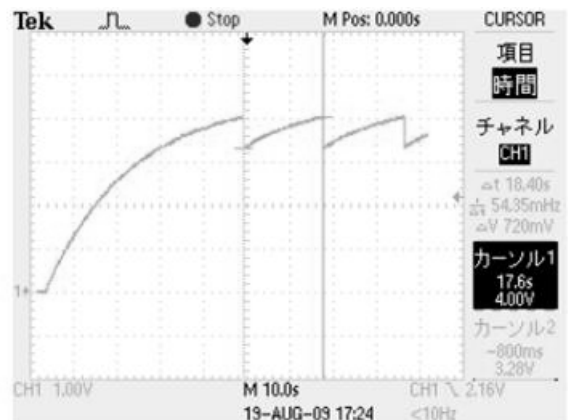


図7 コンデンサの電圧

4.3 センサの利用

センサネットワークを作ろうと思えば、センサの消費電力も考慮する必要がある。センサに要求される事項を列記してみると以下ようになる。

- ① センサの消費電力が小さいこと。できればパッシブであることが望ましいが、その場合でもアンプも含めて考慮する必要がある。
- ② 測定時間が短いこと。ここで言う測定時間はセンサに電圧をかけてから、データを取得するまでの時間である。
- ③ 断続的に測定できることが望ましい。例えば閾値を超えた時に警告を出すようなセンシングでは、常時測定していることになるので、測定エネルギーがかなり低くないと実現できない。
- ④ 環境エネルギーが存在する近傍にセンシングニーズが存在すること。できれば、同じ地点で両者が存在することが望ましいが、電源供給線と比較して十分効果が出るような使い方でなければ導入が難しい。

4.4 通信モジュール

通信モジュールにおいても消費電力が小さいことが望ましい。近年有名になった通信方式に EnOcean[®]がある。EnOcean[®]と ZigBee[®]の比較を表1に示す。

表1 EnOcean[®]と ZigBee[®]の比較

	EnOcean [®]	ZigBee [®]
周波数	315 or 868 MHz	2.4GHz
受信時 (Active Mode, CPU Idle)	27.4 mA	24.3 mA
送信時 (Active Mode, CPU Idle)	23.4 mA	28.1 mA
Standby Mode	1.4 mA	3.4 mA
Deep Sleep Mode	0.22 uA	0.40 uA
通信時間	約1.5 msec / 回	約20~30 msec / 回

*消費電流はTypical値

表1からわかるように、この通信モジュールは通信時間を短くすることで、消費エネルギーを低く抑えている。EnOcean[®]の特徴を以下に列記した。

- ① 一方向通信を行っており、このことによって短時間の通信を達成している。信号を受信すると ACK 信号を返す通信システムが多いが EnOcean[®]はこれを行わない。つまり、通信を失敗した時でもシステム的には認識できない。
- ② チャンネルスキャンを行わない。送信機と受

信機は同じ周波数帯を使用することが前提にある。

- ③ 同一周波数帯で複数の通信を行うため、信号がコリジョンする可能性もあるが、送信時間が極端に短いことが一つの回避策となっている。また、1回の送信で3回信号をランダムに送信することによって回避する方法も用意されている。

5. 試作例

発電デバイスと、センサ、無線通信の組み合わせで考えるので、いろんなデバイスが考えられる。

この章では、村田製作所で試作してみたデバイスをいくつか紹介する。

5.1 圧電自己発電スイッチ^[5]

圧電素子をたわませる力を利用して、圧電素子で発電し、その電力を使って ID を送信するようなものを作れば、簡単なリモコンスイッチを作ることができる。受信機とリレーを組み合わせれば、照明の On/Off もできるようになる (図8)。



図8 自己発電スイッチ

5.2 光発電+人感センサ

図9の左側は色素増感型光発電デバイスである。人感センサは小さいながらも常時エネルギーを必要とするため、発電した電力は一旦コンデンサにためておくことになるが、10秒に1回程度感知して、情報を送信することが可能である。

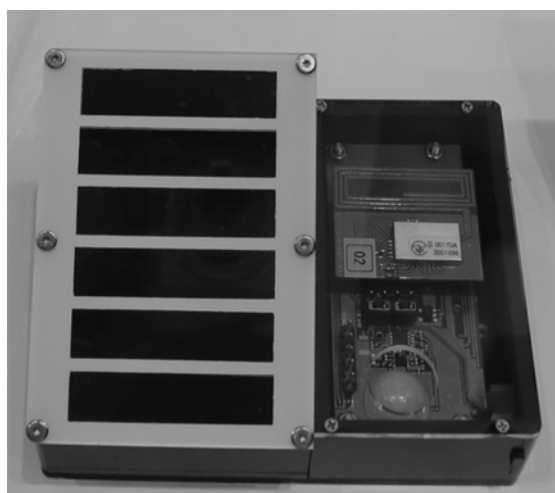


図9 光発電+人感センサ

5.3 熱電素子+温度センサ

熱電素子を使い発電するデモ機を作成した。デモのために安定した熱源が必要となるため、PTCサーミスタ（ポジスタ[®]）を使用して、熱を供給している。放熱は筐体にアルミ板を使うことで対応した。センサはNTCサーミスタを使い、周囲の温度を測定している（図10）。

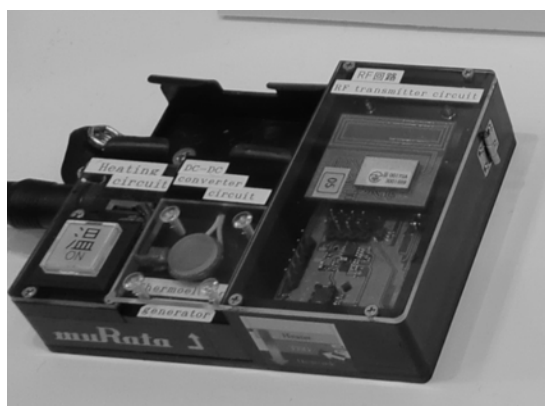


図10 熱電素子+温度センサ

5.4 センサネットワークデバイスの活用

エネルギーハーベスティングで商用電源の補助電源を実現することは、かなり難易度が高い。仮にできたとしても、コストを度外視した設備導入となりかねない。従ってエネルギーハーベスティング技術は、エネルギーを増やすことに役に立たないかも知れないが、センサネットワークを利用することにより、エネルギーを極力使わないようにコントロールするためのエネルギーとして使うことができると思う。

自己発電スイッチは、端的にはRFリモコンと

なんら変わりがないように見えるが、電池の交換が不要であること、電池の廃棄が不要になることを考えると利用価値は高いと考える。

人感センサや開閉センサなどより、人間の存在を検知できれば、環境制御の必要性を判断することができる。

また、温湿度などにより、環境の基本情報を細かく取得できれば、これまで以上に制御場所を決めて環境を変えることができるようになる。

室内すべてが同じような環境になるように制御するのではなく、場所に応じて必要性を考えて制御することにより、使用エネルギーを削減することができる。そのためにエネルギーハーベスティング技術が適用できれば、この小さなエネルギーは、普段使用している大きなエネルギーに勝るとも劣らない有効なエネルギーと言えるかもしれない。

6. まとめ

環境から得られるエネルギーは小さく、身の回りにある機器を動かすほどのエネルギーを取り出すことは難しい。しかし、マイコンの省電力化や通信の省電力化が進み、10年以上前から市場の拡大が期待されている、センサネットワークへの活用が期待できる。村田製作所では、エネルギーハーベスティングを使ったワイヤレスセンサネットワークデバイスとして検討・開発を進め、その結果、動作するデバイスの形ができてつある。まだまだ取り組むべき技術課題は多いが、それにもまして、実際に使える市場を探し出すことが重要な課題となっている。このエネルギーハーベスティングの分野において、欧米に比べて10年以上遅れているとも言われているが、技術的な問題よりも市場形成力の問題だと考えており、近い将来、日本でも市場形成できることを期待したい。

文 献

- [1] エネルギーハーベスティングとセンサネットワーク JFCA, FC report 2012 春号.
- [2] 村田製作所におけるエネルギーハーベスティングの取り組み, 電気学会自動車研究会資料, VT-12-004, (2012).
- [3] 身の回りは電気だらけ, CQ 出版 トランジスタ技術, 11月号, (2010) 71-77.

[4] T. Yoshida et al. "Electrode position of Inorganic/Organic Hybrid Thin Film", Adv. Funct. Mater., 18, (2008) 1-27.

[5] エネルギーハーベスティングによる自己発電スイッチ, 電波新聞ハイテクノロジー 2012年5月31日付.

環境発電のワイヤレスセンサーネットワークへの応用

Wireless Sensor Network with Energy Harvesting

甲斐田 陽一（株式会社 アルティマ）
Yoichi KAIDA (ALTIMA Corp.)

1. はじめに

環境発電はさまざまなアプリケーションでの利用が考えられているが、本稿ではワイヤレスセンサーネットワーク（以下、WSN）に焦点をあて、弊社取扱い商材の紹介を交えながら、検討すべきポイントはどこか、技術的な課題は何かなどについて考察する。

1.1 会社紹介

株式会社アルティマは、半導体商社マクニカの子会社として1991年に設立された。ALTERA 社、PMC Sierra 社、Linear Technology 社、IDT 社等大手メーカーをはじめ、当社が厳選した技術力の高い海外メーカー製品を多数取り扱い販売、サポートしている。

また、マクニカとともにグローバルにビジネスを展開している。特に近年成長著しいアジア市場をサポートすべく、現地の有力代理店とグループ会社となり、きめ細やかなサービスを提供している。

2011年3月に、アルティマにて環境発電関連商材を一括して取扱いを開始し、顧客が無電源無線センサーなどを開発しやすいワンストップ提案型の体制を整えてきた。また、Linear Technology 社の各種環境発電向け電源管理 IC と、Infinite Power Solutions 社の二次電池を搭載した「環境発電 汎用評価ボード」の提供を開始し、環境発電を組み込んだ製品開発を加速できる仕組みを用意している。環境発電市場に有力な商材を今後も引き続き日本のお客様へ紹介/提案していく。

本稿では、下記製品を紹介する。

- MIDE（ピエゾ振動発電素子）
- Perpetua（熱電変換モジュール）
- YAMAHA（熱電発電モジュール）
- Linear Technology（電源管理 IC）
- Enegy Micro（超低消費電力マイコン）
- GainSpan（超低消費電力 WiFi）

1.2 環境発電（エナジーハーベスト）の概要

自然界のエネルギーには、太陽光をはじめとして、熱、振動、磁界といったさまざまなエネルギーが存在する。また、無線や室内灯といった人工的に作り出されたものではあるが、それらのエネルギーも有効活用することが考えられてきている。期待される効果としては、メンテナンスフリー、エコフレンドリーなどが挙げられる。

ここで対象としているのは、いわゆるメガソーラーといったような大電力を作り出すシステムではなく、発電量がマイクロワット、あるいはミリワットといった、マイクロ環境発電である。

1.3 環境発電の実用化 応用アプリケーション例

さまざまな分野にて環境発電の利用が考えられているが、大きく分けると図1のようになる。



図1 環境発電の実用化
応用アプリケーション例

1.4 M2M とエナジーハーベスト技術

エナジーハーベストと同様に、近年注目を浴びているのがM2M（Machine to Machine）市場である（図2）。きめ細やかなセンシングを必要とする

末端のデバイスは、環境発電による無電源化により、より多くの配備を可能にする。

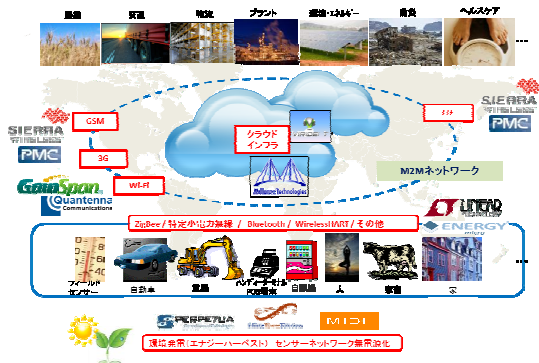


図2 M2Mと環境発電

2. 環境発電で何を行うか？

2.1 WSNの特徴

WSNの特徴は下記のようなことが挙げられる。

- ・ノード数が多い
- ・広範囲にわたる
- ・バッテリー駆動
- ・間欠通信

このような特徴が挙げられることから、メンテナンスを行うのに非常に手間がかかるということは容易に推測がつく。解消するためのキーの1つになるのは、センサーノードのバッテリーレス化である。つまり環境発電を利用できないかということにつながっていく。また、ここでターゲットにしている環境発電を利用しようと考えたときに、その発電量は決して大きいとは言えない。しかし、WSNの特徴の最後に挙げた間欠通信がさらにその利用の可能性を高くしているといえる。間欠通信、例えば、温度や湿度などの環境情報を定期的にモニタリングするようなケースを想定している。数十秒に一回、数分に一回、数時間に一回、一日に一回センシングしたデータを無線送信するということが想定される。この場合、ワイヤレスセンサーノードはほとんどの時間スタンバイ状態にあり、平均消費電力はそれほど大きくはない。環境発電から得られる電力をできるだけ有効に活用するためには、データ送信時（アクティブ時）以外の消費電力をいかに抑えることができるのかが一つの重要なポイントとなる。

2.2 環境発電を利用したWSNを検討する場合の4つのステップ

図3のように、ハードウェア構成としては、大

きく4つのステップに分類することができる。



図3 環境発電 WSN を検討する場合の4つのステップ

2.3 検討すべきポイント

それぞれのステップで検討すべき主なポイントを挙げてみる。

<発電素子>

周辺環境に依存することから、得られる電力が断続的あるいは不安定である。太陽光発電の場合は、天候が悪い場合や夜には十分な発電量が得られない。振動発電の場合は一定の周波数を定常的に得られるという環境は限られている。温度差による発電の場合は、いかに温度差を大きくかつ一定の期間確保できるかが重要となる。これらの状況を補う手段の1つとして、蓄電池を利用することが挙げられる。また、太陽光と熱といったようなハイブリッド型の発電の検討も考えられるだろう。

また想定している使用環境下において、使用する発電素子から得られる電力量もあらかじめ把握できると良い。それにより、その電力によって何ができるか、あるいは、動作させたいシステムを動かすことができるのかを事前に検討することができる。例えば、振動している環境を専用の測定モジュールを使用し、そこで得られる振動周波数、加速度などを事前に測定し、得られた結果より、その環境下に適した振動発電素子が何かなどを検討することが可能となる。

その他、発電素子自体の寿命（信頼性）、後段に必要な電気回路はどのような構成にすべきかといったところも重要なポイントとなってくる。

<蓄電池>

蓄電池は必ずしも必要な部材というわけではないが、システムに対し、安定的に電力を供給しようと考えた場合、必要となってくる。システムに

必要な電池容量がどれくらいか、ピーク時にどれくらい電流量が必要となるか、使用する発電素子によって充電するための回路構成、充電時間などに関して検討する必要がある。

<無線通信>

無線送受信時の消費電力、スタンバイ時の消費電力は重要な要素となってくる。導入したい環境下で求められる通信距離、通信の安定性、あるいは既存ネットワーク/機器への接続のし易さといった部分も検討すべき項目となる。各種無線規格が存在しているので、それぞれの特徴を検討したうえで、導入したい環境に最適なものを選択していくことになる。

全般的にいえることはもちろん、環境発電によって得られた電力をできる限り有効活用するために、使用する各種半導体の消費電力はできる限り小さいものを選択する(小さくなるよう工夫すること)である。

3. エネルギー生成

ここからは前述した WSN を検討する場合の 4 つのステップごとで弊社取扱いの商材を紹介しながらすすめていく。

最初にエネルギー生成であるが、大きくは次のように分類される。

<光発電>

天候に左右されるという事もあり、蓄電池の利用が考えられる。また、ほとんどの場合、後段に昇降圧の回路が必要となる。発電素子の長期信頼性、高効率化、軽量化といったところもポイントになる。色素増感型の太陽電池は屋内光でもある程度の発電が期待でき、低コストで製造可能と見込まれている。屋内 WSN の電力源の 1 つとして期待したい。

<振動発電>

さまざまなタイプの振動発電素子の開発が進められている。圧電効果、電磁誘導、静電誘導、磁歪効果を利用したものなどがある。決まった周波数を安定的に得られる環境は限られる。例えば飛行機や自動車といった乗り物、あるいは工場などで使用しているモーターから発生する振動の場合は比較的安定した周波数を得られるだろう。微弱かつ不安定な電力をどのように有効活用できるか、

あるいはそのような電力でもうまく活用できるアプリケーションが何なのかもあわせて検討していくことになる。

<温度差発電>

一定の温度差が得られる環境であればそれなりの電力を得ることが期待できる。例えば、工場、温水パイプ、車、モーターなどが挙げられる。温度差をいかに保って発電することができるかがポイントとなる。将来的には人の体熱で発電するような使い方が考えられているが、外気との温度差は決して大きいとはいえない。また、モジュールが小さくなればなるほど温度差を保つことが難しいといったような課題も挙がる。

<電磁波発電>

レクテナなどが挙げられる。環境中の電磁波から収穫する電力は大きくはないが、間欠動作をする WSN で、蓄電池を組み合わせる使用が考えられていたりする。

3.1 MIDE Technology

米国マサチューセッツ州メドフォードに本社を構える MIDE 社は、ピエゾ振動発電素子を販売している。ピエゾ圧電ウエハー 2 枚を 1 パッケージにラミネートした扱いやすい発電素子である。下は約 30Hz から上は 360Hz まで様々な振動源の周波数に最適な素子を選べるよう、標準品を用意している (図 4)。

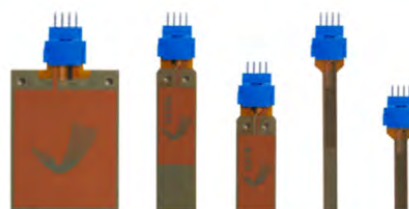


図 4 ピエゾ振動発電素子

ビジネスの内容次第では顧客の要望に対しカスタマイズした素子の提供も請け負う。

例えば、素子に 40Hz で 1G の加速度の振動を与えた場合、最大で 9mW を超える発電が可能である。[1]

また、ユーザの素子選択時に便利な USB ベースの振動記録装置「SlamStick」も提供している (図 5)。[2]

TPMS (Tire Pressure Monitoring System) やモーターの振動監視、航空機エンジンやヘリコプター

のローター等の状態監視などの用途を狙う。



SLAM STICK™
HIGH SPEED • PORTABLE • RECHARGEABLE • DATA LOGGER

図5 Slam Stick

3.2 Perpetua

Perpetua社は2005年に米国オレゴン州を拠点に、温度差から電力を生成する「熱電変換技術」を活用して、高品質・高費用対効果で用途が広い熱電変換モジュールを提供している。独自のフレキシブル・デバイスへの蒸着技術を用いてフィルムタイプ熱電素子を開発・製品化しており、これにより様々な形、大きさの要求に対応できる熱電変換モジュール「Power Puck」を提供している(図6)。



図6 Power Puck

主な特徴は下記の通りである。

<Power Puck 15101A>

- ・ 廃熱利用による再生可能な電源
- ・ 動作寿命：10年 (dT(温度差)：30°C環境)
- ・ バッテリーと同様に定電圧3.1V出力
- ・ カスタムで1.8V~4.8V調整対応可能
- ・ 推奨温度差 Min:15°C(min), Typ:30°C
- ・ 発電量 参考値 dT(温度差) 30°C: 15mW
- ・ 簡単インストール
(マグネット式 5分で設置可能)
- ・ 主要な無線センサーノードとの互換
- ・ M8コネクタにて接続
- ・ RoHS準拠, Pb free対応済み

3.3 YAMAHA

ヤマハ株式会社からは熱電発電モジュールが提供されている。独自の高性能熱電材料と熱電発電向けに最適設計された構造により、高効率の熱電発電を可能としている。また、用途に合わせ最適な高性能熱電発電モジュールを提供することも視野に入れている(図7)。

<GKH10 パフォーマンス例>

- ・ L1 = W = 14mm
- ・ L2 = 18mm
- ・ T = 2.23mm

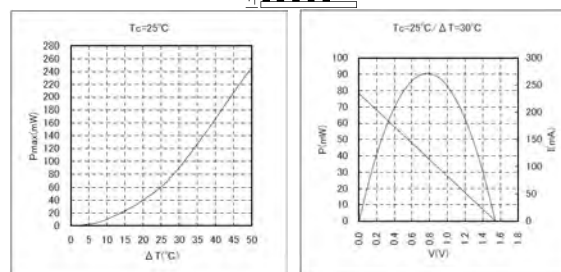
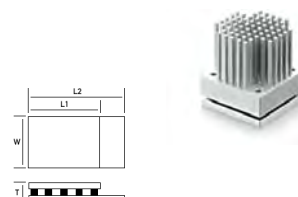


図7 GKH10 パフォーマンス例

4. 生成されたエネルギーの蓄電、変換、安定化

さまざまな環境発電素子で生成された電力は、ワイヤレスセンサーモジュールなどへ直接そのまま利用するのではなく、何らかの処理を必要とする場合が多い。例えば、昇圧、降圧処理である。また、環境発電から得られる電力は微弱、断続的なことが多いことから、安定的にその電力を利用することを考えた場合、蓄電を行うということが挙げられる。ここでは Linear Technology 社、Infinite Power Solutions 社の製品を紹介する。

4.1 Linear Technology

米国カリフォルニア州ミルピタスに本社を構える Linear Technology 社は、高性能アナログ IC のリーディングカンパニーである。生産工程を持たない他の多くの半導体メーカーとは異なり、自社工場による製造工程全体の厳格な品質管理体制を確立している。原則製造中止をしないということも特徴の1つである。


光・熱などの環境エネルギー源は通常の電力源と比べ「微弱かつ断続的」という特性がある。こういった環境エネルギー源によってセンサーやマイコンなどを動かすためには、「電力を高効率で安定化する事」が求められる。これらの要求を解決するアナログ技術には、「高効率での電力変換/エネルギー管理が可能である事」、また「IC 自体が超低消費電力である事」が求められる。これらの要求にこたえるべく、「環境エネルギー源とセンサー・マイコンなどとの橋渡し」を行うソリューションを提供している[3](図8)。

型番	内容	エネルギー源
LTC3105	最大電力点制御と250mV起動が特長 400mA昇圧DC/DCコンバータ	太陽
LTC3108	超低電圧の昇圧コンバータ&パワーマネージャ	温度差
LTC3109	Auto-Polarity、低電圧昇圧コンバータ&パワーマネージャ	温度差
LTC3588	低損失の全波ブリッジ整流器と高効率降圧コンバータの一体型 圧電電源	振動
LTC4070/4071	リチウムイオンポリマー・バッテリー向け シャント・バッテリー・チャージャ・システム etc.	太陽 / 温度差 / 振動

図 8 環境発電向け製品群

4.2 Infinite Power Solutions

米国コロラド州リトルトンに本社を構える Infinite Power Solutions 社は、再充電可能な全固体薄膜二次電池を提供している。通称“THINERGY (シナジー)”と呼んでいる製品は、薄いという意味の“Thin”と、エネルギーを掛け合わせた言葉である。その名の通り、0.17mm と大変薄く、曲げる事まで可能なため、さまざまな形状の製品に組み込むことを可能にしている。また、全固体の電池のため、一般的な液体電池と比較して安全性が高いといえる。充放電回数に関しては、100%放電した後、充電をする使い方でも、10,000 回の充放電を可能としている。また、最大駆動電流は、90mA のものを取り揃えており、無線通信機器を駆動することも十分考えられる。自己放電率が低いという点も特徴の1つである。微細な電力でも無駄なく蓄電でき、維持できるため、エナジーハーベストなどのアプリケーションに最適といえる [4] (図 9)。



	Units	MEC225	MEC220	MEC201	MEC202
Open Circuit Voltage (OCV)	V	4.1	4.1	4.1	4.1
Package Size/Footprint ^①	in. mm	0.5 x 0.5 12.7 x 12.7	1.0 x 0.5 25.4 x 12.7	1.0 x 1.0 25.4 x 25.4	1.0 x 2.0 25.4 x 50.8
Package Thickness	in. mm	0.007 0.17	0.007 0.17	0.007 0.17	0.007 0.17
Typical Internal Resistance	Ω	260	120	45	20
Maximum Continuous Current	mA	7	15	40	90
Nominal Capacity Options	mAh	0.13	0.4	1.0	2.2
Equivalent Energy in Joules	J	1.8	5.5	14	32
Typical Recharge Time to 90% (at 4.1V OCV)	Min.	15	15	15	15
Operating Temperature Range	°C	-40 to +85	-40 to +85	-40 to +85	-40 to +85
Operating/Shell Life	Years	>15	>15	>15	>15
Recharge Cycles ^②		100,000	100,000	100,000	100,000
Typical Charge Loss/Year		2%	2%	2%	2%
Supercedes ^③		MEC125	MEC120	MEC101	MEC102

図 9 製品群

5. モジュール全体をマイコンで制御

低消費電力のマイコンは各社からさまざまな製品がリリースされてきている。その中でも超低消

費電力マイコンとして最近注目されている Energy Micro 社のマイコンを紹介する。

5.1 概要

ノルウェーオスロに本社を構える Energy Micro 社からは消費電力を劇的に下げるノウハウを用いて、非常にエネルギー効率の良いマイクロコントローラが提供されている。低消費電力コアとして市場をリードする「ARM 社の Cortex-M3 コア」を搭載し、さらに独自のテクノロジーを用いることにより、マイクロコントローラのトータルの消費電力を劇的に下げている。

5.2 エナジーモード

150µA/MHz (=TinyGecko シリーズ) でフルアクティブに動作する「ランモード (EM0)」,そして EM1 から EM4 (消費電流値:0.02µA=20nA) まで、4 つの高度なスリープモードを瞬時に切り替えられる点が挙げられる。合計 6 つのカスタム内蔵 RC オシレータを使い、EM0 と「スリープモード (EM1)」間の切り替えは僅か 0.5µSec 以下で行い、EM0 と「ディープスリープモード (EM2)」および「ストップモード (EM3)」間の切り替えは僅か 2µSec,そして EM0 と EM4 間の切り替えは 160µSec で行われる。これによりプロセッサコア立上げからタスク処理完了までの動作を非常に短時間で行う事ができ、更にアクティブ状態と複数のスリープ状態を交互に切り換えながら、最適な電力消費を実現する事が可能である。環境発電のような微弱電力を使用するアプリケーションの視点で見た場合、可能な限り柔軟なスリープモードを持たせ、短時間でタスク処理を行う事は、限られた電力を有効に使用する上で非常に合理的と言える (図 10)。

	EM 0 (Run Mode)	EM 1 (Sleep Mode)	EM 2 (Deep Sleep Mode)	EM 3 (Stop Mode)	EM 4 (Shut off Mode)
CPU	○				
ペリフェラル動作	○	○			
低電力ペリフェラル	○	○	○		
RAM保持	○	○	○	○	
ウェイク/スリープ切り替え時間	-	0.5µSec以内	2µSec	2µSec	160µSec
GIANT	CPU : max 48MHz Flash : 512KB/ 128KB RAM : 128KB	200µA/ MHz	50µA/MHz	1.1µA = 90nA	0.9µA = 900nA 0.02µA = 20nA
LEONARDO	CPU : max 48MHz Flash : 64KB/128KB/ 256KB RAM : 32KB	200µA/ MHz	50µA/MHz	1.1µA = 90nA	0.9µA = 900nA 0.02µA = 20nA
GREEN	CPU : max 32MHz Flash : 64KB/128KB/ 64KB/128KB RAM : 96KB/192KB	180µA/ MHz	45µA/MHz	0.9µA = 590nA	0.59µA = 590nA 0.02µA = 20nA
TINY	CPU : max 32MHz Flash : 4KB/8KB/ 16KB/32KB RAM : 1KB/2KB/4KB	150µA/ MHz	51µA/MHz	1µA = 590nA	0.59µA = 590nA 0.02µA = 20nA

図 10 各エナジーモードの切り替え時間と消費電流

5.3 Peripheral Reflex System

EFM32 マイコンには「Peripheral Reflex System (ペリフェラル・リフレックス・システム)」と呼ばれる独自システムが搭載されている。このシステムにより、内蔵ペリフェラルを「プロセッサの介在無しで自律的に動作」させる事が可能で、それは即ちプロセッサそのものの稼働率を極限まで抑えられるということである。従来のマイコン製品の多くは、内蔵ペリフェラルを動作・制御させる度にプロセッサが介在していたが、プロセッサそのものの消費電力がマイコン消費電力の大部分を占めている、という事実から見れば、この Peripheral Reflex System がもたらす低消費電力効果は絶大であるといえる。

5.4 LESENSE

特許技術である外部センサーI/F (LESENSE) も消費電力の低減に寄与している。「LE」とは、「ローエナジー」を意味する。コンパレータやシーケンサを組み合わせた自動化機構である。一般のマイコンでは、コンパレータ毎に CPU を立ち上げ条件判定が行われるが、LESENSE では CPU がスリープのまま、同様のことをハードだけで実行する。しかも条件として、しきい値や回数なども設定できることから、たとえば『ある一定温度以上を 10 回検出したら』などといった設定も可能である(図 11)。

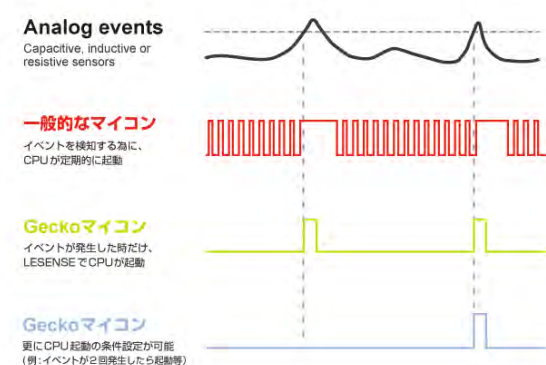


図 11 LESENSE-Low Energy Sensor interface

6. センサーなどで取得した情報を伝送

データ伝送をするための無線技術はさまざまな種類が存在しているが、それぞれの特徴を生かし、ターゲットとする市場からの要求に応じたものを選択する必要がある。WSN と環境発電と組み合わせ

せて使用する場合には、低消費電力、比較的小さなデータ量のやりとり、数多くノードが存在するといった特徴をふまえて検討することになる。IEEE802.11b/g/n, Zigbee, 特定小電力無線, Wireless HART, Bluetooth LE, あるいは IEEE802.15.4 ベースの独自プロトコルなどさまざまな無線規格がある。ここでは、WiFi チップセットを提供している GainSpan 社を紹介する。送受信時に流れるピーク電流は他の無線と比較すると決して小さくはないが、WiFi 方式の優位性は、IT 技術によって得られる多様なメリットをそのまま享受できる点にある。IEEE802.3/イーサネットならびに TCP/IP ネットワークとのシームレスな接続により、LAN はもちろん、インターネット、クラウドまで高度なスケーラビリティがある。ネットワーク関連のソフトウェアやサービス、運用ノウハウも市場に溢れており、IT 機器のみならずモバイル端末やスマートフォンを取り込んだサービス展開も容易である。機器同士の互換性や相互接続性、セキュリティ標準、マルチベンダなど、導入・運用・維持面でも格段に優れている。これらは WSN ならびに M2M のプラットフォームとして大きな利点となる。

6.1 GainSpan

GainSpan 社は、米 Intel 社より分社独立し 2006 年に設立された。低消費電力 WiFi に特化した専用 LSI「GS1011」、同 LSI を搭載した組み込み用基板モジュール「GS1011M シリーズ」、および関連ソフトウェアを提供している。GS1011 は 2.4GHz 帯の IEEE 802.11b に準拠しながら、通信距離や無線伝送レートなどの基本性能を犠牲にすることなく、大幅な低消費電力化を実現した点に同社の技術的特徴と優位性がある。

GS1011 が低消費電力を実現しているポイントは、主に次の 3 つである。

- ・スリープ/スタンバイ等の待機電力が低い (5 μ A \sim)
- ・CPU および周辺回路の動的な電力ステート制御 (電力の低い状態を作る)
- ・システム全体の間欠動作

間欠通信を想定しているワイヤレスセンサーノードでは、殆どの時間が Standby / Deep Sleep モードであると考えると、この部分での消費電力が小さいことは低消費電力実現ために重要である

(図 12).

システムステート	電圧	消費電流	消費電力	ウェイクアップ時間
Standby	1.2~3.6V	~5μA	~18μW	6ms
Deep Sleep	1.8V	110μA	0.19mW	5ms
Processor Sleep	1.8V	7.2mA	13mW	~1μs
App CPU @ 22MHz	1.8V	17.2mA	31mW	~5μs
WLAN CPU @ 22MHz	1.8V	21.5mA	39mW	~5μs
Receive	1.8V	144mA	260mW	N/A
Transmit	1.8V	192mA	345mW	N/A

図 12 WiFi 消費電力削減技術：各モードでの消費電力

6.2 今後のリリース予定製品

Linear Technology 社は 2011 年 12 月に DustNetworks 社の買収を発表後、IEEE802.15.4 に準拠した WSN 製品の販売を 2013 年前半に予定している。

また、Energy Micro 社からは 2013 年中に、167MHz から 2.5GHz までの幅広い周波数帯をカバーし、マルチ変調方式・マルチプロトコルに対応、従来のどんな RFIC よりも低い消費電力で動作するウルトラ・ローパワー RF トランシーバー IC/SoC のリリースを予定している。

これらの製品に関しても、低消費電力を特徴としており、環境発電と組み合わせて使用することにより、ワイヤレスセンサーノードのバッテリー寿命の延長、バッテリーレス化にむけて、充分魅力的な製品になってくると期待している。

また、2012 年 7 月に使用が解禁となった 920MHz 帯をサポートする無線モジュールは、すでに各社よりリリースされてきている。一般的には 2.4GHz 帯無線と比較して電波の到達距離が長く、また障害物を電波が回り込んで届く特性が高いことが期待できるので、通信距離を必要とする場合や障害物が多いような場所では有効であると考えられる。こちらについても環境発電と組み合わせた WSN での使用が十分に期待できる。

このように各種無線規格があるが、用途に合わせて、導入したいアプリケーションからの要求にあった無線規格を選択する必要もある。

7. 評価環境

環境発電は注目されてはいるが、実際に環境発電素子から得られる電力を使って何ができるかなどを評価しようとした場合、準備しなければならない部材は数多くあり、決して容易とは言えなかった。様々な発電素子や技術が開発されてきてい

るが、それらの電力をマイコンや無線デバイスなどへ安定的に供給するには、それぞれの発電素子に応じて、昇圧、整流、蓄電などといった機能が必要となる。これらの回路に必要な半導体デバイスをあらかじめ搭載し、それぞれの発電素子使用時に必要となるデバイスを簡単に組み合わせて使用できるようにしているのがアルティマにて開発した「環境発電 汎用評価ボード」である。このボードを使用すれば、発電素子で実際に何を動作させることができるのか、また、環境発電によるマイコン動作や無線伝送を行うアプリケーションの実機評価にいち早く着手することができる。

7.1 環境発電 汎用評価ボード

Linear Technology 社の各種環境発電向け電源管理 IC を搭載し、「光・太陽、熱（温度差）、振動」といった様々な特徴をもったそれぞれの発電素子を接続して、それらの性能や特性を比較評価することができる。また、Infinite Power Solutions 社の超薄膜全固体二次電池を搭載している。周辺環境によって不安定となる環境発電システムの電源を、この二次電池に蓄電して使用することで、安定化することができる。MEC201-10P（1mAh）を合計 8 枚実装している。必要に応じて、2 枚、4 枚、6 枚、8 枚を使用するように組み替えて評価を行うことができる[5]（図 13）。

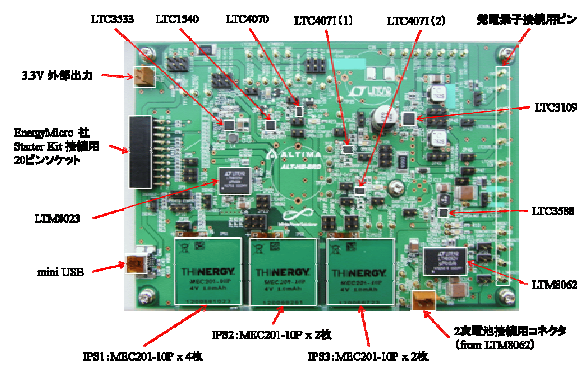


図 13 ボードレイアウト

「環境発電 汎用評価キット」には「環境発電 汎用評価ボード」から電源供給を行い動作する下記 2 種のスタータキットを同梱している。

1. Energy Micro 社 ARM Cortex-M3 搭載「EFM32」マイコン・スタータキット

=> 環境発電素子や二次電池の電圧を計測して表示するリファレンスソフトウェアを共

に提供

2. Gain Span 社 超低消費電力 Wi-Fi チップ搭載「Serial to Wi-Fi スタータキット」

⇒ IEEE802.11b に対応した無線通信を実現

- * 環境発電 汎用評価ボードの設計上、光/熱による発電素子との組み合わせ時に接続・動作可能

7.2 実験例

下記は「環境発電 汎用評価ボード」に YAMAHA の熱電発電モジュールと、GainSpan 社の「Serial to WiFi スタータキット」を組み合わせた例である (図 14)。



図 14 温度差発電による WiFi センサーネットワーク

熱源には USB カップウォーマーを使用している。この場合に得られている温度差はおよそ 20～30K 程度である。熱電発電モジュールからはおよそ 110mV 程度が出力されてきており、それを Linear Technology 社の LTC3109 により 5V へ昇圧している。IPS 社の二次電池に蓄電し、蓄電された電力を WiFi 評価ボードへ 3.3V にして供給している。WiFi の送受信には、通信時間はわずか数ミリ秒 (扱うデータ量にも依存) ではあるが、150mA～200mA 程度のピーク電流が流れる。これを補うために Infinite Power Solutions 社の二次電池 MEC201-10P は 8 枚並列に接続して使用している。

WiFi 評価ボード上には温度センサ、照度センサを搭載しており、そこから得られたデータを一定間隔で送信し、パソコンのアプリケーション上にグラフ表示させて動作の確認を行うことが可能となっている。

次の例は、MIDE 社 V25W 振動発電素子を用いて、東京コスモス電機株式会社の無線マイコンモジュール (IEEE802.15.4) を動作させた例である。こちらの無線マイコンモジュールは非常に低消費電力であることが特徴の 1 つとして挙げられている。TWE-001 の消費電流は、送信電流：14.6mA,

受信電流：17.2mA, 待機電流：1.3μA (ディープスリープ時) となっている [6]。振動源にはエアポンプを用い、およそ 50Hz で振動している。このケースでは二次電池は使用していない。無線センサタグには温湿度計を搭載している。こちらも前例と同様に、定期的送信されてくるデータを親機で受信して、パソコン上のアプリケーションにてグラフ表示させて、動作確認を行うことができるようになっている (図 15)。

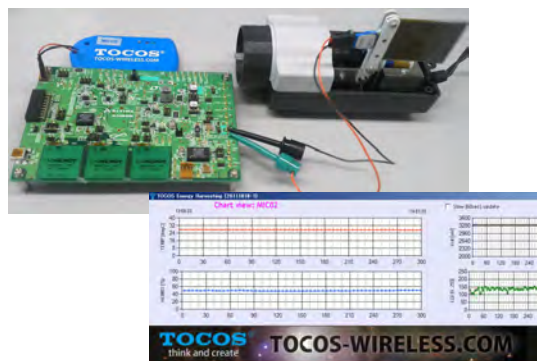


図 15 振動発電による無線モジュール動作

8. まとめ

WSNを動かす電力をエネルギーハーベストで確保できる事は、実地検証をふまえ、確認されつつある。今後も半導体の消費電力が下がり、環境発電素子の発電量が上がる事が期待でき、WSNに限らず、アプリケーションの幅が広がる事が期待できる。乾電池は電子機器を使う上で交換する事が前提、つまり、廃棄物が多い。製造から廃棄までの環境負荷が低いものとして消費者に遡及する事で、充電電池と環境発電を組み合わせ、今後検討が進むと見込んでいる。

参考文献

- [1] MIDE 社 Volture データシート
http://www.mide.com/pdfs/Vulture_Datasheet_001.pdf
- [2] MIDE 社 Slam Stick データシート
http://www.mide.com/pdfs/slamstick_datasheet.pdf
- [3] Linear Technology 社 Energy Harvesting
http://www.linear.com/products/energy_harvesting
- [4] Infinite Power Solutions 社 MEC200 Series
<http://www.infinitepowersolutions.com/images/st>

- ories/IPS_THINERGY_200Series_Comparison_06_26_12.pdf
- [5] アルティマ 環境発電向け汎用評価プラットフォーム
http://www.altima.co.jp/solution/energyharvest/harvester_bridge.html
- [6] 東京コスモス電機株式会社 TWE-001 データシート
<http://tocos-wireless.com/files/datasheet/TWD-PDS-TWE001-JP-025.pdf>
-

日本「再創造」－プラチナ社会の実現に向けて－

The Revitalization for Japan – Platinum Society –

小宮山 宏 (三菱総合研究所理事長)

Hiroshi KOMIYAMA (Mitsubishi Research Institute, Inc.)

1. はじめに

日本は過去に、公害、エネルギー問題などさまざまな課題を克服し、地球環境、少子高齢化といった新たな課題を抱えて今日を迎えている。これらはいずれも世界が共通に経験している、あるいは遠からず経験する人類共通の課題であるから、日本を「課題先進国」と定義することができるだろう。日本はこの状況を成長の機会と捉え、自ら世界にロールモデルを提供する「課題解決先進国」としての発展を国家の基本戦略とすべきである。

著者は、課題を解決したより高度な未来社会を「プラチナ社会」と定義している。それこそが先進国日本が自ら創る「坂の上の雲」[1]であろう。

本稿では、まだ見ぬ「プラチナ社会」の条件を探り、その中で重要なテーマの一つである「プラチナ社会のエネルギー戦略」について示す。

2. 「21世紀」とは何か

未来を描くには、現在を俯瞰する必要がある。超長期的な経済成長の推移から読み取れる世界経済の動向を概観してみよう。

2.1 収束に向かう世界経済

図1に各国の1人あたりGDPを世界平均で除した値を示す[2]。これを見ると、1000年前は国家間にほとんど差がない状況であったことがわかる。これは食べることに精一杯で、経済の主力を農業が占めた時代を意味する。GDPは人口に比例していた。

こうした農耕社会での収穫の増加は、ゆるやかな人口増加をもたらした。しかし農地には限りがあるから、人口増加はやがて止まってしまう。このような所得も人口もあまり増えない堂々巡りの状態を近年の経済学者は「マルサスの罠」と呼んでいる。

その後、ヨーロッパで産業革命が起こった。イギリスに始まった産業革命は西ヨーロッパに広が

り、それにアメリカ合衆国が続く。少し遅れて、江戸時代の鎖国から開国に転じた日本が加わった。産業革命を行った国では労働生産性が飛躍的に伸び、先進国となったのである。

先進国では人口も急速に増加した。つまり、「マルサスの罠」を突き破ったのである。

さまざまな歴史的考察からすると、江戸以前の日本は、世界の先進地域の一角を占めていたと考えてよいようだ。しかし、江戸時代の鎖国政策が工業化を遅らせた。この間、独特な洗練された文化が育まれた一方で、GDPで測る経済力・工業力において欧米に遅れをとった。

明治維新以降、急速に工業化を進め、戦争による二度の落ち込みがあったものの基本的には高度な経済成長を遂げて、その後も先進国としての地位を保ち続けている。

図1に見るように、最近、中国、インドを始めとする途上国の一人当たりGDPの相対値が上がり、先進国が下がっている。これは、先進国の個人あたりGDPが下がったのではなく、世界平均が上昇したため、相対値が低下しているということである。

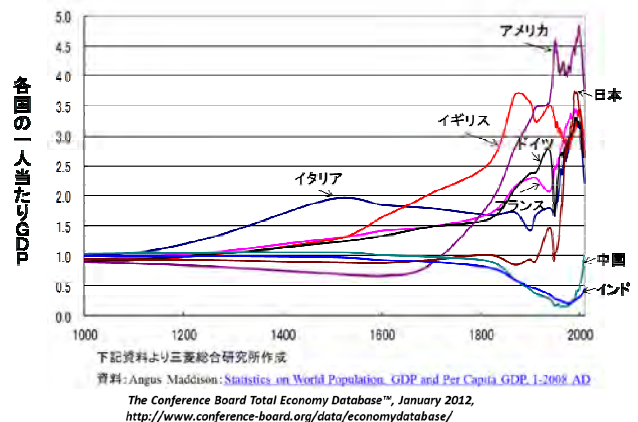


図1 世界の1人あたりGDPを基準とした「主要国の1人あたりGDP」の推移

この先はどのようなであろうか。おそらく世界は均一な豊かさの水準へと収斂していくであろうことを、図1は示唆する。新興国を中心としたキャッチアップ型の経済発展が世界平均を押し上げ、国家間の格差は縮小する。それは、産業革命の恩恵が有限の地球に行き渡るということを意味する。

以上が長期経済の推移と21世紀の特徴である。現在の先進国は、新たな成長の地平を開拓せざるをえないところに立っているのである。

2.2 長寿化する人類

現在を俯瞰する第二の鍵は長寿化である。一般に少子高齢化が問題だといわれるが、この表現は本質をはずしており、少子化と長寿化に分けて考えるべきである。

少子化は克服すべき課題である。1人の女性が産む子どもの数が「2」を下回れば、いつの日か地球上から人類はいなくなる。日本は「1.38」なのでこのままの状態が続けば日本人はいなくなる。逆に「2」を上回る状態が続くと、人口爆発が起こる。目指すべきは「2」なのである。

一方長寿化は、それにとまなう社会コストの増加といった面が強調されるが、長寿は人の願いである。二千年前の世界の平均寿命は20歳であった。短命の時代が長期に続き、1900年に31歳、日本は44歳であった。その後1999年に世界の平均寿命は66歳まで延び、日本では80歳を越えている[3]。

少子化をいかに克服するか、長寿を喜べる社会をいかにして築くか、それが国家間競争の重要な側面である。

2.3 飽和する人工物

第三は、有限の地球における人工物の量的飽和である。特に先進国では、人口がほぼ飽和し、すでに人工物も飽和しつつある。

人工物が飽和しても需要が無くなるわけではないが、増加しない。したがって、先進国は需要不足に陥り、外需を求める。しかし、世界もいずれ人工物が飽和し、需要は飽和に向かう。

途上国の需要は当座拡大するが、先進国が飽和状態までに要した時間よりも短い時間で飽和していくであろう。

上記の傾向は、例えば各国1人あたり自動車保有台数でみると理解できる。2007年の各国の人口1人あたりの自動車保有台数を見ると、日本、ア

メリカ、イギリス、フランス、ドイツでは0.45～0.50であり、この状態はすでに定常化している。つまり二人に1台持てば、その国の保有台数は一定になる。これが自動車の飽和だ(表1)。

たとえば日本では、保有台数が5800万台でここ十年以上ほとんど変わらない。この飽和状態では廃車になった分だけ新車が売れるので、廃車までの期間が12年であるとすれば、年間500万台が日本の内需ということになる。

一方で中国やインドの1人当たりの自動車保有台数は、0.02～0.01であり、今後の内需拡大が確実視される。しかし、中国の例で見ると、2007年の0.02から、2012年現在すでに0.08まで増大している。つまり、普及のスピードは加速しており、今後10年もすれば二人に1台の飽和状態に近づくことも想定される。

表1 世界各国の四輪乗用車保有台数

	保有台数(百万台)	人口あたり保有台数(台)
日本	58	0.45
アメリカ	138	0.45
イギリス	31	0.51
フランス	31	0.50
ドイツ	41	0.49
中国	32	0.02
インド	13	0.01

資料:社団法人自動車工業会、総務省統計局

2.4 化石資源に依存するエネルギー利用

図2に示すように、150年前までは、人類が利用するエネルギーのほとんどすべてがバイオマスであった。具体的には薪である。その後、石油、石炭、ガス、水力発電などが使われ、1970年頃になって原子力が加わった。

現在、世界のエネルギーの80%を化石資源、15%を自然エネルギー、5%を原子力が占める。自然エ

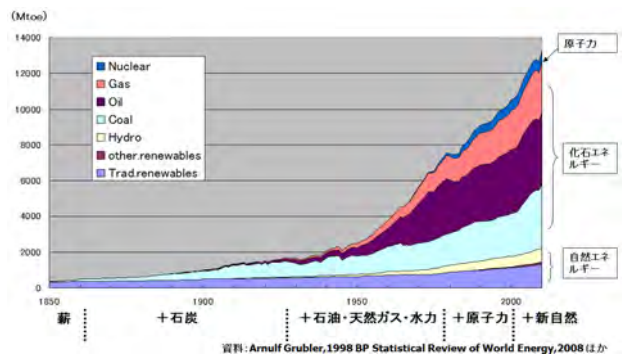


図2 世界の一次エネルギーの推移

エネルギー15%の内訳は、バイオマスが10%近く、水力が5%、風力、太陽電池など新規な自然エネルギーが1%となっている。

化石資源への依存は、CO₂による地球温暖化やエネルギー資源の枯渇という課題を人類にもたらしめている。21世紀は、省エネルギーや自然エネルギーによって、化石から非化石へと移行する時代である。

3. 課題解決先進国としての出発

日本が課題先進国を脱して課題解決先進国となるか否か、その鍵は、人類の発展過程を理解し、日本の輝かしい経験とその経験から蓄積した知恵を、現在の課題を解決し発展へのバネとすることができるか否かにかかっている。

3.1 課題を克服した経験

日本は鎖国により、欧米で起きた産業革命に乗り遅れた。しかし、江戸時代の社会システムは世界的にもきわめて先進的なものであった。

例えば寺子屋・藩校という教育システム、飛脚という情報システム、与力同心といった警察システムなどである。遅れたのは工業力とそれに伴う経済力であった。それゆえ、世界の各国が欧米の植民地と化す中、黒船来航以降も日本は独立を保って工業化を進め高度成長を遂げることができたのであろう。

日本のGDPは日清・日露戦争や太平洋戦争による疲弊のために一時的に落ち込むが、俯瞰的にみると、明治維新以降、急速に経済成長を遂げたといつてよいであろう。

日本に次いで高度成長を遂げたのは韓国であるが、それは1980年代に入ってからのものであった。したがって、欧米以外の諸国に百年以上も先駆けて長期経済成長を果たしたことになる。この事実は世界史的に稀有なものである。またその間、過酷な公害やエネルギー危機を克服し、また世界一の長寿社会を実現している。これらはいずれも世界に誇りうる日本の偉業と言うべきものなのである。

公害は1960年代から深刻な社会問題となった。1970年にはいわゆる公害国会が開催され、公害防止に関する制度整備と技術開発によって、公害を克服することができた。例えば、1960年代の隅田川は悪臭のひどい川であったが、水質が著しく改

善し、20年前には白魚が戻った。

また、世界は1970年代に二度のエネルギー危機を経験した。日本はエネルギーのほとんどを輸入石油に頼るという意味で、石油の価格高騰に最も脆弱な国であったが、産業のエネルギー効率を上げることで見事に危機を克服した。例えば、1トンのセメントを作るためのエネルギー消費量を他国に先んじて30年間で半減させた。鉄鋼、化学など、ほとんどすべての製造業において同様の省エネが実現されたのである。

3.2 21世紀モデルのフロントランナーとして

日本が成し遂げた、経済成長、環境、エネルギー、長寿は、意識するか否かは別として、文明が希求し続けたものであろう。すなわち、現在の日本の豊かさも課題も、文明発展の帰結である。したがって、日本の課題は近未来の世界が抱える課題と考えるべきなのである。

21世紀、先進国では物量的な需要が飽和し、途上国もピッチを上げて追従する。こうした物量的な需要を「普及型需要」と呼ぶとすれば、今、先進国に求められているのは「創造型需要」なのである。

日本は普及型の需要のみに依存して生きてはいけない。創造型需要の開拓を目指すべきである。創造型需要は、日本が直面する課題の解決を通じて生まれる。それは新しい「坂の上の雲」、つまり、プラチナ社会を実現しようとすることによって生まれてくるのだ。

創造型需要を顕在化させ、日本を21世紀モデルのフロントランナーとしたい。そのために著者は、「プラチナ構想ネットワーク」[4]を立ち上げたのである。

4. 日本「再創造」のビジョン

物質的に充足した人々が求める社会、すなわちプラチナ社会においては、「快適な自然環境の再構築された社会」、「資源・エネルギーの心配のない社会」、「老若男女全員が参加できる社会」、「雇用の安定した社会」、「生涯を通じて成長できる社会」などが必要条件であろうと考えている [6, 7]。

4.1 快適な自然環境の再構築された社会

日本では現在、大気汚染や水質汚染のような公害の発生はきわめて少なくなっている。まだ残っている公害や開発行為でダメージを受けた自然環

境について、その回復を求める声があるのは当然であるが、この場合の「回復」とはどの段階に戻すことを指すのだろう。太古から人々が開拓してきた日本列島には、手つかずの自然はほぼ存在しない。したがって、「戻す」のではなく、「再構築」という発想が必要になる。人々が日常的に親しめる自然環境は、人の手によって整備されている「自然」なのだ。

東京、川崎といった大都市を流域にもつ多摩川は、かつては公害で汚染され、子どもたちの水遊びもままならない状態だった。しかし、2012年には一千万匹を超える鮎が遡上する清流に蘇った。これこそが河川整備や流域の水質汚染対策によってもたらされた自然の再構築の好例である。

4.2 資源、エネルギーの心配のない社会

著者が1999年に提案した「ビジョン2050」[5]は、途上国の成長と先進国の生活水準の維持、エネルギー資源問題、地球環境の保全、そして科学技術の可能性と限界を視野に入れた2050年世界の総合ビジョンである。その柱は、「徹底したリサイクルによる物質循環システムの構築」「エネルギー効率を現在の3倍に引き上げる」「自然エネルギーの利用を現在の2倍に引き上げる」の三点である。

資源リサイクルについては、鉄やアルミニウムだけではなく、「都市鉱山」という言葉があるように、多くの金属資源がリサイクル可能である。例えば、金鉱石1トンから得られる金の量は5～10グラムであるが、使用済みの携帯電話1トンから得られる量は250グラムであり、後者の方がより経済性の高い原料調達となる可能性がある。今後、効率的な物質循環システムを構築するには、「資源を回収する社会システム」、「リサイクルしやすい製品設計」、「効率的な分離技術」が必要である。

「エネルギー効率を現在の3倍に引き上げる」は、経済成長とエネルギー問題の調和の視点から設定した。今後、世界の人口増加や新興国の成長が続けば、2050年には現在の3倍のエネルギーを世界全体で消費することになり、二酸化炭素濃度は、2007年段階の370ppmから600ppmにまで上昇する。これは産業革命前の2倍を超える数字となり、気候変動に伴う負の影響が大きくなる可能性がある。「エネルギー効率を現在の3倍に引き上げる」ことができれば、2050年のエネルギー総量

は今と変わらず、日本のような先進国は現状の生活を維持し、途上国や新興国は現在の先進国並みの生活を実現することができる。その方法論については後段で述べる。

「自然エネルギーの利用を2倍にする」ことに関して、その実現に向けた日本のシナリオは以下のとおりだ。まず、日本の全家庭に太陽電池が設置されれば、現在の消費エネルギーの約5%がまかなえる。これに、メガソーラー、水力、風力、バイオマス、地熱を加えれば、その総量は30%にまで上がる。これは現在の消費エネルギーに対する割合であって、2050年にはエネルギー効率が3倍になるとすると、100に対する30ではなく33に対する30になる。つまり日本では、エネルギー自給に近い状況を実現することが可能であるということになる。

4.3 老若男女が参加できる社会

日本の人口を「生産年齢人口(16歳から64歳)」と「被扶養人口」に区分してみた場合、働く者は減り、扶養される者が増える。このことから、社会保障制度や社会の活力の維持に大きな懸念が生じている。

しかし、多くの65歳以上の人たちは「扶養される」どころか、その知恵や経験を生かし、社会の担い手たりうるのである。現在でも70～80歳の7割以上の人々が自立した生活を送っている。健康な生活を追求する個々の努力と、障害や体力の衰えを支援する仕組みがあれば、自立した生活者として社会生活を送ることができる。したがって、今後必要なことは、高齢者の社会参加の機会を創り出して活力ある長寿社会とすることである。

社会参加の機会は経済活動ばかりでなく、地域社会のなかで豊かな人生経験を生かす道もある。

その一つとして期待できるのが教育の分野である。学校教員の多くは、学校社会以外での経験に乏しいために、多様な対応を必要とする子どもの指導に困難が生じている。さまざまな経験を有する人材が教育現場に入ることはきわめて有為だろう。社会人の参加が日本の教育を活性化させる可能性は高い。

さらにもう一つの課題は、「生産年齢人口」の中心は「男性」という感覚が根強いことだ。今後の日本が、女性や高齢者を含めた全員参加型の社会になれば、多様性に富む活力ある社会になってい

くであろう。

4.4 雇用の安定した社会

日本が課題解決先進国となるためには強い産業を必要とする。いわば課題解決産業（プラチナ・インダストリー）を育てていく必要があり、そうした産業の多くは国内で雇用を生み出す。

これまで述べてきた自然環境の再構築、資源循環、エネルギーの効率化などの分野ではプラチナ・インダストリーが芽生えつつある。また、豊かな生活を支えるまちづくりの分野や、農業や林業も国内の新たな成長産業として有望である。さらに介護や医療の分野でも、日本の「ものづくり力」を生かした取組が期待できる。例えば日本には、ロボットスーツに適切な柔らかくて強い素材や、微弱な電流を高感度で検知するセンサーや高機能のアクチュエーターなど、優れた要素技術の蓄積がある。モーターに必要な磁石やその加工でも日本は世界最高の技術を持っている。

このように幅広いものづくりの技術を保有する国は世界にもほとんど例がない。必要なことは個別技術をイノベーションに向けて統合化することである。

4.5 生涯を通じて成長できる社会

東京大学高齢社会総合研究機構の秋山弘子教授の研究によると、男性の20%弱は、60歳代半ばから自立性を失い、72、3歳から亡くなるまで長期の介護状態に陥る。70%の人は、70歳代後半まで自立した生活を送ることができ、それから徐々に自立性を失う。11%の人は、90歳になってもほぼ健康状態を維持している（図3）。

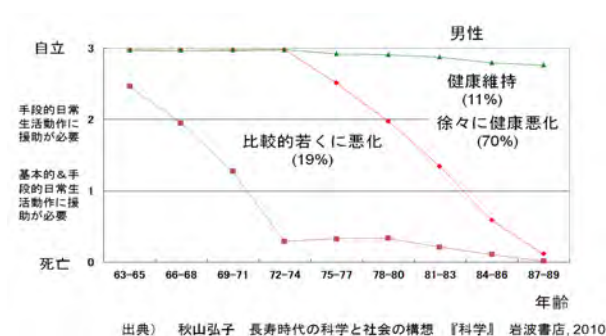


図3 個人の幸せと社会負担

つまり、80歳代になっても、70~80%の人は、少しの支援があればほぼ健康に暮らせ、社会参加も可能ということである。支援については人によ

る介護だけではなく、耳が遠くなれば補聴器、膝関節が衰えればサポーター型ロボット、というように、その選択肢は広がっている。

さらに、驚くべき研究成果がある。70歳くらいまでは言語力や日常の問題解決能力は向上し、死の2年ほど前までこうした能力は維持されるという。つまり、体力的には低下するが、知的には高い能力を保持しているというのが、多くの高齢者の実態なのである。

また、高齢者が健康を維持するための条件が、物質レベルで解明されつつある。「栄養」、「運動」、「人との交流」、「新しい概念の受容性」、「前向きな思考」が脳の可塑性など自立性を失わないための条件であるという。著者はこれを「幸せな加齢の5条件」と呼んでいる。

幸せは個人の領域の問題だが、それを実現しやすい条件を整えることは社会の目標であろう。全員参加型社会は「幸せな加齢の5条件」を満たしやすい社会である。

活力ある長寿社会の実現は決して夢ではない。世界に先駆けて日本が、年齢や性別によらず生きいきと暮らし、生涯成長できる社会を創造することは可能なのだ。

5. プラチナ社会のエネルギー戦略

有限な地球に配慮した持続的なエネルギー利用を実現することは、プラチナ社会のテーマの一つである。その実現にとって最も重要なのは、「省エネルギーが最大のエネルギー資源である」ということである。

第二に重要なのが、自然エネルギーの開発である。原子力は歴史の中の過渡期のエネルギーと位置づけ、最終的には自然エネルギーによるエネルギー自給を目指すのがプラチナ社会のエネルギー戦略だ。

以下に、省エネルギーと自然エネルギーの導入を進める上で重要な点を指摘する。日本では今後「日々の暮らし」での省エネが重要であり、特に居住環境の断熱性能の向上が一つの要となる。自然エネルギーについては、導入コストに関する考え方が重要であり、将来に果実をもたらす公共投資として取組む必要があることを述べる[4, 5]。

5.1 日々の暮らしでエネルギーの確保

日本のエネルギー消費の内訳について、「ものづ

くり、「日々の暮らし」、「エネルギー転換」の3つに分けて見てみる。鉄、プラスチック、素材などを作って、これを自動車や家電、衣服にする、これらを「ものづくり」と定義する。

次に、これらの製品を使って家庭やオフィス、輸送でエネルギーを消費する。これが「日々の暮らし」である。さらに、この2つの場面で使うエネルギーを作る場である発電で消費する。発電所でのエネルギー消費は結局「ものづくり」と「日々の暮らし」に割り付けることができる。

このようにして最終消費に着目すると、エネルギー消費は家庭、オフィス、輸送の「日々の暮らし」が57%、素材、自動車、家電など「ものづくり」が43%という構造になる(図4)。

「ものづくり」ではすでに相当の省エネ努力がなされてきた。先述のセメント生産の例では既に、理論的なエネルギー消費限界の1.6倍まで減らしてきており、これ以上減らすのは困難である。

「日々の暮らし」の中の輸送については、ハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池車などが普及すれば、エネルギー消費は現在の10分の1にもなりうる。なぜなら、駆動の効率は通常のガソリン車の5分の1にはなるだろうし、重量を2分の1にすることも可能だろう。

「日々の暮らし」の中で、家庭におけるエネルギー消費のうち、給湯と冷暖房の割合は最大で、それぞれ約30%である。次に、照明、冷蔵庫がそれぞれ10%程度である。これで約80%になり、この部分は大きく減らすことができる。照明については、白熱球をLEDに変えるだけで10分の1になる。冷蔵庫のエネルギー効率も年々上がっており、20年ほどの間にエネルギー消費は5分の1に減少した。

冷暖房も同様である。1キロワットの電気です

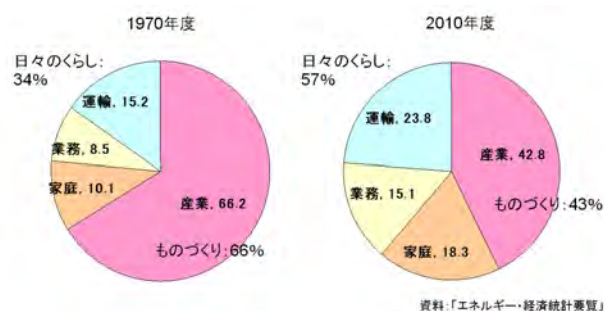


図4 部門別エネルギー起源CO₂排出量(化石燃料+電力按分分)の比率

の何倍の冷暖房ができるかを示す値が成績係数である。1990年ごろのエアコンの成績係数は3であったが、室内外の温度差が7度の理論値は43である。1キロワットで43キロワットまでの暖房が可能というのが熱力学の理論である。どこまで成績係数をあげられるかというのが技術進歩であり、2006年で6、現在はさらに上がっている。したがって、1990年のエアコンを4年前のものに買い換えるとエネルギー消費は2分の1になる。

次に、給湯についてである。エアコンと同じ原理、すなわちヒートポンプで湯を沸かす給湯器が世の中に出てきた。これを使えばガス給湯器の2分の1のエネルギーで湯を沸かすことができる。

また、燃料電池タイプの給湯器も非常に優れたものだ。日本の火力発電所の平均発電効率は約42%である。燃料電池給湯器は、ガスや石油から45%の効率で電気を作り、42%の湯を作る。送電ロスがあることなどを考えれば、燃料電池による発電は最先端の火力発電所に匹敵するから、湯はエネルギー消費ゼロでできたと考えることができる。

このように、「日々の暮らし」でのエネルギー消費の削減余地は大きい。しかも、日本はエネルギー効率の高い自動車や家電製品、給湯器等を量産する数少ない国である。したがって、日本のとるべき戦略は明確だ。優れた「ものづくり」で省エネ製品をつくり、これらを使って「日々の暮らし」でエネルギー消費を削減し、機器の価格を下げ、国際展開することなのだ。

5.2 省エネ性能と居住環境の改善

日本の冷暖房には大きな課題がある。それは日本の家は断熱が悪いことである。歴史的に夏の暑さをしのぐために家を作ってきたため、屋根は立派だが、下は風通しをよくしてきた。結果的に断熱が悪く、暖房をしても部屋から戸外へ自然の摂理に従って熱が逃げる。この逃げる熱を補うために暖房を行うのである。

したがって、暖房は部屋を暖めているようで、実は、戸外を暖めているのである。そう理解すれば、寒いのを我慢するのではなく、部屋を暖かく保った上で、暖房のエネルギーを減らそうとするのが理というものである。

暖房エネルギーをゼロにするには家を魔法瓶にすればよい。完全な魔法瓶にするのは難しいが、伝統的な日本家屋の断熱を3倍くらい良くするの

はそれほど難しいことではない。そうすると逃げる熱、つまり暖房エネルギーが3分の1ですむことになる。

基本的に、冷房も同じである。家の断熱を3倍にすれば、冷房エネルギーは3分の1になる。

断熱に最も効果的なのは、二重窓やエコガラスを使うことだ。開口部を通じて逃げる熱が一番多いからだ。最近建てられる住宅の半分ほどは、断熱のよい構造になっている。問題は断熱の悪い既築住宅の改修促進である。断熱住宅の様々なメリットを広報し、普及していくことが必要である。

断熱住宅の効果はエネルギー削減だけではない。騒音防止にも効果的だ。さらに重要なことが健康維持増進研究委員会（独立行政法人建築研究所日本サステナブル建築協会、委員長長村上周三）における伊香賀俊治等の調査研究により明らかにされた。それは断熱性向上により健康状態が顕著に改善されることである。

断熱の悪い住宅から良い住宅に移った1万人以上を対象とした結果によると、調査項目すべてに関して有病率が減少している。その減少率も、心疾患81%、アトピー性皮膚炎59%、気管支喘息70%、アレルギー性鼻炎27%といった具合である。

つまり、家を断熱改修することにより、電力危機の克服に寄与し、生活の質を向上させ、病気を減らすことができる。断熱改修には費用がかかるが、冷暖房費と医療費が減少するのである。エコ改修によって、生活を快適にし、初期投資は回収し、リフォーム産業を創出し、社会保障の公的負担を減らし、地球温暖化や資源問題の解決を通じて人類に寄与するのだ。

5.3 公共投資としての自然エネルギー導入

自然エネルギーの導入コストに関しては、将来に果実を結ぶ投資として捉えることがポイントである。例えば、太陽電池は経済的に考えてもすでに条件の良い投資対象である。

このことを理解する鍵は、第一に、太陽電池の寿命は極めて長いという点にある。奈良の壺坂寺には、大きな仏像をライトアップする電源として30年前に設置された太陽電池が、顕著な出力低下もなく発電し続けている。太陽電池には、タービンが高速回転する発電設備のような意味での寿命はない。不具合は、パワーコンディショナーなど付属部品の寿命や、屋根の雨漏りといった不良工

事にまつわるものである。付属部品は取り替えればよいし、施工技術も向上している。

第二に、年金基金など長期に安定な運用益を求める資金が莫大にあることだ。長期視点での太陽光発電のコストは以下のように計算できる。メガソーラーの設置価格をkWあたり30万円とする。現在、国内でもっとも安価な太陽電池システムの販売価格は30万円ほど、パネルのみの国際価格は7万円ほどである。このことからすれば、大規模なメガソーラーならもっと安く設置することも可能である。年金基金であれば、年間4%の利益が長期に得られれば十分であろう。その場合必要な利益は、30万円の4%、年間1.2万円である。1kWのパネルの年間平均の発電量は1100kWhだから、kWh11円で売れば1.2万円が得られる。つまり利益率4%とした場合の発電コストはkWh11円である。この値は、最近の発電コストの試算、原子力8.9円（最低）、LNG火力10.7～11.1円に匹敵し、家庭の購入価格22円をはるかに下回る。長期的に考えれば、太陽電池はすでに有利な投資対象なのである。

今年から始まった固定価格買取制度による買取価格は42円である。1100(kWh)×42円で年間4万6千円の利益は、30万円の初期投資に対して15%の利益率であり、それが20年間保障される。しかも太陽電池は20年以降も壊れない。たっぷり利益を得た上で、20年以降もコストゼロの電気が得られる。企業にとっても非常に有利な投資である。実際に全国各地でメガソーラー建設プロジェクトが立ち上がりつつある。

スティグリッツ、クルーグマンといったノーベル経済学賞受賞者は、近年の米国経済の不況の克服のためには政府が大規模な公共投資を行う必要があることを主張している。アメリカの送電インフラは旧式だし新幹線もないから、効果的な公共投資の対象がいくらでもある。

日本では、過去の公共投資への反省や、国の財政状況等からそういう声はなかなか出ない。しかし、太陽電池など自然エネルギーとそれらを効率利用するためのスマートグリッドは公共投資のよい対象だろう。財源は政府だけではなく、年金基金や個人の余裕資金だ。来年以降予想される買取価格の相当の低下を見込んでもお、極めて有利な長期の投資対象だからだ。

省エネルギーや自然エネルギーに関しては賛否両論がある。エネルギー供給側にとってみれば、販売量を減らす省エネルギーを積極的に進める動機は薄い。また、大規模、一方向、大量消費、画一性を特徴として効率化されている現行システム側から見れば、小規模、ネットワーク、少量消費、多様性の自然エネルギーや省エネルギーは、コスト上昇要因とみなされる。

しかし、省エネルギーと自然エネルギーは、21世紀のエネルギー戦略の要である。特に、地下資源に恵まれないが技術に優れる日本においては徹底的に推進すべきである。

6. おわりに

本稿では、著者が提唱する日本の「再創造」ビジョンとしての「プラチナ社会」の姿と、その中で大きなテーマであるエネルギーの持続的な利用に関する戦略について述べた。

最後に、21世紀の特徴の一つとして「知の爆発」を指摘しておく。科学技術の発達や社会の複雑化により、知は包括的なものではなく細分化されてきた。これに情報通信技術もあいまって、細分化した知は膨大化し、「知の爆発」ともいふべき状況が生じている。この弊害として全体が見えにくくなり、人間にとっての価値と細分化された知との隔たりが大きくなっている。細分化自体は不可避であるから、知の統合化が必要だ。「伝熱」という分野においても、21世紀の持続可能なエネルギー

戦略という全体像を見据えつつ、社会の課題解決に通じるソリューション提供型の知の創造が活発化することを期待する。

参考文献

- [1] 司馬遼太郎, 「坂の上の雲」, 文藝春秋(初版1969-1972), 西欧を坂の上に輝く雲に見立て、そこを目指して進んだ明治時代の日本を描いた歴史小説。
- [2] アンガス・マディソン, 経済統計で見る世界経済 2000 年史, 柏書房(2004)。
- [3] 本川裕, 社会実情データ図録 (http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/index_list.html) 「平均寿命の歴史的推移 (日本と主要国)」
- [4] プラチナ構想ネットワーク, 2010 年 8 月設立. (<http://www.platinum-network.jp/>), エコで、高齢者を含むすべての人が参加し、一生を通じて人が成長し、雇用がある、快適な地域を創るための核となる、地域・企業・研究機関のネットワーク。
- [5] 小宮山宏, 「地球持続の技術」, 岩波新書 (1999) 。
- [6] 小宮山宏, 「課題先進国」日本, 中央公論新社 (2007) 。
- [7] 小宮山宏, 日本「再創造」－「プラチナ社会」の実現に向けて－, 東洋経済新報社(2011) 。

寒冷地の微細藻類培養における伝熱問題と微細藻類由来バイオ燃料の製造

Thermal Transfer Problems of the Cultivation of Microalgae in the Cold Climate Regions and Manufacturing Biological Diesel Fuel (BDF) Come from Microalgae

前川 孝昭 ((株) 筑波バイオテック研究所)

Takaaki MAEKAWA (Research Institute of Tsukuba Bio-tech Corporation)

中野 和弘・大橋 慎太郎 (新潟大学)

Kazuhiro NAKANO, Shintaroh OHASHI (Niigata University)

1. はじめに

微細藻類の分類学的位置は植物に相当するが、一部ユーグレナ属のように動物の分類に入ってもよいと思われるものもあり、多様である。藻類を活用して燃料や食料を確保する研究は古くから行われているのは周知の事実である。最近、温暖化防止に役立つものとして、かつ燃料としての活用とその産業化を狙う研究開発が活発になっている。

筆者らは、日本海沿岸や北海道のように冬季の太陽日射に恵まれない地域での微細藻類の培養をいかにして可能にらしめるか、また産業として位置づけられれば、これらの地域の一次産業に携わる人々の雇用の確保、二次産業および三次産業への連携が期待され、産業創出につながると考えている。

BDF の製造は微細藻類が生産する脂質に着目したものである。熱効率に優れたディーゼルエンジンがルドルフ ディーゼルによって発明された。このときに使った燃料は植物油であった。

近年ピエゾ燃料噴射機が開発され、その排気ガス中の PM を圧倒的に減少させたディーゼルエンジンが開発され、その排気ガス特性はガソリンエンジンと遜色のないものとなった。

陸上における植物と同様に水中にいる微細藻類は光合成を行い、水に溶解した二酸化炭素を炭素源とし、触媒である葉緑素を介して太陽光の波長のうち、主に 680nm の波長のエネルギーを使って有機物を合成する。その後は、有機酸から糖への合成回路により澱粉、およびタンパク質および脂質を合成する。これらの合成反応は標準的には常温付近の 25~30°C で進行する。

ここでは微細藻類の周年栽培を想定した大量栽培システム構築にかかわるマクロな伝熱問題の紹介と微細藻類から得られる脂質の BDF 化にまつわる問題を提示する。

2. 寒冷地における微細藻類培養の問題点

2.1 寒冷地の冬季の微細藻類培養の問題点

微細藻類の培養は太陽光と人工光を併用したフォトバイオリアクターにより周年栽培^[1]を行なう。つまり冬季でも培養し、毎日収穫を行なうことを目標にしている。これによって、日本海側、北海道および中山間地の寒冷な気候の地域での生物生産を行い、通年で見たときの微細藻類の乾物生産性を向上させることができる。この乾物生産の標準値を前川^[2]は、1kg/m³/d においている。

この値はフォトバイオリアクター内の培養液 1m³ 当り、一日で 1kg の微細藻類の乾物を収穫することを示している。これは 1ha の農地で、3000m³ の培養液が必要であるが、フォトバイオリアクターを 300 日稼働させると 900 トンの微細藻類の乾物を生産することになる。これを水田での稲作生産と比較すると玄米の収穫量が約 5 トンであるので、約 180 倍の乾物収量となる。寒冷地の冬季に光合成の環境を整えて、この生産性を全うできるかどうかが大きな問題である。表 1 にフォトバイオリアクターの光・熱環境を整理した。

表 1 フォトバイオリアクターの光・熱環境

季節	冬季		夏季		環境調節等の方法
	太平洋岸	日本海沿岸・中山間地	太平洋岸	日本海沿岸・中山間地	
太陽日射	やや不足	大いに不足	かなり過剰	過剰	温室による被覆
光子量	昼間	不足	大いに不足	過剰	遮光(85%~10%) 補光
	夜間	LED照射	LED照射	LED照射	
二酸化炭素供給	常時	常時	常時	常時	フォトバイオリアクターの温度調節媒体として利用可能
光合成反応温度	25~30°C				増殖及び生物合成

わが国の気候は温帯に属し、太平洋岸と日本海沿岸では、冬季と夏季では光、温度環境は大きく異なる。さらに、南北に長く、中央に山地を持つ国土であるため、地域の気候は大きく異なる。

表 1 に示すとおり、微細藻類の乾物生産性は、次の因子によって決まる。

微細藻類の乾物生産 = f(太陽光を含む光量子量, 二酸化炭素供給速度, 光合成反応温度)

表 1 に示したとおり夏季の光・熱環境は微細藻類の培養には厳しいものがある。

2.2 微細藻類の生産性を高めるための環境制御

寒冷地においては夏季の光・熱環境の制御も重要になってくる。どのように環境制御するかは、経済性を考慮すると農業で用いているプラスチックハウス内に微細藻類を培養するフォトバイリアクターを設置するのが低コストになる。フォトバイリアクターに必要な夜間の光を LED で供給する。

図 1 に、表 1 に示した光・熱環境をどのように制御するか検討した内容を示す。微細藻類の光合成反応温度は 25~30℃ であり、太陽光および LED は水温を高める熱入射となる。二酸化炭素も光合成に必要な量をフォトバイリアクターに供給する場合に発生方法および二酸化炭素の状態（固体又はガス）によって、熱移動媒体として微細藻類の培養液の温度制御に使える。

3. 微細藻類培養における伝熱問題

3.1 寒冷地域における日射量

日本海側での日射量は、積雪の多い冬季において太平洋側より少ない傾向にある。図 2 に東京都

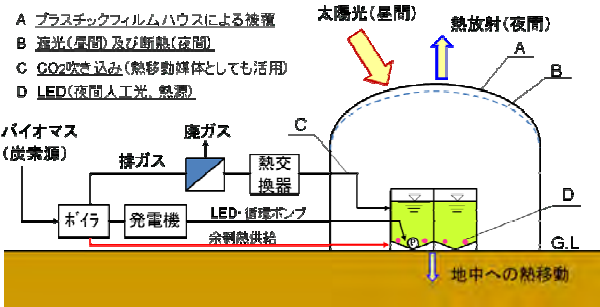


図 1 フォトバイリアクターの熱的環境制御

と新潟県における全天日射量の月別推移(過去 10 年間の平均値)を示す^[3]。4 月~9 月において、新潟県における日積算日射量は東京都を上回っているものの、冬季における同日射量は東京都よりかなり少ないことがわかる。

図 3 に、新潟県南魚沼郡湯沢町における冬季の全天日射量(W/m²)の実測値(2011 年 11 月~2012 年 4 月)を示す。これは、全天日射計(PCM-01, 株式会社プリード)を用いて測定した結果^[4]であり、各月の時間毎における平均日射量の推移を示している。全天日射量の日積算量の月別平均値では 12 月が最も低く、1.69kWh/m² (6.08MJ/m²) であった。

3.2 積雪寒冷地域における培養液温の維持

微細藻類を培養する条件として、農業用ビニールハウスを用いた場合、被覆資材の透過特性にもよるが、ビニールハウス内へ入射する太陽光エネ



図 2 東京都と新潟県における日積算日射量の月別平均値^[3]

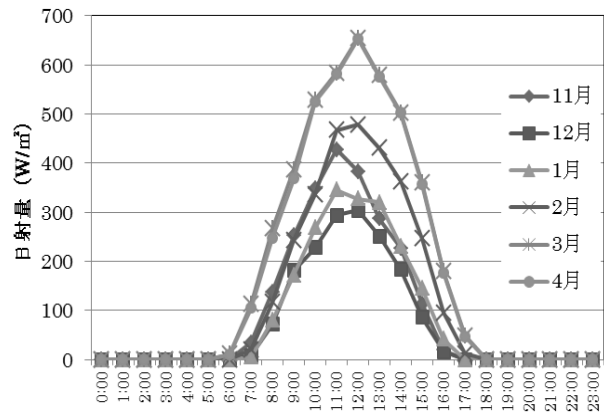


図 3 各月の時間毎における平均日射量の推移 (新潟県南魚沼郡湯沢町: 2011 年 11 月~2012 年 4 月)

ルギーは 50%程度に減少すると予想される。

さらに、積雪寒冷地域においては屋根面での積雪により太陽光の入射が大きく妨げられることから、冬季のフォトバイオリアクターの熱環境制御では培養液温の維持が重要になると考えられる。

3.3 冬季の培養液温維持に必要な熱量

3.3.1 寒冷地域における藻類培養条件の設定

冬季の寒冷地域における農業用ビニールハウス内での微細藻類の培養を想定し、フォトバイオリアクターの培養液温の維持に必要な熱量を試算した。ここでは、積雪寒冷地域である新潟県南魚沼郡湯沢町を対象地とし、当地でこれまでに測定された気象データ（前述）を用いた。

図 4 に、培養に用いる農業用ハウスの概要を示す。間口 3.6m、奥行 30m、棟高 2.7m とし、床面に厚さ 50mm の断熱材（硬質ウレタンフォーム）を敷設し、省エネ型ハウス被覆材である農業用ポリオレフィン系特殊フィルム（農 PO フィルム）による二層張りハウスとする。ハウス内には、保温カーテン一層を設置する。フォトバイオリアクターは幅 2.4m、長さ 24m、高さ 0.5m とし、側面には厚さ 25mm の断熱材（硬質ウレタンフォーム）を設置する。また、天面を農 PO フィルムによって被覆する。フォトバイオリアクターには、循環ポンプを設置し 24 時間稼働させる。また、リアクター内に LED パネルを設置し、光環境制御（補光）を行うものとした。

フォトバイオリアクター内の培養液温を冬季は 25°C に設定し、液温を設定温度に維持するために必要となる熱量を算出した。なお、算出条件とし

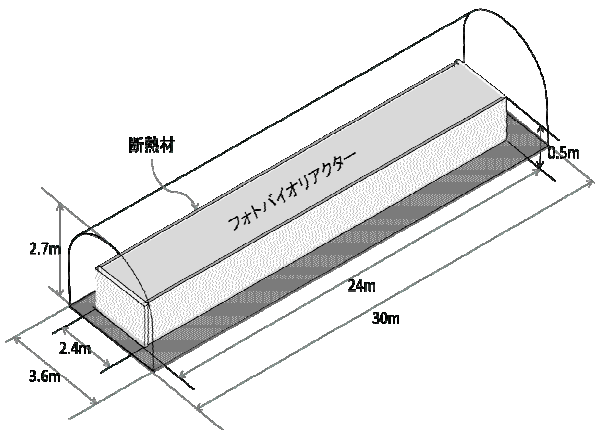


図 4 必要熱量計算に用いた農業用ハウスの概要

て日射量および外気温は、前述の同対象地における測定結果を用いた。冬季の各月における外気温の日平均温度変化を図 5 に示す。

培養液中に設置された循環ポンプおよび光環境制御のための LED パネルから放出される熱は、培養液温度維持に利用される熱量として計上した。ハウス内温度変化算出の計算条件として、ハウスの熱損失係数（U）を表 2 のように仮定した。

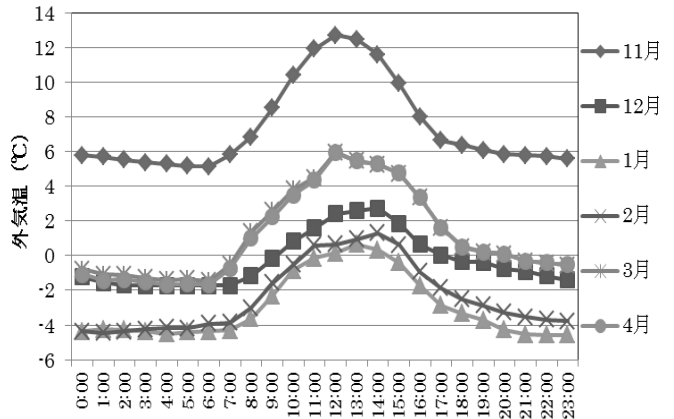


図 5 各月の日平均外気温の経時変化
(新潟県南魚沼郡湯沢町：2011 年 11 月～2012 年 4 月)

表 2 計算条件

農業用ハウス	
形状	丸屋根型
棟数	1
幅(m)	3.6
長さ(m)	30.0
軒高(m)	2.0
棟高(m)	2.7
ハウス床面に対する屋根面の比率	1.1
全床面積(m ²)	108.0
被覆材	PO フィルム
	保温カーテン(夜間)
熱損失係数(W/m ² /°C)	4.5(昼間)/3.0(夜間)
床断熱材	硬質ウレタンフォーム(50mm)
フォトバイオリアクター	
幅(m)	2.4
長さ(m)	24.0
高さ(m)	0.5
断熱材	硬質ウレタンフォーム(25mm)

すなわち、被覆材（農 PO フィルム）の二層張りとして $U=4.5\text{W}/\text{m}^2/\text{C}$ とし、これに一層の保温カーテンを加えて $U=3.0\text{W}/\text{m}^2/\text{C}$ とした（表 2）^[5,6]。なお、同ハウス内の空気温度は無加温制御とする。夜間は保温用カーテンにより、屋根面、側面を被覆する。昼間は、保温用カーテンを開き、ハウス内への日射量を確保する。ハウスの熱損失係数は保温カーテンの開閉によって変化させた。

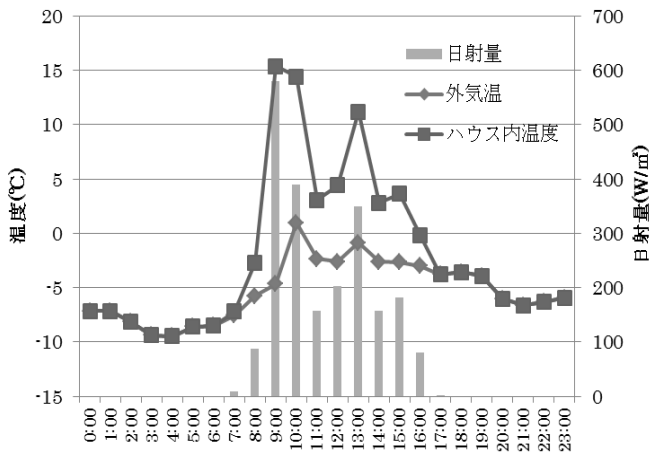


図 6 外気温、日射量の推移とハウス内温度算出結果

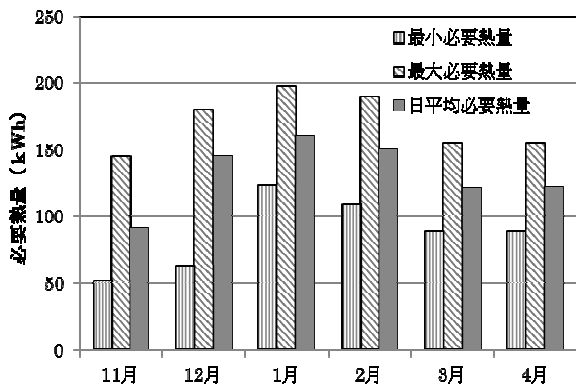


図 7 各月における培養液温維持のための必要熱量

3.3.2 冬季の培養液温維持に必要な熱量

上記の計算条件下において、日射によるハウス内温度変化を 1 時間ごとに予測した。その結果の一例を図 6 に示す。同図は 1 月における一日の外気温、日射量および算出したハウス内温度変化を示している。ハウス内は無加温制御のため、日射のない夜間において外気温と同様の温度推移とな

った。実際のハウスにおいて、夜間に地表からハウス内への地表伝熱がおこることもあり、培養液温の維持に有利な条件となるが、断熱材の敷設等によって地表からハウス内への放熱はかなり少ないものとする。

ハウス内温度が設定温度 25°C を下回る場合、フォトバイオリクターからハウス内へ伝熱する熱量を培養液温維持のための必要熱量として算出した。

ハウス内温度変化を算出した結果、寒冷地においても日射の強い日はハウス内温度が 30°C 以上となり、換気や遮光の必要性が確認された。また、培養液温維持のための必要熱量について、月別の平均値、最大値および最小値を算出した。その結果を図 7 に示す。冬季（11 月～翌年 4 月）において、一日の必要熱量を算出した結果、1 月の最大値は 198kWh となった。培養液温維持の必要熱量は、特に夜間において大きい。夜間のハウス内温度低下を防ぐことで、培養液温維持の必要熱量を低減することができることから夜間の被覆方法を検討する必要がある。

仮に、この必要熱量（ 198kWh ）を灯油式ボイラで加温した場合、灯油式ボイラの熱利用効率を約 85% とすると $20\sim 30\text{L/d}$ の消費灯油量となる。

しかし、灯油式ボイラの使用は地球温暖化防止には不適であることから、本研究では木質チップを燃料とした自家発電機（以下、木質チップ発電機）からの排熱利用を想定している。いま、電力出力 50kW の木質チップ発電機を導入したとする。この場合、木質チップ消費速度を 135kg/h 、木質チップの発熱量を 4.5kWh/kg 、発電端効率を 10% 排熱の利用効率を 75% と考えて差し支えない。以上の条件から、木質チップ発電機からの利用可能排熱量は 413kW と計算される。この値は、図 4 のハウスで約 40 棟分を補えることを示している。

4. バイオ燃料の製造装置

4.1 微細藻類の油脂の特徴

微細藻類の油脂は陸上の植物油の性状と若干異なるところがある。トリグリセリド（俗称グリセリン）と脂肪酸が結合した油脂と脂肪酸が遊離した状態で微細藻類に蓄えられているのが特徴である。この遊離脂肪酸（FFA）がメタノールと反応してメチルエステル化して脂肪酸メチルエステル

と水を生成する反応ならびに油脂のうち、脂肪酸とメタノールが反応してメチルエステル化とトリグリセリドを油脂からはずす 2 反応が進行する。後者は植物油における反応であるが、微細藻類では前者も含むためにアルカリ触媒を使うことができず、酸性触媒を使うことになる。

このように植物に含まれる油脂から脂肪酸をエステル化したものは英文表記では、Fatty Acid Methyl Ester (FAME) と学術用語として取扱われ、BDF は俗称である。BDF は脂肪酸のカルボキシル基を残しており、酸素を含有しているので、含酸素油といわれ、発熱量は、38MJ/kg とやや低く、比重量は 0.9 と高い。このため BDF を航空機燃料の代替とすることは、発熱量と比重の面から難しいとされた。米国の工業規格 (ASTM D 7566) では、に植物油からエステル化した油に含まれる酸素を水素に還元する脱炭酸・水素化を義務付け、炭化水素化した油をバイオ航空機燃料とすることになった。この関係を図 8 に示す。

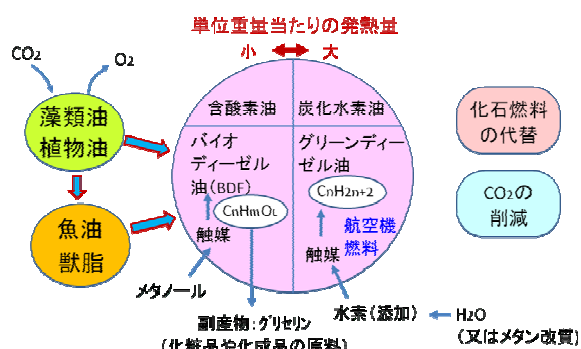


図 8 バイオ燃料とは

4.2 バイオ航空機燃料

バイオ航空機燃料は Bio-SPK (Biological Synthetic Paraffinic Kerosene) と称されている。英文表現にあるように炭素鎖数 6 から 16 までの直鎖の炭化水素 (パラフィン系) を 70-85% 含有していること、二重結合を持つオレフィン系炭化水素は 5%以下であることを義務付けている。但し、微細藻類および陸上の植物油は炭素鎖数 18 を含有していることから、ASTM D 7566 では炭素鎖数 6 から 16 までを含有するパラフィン系炭化水素を含むことが望ましいとしている。このようなことが、あらかじめ予想されていたので、前川が JST のシーズ

育成プロジェクト (2009.12~2011.11) を立ち上げ、微細藻類から炭化水素油の開発を開始したときに、微細藻類のうち、炭素鎖数で 18 以下を多く含有し、かつ脂質含有率が 60~70% である藻類の探索を千葉大学の宮崎龍雄教授 (現名誉教授) に依頼した。この結果、新しい微細藻類の種を探し出した^[2]。特許生物として国際登録直前であり、属名は明らかにできないので、New Strain X (または NSX) と呼称している。

JST プロジェクト終了後、この成果を継承し、さらに発展させるために、農林水産・食品産業分野に有用で新規な微細藻類の効率的生産と利用に関する新技術の研究開発を柱に、技術研究組合に則った「マイクロアルジェ産業技術研究組合」を立ち上げ、一層の発展を期すことになった。

微細藻類生産と BDF (又は Bio-SPK) のバイオ燃料製造工場の関係は、バイオ燃料製造工場の生産能力を 10 万 KL/年とすると、約 100~120ha の微細藻類の培養農場が必要になる。筆者らは、微細藻類培養農場とバイオ燃料製造工場を切り離し、地域産業として独立可能な生産体系を目指している。このことによって地域の雇用創出が期待できる。現在、日本の休耕地や耕作放棄地は 40 万 ha に達しているの、その 1/4 の 10 万 ha を微細藻類の培養農場に活用することによって、BDF で 5760 万 KL/年の生産を見込める。これはわが国の原油輸入量の約 20% に相当し、かつ二酸化炭素換算で 25%の削減となる。

4.3 微細藻類由来バイオ燃料の事業性

微細藻類の生産性を高める工夫は、フォトバイオリアクターの光合成反応を最大に高めることである。本年 7 月 1 日に法制化された電力固定価格買取制度に微細藻類から得られる BDF を活用することで安定した利益を得られる可能性が見えてきた。表 3 はこれまで取り扱ってきた微細藻類の事業性を筆者らの製造コスト分析結果より、大胆な検討を行なった比較表である。

なお、産業競争力懇談会の微細藻燃料分科会^[7]は民間だけで開発費用を負担することには限界があるとし、エネルギー・セキュリティの確保の大義のもとに政府の支援の継続・強化を訴えている。最後に、日本伝熱学会誌「伝熱」への寄稿のお誘いを頂いた秋田工業高等専門学校佐藤恒之氏な

らびに関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] 前川孝昭, 藻類による新規産業の創出とその展望, OHM 5月号, (2012) 22-27.
- [2] 前川孝昭, 藻類産業の創出により導かれる地球の再生, 用水と廃水, 54-4, (2012) 37-53.
- [3] 国立天文台, 理科年表平成 12 年(机上版), 丸善株式会社, (1999) 267.
- [4] 大橋慎太郎, 中野和弘, 積雪寒冷地域のハウス栽培における放熱機構の解析, 農業施設, 36-1 (2005) 37-45.
- [5] 奥島里美, 佐瀬勘紀, 高倉直, 大橋慎太郎, 中野和弘ほか, 施設園芸における水熱源式ヒートポンプの利活用, 農水省技術会議の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 (21058) 「低炭素時代にむけた自然エネルギー利用率を最大限に高める施設栽培用ヒートポンプシステムの開発」 研究グループ発行, 2012.

表 3 微細藻類事業のガイドライン

微細藻類	利用目的	脂質含有率	市場性	エンドユーザー	採算性
New Strain X (NSX)	Bio-SPK (バイオ航空燃料)	70%	中	航空会社	○
Euglena (ユグレナ or ミドリムシ)	食料原料	25%	小	食品会社 飼料会社 (必須アミノ酸)	◎
Scenedesmus (セネテス)	BDF	15%	大	電力固定価格買取制度による発電事業	◎

- [6] Mears, D.R., Both A.J, 奥島里美, 佐瀬勘紀, 石井雅久, 森山英樹, 温室暖房用燃料の代替方法の検討, 農業気象, 65-3 (2009) 303-308.
- [7] 産業競争力懇談会, 農林水産業と工業の連携研究会-微細藻分科会最終報告書, (2011) 28.

INSA de Lyon 滞在日記 *A diary in INSA de Lyon*

小宮 敦樹 (東北大学)
Atsuki KOMIYA (Tohoku University)
e-mail: komy@pixy.ifs.tohoku.ac.jp

1. はじめに

日本学術振興会の「頭脳循環を活性化する若手研究者海外派遣プログラム」により、2011年11月より約一年間、フランスで研究を行う機会を得てフランス国 Lyon 市にあります INSA de Lyon の材料理工学研究所 (MATEIS) にお世話になっております。一年間という長期間におけるフランスの滞在中を通して知ることのできたフランスの大学事情や、フランス第二の都市である Lyon 市について紹介をさせていただきます。

2. Grand Lyon

2.1 Lyon という街

Lyon 市はフランスの南東部に位置し、ローヌ県の県庁所在地として人口約 50 万人を有しております。近郊を含めると、人口は 150 万人となり、都市圏としてはフランス第二の規模になります。

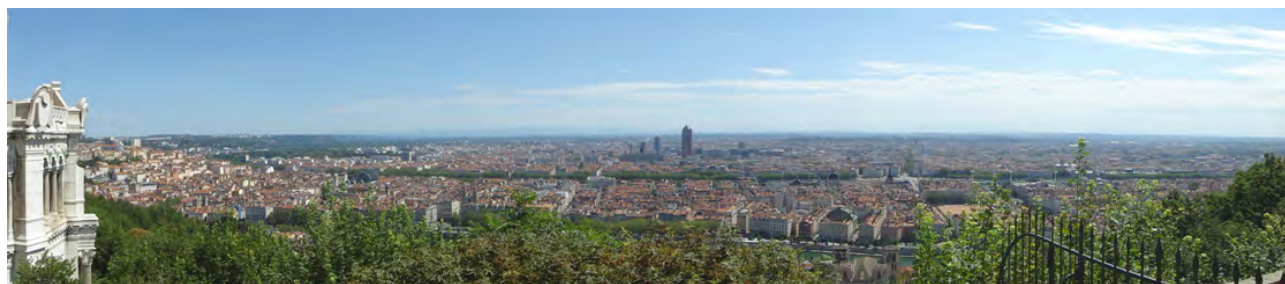
この街の歴史はとても古く、紀元前にローマの植民市として建設され、その後はフランク王国 2 番目の王朝であるカロリング朝のもとに司教座がおかれ、長い間大司教によって統治されておりました。14 世紀になってフランス王国に併合され、それからはフランス中央部の重要な都市として、絹織物・繊維産業の拠点となっております。

街には 2 つの大きな川 (東側に Rhône 川と西側に Saône 川) が流れており、街は大きく 3 地区に分けることができます。Rhône 川の東側には主要

駅や県庁などの都市機能が集中し、私の滞在している INSA de Lyon もこの地区にあります。2 つの川に挟まれた地区にはベルクール広場 (La place Bellecour) や旧市庁舎、旧証券取引所、オペラ座といった歴史的な建築物や施設を見ることができます。Saône 川の西側には、旧市街地が広がっており、石畳の街並みや古代ローマ劇場 (Théâtres de Fourvière) など、とても趣のある風景を楽しむことができます。この地区は丘となっており、他の二地区より高台になっています。そのため、丘にそびえ建つ大聖堂 (Basilique Notre Dame de Fourvière) からは、本ページの下部にあるような Lyon の街並み全景を楽しむことができます。街の建物はレンガ色の屋根と白の壁で統一され、いわゆるヨーロッパの街が眼下に広がっています。



旧市街の石畳路



Basilique Notre Dame de Fourvière からの Lyon の街並み

2.2 食の街 Lyon

Lyon は食の街として有名であり、Paul Bocuse のような有名シェフを輩出しているところであります。残念ながらミシュランガイドブックによる三ツ星レストランは Lyon には無いのですが、「味」のみを採点基準とすれば、いくつものお店が候補にあがると思うくらい、質の高いレストランが多くあります。

Lyon では、いわゆる「フランス料理」という言葉から想像されるフルコース料理を提供するレストランとは別に、シンプルでリーズナブルなコース料理が出てくるレストランが浸透しています。そのため、レストランに入るのに“勇気”は必要なく、気さくに食事を楽しむことができます。このようなレストランはブション (Bouchon) と呼ばれ、コースは「エントリー」・「メイン」・「デザート」に分かれており、それぞれから好きなメニューを選ぶことができます。価格は 15~35 ユーロで、各レストランでユニークな料理を提供しています。私はこの中で「リヨン風サラダ」というものに味覚的感動を覚えてしまい、滞在中かなりの頻度で Bouchon に通ってしまいました。もちろん体重の増加を気にしつつ、許される範囲で通いました。Lyon に訪れる機会がありましたら、ぜひ一度は試していただきたい料理です。



お気に入りの料理「リヨン風サラダ」

2.3 ترامの便利さ

Lyon の市内にはトラム (路面電車) が 4 路線も走っています。私は普段の通勤にトラムを使用しているのですが、なんとも利便性の良いものです。運賃は区間ではなく時間で決められており、1 時間券で 1.6 ユーロ、2 時間券で 2.6 ユーロ、そして

一日券で 4.9 ユーロです。その他に 1 ヶ月の定期券もあり、学生で 26.3 ユーロ、一般で 52.6 ユーロです。定期券を除いて、単純な往復以外はその時間内で何度も乗り降りが自由であり、日中でしたら駅で 5 分待てばやってくるので、街中の移動には欠かせない手段となっています。土日を含めて多くの市民が利用しています。

また、これらの時間券は Lyon 市内の地下鉄 4 線とトロリーバスにも使うことができ、さらに移動範囲を広げることができます。これらは全て TCL グループが運営しており、運賃等を一元的に管理しているみたいです。驚くべき、と言いますか感心すべきこととして、公共の交通機関は全て電気駆動で賄われており、Lyon に限らず、フランスでは環境に優しい街々が形成されています。



愛くるしいフェイスの Lyon のトラム

3. INSA de Lyon

このように食にも普段の生活にも恵まれた環境の中、INSA de Lyon (フランス国立応用科学院リヨン校) で私は材料工学の研究者と研究を進めています。ここではまず、INSA de Lyon の紹介をさせていただきます。

INSA de Lyon は 1957 年に設置され、フランスにおける主要な工学系大学の一つであり、フランスの産業と科学技術の発展に大きく貢献している研究機関です。理工学分野の多岐にわたる 12 の専攻分野があり、公式ホームページ[1]によると、毎年 800 人以上のエンジニアが巣立っているとのこと。私は日本の研究室の学生とスカイプで議論できる時間を長くするために、こちらの朝 6 時 (日本の 14 時) には研究室に行き、そこから 16 時 (日本の 24 時) 近くまでを研究室で過ごす生活

スタイルをとっているのですが、朝の早さはこちらの学生も負けていなく、7時過ぎくらいから学生が来校し始め、朝8時には出席率ほぼ100%の講義が始まります。一度講義を覗かせていただいたことがあるのですが、もちろん居眠りをしている学生は皆無で、私の見た限り内職も0です。試験前になりますと、前出の愛くるしいトラムの中は、早朝にもかかわらず試験対策の学生でごった返します。公共の場の中でこのような雰囲気を楽しむフランスの *Madame, Monsieur* も寛容だなと感じました。こちらの学生は質が高い、というより熱意の高さに感心をいたしました。

この *INSA de Lyon* で過ごしている中で最も驚いたことがあります。それは避難訓練なのですが、何の前触れもなく始まるのです。とある日に普段通りに研究室に居りましたら、突然サイレンが鳴り出し、なんだ?と思い廊下に出たら、フランス人研究者が立って話をしており、やがて私の方にやってきて、「どうやらセンサーの故障らしく、問題ないので気にしないでくれ」とのこと。安心してデスクに戻ったら、今度は「*evacuation*」という腕章をつけた人が鬼の形相で、「あっち方面に逃げろ!」と大声で言ってきたのです。先ほどの立って話をしていた人たちも慌てて逃げしており、これは本当のアクシデントだと思い、一緒になって急いで建物の外に出たら、「避難訓練の協力ありがとうございました。」との挨拶がありました。私だけでなく誰も知らされないまま避難訓練は遂行されたのです。大仕掛けのドッキリと言われればそうなのかもしれませんが、見方を変えれば「正しい避難訓練」です。これには驚かされました。

4. こちらでの研究

冒頭でも記しましたが、こちらの *INSA de Lyon* では熱工学関係の研究室ではなく、材料工学の研究所に所属し、物質移動の研究を進めております。これまでに私は、物質輸送現象解明に特化した研究を進めてきたのですが、次のステップとして空間を制御して物質輸送を能動制御する研究を立ち上げ、この頭脳循環プログラムにおいて、海外の物質材料工学の研究者とその基礎研究を開始いたしました。これまでに、巨大分子の存在が他の分子の移動量を変えるとといった報告等がありますが[2]、この研究は膜を用いてそこに特性を持たせて

物質移動量の能動制御を試みるものです。実現のためにはクリアしなければならない諸問題が多くあるのですが、物質材料工学研究者の助けを借りて進めているところです。

こちらの滞在では主として *MATEIS* グループが製作した諸種のポリマーを用いて、物質移動量の評価を行っています。そこから膜の特徴と物質移動量の関係を明らかにし、上述した膜の実現性を評価しています。この稿を作成している時点で、滞在の4/5が経過したのですが、次に繋げられる成果が徐々に出てきており、実現の可能性が出てきています。今後はこの滞在で得られた結果を丁寧に解析して、発表していこうと考えています。



MATEIS の入っている PASCAL ビル

5. おわりに

本稿では、主としてフランス国 *Lyon* 市の紹介をいたしました。私はこちらには一年間の滞在ですが、まだ *Lyon* 市の全てを楽しめたとは言えません。時間はとても早く過ぎ、あっという間の帰国です。次回訪れる機会ができたときには、「リヨン風サラダ」以外にもチャレンジし、さらに奥深い *Lyon* を楽しんでみたいと思います。最後になりますが、私の長期滞在により東北大学流体科学研究所の多くの先生方にはご迷惑をおかけしました。この場をお借りして感謝を申し上げますとともに、長期滞在を許してくれた家族に感謝します。

参考文献

- [1] <http://www.insa-lyon.fr/en>
- [2] Dinsmore, A.D et al., Entropic control of particle motion using passive surface microstructures, *Letters to Nature*, **383** (1996) 239-242.

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2013年					
5月 29(水) ～ 31(金)	第50回日本伝熱シンポジウム (開催場所: ウェスティンホテル仙台お よび仙台トラストシティ)	2013.1.18	2013.3.15	実行委員会委員長 円山重直(東北大学流体科 学研究所) Tel: 022-217-5244 Fax: 022-217-5244 E-mail: nhsts50@pixy.ifs.tohoku.ac.jp URL: http://web.tohoku.ac.jp/nhsts2013/index.html	

本会共催, 協賛, 後援行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2013年					
1月 24(木) ～ 25(金)	(公社)日本ガスタービン学会 第41回 ガスタービンセミナー 「ガスタービ ンの最新技術とCO2削減を目指した 技術動向・展望」 (開催場所: 三菱重工横浜ビル33階)			公益社団法人 日本ガスタービン学会 Tel: 03-3365-0095 Fax: 03-3365-0387 E-mail: gtsj-office@gtsj.org URL: http://www.gtsj.org	
3月 6(水) ～ 8(金)	第62回理論応用力学講演会 (開催場所: 東京工業大学大岡山キャン パス)	2012.11.16	2013.1.18	実行委員会委員長 廣瀬社一(東京工業大学大 学院 情報理工学研究所 情報環境学専攻) Tel/Tax: 03-5734-2692 E-mail: nctam62_office@qnde.mei.titech.ac.jp URL: http://www.jsce.or.jp/committee/amc/nctam/nctam 62/	
6月 ～7月 30(日) ～ 4(木)	第32回熱電変換国際会議(ICT2013) (開催場所: 神戸国際会議場)	事前登録 2013.3.15	Abstract 2013.1.15	ICT2013 実行委員会委員長 舟橋良次(産総 研), 事務担当: 八野裕介((株)インターグループ) 〒531-0072 大阪市北区豊崎3-20-1 インタ ーグループビル Tel: 06-6372-3053 Fax: 06-6376-2362 E-mail: ict2013@intergroup.co.jp URL: http://ict2013.its.org	
7月 17(水) ～ 19(金)	(一社)日本能率協会 TECHNO-FRONTIER 2013 (開催場所: 東京ビッグサイト東展示 棟1-3ホール)			TECHNO-FRONTIER 事務局 担当 田部 中 野 前田 (一社)日本能率協会 産業振興第2ユニット内 (〒105-8522 東京都港区芝公園3-1-22) Tel: 03-3434-0587(直通) Fax: 03-3434-3593 E-mail: tf@convention.jma.or.jp URL: http://www.jma.or.jp/tf	
11月 3(日) ～ 6(水)	The 8th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (8th ISEM'13-Sendai) (開催場所: 仙台市戦災復興記念館)	事前登録 2013.9.24	Abstract 2013.5.10 Full Paper 2013.8.1	日本実験力学会事務局担当 林 〒700-0005 岡山市北区理大町1-1 (岡山理 科大学 工学部 機械システム工学科内) Tel: 086-256-9615 Fax: 086-255-3611 E-mail: office-jsem@mech.ous.ac.jp URL: http://jsem.jp/ISEM8/	

第 50 回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集

第 50 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

委員長 円山 重直

幹事 小宮 敦樹

開催日：平成 25 年 5 月 29 日（水）～5 月 31 日（金）

会場：ウェスティンホテル仙台 および 仙台トラストシティ (<http://www.westin-sendai.com/index.html>)

所在地 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 1-9-1 電話 022-722-1234（代表）

アクセス JR 仙台駅西口より徒歩約 9 分

仙台空港より JR 仙台駅まで「仙台空港アクセス鉄道」で最速 17 分

講演申込締切：平成 25 年 1 月 18 日（金）

講演論文原稿提出締切：平成 25 年 3 月 15 日（金）

事前参加申込締切：平成 25 年 4 月 12 日（金）

ホームページ URL：<http://web.tohoku.ac.jp/nhts2013/index.html>

【シンポジウムの形式】

- ・ 講演発表形式として
 - a) 通常の一般セッション（口頭発表）
 - b) オーガナイズドセッション（口頭発表）
 - c) 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッションを実施します。
- ・ 1 講演あたりの割当時間は、一般セッションでは 15 分（発表 10 分、個別討論 5 分）で、各セッションの最後に総合討論の時間（5 分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。オーガナイズドセッションについては、オーガナイザーの指示に従ってください。
- ・ 優秀プレゼンテーション賞セッションについては、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第 50 回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照ください。

【参加費等】

- ・ シンポジウム参加費
 - 一般（事前申込：12,000 円、会場申込：14,000 円）
 - 学生（事前申込：5,000 円、会場申込：6,000 円）
- ・ 講演論文集
日本伝熱学会会員：無料（電子版はウェブ上で事前に公開します。参加者には当日印刷版・電子版を配布します。参加されない会員のうち希望者には電子版を事後にお送りします。）
非会員：8,000 円（印刷版） 会場受付にて日本伝熱学会に入会を申し込まれる場合は無料となります。
（年会費：正会員 8,000 円、学生会員 4,000 円、賛助会員 30,000 円）

【懇親会】

- ・ 開催日：平成 25 年 5 月 30 日（木）
- ・ 会場：ウェスティンホテル仙台
- ・ 参加費：一般（事前申込：8,000 円、会場申込：10,000 円 同伴配偶者無料）
学生（事前申込：4,000 円、会場申込：5,000 円）

【交通と宿泊】

- ・ 交通と宿泊につきましては、本シンポジウムのホームページをご参照ください。

講演申込方法、講演論文集、執筆要綱

【講演申し込み方法】

- ・原則としてウェブによる申込みに限らせていただきます。本シンポジウムで準備するウェブサイトから必要なデータを入力してください。ウェブによる申込みができない場合には、実行委員会事務局にお問い合わせください。
- ・申込みの際に、一般セッション、オーガナイズドセッション、優秀プレゼンテーション賞セッションのいずれで発表するかを選択してください。優秀プレゼンテーション賞セッションにお申込みの場合には、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第50回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照ください。
- ・発表申込み時に、論文のアブストラクト（日本語で200～250字）を入力してください。講演論文集の抄録として科学技術振興機構（JST）のデータベースに登録します。
- ・講演発表申込みは、講演者1名につき1題目とさせていただきます。
- ・講演の採否およびセッションへの振分けは、実行委員会にご一任ください。

【講演論文集】

- ・講演論文集として、オフセット印刷版（白黒）と電子版（CD-ROM版）を作製します。講演論文集（電子版）はウェブ上で公開する予定です。会員にはパスワードを配布して、電子版をウェブ上で閲覧できるようにします。なお、会員が当該講演論文をのちに原著論文として学術論文誌等に投稿されることを考慮し、本講演論文集に限られた範囲に配布されたものであることを明確にするため、パスワードは近い将来には公開しません。
- ・講演論文集の印刷版と電子版を参加者に配布する予定です。なお、電子版は参加できなかった会員にも希望があれば配布しますので、シンポジウム終了後に実行委員会事務局にお申込みください。
- ・講演論文の長さは1題目あたりA4サイズで2ページを予定しています。講演論文の作成様式は、前回と同様の2段組×片側26字×60行とする予定です。
- ・電子版には、印刷版と同じものか、または8ページ以内のフルペーパーを掲載することができます。電子版の様式は印刷版と同じですが、カラーの使用が可能です。ファイル容量は最大で2MBまでとし、動画は含まないものとします。
- ・原稿は、本シンポジウムのホームページから提出してください。
- ・電子版に掲載された講演論文は、本学会の論文誌“Thermal Science and Engineering”にそのまま投稿することができます。ただし、掲載の可否は通常の査読プロセスを経て決まります。
- ・TSEへの投稿を希望する場合、ホームページから原稿を提出する際に、論文投稿画面中のチェックボタンをONにしてください。その際、TSEの投稿規程をご一読願います。査読は、電子版に掲載された論文をもとにTSE編集委員会において担当エディタを定め、通常の手続きに従って行います。オフセット印刷版と同じ2ページでもTSE原稿として受け付けますが、8ページ以内でより詳細に執筆いただくほうが、その後の査読が円滑に進みます。掲載可となった後には、TSEの論文形式に沿った原稿を提出していただきます。この場合のTSE論文の受理日は、シンポジウム実行委員会での原稿受付日になります。
- ・講演論文原稿は、講演論文を電子化するために、原則としてPDFファイルで提出していただきます。
- ・原稿提出締切日までに提出されなかった講演論文は、講演論文集（印刷版・電子版）およびウェブに掲載されません。十分にご注意ください。

【執筆要綱】

○講演論文原稿の書き方

- ・講演論文は以下に従って作成して下さい。また、書式の詳細ならびにテンプレート用の電子ファイルは、シンポジウムのホームページをご参照下さい。

表題部分の書式： 原稿は、以下の四角囲い部に示すように、和文表題、和文副題、英文表題、英文副題、和文著者名（会員資格、著者名、所属の略記）、英文著者名、英文所属機関・所在地、英文アブストラクト、英文キーワードの順に、段組をせず幅150mmに収まるようにレイアウトして下さい。連名者がある場合には、講演者の前に*印をつけ、英文の所属機関・所在地についても上付き数字で区別して下さい。

論文表題および著者名は、講演申込時のデータと同じものを同じ順序で書いて下さい。講演申込時のデータと異なる場合には、目次や索引に反映されないことがあります。

150mm

<p style="text-align: center;">第 50 回日本伝熱シンポジウム原稿の書き方 (和文表題 : Gothic 14pt) MS-Word の場合 (和文副題 : Gothic 12pt) Guide for the manuscripts (英文表題: Times New Roman 12pt) The case of MS-Word (英文副題: Times New Roman 12pt) (1 行あける) 伝正 *伝熱 太郎 (伝熱大) (会員資格 著者名[講演者には*印] (所属略称) : 明朝体 12pt) (1 行あける) Taro DENNETSU (英文著者名 : Times New Roman 10pt) Dept. of Mech. Eng., Dennetsu Univ., 1-2, Ohtemachi, Toyama 930-0084 (1 行あける) (文頭に半角スペース 5 つを挿入する) English abstract (英文アブストラクト : Times New Roman 10pt, 100 語程度) (1 行あける) Key Words : Heat Transfer (英文キーワード : Times New Roman 9pt, 3~5 個程度) (1 行あける)</p>
--

表題部分の書式

本文の書式: 第 1 ページで、本文は 9 ポイント明朝体の 2 段組 (片側 1 行 26 文字程度) で作成して下さい。第 2 ページ以下では、先頭から 2 段組とし、片側 60 行を目安として作成して下さい。

図表: 図表中の記号およびキャプションは英語で書いて下さい。なお、電子版原稿はカラー表示が可能ですが、オフセット印刷版原稿は白黒で印刷されます。

参考文献: 参考文献は、本文中の引用箇所の右肩に小括弧をつけた番号⁽¹⁾で表し、本文の末尾に次のようにまとめて列記して下さい。

(番号) 著者名, 雑誌略称, 巻-号(発行年), 先頭ページ番号。

例 : (1) 伝熱・他 2 名, 機論(B), 12-345(2006), 1234.

PDF ファイルへの変換: PDF ファイル作成のためのファイル変換時には、「フォントの埋め込みを行う」よう設定して下さい。変換後の PDF 原稿は、提出前に、必ず、印刷したものを確認して下さい。

【講演論文の公開日】

・会員を対象に、シンポジウム開催日の 1 週間程前からウェブ上で公開します。したがって、特許に関わる公知日はシンポジウム開催日よりも早くなりますので、ご注意ください。

【参加費等の支払い方法】

- ・シンポジウムのホームページから事前参加登録を行った後に、本誌に挟み込まれた「払込取扱票」を用い、以下の記入例を参考にしてお支払い下さい。
- ・払込みをもって「事前申込完了」とします。ホームページからの登録だけでは「完了」ではありません。払込みが平成 25 年 4 月 13 日以降になった場合は当日登録扱いとし、会場受付にて差額をお支払いいただきます。
- ・銀行より振込まれる場合は、下記のゆうちょ銀行口座にお振込み下さい。その際、必ず 1 件ずつとし、氏名の前に参加登録 ID 番号を付けて下さい。

店名 (店番) : 二二九 (ニニキュウ) 店 (229)

預金種目 : 当座

口座番号 : 0 1 1 2 4 3 8

口座名称 (漢字) : 第 50 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

口座名称 (カナ) : ダイゴジツカイニホンデンネツシンポジウムジッコウイインカイ

－ 記入例 －

登録IDは参加申込時に発行される「4桁の数字(予定)」です。

お支払いいただく項目を○で囲んでください。

振込手数料はご負担ください。

「通信欄」の合計金額をこちらにご記入ください。

払込取扱票

口座記号・番号はお間違えのないよう記入してください。

00	口座記号	口座番号(右詰めで記入)	金額	千	百	十	万	千	百	十	円
	0 2 2 3 0	3					1 1 2 4 3 8				

金額: 34,000円

振替払込請求書兼受領証

0	2	2	3	0	3
第50回日本伝熱シンポジウム実行委員会					
千	百	十	万	千	円
			3	4	000

金額: 34,000円

参加登録ID	参加者氏名	内容(該当に○)	金額
1. 2015	伝熱 二郎	シンポ (懇親会)	20,000 円
2. 2138	富山 三花	シンポ (懇親会)	9,000 円
3. 2424	仙台 四郎	シンポ 懇親会	5,000 円
合計金額			34,000 円

事前申込締切 4月12日(金)

〒123-4567
宮城県仙台市○○区△△1-2-3
伝熱大学 工学部 伝熱学科

ご依頼人: 伝熱 二郎
(ご連絡先電話番号) 012-345-6789

一枚の用紙で複数の参加者の登録が可能です。本登録の代表者の方のご所属の連絡先・お名前・電話番号を「ご依頼人」の欄にご記入ください。

一枚の用紙で複数の参加者の登録が可能です。本登録の代表者の方のご所属の連絡先・お名前・電話番号を「ご依頼人」の欄にご記入ください。

【ご注意】

- ・ 講演申込みの取消および講演論文原稿の差替えは、シンポジウムの準備と運営に支障をきたしますのご遠慮ください。
- ・ 論文題目と著者名が、講演申込み時と論文提出時で相違しないように特にご注意ください。
- ・ 口頭発表用として実行委員会事務局が準備する機器は、原則としてプロジェクタのみとさせていただきます。パーソナルコンピュータは各自ご持参ください。
- ・ 参加費、懇親会費等は参加取消しの場合でも返金いたしません。
- ・ 本シンポジウムに関する最新情報については、随時更新するホームページでご確認ください。
- ・ その他、ご不明な点がございましたら、実行委員会事務局まで e-mail または FAX でお問い合わせください。

【お問い合わせ先】

第50回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局
 東北大学 流体科学研究所内
 e-mail : nhts50@pixy.ifs.tohoku.ac.jp
 FAX : 022-217-5244

優秀プレゼンテーション賞（第50回日本伝熱シンポジウム）について

日本伝熱学会 学生会委員会
委員長 齊藤卓志

第50回日本伝熱シンポジウムでは、下記の要領で、学生および若手研究者を対象とした優秀プレゼンテーション賞セッションを設けます。日頃の研鑽の成果を披露するチャンスとして、奮ってご応募下さい。

- 開 催 日：平成25年5月29日（水） シンポジウム第1日
- 発 表 形 式：発表者1名あたり3分程度のショートプレゼンテーションと60分程度のポスタープレゼンテーションを行う形式をとる予定です。詳細については、決定次第、シンポジウムのホームページに掲載いたします。
- 対 象：企業・大学・研究機関等の技術者・研究者で、平成25年3月31日現在で28歳以下の者、または、申込当日に学生である者（ただし、社会人大学院生を除く）。
- 応 募 資 格：発表時（審査時）に、日本伝熱学会の会員（正員・学生員）であること、または入会申込中であること。**なお、本セッションで発表する方は、応募資格を必ず満たす必要があります。また、過去に本賞を受賞された方は応募することはできません。**
- 応 募 件 数：指導教員または研究グループ長等あたり、1名（1件）とします。
- 応 募 方 法：第50回日本伝熱シンポジウム発表申込時に、本号掲載の【講演申し込み方法】に従って、“優秀プレゼンテーション賞セッション”の項目を選択し、“指導教員または研究グループ長等の氏名・所属・メールアドレス”および“研究分野の分類”を入力してください。なお、講演論文原稿の様式については一般セッションと同様のものとします。
- 審査・選考方法：複数名の審査員による評価に基づいて選考し、受賞者を決定します。
- 表 彰：受賞者はシンポジウム第2日の学会総会で表彰されます。



編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値のある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対 象	対 応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています。)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、総務部会長・編集出版部会長・広報委員会委員長・総務担当副会長補佐評議員に記事を同時送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による 国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務担当副会長補佐評議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐評議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関する分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を説明する資料を総務担当副会長補佐評議員に送信してください。審議の結果掲載可となった場合には総務担当副会長補佐評議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載 （バナー広告のみ、有料）	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長又は広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては http://www.htsj.or.jp/banner.pdf をご参照下さい。

【連絡先】

- ・総務部会長：宗像鉄雄（産業技術総合研究所）：t.munakata@aist.go.jp
- ・編集出版部会長：高松洋（九州大学）：takamatsu@mech.kyushu-u.ac.jp
- ・広報委員会委員長：小宮敦樹（東北大学）：komy@pixy.ifs.tohoku.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐評議員：党超鋌（東京大学）：dangcb@k.u-tokyo.ac.jp
- ・事務局：大澤毅士・倉水裕子：office@htsj.or.jp

【注意】

- ・原稿はWordファイルまたはTextファイルをお願いします。
- ・HPはメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承ください。
- ・MLでは、原則としてテキスト文の送信となります。pdf等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。

事務局からの連絡

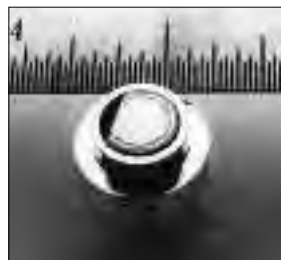
第 51 期入会 (2012.8.1~2012.10.31) 正 2 名 学生 1 名

資	氏 名	所 属	資	氏 名	所 属
学	坂口 孝瑛	中央大学大学院理工学研究科	正	針井 哲夫	住友重機械工業 (株)
正	長谷川 浩司	工学院大学			

熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 (W/cm^2) に比例した直流電圧を出力します。弊社の製品は米国バージニア工科大学が開発した新しい技術をVatell社で商品化したもので、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

熱流束マイクロセンサー



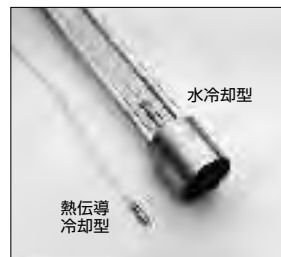
特徴

- 最高速の応答 (約 6μ 秒)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラバース実験
- タービンブレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

ガードン型円形フォイルセンサー



センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタンタンで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

シート状熱流束センサー



センサーは銅とニッケルのサーモパイルから構成されており、測定対象物に貼付けて使います。センサーは厚さが0.2mmと薄いため、柔軟性に富んでおり、直径1インチの円筒形に湾曲させる事が出来ますので、パイプなどに貼り付けてお使いになるには最適です。

使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定

熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。

センサテクノ株式会社

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

URL www.senstech.jp

E-mail senstech@td6.so-net.ne.jp



■ CAPTEC 社日本総代理店 ■ MEDTHERM 社輸入販売店 ■ ITI 社輸入販売店

当社は、独自の高度技術を持つ、海外メーカーの熱計測機器をご提供致しております。

CAPTEC 社(フランス)

CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



サイズ: 5×5mm～300×300mm
厚み: 0.4mm (平面用・曲面用)
温度範囲: -200～200°C
応答速度: 約 200ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
特注品: 高温用・高圧用・防水加工

輻射センサー



サイズ: 5×5mm～50×50mm
厚み: 0.25mm
温度範囲: -200～250°C
応答速度: 約 50ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
波長領域: 赤外/可視+赤外

MEDTHERM 社(アメリカ)

MEDTHERM(メドサーム)社は、これまで30年以上にわたり、高品質の熱流計及び超高速応答の熱電対を提供してまいりました。航空宇宙・火災・燃焼分野における豊富な実績を有しています。用途に応じ、様々な形状・仕様の製品を製造可能です。

熱流計/輻射計



熱流束範囲: 0.2-4000Btu/ft²sec(フルスケール)
サイズ: 1/16インチ(約1.6mm)～1インチ(約25.4mm)
最高温度: 200°C(水冷なし)/1500°C(水冷)
出力信号: 0-10mV(DC・線形出力)
直線性: ±2%(フルスケールに対して)

応答速度: 50ms以下*
再現性: ±0.5%
較正精度: ±2%
オプション: 輻射窓・視野角指定等

*応答速度は、熱流束レンジによって異なります。

超高速応答同軸熱電対

本同軸型熱電対は、第1熱電対のチューブの中に第2熱電対ワイヤーが挿入された同軸構造になっています。第2熱電対ワイヤーは、厚み0.0005インチ(約0.013mm)の特殊なセラミックで絶縁コーティングされています。プローブ先端の熱電対接点は、厚み1～2ミクロンの金属皮膜で真空蒸着されており、最高1マイクロ秒の応答速度を実現しています。



【主な用途】
表面温度及び表面熱流束計測
風洞試験・エンジンシリンダー・エアコンプレッサー等

【最小プローブ径】
0.015インチ(約0.39mm)

【熱電対タイプ】
T型(銅/コンスタンタン) -270°C～+400°C
J型(鉄/コンスタンタン) -210°C～+1200°C
E型(クロメル/コンスタンタン) -270°C～+1000°C
K型(クロメル/アルメル) -270°C～+1372°C
S型(白金10%ロジウム/白金) +200°C～+1700°C

ITI 社(アメリカ)

ITI(International Thermal Instrument Company)社は、1969年の設立以来、高温用熱流板や火災強度熱流計など、特殊な用途に対応した製品を提供しています。特注品の設計・製造も承っております。

高温用熱流板



最高温度: 980°C
応答速度: 0.1s
直径: 8mm～25.5mm 厚み: 2.5mm

水冷式 火災強度熱流計



最高温度: 1900°C
応答速度: 0.1s
最大熱流束レンジ: 0～3000W/cm²

当社取扱製品の適用分野

- 伝熱一般
- 温熱環境
- 炉・ボイラー
- 航空宇宙
- 火災
- 燃焼
- 各種エンジン

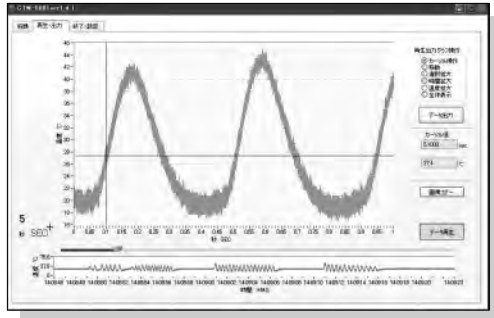
有限会社 テクノオフィス

〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B
TEL. 045-901-9861 FAX. 045-901-9522
URL: <http://www.techno-office.com>

高速温度測定装置 CTM-5001K

冷接点補償を確実にする熱電対と同じ素材で製作された
脱着容易なコネクタを採用。

測定データはUSB接続されたPCに保存されます。



<主な仕様>

- サンプルレート 0.1msec~1min
- -200~1250℃測定
- 温度測定数 1 ch
- K型熱電対接続
- USBにて電源供給
- 温度分解能 約0.5℃
- 寸法：82 (W) × 130 (D) × 24 (H) mm

<主な用途>

- 内燃機関測定
- 射出成型、鑄造温度測定
- 急冷、急加熱想定

国内総販売元



株式会社

新興精機

〒812-0054 福岡市東区馬出一丁目18番3号

TEL : 092-641-8451 FAX : 092-641-8786

Email: info@shinkouseiki.co.jp <http://www.shinkouseiki.co.jp>

編集出版部会ノート *Note from the Editorial Board*

いわゆる 3E トリレンマ問題は 10 年前に比べ収束するどころか拡大している感があります。こうした現状を踏まえ昨年 6 月わが国の新エネルギー基本計画が閣議決定されました。この計画では新たなエネルギー社会を「国民と共に創る」という視点が強調されています。それではそのような新たなエネルギー社会とはいったいどのようなものをイメージしたらよいのか？熱工学の英知に何が求められているのか？というようなことを皆様と一緒に考えてみたくなり 1 月号を編集させていただきました。小職の専門分野が材料プロセッシングということもあり、方向にすこし偏りがあることは否めませんが、幸い当代随一の先生方にご執筆を賜れたのはいささか自負するところです。特別寄稿をお願い申し上げました小宮山先生はじめ、いずれの先生も執筆を快くお引き受けくださいました。誌面をお借りし改めまして御礼申し上げます。

特集は「エネルギーハーベスト」です。巨大パワーシステムのエネルギー密度に対し 10^9 倍程度のマイクロパワーを活用する技術体系です。技術の広がりからビジネス展開の最前線までをご紹介いただきました。「国民と共に創る」新たなエネルギー社会の新たな技術として期待されています。一方、集積された技術としてこれまでの熱工学の研究がそこに大いに寄与していることも事実です。本号の記事が本会員皆様のご研究の一助となれば望外のよろこびです。

佐藤 恒之 (秋田高専)

Tsuneyuki Sato (Akita national college of Technology)

e-mail: sato@ipc.akita-nct.ac.jp

副会長 石塚 勝 (富山県立大学)

部会長 高松 洋 (九州大学)

委員

(理事) 小原 拓 (東北大学)

田川正人 (名古屋工業大学)

堀部明彦 (岡山大学)

安田俊彦 (日立造船)

(評議員) 上野一郎 (東京理科大学)

梅川尚嗣 (関西大学)

奥山正明 (山形大学)

佐々木直栄 (日本大学)

佐藤恒之 (秋田工業高専)

芝原正彦 (大阪大学)

瀬名波 出 (琉球大学)

野村信福 (愛媛大学)

森 昌司 (横浜国立大学)

TSE チーフエディター 花村克悟 (東京工業大学)

編集幹事 伏信一慶 (東京工業大学)

編集出版事務局：

九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門 高松 洋

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

Tel&Fax: 092-802-3123, takamatsu@mech.kyushu-u.ac.jp