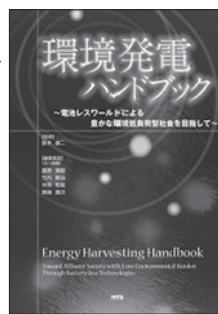


# 環境発電ハンドブック

—電池レスワールドによる豊かな環境低負荷型社会を目指して—

Energy Harvesting Handbook

—Toward Affluent Society with Low-Environmental Burden Through Battery-less Technologies—



発行：2012年11月  
 体裁：B5判 444頁  
 定価：本体46,600円+税  
 ISBN978-4-86469-047-8

## 開発魂を触発する！

## 低環境負荷、配線不要、メンテナンスフリーの電源として、 様々な分野への応用が期待される環境発電。

## 環境発電の原理・材料技術から、導入メリットが期待 される分野への応用・実例を詳説。

### 監修

鈴木 雄二 東京大学 大学院工学系研究科  
 機械工学専攻 教授

### 編集委員 (50 音順)

篠原 真毅 京都大学 生存圏研究所 教授  
 竹内 敬治 (株)NTT データ経営研究所  
 社会・環境戦略コンサルティング本部  
 シニアスペシャリスト  
 中寺 和哉 (株)村田製作所  
 技術・事業開発本部  
 MIRAI プロジェクト課  
 宮崎 康次 九州工業大学 工学部  
 機械知能工学研究系 教授

### 執筆者 (掲載順) 計 56 名

鈴木 雄二 東京大学  
 山本 淳 (独)産業技術総合研究所  
 山口 真史 豊田工業大学 /  
 国際太陽エネルギー学会 /  
 JST / NEDO  
 篠原 真毅 京都大学  
 堀口 睦弘 (株)村田製作所  
 一木 正聡 (独)産業技術総合研究所  
 神野 伊策 神戸大学

桑野 博喜 東北大学  
 安野 功修 (財)小林理学研究所  
 萩原 啓 日本放送協会  
 森澤 義富 旭硝子(株)  
 柏木 王明 旭硝子(株)  
 田中 優実 九州大学  
 上野 敏幸 金沢大学  
 八馬 弘邦 (株)KELK  
 田中 哲史 (株)KELK  
 藤本 慎一 (独)産業技術総合研究所  
 舟橋 良次 (株)村田製作所  
 中村 孝則 東京大学  
 塩見 淳一郎 九州工業大学  
 宮崎 康次 九州工業大学  
 早瀬 健二 九州工業大学  
 平 健一 スフェラーパワー(株)  
 藤田 孝之 兵庫県立大学  
 青柳 誠司 関西大学  
 松井 康浩 湘南メタルテック(株)  
 川原 主博 東京大学  
 阪口 啓 大阪大学  
 高橋 勉 長岡技術科学大学  
 伊藤 寿浩 (独)産業技術総合研究所  
 渡辺 実 ラピスセミコンダクタ(株)  
 鈴木 貴志 (株)富士通研究所

河本 邦仁 名古屋大学  
 万 春磊 名古屋大学  
 王 寧 中国電子科技大學  
 高馬 悟覚 (株)富士通研究所  
 壺井 修 (株)富士通研究所  
 宇賀神 守 日本工業大学  
 島村 俊重 日本電信電話(株)  
 原田 充 日本電信電話(株)  
 森村 浩季 日本電信電話(株)  
 唐沢 慶一 コーンズテクノロジー(株)  
 齊藤 豊 (株)タキオン  
 内田 大道 オムロン(株)  
 松浦 圭記 オムロン(株)  
 藤原 博 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング  
 堀尾 裕磨 ヤマハ(株)  
 西 秀敏 マイクロベルト  
 古川 実 日本電業工作(株)  
 板垣 一美 ドイツテレコム AG  
 鈴木 一実 (株)アルティマ  
 齋藤 弘通 東京コスモス電機(株)  
 濱崎 利彦 広島工業大学  
 村谷 政充 ルネサスエレクトロニクス(株)  
 新谷 浩造 東京エレクトロニクス(株)  
 竹内 敬治 (株)NTT データ経営研究所

|                       |                                             |            |       |  |
|-----------------------|---------------------------------------------|------------|-------|--|
| 購<br>入<br>申<br>込<br>書 | 株式会社 エヌ・ティー・エス行 FAX:047-314-0810            |            | 年 月 日 |  |
|                       | 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負荷型社会を目指して ( ) 冊 |            |       |  |
|                       | 団体名                                         | TEL        |       |  |
|                       |                                             | FAX        |       |  |
|                       | 所在地                                         | □□□-□□□□   |       |  |
|                       | 購入希望<br>部 署                                 | 氏名         |       |  |
|                       | e-mail                                      |            |       |  |
|                       | 申込担当<br>部 署                                 | 氏名         |       |  |
|                       | e-mail                                      |            |       |  |
|                       | 通信欄                                         |            |       |  |
|                       |                                             | NTS<br>担当者 |       |  |

ここに記入いただいた個人情報は、下記目的のために利用されます。  
 (1) お客様との契約の履行、管理 (2) 新規書籍及びセミナーの紹介等、当社の営業内容の紹介 (3) お客様にとり有用と思われる当社提携先の書籍・サービス等の紹介  
 尚、弊社における「個人情報のお取り扱いについて」及び、「個人情報保護方針」については弊社HPをご覧ください。

### 申込要領

■直接小社宛にFAX、郵便またはホームページにてお申込下さい。なお、送料は無料です(国内に限ります)。

■お支払い方法  
 商品到着後、銀行振込、郵便振替、カードにてお支払い下さい(一部カード会社によってはリボルビングや分割払いがご利用頂けない場合がございます)。

■お申し込み・お問い合わせ先  
**株式会社 エヌ・ティー・エス**  
 ●市川AIセンター  
 〒272-0023  
 千葉県市川市南八幡4-3-3 武蔵屋ビル4F  
 TEL. 047-314-0801 FAX. 047-314-0810  
<http://www.nts-book.co.jp/>

# —環境発電ハンドブック 目次—

発行にあたって〈鈴木雄二〉

## 第1編 総論環境発電の意義〈鈴木雄二〉

1. 環境発電とは
2. 身の回りに存在するエネルギー源とエネルギー変換
3. 環境発電のアプリケーション
4. 環境発電の導入メリット
5. 国内外における環境発電関連の研究開発状況
6. まとめ

## 第2編 環境発電の原理

### 第1章 振動発電の原理〈鈴木雄二〉

1. 環境振動を使った発電
2. 環境振動の特性
3. 振動発電器の力学的特性
4. 振動エネルギーから電気的エネルギーへの変換
5. 広帯域振動周波数への対応
6. まとめ

### 第2章 熱発電〈山本淳〉

1. はじめに
2. 熱発電の原理と応用

### 第3章 光発電〈山口真史〉

1. はじめに
2. 光発電(太陽電池)の原理
3. 太陽電池の種類と高効率化の必要性
4. 各種太陽電池の研究開発動向
5. 太陽電池および太陽光発電の今後の展望

### 第4章 電磁波発電と無線電力伝送〈篠原真毅〉

1. はじめに
2. 電磁波→電気変換技術
3. 電磁波の送電まで含めたシステム設計
4. まとめ

## 第3編 環境発電の材料技術

### 第1章 振動発電

1. バルク圧電材料〈堀口睦弘〉
2. 化学溶液法による圧電膜の作製〈木正聡〉
3. スパッタ法による圧電薄膜形成技術〈神野伊策〉
4. 窒化アルミニウムによるマイクロ振動発電〈桑野博喜〉
5. 圧電ポリマー〈安野功修〉
6. ポリマー・エレクトレット〈鈴木雄二〉
7. アモルファスツァル樹脂を用いたポリマーエレクトレット〈森澤義富・柏木王明〉
8. 無機エレクトレット材料〈萩原啓〉
9. イオン伝導を利用したセラミックエレクトレット材料〈田中優実〉
10. エレクトレットの荷電技術〈萩原啓〉
11. 磁歪材料〈上野敏幸〉

### 第2章 熱発電

1. Bi2Te3系熱電材料  
〈八馬弘邦／田中哲史／藤本慎一〉
2. 酸化物熱電材料を用いた熱発電〈舟橋良次〉
3. 積層型酸化物熱電モジュール〈中村孝則〉
4. 熱電変換材料の設計:  
第一原理に基づく格子熱伝導率解析〈塩見淳一郎〉
5. ナノ構造を用いた熱電材料〈宮崎康次〉

### 第3章 光発電

1. 透明導電膜が不要な色素増感太陽電池  
〈早瀬修二〉
2. 3次元受光可能な球状太陽電池〈平健一〉

## 第4編 応用

### 第1章 圧電薄膜の振動発電特性評価〈神野伊策〉

1. 圧電薄膜を用いた振動発電素子
2. 薄膜材料の圧電特性評価技術
3. PZTおよびKNN圧電薄膜の振動発電特性評価
4. 金属基板上PZT薄膜の振動発電評価
5. 転写エピタキシャルPZT薄膜の振動発電評価

### 第2章 MEMSエレクトレット振動発電システム〈鈴木雄二〉

1. はじめに
2. MEMSエレクトレット発電器の試作
3. 発電器単体の評価実験
4. 無線センサノードの試作と評価実験
5. まとめ

### 第3章 共有電極を用いたMEMSエレクトレット発電器

〈藤田孝之〉

1. はじめに
2. 選択的荷電手法
3. 共有電極構造
4. 評価結果

### 第4章 フリンジ場利用エレクトレット振動発電器

〈青柳誠司〉

1. はじめに
2. FEMによる原理確認
3. 原理確認デバイスの作製と発電実験
4. 最終デバイスの作製と発電実験

### 第5章 超磁歪材料を用いた振動発電機の開発

〈松井康浩〉

1. 超磁歪材料(Giant-magnetostrictive material)とは

6. 逆磁歪発電
7. 逆磁歪式振動発電機開発の具体例紹介
8. 逆磁歪式振動発電機の長所／短所と今後の課題

### 第6章 電波を用いた環境発電〈川原圭博〉

1. はじめに
2. 電波からの環境発電
3. 環境電波からの給電と技術課題
4. 環境電波を用いた無線センサネットワーク
5. まとめ

### 第7章 センサネットワークへの無線給電〈阪口啓〉

1. はじめに
2. ワイヤレスグリッド
3. 950MHz帯周波数スペクトル
4. センサノードのハードウェア構成
5. 面的な無線給電の設計項目
6. 無線給電の回報設計
7. 無線給電のカバレッジ拡大技術
8. 無線給電の特性評価
9. 無線給電で駆動するバッテリーレスセンサの例

### 第8章 流れによる振動を利用した発電〈高橋勉〉

1. 流れエネルギーの利用
2. 環境発電に利用できる流動誘起振動現象
3. 流れによる振動発電に関係する諸問題
4. 流動誘起振動発電の可能性と期待

### 第9章 超低消費電力センサネット〈伊藤寿浩〉

1. はじめに
2. 片方向通信とイベントドリブン
3. 超低消費電力無線センサノード
4. 短電文化のための受信機技術
5. まとめ

### 第10章 室内用途に向けた色素増感太陽電池〈渡辺実〉

1. 室内環境光を利用したエネルギーハーベスティング
2. 色素増感太陽電池
3. 色素増感太陽電池によるエネルギーハーベスティング
4. 今後の展望

### 第11章 光／熱エネルギーから発電する

有機ハイブリッド素子〈鈴木貴志〉

1. はじめに
2. 光／熱発電を切り替えられるハイブリッド発電素子の原理
3. 光／熱エネルギーから発電する有機ハイブリッド素子の作製と特性
4. 光／熱エネルギーから発電する有機ハイブリッド素子の応用
5. まとめ

### 第12章 色素増感太陽電池と熱電素子のハイブリッド発電〈河本邦仁／万春磊／王寧〉

1. はじめに
2. ハイブリッドデバイスの作製と評価
3. 発電特性
4. まとめ

### 第13章 ガラスモールドへのナノパウダー埋め込みを

用いた熱電変換素子〈高馬悟覚・董井修〉

1. マイクロ熱電変換素子とその課題
2. マイクロモールド法とエアロゾルデポジション法を用いた微細熱電対の作製方法
3. 感光性ガラスモールドを用いたマイクロ熱電変換素子構造
4. まとめ

### 第14章 nW無線センサノード

〈宇賀神守／島村俊重／原田充／森村浩季〉

1. はじめに
2. nW無線センサノードの構成
3. サブナノワット電源管理回路
4. サブナノワット振動検出回路
5. まとめ

## 第5編 実例

### 第1章 ワイヤレス通信とバッテリーメンテナンスコストを

削減するシンプルな環境発電の設置〈唐沢慶一〉

1. はじめに
2. インストールは楽しくない
3. ギガワットの発電所で、なぜミリワットの発電が必要か？
4. まとめ

### 第2章 腕時計における振動発電〈斉藤豊〉

1. 歴史的背景
2. 各製品の技術と特徴
3. 今後

### 第3章 エレクトレット振動発電デバイス

〈内田大道／松浦圭記〉

1. はじめに
2. 振動発電デバイスの考案
3. デバイスの構成と出力設計
4. デバイスの試作と性能
5. 応用に向けた取り組み
6. まとめ

### 第4章 環境発電による道路モニタリングシステム

〈藤原博〉

1. はじめに
2. “夢ス”の特徴と構成
3. のり面モニタリングシステムの例
4. ゴム支承反力測定システムの例
5. “夢ス”で使用する環境発電システム
6. まとめ

### 第5章 熱電変換式エネルギーハーベスタの提案

〈堀尾裕磨〉

1. はじめに
2. 独自のBi2Te3系熱電材料
3. 熱電変換(熱発電)のための材料技術
4. 熱電変換モジュールの開発
5. 応用システム例
6. まとめ

### 第6章 半導体MEMS技術を用いた

超小型熱電発電デバイス〈西秀敏〉

1. はじめに
2. マイクロベルトの熱電発電デバイス
3. 熱電発電デバイスと無線センサノード
4. 熱電発電デバイスのアプリケーション
5. まとめ

### 第7章 電波エネルギーハーベスティング〈古川実〉

1. 電波エネルギーハーベスティングの概要
2. 受電可能な電波エネルギー量
3. 電波エネルギーハーベスティングの原理
4. 製品例
5. 想定される利用シーン
6. まとめ

### 第8章 EnOceanアライアンス〈板垣一美〉

1. EnOceanエネルギーハーベスティング無線スイッチ・センサ
2. EnOceanアライアンスの目的
3. EnOceanアライアンスとEnOceanの位置づけ
4. 日本におけるEnOceanアライアンスの活動

## 第6編 周辺技術と市場動向

### 第1章 環境発電のための無線技術〈鈴木一実〉

1. 環境発電と低消費電力無線通信技術
2. 低消費電力無線の技術アプローチ
3. WiFi方式の低消費電力化
4. Bluetooth、Zigbee等の低消費電力化
5. まとめ

### 第2章 超低消費電力のIEEE802.15.4無線

〈齋藤弘通〉

1. はじめに
2. IEEE802.15.4無線規格
3. IEEE802.15.4無線モジュール
4. センサネットワーク評価キット
5. まとめ

### 第3章 EnOcean無線規格〈板垣一美〉

1. EnOceanエネルギーハーベスティング無線スイッチ・センサのコンセプト
2. EnOcean無線通信デバイス
3. EnOceanワイヤレスデバイスの周波数対応
4. EnOcean無線通信の位置づけ
5. ISO/IEC標準化
6. EnOceanワイヤレスデバイスの導入実績・アプリケーション例

### 第4章 マイクロ電力マネジメント〈濱崎利彦〉

1. はじめに
2. センサ端末の基本構成
3. 最新の構造部ヘルスモニタリング
4. 無線ネットワーク・クラスタの積層型トポロジ
5. 無線ネットワークのデータレートと消費電力
6. センサ端末の動作制御による低消費電力化
7. センサデバイス制御による低消費電力化
8. センサ・アナログ・フロントエンドの設計
9. まとめ

### 第5章 ローパワーシステム技術〈村谷政光〉

1. システム技術の向上はまさにこれから
2. 基本はシステム全体の消費電力の削減
3. マイコンの動作モードを考える
4. 消費電力削減の基本は間欠動作
5. 電源電圧の生成も電力の効率利用では注意が必要
6. まとめ

### 第6章 全固体マイクロ電池〈新谷浩造〉

1. はじめに
2. 全固体マイクロ電池開発のポイント
3. エネルギーハーベスティングを電子機器に展開するための蓄電素子として
4. 蓄電素子に要求される技術要件
5. 動作温度条件(範囲)
6. 複数による高容量化
7. 薄さと高密度実装に向けて
8. エネルギーハーベスティング以外への全固体マイクロ電池のアプリケーション
9. まとめ

### 第7章 エネルギーハーベスティングコンソーシアム

〈竹内敬治〉

1. はじめにー環境発電に関するオープン・イノベーションの必要性
2. 企業間の連携事例
3. 組織的活動の例
4. エネルギーハーベスティングコンソーシアム

### 第8章 環境発電の市場動向〈竹内敬治〉

1. はじめにー環境発電とは
2. 環境発電の主要市場
3. 環境発電市場の将来展望