調査・報告

エネルギーハーベスティング技術研究会報告

大野　宏*　阿部　淑人*　長谷川　直樹*　平石　誠**　石井　啓貴***

Report of Market and Technology Trend of Energy Harvesting Technology

OHNO Hiroshi*，ABE Yoshito*，HASEGAWA Naoki*，HIRAISHI Makoto** and ISHII Hirotaka***

1. 緒　　言

エネルギーハーベスティング技術は別名「環境発電」とも呼ばれ，周りの環境（光，熱，振動，電波など）から未利用エネルギーを収穫（ハーベスト）して電力に変換する技術である。発電量は μW～W レベルだが，電池や配線の代替えとして国内外で研究開発や製品開発が進められている。このような状況の中，平成 24 年度にエネルギーハーベスティング技術の研究会を開設し，県外の研究機関や企業開発状況，県内企業の動向やニーズなど要素技術や市場状況を調査し，県内企業における技術開発の可能性と，県が取り組むべき課題について検討した。

平成 25 年度は，県内企業の参入可能性がある，コンシューマー製品，センサネットワーク，未利用熱の活用を中心に情報収集や県内企業との情報交換を進め，取り組むべき課題について，より具体的に検討した。

2. 活動概要

2.1 研究会の開催

エネルギーハーベスティング技術では取り出せる電力は小さいが，熱からは多くの電力を取り出せる可能性がある。そこで，今年度は未利用熱を活用する技術で将来性の高い熱音響機関について，県内企業を対象に，セミナー形式の研究会を 2 回実施した。研究会の様子を図 1 に示す。

図 1　研究会の様子

・第 1 回（平成 25 年 8 月 30 日）

≪講演 1≫

「高効率な熱音響機関の開発」

東海大学工学部　講師　長谷川　真也　氏

細いパイプの束（蓄熱器）の両端に温度差を与えると音波が発生する。逆に蓄熱器に音波をあてると温度差が発生する。この現象を利用し，未利用熱を電気に変換したり，冷熱として利用したりするものが熱音響機関である。

ピストンのような可動部品がないので保守が容易，構造が簡単なので低コストという特徴がある。一方，可動部品がないので現象をとらえにくかったが，管内音波の圧力や流速の計測技術の進展と熱音響現象の解明が進み，高効率な熱音響機関の研究開発が行われている。

東海大学の研究室は数値計算で熱音響機関の性能を予測し，高効率な熱音響機関を開発した。音波を発生し増幅する蓄熱器を 3 個直列に接続

*　下越技術支援センター
**　中越技術支援センター
***　企画管理室

し，高温端の温度が 150℃で冷凍温度-40℃を，300℃で-106℃を達成した。

熱音響機関の実用化の課題は，①工場の未利用熱をどのようにして熱音響機関まで損失なく持ってくるか，②パイプの径と厚みを低コストでどのようにして小さくするか，③音波を電気に変換するリニア発電機の開発などである。5年後には実用化したい。

≪講演 2≫

「熱音響機関の作り方」

工業技術総合研究所　専門研究員　大野　宏

①レイケ管，②試験管を使った音波発生装置，③スピーカを使った温度差発生装置の作り方を説明した。①レイケ管は，アクリルパイプに金属製の蓄熱器を入れ，片方をバーナで暖めると，管の長さの 1/2 波長の音が鳴る。②音波発生装置は，試験管にスチールウールの蓄熱器を入れ，片方をアルコールランプで暖め，もう片方を濡れたティッシュで冷やすと音が鳴る。③温度差発生装置は，アクリルパイプの中のスチールウール製蓄熱器にスピーカからの音を当てると，その両端に温度差が発生する。30W のスピーカ出力で 46℃の温度差が発生した。

・第 2 回（平成 25 年 11 月 26 日）

「高効率な熱音響機関の設計方法 」

東海大学工学部　講師　長谷川　真也　氏

高効率な熱音響機関を設計するためには，数値計算で性能を予測することができる。熱音響機関には定在波型と進行波型があり，進行波型の方が高効率になる。また，熱音響機関が外部と熱交換するためには，蓄熱器の穴径の大きさが重要で，穴径が大きすぎると熱交換ができず音波は発生しない。

出力は，音圧，流速，両者の位相で決まる。これらは数式で表すことができ，どうやって大きくするかが設計では重要になる。また，熱の流れも数式で表せるが，これは小さい方が良い。圧力の測定には高感度の圧力センサを使用している。流速も 2 点の圧力から計算で求められるが，レーザードップラー流速計でも直接測定可能である。

2.2　開発事例

道路，橋，トンネルなどの公共インフラの老朽化が進み，これらの監視にエネルギーハーベスティング技術を利用した取り組みが多い。センサ設置箇所への電力供給や電池の取り換えが困難なため，エネルギーハーベスティングで電源を確保することは非常に有効である。鉄道総合技術研究所は，振動発電を利用することでバッテリを必要としない鉄道橋のモニタリングシステムを開発した。システムに必要な電力は，列車通過時に発生する橋梁部材の振動を利用した圧電素子の発電から供給し，センサが検知したデータを無線で走行中の列車に送信する。疲労き裂のセンシングは列車通過時のみしかできないので，列車通過時以外や夜間を含めた定期的なセンシングを目指し改良中である。

電力使用量を下げるための「見える化」装置として，（株）Lean Energy は一般家庭，及び小規模の事務所や店舗向けに節電モニターを販売している。これは，分電盤に CT センサを設置して電力を測定し，無線で手元のモニターに送信して表示させる。1 箇所の電力しか測れないため，分電盤の主幹に設置して使用するが，一般家庭での利用には十分であり，価格も安い。送信機の電力は電池でまかなわれているが，定期的な交換が必要で，その都度モニター側との認識設定が必要で手間がかかる。そのため，CT センサで電力線の漏れ磁束から電力を取り出せれば，電池交換が不要となる。東京コスモス電機（株）は，電力線の漏れ磁束から電力を取り出す磁場発電センサも製品化している。CT を電力ケーブルに挟むことで温度，湿度に加え交流電源の 1 周期分の波形を測定でき，無線で親機に送信できる。

少しずつではあるが，エネルギーハーベスティング技術で取り出せる電力量は増加し，利用範囲も広がっている。

2.3　県内企業の動き

ペレットストーブを製造している企業が，熱電発電素子を組み合わせたストーブを開発している。ペレットストーブの熱を電気に変換し，送風ファンや安全センサの電源に使うという試みであるが，熱電変換素子は変換効率が低く値段も高いという課題がある。

その他いくつかの県内企業も，エネルギーハーベスティング技術の活用した製品開発に取り組んだが，発電量がアプリケーションの必要とする電力量まで足りなかったため，製品化まで至っていない。また，依然として工場の未利用熱からのエネルギー回収について興味を持っている企業が多い。

2.4　工業技術総合研究所の取り組み

未利用熱回収の有効手段として熱音響機関の活用を検討するため，音波から温度差を発生させる装置と，温度差から音波を発生させる装置を試作した。

図 2 に製作した温度差発生装置を示す。内径 32mm，長さ 330mm のアクリルパイプの上端から 1/4 の場所にスチールウール製蓄熱器を設置し，下端からスピーカで音を鳴らすと，スチールウールの両端に温度差が発生する。スピーカ出力を 35W にすると温度差は 47℃まで上昇した。パイプの長さの 1/4 波長となる周波数の音波をあてると温度差は大きくなる。

図 3 に製作した音波を発生させる装置を示す。蓄熱器の両端に熱交換器を設置し，一方を電熱線で加熱し，もう一方を水冷して温度差を与えると，約 150℃の温度差で音波が発生した。パイプの内径は 40mm，長さ 480mm で，蓄熱器には直径 0.6mm のハニカムセラミックス（日本ガイシ㈱製）を使用した。

熱音響機関は未利用熱を有効に活用できる技術であり，実用化に必要な技術を有する県内企業を訪問し，コンソーシアムの形成を目指した。

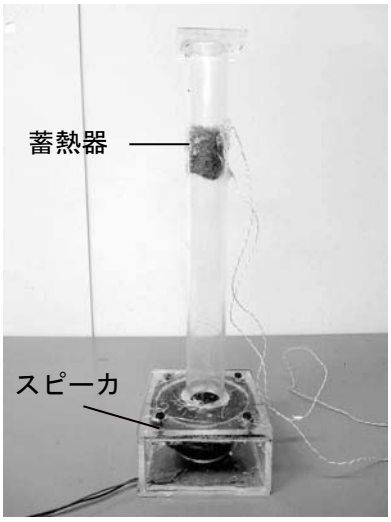

図 2　温度差発生装置

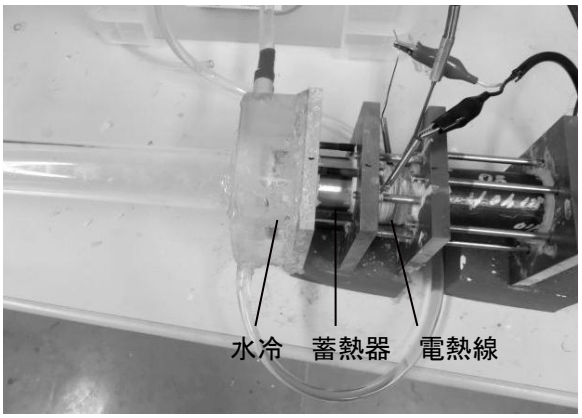

図 3　音波発生装置

3.　結　　言

(1) エネルギーハーベスティング技術を活用した製品開発に関し，取り出せる電力が少ないため用途が限られるが，鉄橋の監視などの開発が進められている。電力量が大きくなれば，さらに用途は広がる。

(2) 県内企業においては，ペレットストーブに熱電発電を利用した開発事例が見受けられた。発電量やコストなどの課題があり，今後は製品化に向けて支援をする。

(3) 熱音響機関は構造が簡単なため寿命が長く低コストという特徴がある。実用化に向けて県内企業を訪問しコンソーシアム形成を目指した。