

電子機器冷却用 piezo ファン

サーマルテック事業部 曾 國 浩¹・望 月 正 孝²・小坂部 知 志³・益 子 耕 一⁴
生産技術統括部 竹 中 英 二⁵
材料技術研究所 山 本 和 寛⁶・菊 竹 亮⁶

Piezo Fan for Thermal Management of Electronics

K.H. Tseng, M. Mochizuki, T. Kosakabe, K. Mashiko,
T. Takenaka, K. Yamamoto, and R. Kikutake

近年、パソコンや携帯電子機器および LED 搭載機器では、冷却モジュールの軽量化、静音化、低消費電力化、小型化などが求められている。従来のモータファンに代わり、それらの要求にこたえるため、圧電素子を用いた piezo ファンを開発した。有限要素法により piezo ファンの最適な構造を設計するとともに、支持板を付加して耐久性の向上をはかった。また、パソコンや携帯電子機器および LED 搭載機器など各種用途の熱源を想定し、piezo ファンで放熱効果を評価して、熱性能面で適用可能であることが確認できた。

In order to satisfy the demands for light-weight, low power consumption, and compact-sized personal computers, portable electronics, LED applied products and audio electronics, we have developed the 'piezo fan' that works on a different principle compared to that of motor fans. By using the finite-element method for design support, the demands for long life and compact size were achieved. Also, on the basis of the supposed application, the cooling effects and the cooling possibilities of piezo fans were confirmed by applying them to the heat sources of personal computers, portable electronics, and LED applied products.

1. ま え が き

電子機器の冷却と言えば、CPU に付いているヒートシンクおよび風をヒートシンクに送る DC 軸流ファンのイメージを思い浮かべる人が多いだろう。しかし、このような冷却モジュールにはまだ課題があり、改良あるいは代替品が求められている。例えば、DC ファンの騒音、消費電力、サイズおよび軸受けの磨耗による寿命の制限などの課題があげられる。

さらに、軸流ファンにより風を発生させる場合、回転中心付近には風が発生しない上に、風の流れが渦流であるため、通常のヒートシンクの直線流路を効率よく冷やすことができない。

piezo ファンは、主にその低騒音および低消費電力の特長によりこれまで研究されてきたが¹⁾、最近、さらに電子機器冷却モジュールの軽量化、静音化と小型化への要求によっても注目を浴びている²⁾³⁾。今回当社では、まず piezo ファンの長寿命化を実現した。また、piezo

ファンを使う放熱モジュールの省スペース化をはかった。さらに、piezo ファンの発生する空気の流れに応じてヒートシンクを設計し、複数の熱源を持つ携帯式電子機器、低消費電力 CPU および LED モジュールの応用およびその評価を行った。本稿では、それらの経緯、結果と考察について述べる。

2. piezo ファンの原理と特性

2.1 piezo ファンの駆動原理

piezo (圧電素子) の逆圧電効果 (Inverse piezoelectric effect) とは、piezo が電場の中で歪む現象である。この歪みは小さいため、大きな変位を求めるためには piezo に金属やプラスチックのブレードを貼ることでパイメタル板のように動かすことができる。図 1 (a) に示すように piezo とブレードを貼り合わせた構造体にプラス電圧を印加すると、この構造体は下向きに彎曲する。マイナス電圧を印加する場合は彎曲方向も逆方向となる。ただし、図 1 (a) の構造体で空気の流れを発生させるにはまだ変位量が足りないため、さらに変位を増加させるために、図 1 (b) のように、ブレードの自由端をさらに伸ばし、この片持ち梁構造の一次共振周波数で励振させる。この構造により、ブレードの先端が大きく振れ、団扇のように風を発生させることができる。

1 サーマルテック事業部開発部 (工学博士)

2 サーマルテック事業部長 (工学博士)

3 サーマルテック事業部開発部

4 サーマルテック事業部開発部長

5 設備技術部

6 金属材料開発部

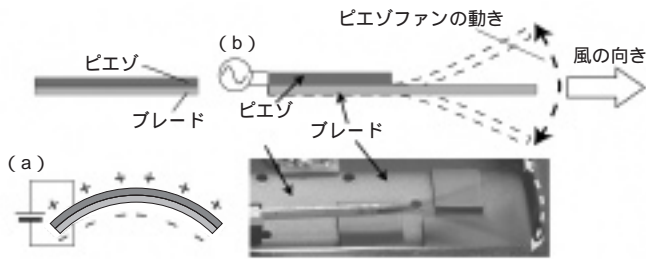


図1 ピエゾファンの駆動原理
Fig. 1. Operation principle of piezo fan.

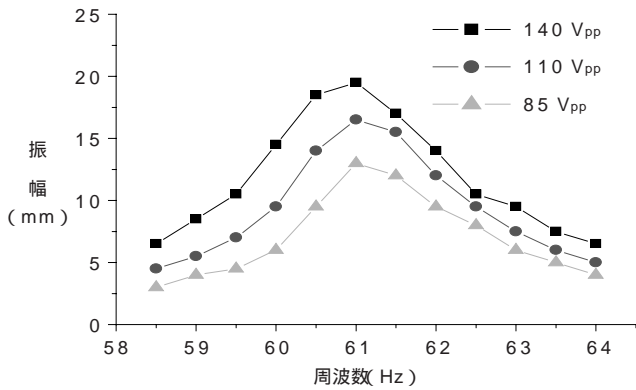


図2 ピエゾファンの特性
Fig. 2. Characteristics of piezo fan.

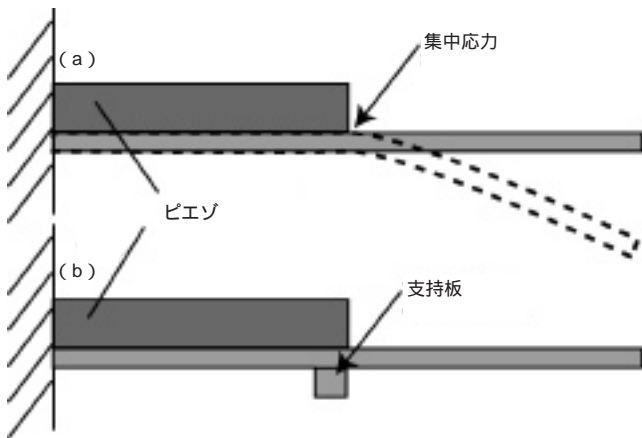


図3 長寿命の piezo ファン構造体
Fig. 3. The structure of a long life piezo fan.

2.2 ピエゾファンの特性

図2に正弦波の電圧を印加して piezo ファンを駆動するときの piezo ファン先端振幅と駆動周波数の関係を示す。piezo の歪はほぼ印加電場に比例するため、ピーク電圧 (V_{pp}) を上げると piezo ファンの変位も大きくなる。また、piezo ファンでは共振を利用するため正弦波の電圧を用いることになるが、電圧の駆動周波数が piezo ファンの共振周波数と一致すると最大変位が得られる。

表1 単層 piezo ファンと積層 piezo ファンとの比較
Table. Comparison of single and multi layer piezo fan.

構造	駆動電圧 Voltage	共振周波数 Resonant frequency	振 幅 Vibration amplitude	消費電力 Consumption power
単層 piezo ファン Single layer	65 V _{pp}	46 Hz	26 mm	7 mW
積層 piezo ファン Multi layer (10 layers)	6.5 V _{pp}	41.5 Hz	25 mm	6 mW

2.3 低電圧駆動 piezo ファン

電子機器内の部品では、高電圧は好ましくないため、図2に示すように駆動電圧を低くすることが求められる。piezo の厚みを減らすことにより電場を調整し、積層により発生する力を上げることで低電圧を使用しても同じ振幅を得られるようにすることができる。表にその例を示す。

3. piezo ファンの長寿命化

図1(b)に示す piezo ファンの構造は一般的なものであり、piezo および一枚のブレードの貼り合わせで構成される。ただし、この構造をそのまま使うと信頼性に大きな問題がある。この構造の piezo ファンを駆動する場合に、ブレード先端の慣性力が piezo の自由端に大きなモーメントをかけるため、長期間駆動すると、piezo とブレードの接着が剥がれる場合がある。また、駆動中の piezo ファンが異物と接触すると、ブレードが piezo の自由端にかかるモーメントが急に大きくなるため、この場合も piezo とブレードの剥離が発生しやすい。さらに、一般的に接着剤の接着力は高温で低下する傾向があるため、piezo とブレードの間の剥離はさらに早くなる。

図3にこの問題の対策を示す。図3(a)では piezo ファンが作動するとき応力が集中する位置を示してある。図3(b)はその応力を緩和するための構造である。応力が集中するところに支持板を設置することにより、piezo 先端付近の曲げモーメントが大きくなり、応力を分散できる。

図4に支持板の効果をも有限要素解析ソフト ANSYS で解析した結果を示す。図の中にはブレードの応力分布を見やすくするため piezo の部分を非表示に設定した。2つの図ともブレードが piezo の反対側に向けて最大変位となる時の Von Mises 応力が示されている。図4(a)は図3(a)の構造の場合の解析結果である。図に示したように、piezo 付近で大きな応力が存在することがわかる。その応力を支えるのは接着剤であるため、接着剤の接着力が落ちる場合や、その応力が異物と接触する等の外力によりさらに大きくなる場合に剥離が発生する。図4(b)に図3(b)のような支持板を付加した構造の解析を示す。図に示すように、支持板の付加により piezo 付近の応力を大きく減少させることができた。また、

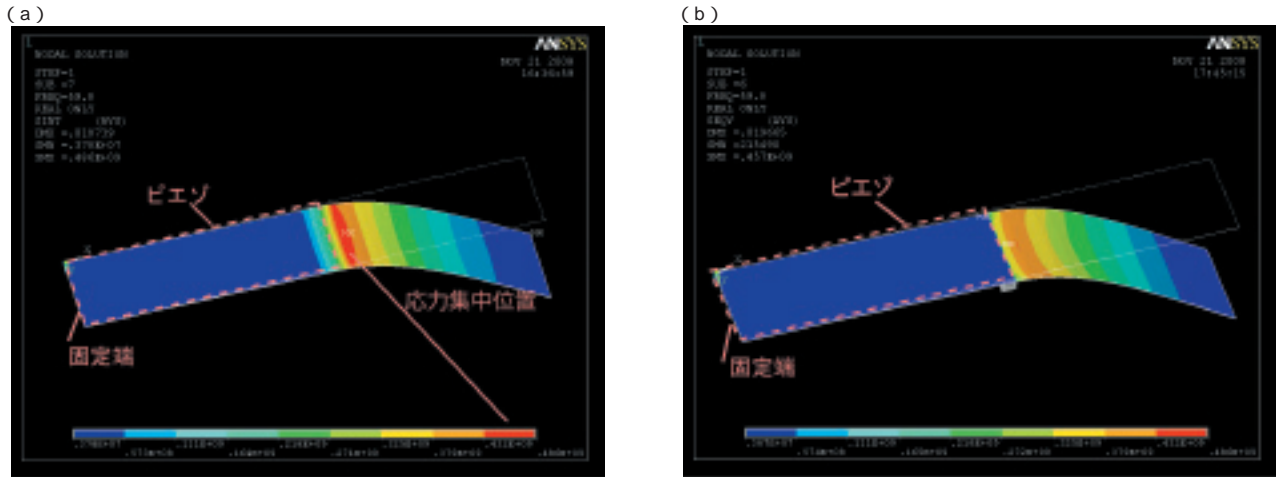


図4 (a) 支持板なしの応力解析 (b) 支持板ありの応力解析
 Fig.4.(a) Stress analysis of a piezo fan without a supporting block.
 (b) Stress analysis of a piezo fan while using a supporting block.

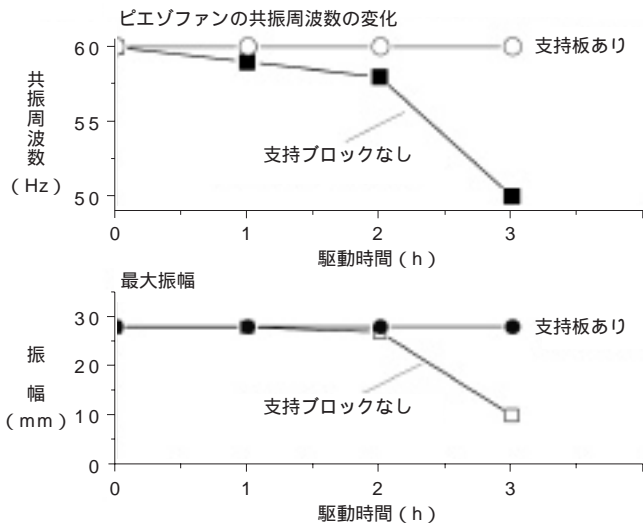


図5 高温環境での Piezoファン の特性変化
 Fig. 5. Performance change of a piezo fan in high temperature environment.

この構造を用いる場合 Piezo 自体の変位量も減少するため、Piezo とブレードの剥離が押さえられることに加え、Piezo 自体の亀裂も発生しにくくなる。

図5に共振周波数 60 Hz の Piezoファンを 100 °C の環境で試験した結果を示す。図に示すように、支持板なしの場合共振周波数が変化するだけでなく、共振周波数で駆動する場合の振幅も時間とともに減少している。一方、支持板ありの場合、接着剤の接着力が高温で落ちる現象は発生していると思われるが、その状態でも Piezo とブレードの剥離の現象は認められず、共振周波数、振幅とも長時間の駆動でも変化していない。

室温および高温高湿 (60 °C, 65 %) での寿命実験の結果では、Piezoファンが 10⁹ 回以上振動しても特性 (振幅: 30 mm, 60 Hz) の変化は観察されなかった。

4. Piezoファンによる電子機器の冷却

4.1 携帯電子機器の冷却

携帯電子機器における冷却の特徴は、冷却対象の熱源が複数あることと、各熱源の発熱量は大きくないことである。そのため、パソコン用 CPU ほど大きな冷却能力は要求されないが、なんらかの冷却対策は必要になると考えられる。さらに、その冷却対策には低消費電力および近距離での低騒音の特性が要求される。

図6に、携帯電話機器での Piezoファンの適用想定図および実験装置を示す。実験装置の中の熱源のレイアウトおよび発熱量は市販の商品に基づいて設定されている。実験で幅 3, 5, 7, 10 mm の Piezoファンが使用された。図7に測定結果幅 3 mm の Piezoファンを使用したとき各熱源の表面温度と室温の差 $T(\Delta)$ 、および筐体内部の温度を示す。図に示すように、Piezoファンにより、すべての熱源の表面温度および筐体温度が 10 ~ 20 °C に下がっている。図6に示すように Piezoファン先端部分に近い、つまり、Piezoファンの振れ幅の大きい部分に近い位置に設置された熱源 A, B, C, D の温度降下は、Acikalin ら²⁾³⁾の実験と同じ傾向を示した。Piezoファンの固定端付近の熱源 E, F の温度降下は、小型筐体中の Piezoファンの吸気および排気効果をも示している。また、目標冷却性能を十分満足する幅 3 mm の Piezoファンのノイズは 29 dBA (間隔 10 cm での測定) であり、幅 5 mm の Piezoファンのノイズは 24 dBA である。消費電力はともに約 11 mW であり、同じ冷却能力を持つ小型 DC モータを使用する軸流ファンおよび遠心ファンの 1/20 (実測値) 以下である。

4.2 LED モジュールの冷却

LED の寿命および輝度は温度上昇により低下する傾向がある。高輝度の LED モジュールは発熱量が高いため、特に冷却が必須である。図8に、バックライトとして使用される複数の LED モジュール配列での Piezo

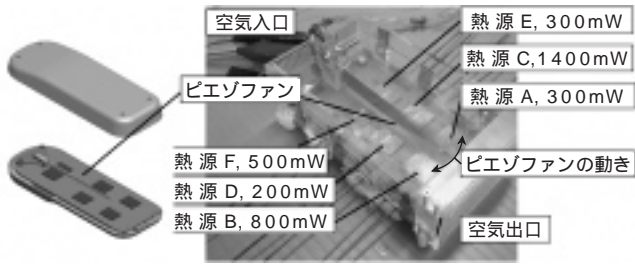


図6 ピエゾファンの携帯電子機器への応用（イメージ図）および実物の熱源配置に基づいた実験装置
Fig. 6. Piezo fan application in portable electronic devices (imaginary picture) and the experiment setup based on a real portable electronic device IC design.

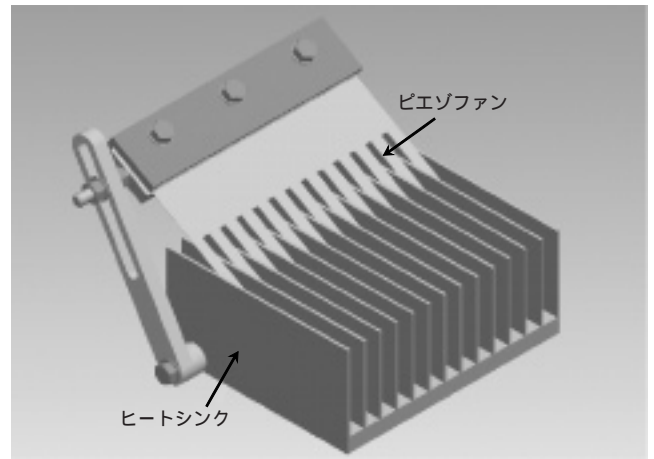


図9 レイクピエゾファン
Fig. 9. Raked piezo fan.

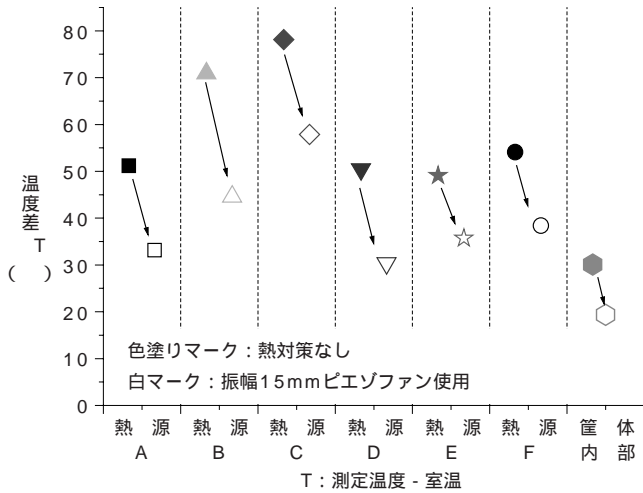


図7 小型携帯電子機器でのピエゾファンの冷却効果
Fig. 7. The cooling effect of piezo fan in a portable electronic device.

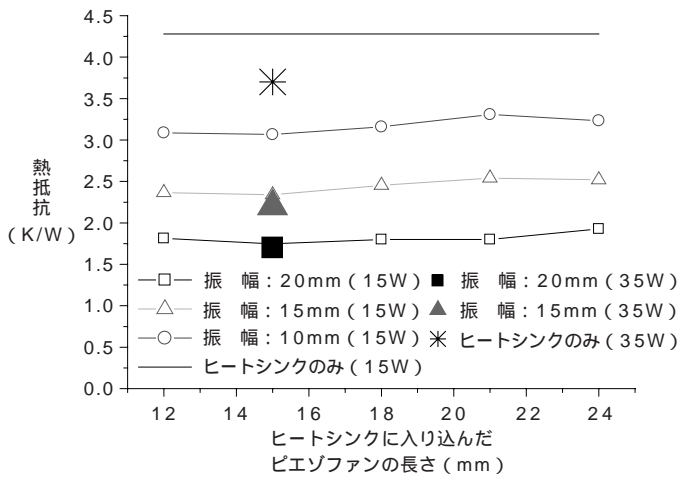


図10 レイクピエゾファンの冷却効果の一例
Fig. 10. Cooling effect of raked piezo fan.

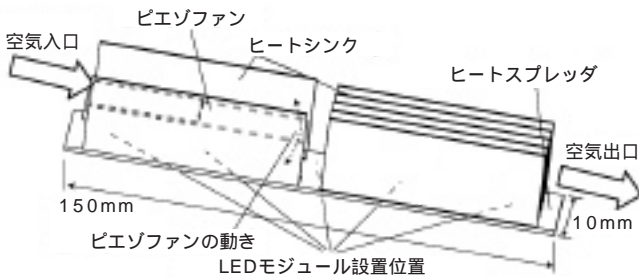


図8 ピエゾファンの複数のLEDモジュール冷却への応用
Fig. 8. Piezo fan application in LED modules cooling.

ファン冷却例を示す。冷却の標的はヒートスプレッダに設置された5個10Wの熱源である。

この冷却モジュールの設計では、ピエゾファンで空気の吸引および排出ができ、その上ピエゾファンに隣接する両側のフィンの熱境界層をピエゾファンの動きにより薄くなり、熱抵抗を低減できる。そのため、冷却モジュールの体積を従来の半以下に抑えることが可能となる（熱抵抗 4.4 /W → 2 /W）。また、熱源温度のばらつきも 1 以下に抑えることが可能である。

4.3 低コストパソコンのCPU冷却

今後、低コストパソコンの需要増大が見込まれる。低コストパソコンでは、CPUの発熱量は20 - 30W程度と少なく、低コストの冷却モジュールが要求される。図9にピエゾファンのCPU冷却への応用例を示す。ヒートシンクの境界熱抵抗を低減し、放熱能力を高めるため、ピエゾファンのブレードの先端はヒートシンクのフィンの隙間に入る構造となっており、ブレードにはそのための複数のスリットが設けられている。ブレードの先端は熊手に見えるため、レイクピエゾファン (raked piezo fan) と名づけた。ピエゾ素子を駆動すると、複数のブレードの先端が同じ振幅および周波数で振動する。ブレード部がすべてヒートシンクのフィンの隙間に入る構造のため、組み立てプロセスの簡略化および冷却モジュールのコンパクト化がはかれる。

図10にレイクピエゾファンの冷却効果実験の結果を示す。実験に使用したのは、50 × 50 × 35 mmのヒートシンクであり、フィンの枚数は8枚である。ピエゾは

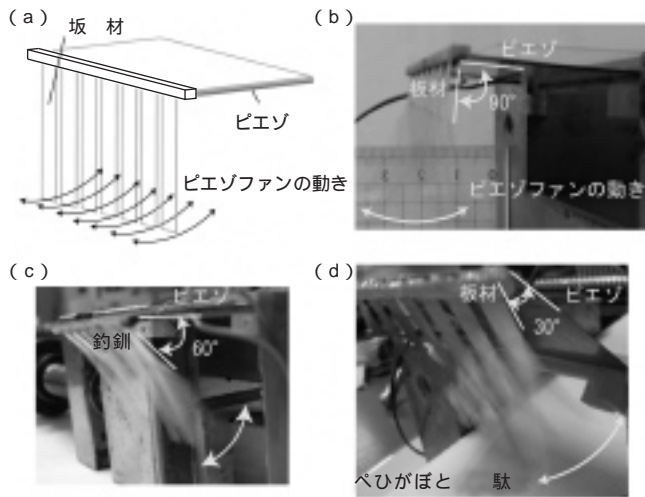


図11 コンパクトタイプピエゾファン
Fig. 11. Compact type piezo fans.

ヒートシンクの底面と平行に差し込まれている。目標値の熱抵抗 2.7 K/W に対してピエゾファンの振幅 15 mm で、ヒートシンクの熱抵抗を半分以下に下げることができた。

図9の構造ではレイクピエゾファンの一部をヒートシンクの中に入れてもピエゾの部分はヒートシンクの外側にはみ出している。当社では、現在のデスクトップパソコンの小型化、コンパクト化のトレンドに合わせるため、エネルギーの伝達に配慮し、ピエゾおよびブレードに角度を設けても振幅を維持する構造の設計を行った。図11に示したのはその一部の例である。このような設計により、ピエゾをヒートシンクの底面と平行に設置することができるため、ピエゾがヒートシンクからはみ出

すことがなくなり、ピエゾファンおよびヒートシンクを含む冷却モジュールもコンパクト化することができた。

5. むすび

低コストパソコンや携帯電子機器およびLED搭載機器において、冷却モジュールの軽量化、静音化、低消費電力化、小型化の要求にこたえるため、これらの機器に対応可能なピエゾファンを開発した。これらの機器の商品化に対応するため、ピエゾファンの長寿命化の達成とコンパクト化の実現に成功している。また、ピエゾファンの特性に合わせてヒートシンクの設計も行い、ピエゾファンと合わせて評価を行った結果、市販の現行冷却モジュールとほぼ同じ冷却能力を持たせた場合でも、静音、小型化の実現等ピエゾファンの優位性を検証できた。今後はピエゾファン冷却モジュールとして商品化に向けての量産技術を開発し、信頼性等特性評価を続ける予定である。

参考文献

- 1) M. Yorinaga, et al. : "A piezoelectric fan using PZT ceramics", Japanese J. Applied Physics, Vol. 24, No. 3, pp.203-205, 1985
- 2) T. Acıkalın, et al. : "Experimental investigation of the thermal performance of piezoelectric fans", Heat Transfer Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 4-14, 2004a
- 3) T. Acıkalın, et al. : "Optimal design of miniature piezoelectric fans for cooling light emitting diodes", Inter Society Conference on Thermal Phenomena, pp. 663-671, 2004b