

## 小電力環境発電に適した自立電源システム

### 熱電発電モジュール「フレキーナ®」と組み合わせた自立電源システムの開発

ダイヤゼブラ電機(株) 宮本 太裕・湯浅 泰任

#### はじめに

資源エネルギー庁の調査によれば、全一次エネルギー供給量の60%を超える莫大な量の熱エネルギーが利用されず地球環境に排出されている(図1)。一次エネルギーは活用する段階で必ずエネルギーロスを発生する。例えば、自動車のように、ガソリンを燃やしてエンジンを回し、走行するという運動エネルギーへの転換においては「熱エネルギー」を「運動エネルギー」に転換する際、エネルギー転換を効率100%で行うことは難しく、一次エネルギーの一部は「未利用熱」として環境中に排出されている。

日本では年間1兆kWhものエネルギーが未利用熱として捨てられており、その未利用熱のうち200°C未満の中・低温帯の排熱が大半(75%程度)を占めている(図2)。200°C以上の「高温排熱」は水蒸気タービンの発電回収技術でほとんど回収されているが、200°C以下の「低温排熱」はエネルギーが低いため回収できず、そのまま捨てられている。これら「低温排熱」を回収して電力変換し、利用しようとする技術は「熱電発電」と呼ばれ、再生可能エネルギーの一つとされる。熱電発電は捨てられた熱エネルギーを有効利用するという観点から大きな意義があり、最近では次世代IoT、Society5.0を実現するために必要不可欠な要素技術としても注目され始めている。

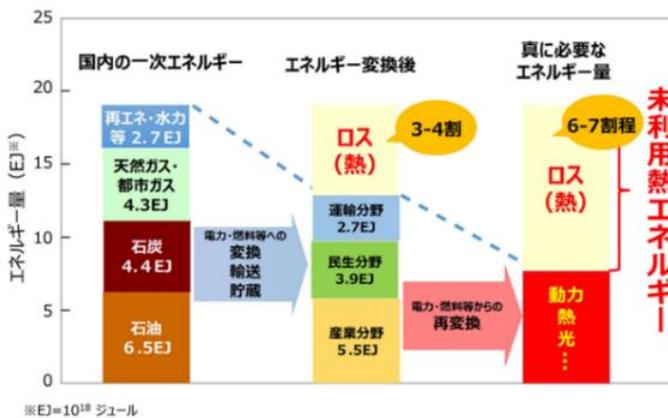


図1 国内の一次エネルギー活用状況

(出典：資源エネルギー庁 令和2年度(2020年度)エネルギー需給実績(速報)を基に NEDO 作成)

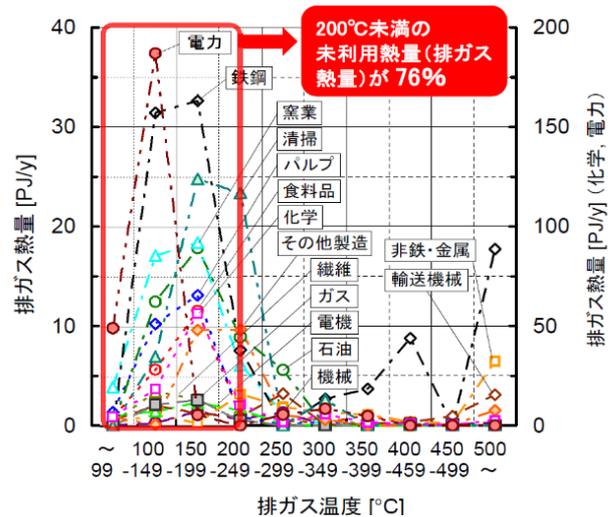


図2 業種別・温度帯別の未利用熱量の全国推定値

(出典：(国研)新エネルギー産業技術総合開発機構 省エネルギーへのフロンティア「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」)

Society5.0では、あらゆる情報をセンサーによって取得し、解析することで、新たな価値を創造していくことが想定されるが、今後、あらゆる場面に膨大な数のセンサーが設置されていくことになる。これら

膨大な数のセンサーの電源をいかに確保するか、ということが新たに問題視され、これらの問題解決に「熱電発電」は一助になると考えられる。「熱電発電」は、排熱から電力をつくることで電力の“地産地消”が叶い、IoT用センサーを電源フリー、電池交換フリーにできる。センサー用自立電源として活用できる革新的熱電変換技術を開発することにより、あらゆる場面にセンサーが設置可能となり、Society5.0の実現への貢献が期待できる。

さらには「熱電発電」により、社会の至る所に存在している「低温排熱」を少しでも電気エネルギーに変換できれば、地球温暖化抑制やSDGsに大きな貢献になると期待している。

当社は、(株)Eサーモジェンテック（本社：京都市、代表取締役：南部修太郎）が開発する熱電発電モジュール「フレキーナ®」と組み合わせたIoT向け自立電源システムの開発を進めている。同システムはIoTデバイスの更なる普及に貢献すると共に、本来は捨てられていたエネルギーを活用することで持続可能な社会への貢献を目指している。また、本技術を発展させ、地熱分野などで、大規模な持続可能なエネルギーを生み出す技術開発を推進していく。

### フレキシブル熱電発電モジュール「フレキーナ®」

従来の熱電発電モジュールは、曲がらないセラミックス基板上に熱電素子を実装した構造のものが主であった。しかし排熱源の多くは、配管など表面が湾曲したものが一般的なため、排熱源の熱が効率よく熱電発電モジュールに伝わらない等、コスト性能比が不十分という課題があり、実用化が難しかった。Eサーモジェンテック社は、従来の熱電発電モジュールの課題を解決するため、湾曲自在で熱源パイプに密着装着できる独自フレキシブル構造の熱電発電モジュール「フレキーナ®」（基本特許：第5228160号）を開発した。「フレキーナ®」は、高い熱回収効率（従来型比2~3倍）と熱電変換効率（同約2倍）という特長に加え、既存の半導体技術が使えるため半導体の量産効果による低コスト化と高信頼性が可能である。そのため、初めて実用的なコスト性能比で熱電発電を社会実装できる技術として注目を集めている。開発したフレキシブル熱電発電モジュール「フレキーナ®」の外観を図3に示す。表1に、「フレキーナ®」の他の熱電発電モジュールに対する比較優位性を示す。

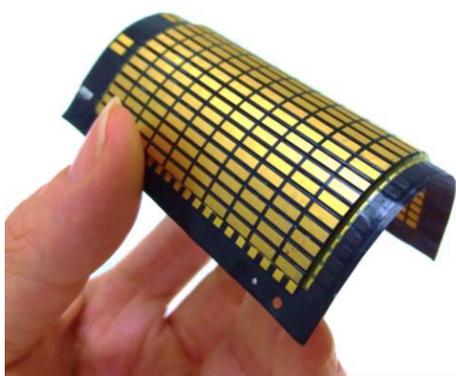
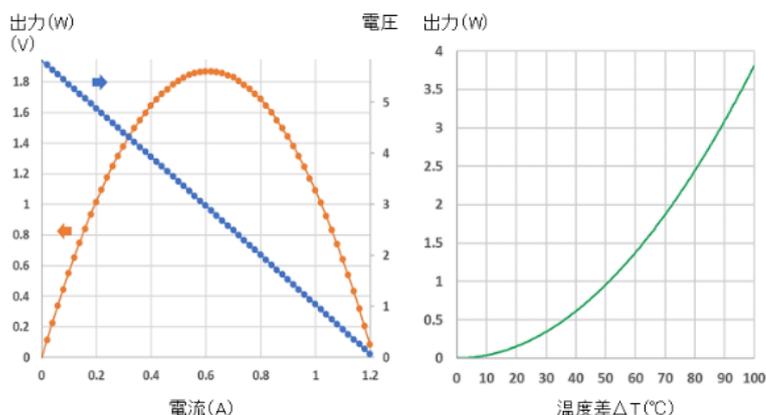


図3 フレキシブル熱電発電モジュール「フレキーナ®」

### 「フレキーナ」標準サンプル(5cm角)の代表特性



(b) 代表的な出力特性 ( $\Delta T=70^\circ\text{C}$ 時) (a) 温度差 $\Delta T$ に対する出力 (typ.)

図4 「フレキーナ®」の代表特性

表1 「フレキーナ®」の比較優位性

	「フレキーナ®」	従来の熱電発電モジュール	他のフレキシブル熱電発電モジュール
熱電材料	BiTe系チップ	BiTe系チップ	ペースト状熱電発電材料
モジュール基板	フレキシブルフィルム	セラミック基板	フレキシブルフィルム
施工容易性	○ (極薄フレキシブルで密着)	× (肉厚リジッド)	○ (フレキシブルで密着)
システム構成	○ (簡略)	△ (複雑構成)	○ (簡略)
発電効率	○	△	×
信頼性	○	○	×
コスト性能比	○ (1)	△ (1/3)	× (1/10~1/20)

フレキシブル構造の熱電発電モジュールとしては、「フレキーナ®」以外にも、ペーストに熱電発電材料を分散させ、それをフレキシブル基板に印刷する研究も盛んであるが、従来のバルク状の熱電発電素子に比べて、まだ効率は1/10以下と低く実用化には程遠い。「フレキーナ®」の代表特性を図4に示す。

### 開発した技術の概要

こうした背景から当社では、特にこれまで未利用熱として環境中に放出されている低温排熱から電力を取り出すことが可能な発電モジュール「フレキーナ®」と当社がこれまで築き上げてきた電力変換技術（電源技術）を応用した自立電源システムを開発した。

本システムは、「フレキーナ®」で発電した電力を変換する電源モジュールとIoT化に必要な各種センサー（温度センサー、振動センサー、DC電圧/電流、AC電力センサーなど）に加え、各種センサーで採取したデータをホストPCやクラウドサーバーに転送する機能(LPWA、LTEおよびBLEなどの無線モジュール)で構成される。

さらにはユーザーインターフェースとして、取得したセンサーデータの可視化、閾値を設定しアラーム機能としての活用を可能にする表示システムも合わせて開発した。

図5に自立電源システムのブロック図を示す。

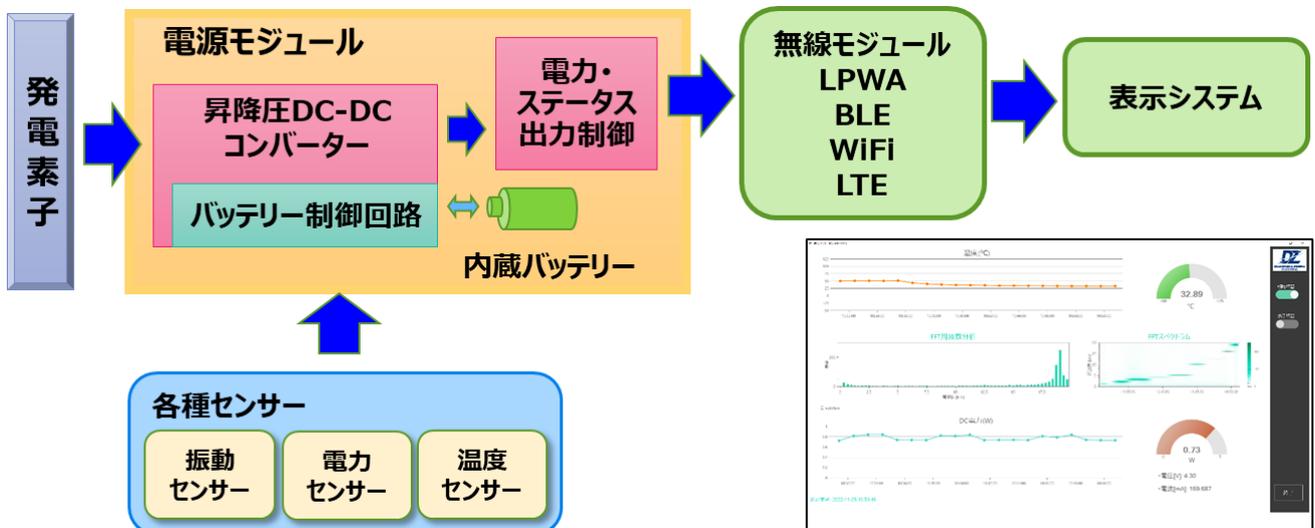


図5 自立電源システムブロック図

低温度領域での優位性を持つ「フレキナー®」が発電する電力は数 mW から数 10W である。但し組み合わせによっては数 kW レベルの発電を実現することも可能である。このような幅の広い発電能力をもつ「フレキナー®」に対応すべく、4 種類の電源モジュールのラインナップを開発した。図 6、表 2 に自立電源システムのラインナップを示す。

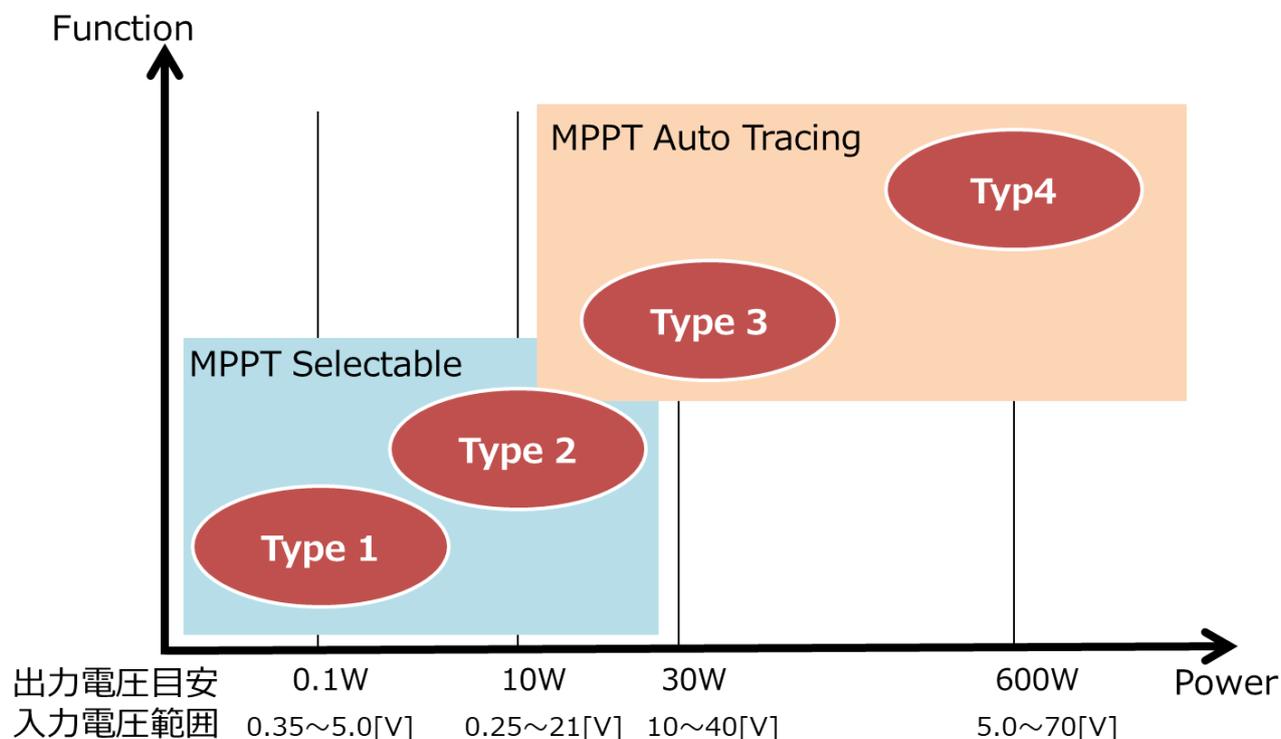


図 6 自立電源システムラインナップ

表 2 自立電源システムラインナップ

電源システム			
Type1	Type2	Type3	Type4
			
Φ37 x H17mm	W124 x D67 x H35mm	W230 x D135 x H40mm	W300 x D400 x H120mm

IoT システムに於いては、搭載するセンサーや無線モジュールの種類、また、データサンプリング頻度も様々であり、システムに要求される電力は幅が広い。これらの電力要求に対応するため、4 種類の電源モジュールを開発した。その結果、これまで最適な電源が無いため IoT 化が進まないユーザーやあるいは排熱利用が進まない市場にも即投入可能なシステムの提供が可能となった。

## 開発した技術の特徴

### (1) 電源システム

今回開発した電源システムは、安定した出力を確保するために 2 次バッテリーを搭載している。それを踏まえ、電源モジュールは、バッテリー制御も同時に行う昇降圧 DC-DC コンバーターと出力電圧を制御する出力 IC で構成した。

本電源システムは、「フレキーナ®」が発生する様々な電力範囲をターゲットにしており、高効率かつ安定した出力が要求される。電圧変換効率を上げるため、昇降圧 DC-DC コンバーターに最大電力点追従制御 (MPPT-Maximum Power Point Tracking) を採用した。この MPPT は太陽光発電などでは一般的に活用されている技術であるが、前述の通り「フレキーナ®」が発電する電力範囲が広いと、広範囲にわたって高効率を実現すべく機能検証を実施した。特に排熱温度が 50°C 以下の低温度領域においては発生する電力が小さいため、昇降圧 DC-DC コンバーターが起動する電力値と最大効率を発生する電力点の両立が苦労した点である。

図 4 の「フレキーナ®」の標準電力特性において、1 次直線は「フレキーナ®」の出力電圧(右軸)、2 次曲線は「フレキーナ®」の出力電力(左軸)を示す。横軸は負荷電流値を示すが、負荷電流が 0 の時の「フレキーナ®」が出力する電圧を開放端電圧と呼び、この開放端電圧が 1/2 の時に出力電力が最大となる。そのため、最大電力を引き出すための負荷電流の調整回路を設計し、機能検証を行った。

MPPT を用いての発電効率最大化のためには、発電電力の変化に追従し制御を行うのが一般的であり、高出力版である Type3、Type4 では MPPT 自動追従機能を搭載した。しかし低温領域で使用する Type1、Type2 のような発電量が少ないシステムにおいては、システムの低消費化も重要なポイントとなる。そのため Type1、Type2 では、MPPT 自動追従制御ではなく、「フレキーナ®」の発電能力に最適化した最大点固定電圧を設定する方式とすることでシステムの低消費電力化を実現した。

接続する 2 次バッテリーには、実使用時には設置場所の安全性確保やサイズ制約等、様々な要求がある。これらの要求に応えるため、接続するバッテリーは、Li-Ion バッテリー、Ni-MH バッテリー、鉛バッテリーや半固体電池まで多様なバッテリーの接続が可能ないように充放電制御や過充電監視回路等の安全回路を昇降圧 DC-DC コンバーターと出力制御 IC で実現するように周辺回路設計を行った。

測定データをクラウドにあげるための通信方式に関しても、通信距離、設置する場所による通信品質、通信速度、伝送データ量など様々な要求に対して LPWA、WiFi、BLE、LTE などの通信方式から選択可能なようにバリエーションを用意した。

これらの工夫の結果、これまで設置困難であった場所にも IoT システム構築が容易な電源システムを提供できるようになった。

### (2) 表示システム

ユーザーインターフェースとして、取得したセンサーデータの可視化、閾値を設定しアラーム機能としての活用できる表示システムも合わせて開発した。

センサーデータの表示システムもユーザーの要望に対応しカスタマイズし提供することも可能である。

図 7 に表示システム例を示す。



図7 表示システム例（表示データ一例：温度、振動、電力等）

## おわりに：今後の展望

今回の開発では、Eサーモジェンテック社のフレキシブル熱電発電モジュール「フレキナー®」と、当社の電源システムを組み合わせることにより、排熱を活用した高効率な自立電源システムの構築を可能にした。

IoT分野において、課題であった各種センサーや無線モジュールへの電源供給が、本自立電源システムで可能となり、既設電源設備の増設費用や電池交換などのメンテナンスコストや管理費の削減が可能となる。

さらには高出力特性を活かし、IoTに求められるサンプリングの高頻度化やマルチセンサー駆動なども自立電源で実現可能となり、工場におけるIoTの本格的な普及が期待される。

本自立電源システムは排熱を活用した電源確保によってIoTデバイスの更なる普及に貢献すると共に、本来は捨てられていたエネルギーを活用することで持続可能な社会への貢献を目指してEサーモジェンテック社と開発を進めて参る所存である。本技術を発展させ、エネルギーロスである排熱や拡大が模索されている地熱分野などで、持続可能なエネルギーを生み出す技術開発を更に推進していく。

### <参考文献>

(1) (国研) 新エネルギー産業技術総合開発機構発行：省エネルギーへのフロンティア

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」

### 【筆者紹介】

宮本 太裕

ダイヤゼブラ電機株式会社 CMO 室 室長

湯浅 泰任

ダイヤゼブラ電機株式会社 CTO 室 新規事業開発チーム チームリーダー