C206 電子機器の廃熱を利用した電子機器冷却システムの開発

石塚 勝[○](富山県立大学), 中川 慎二(富山県立大学)

小泉雄大 (コーセル株)

Development of electronic equipment cooling system using wasted heat of electronic equipment

Masaru ISHIZUKA, Shinji NAKAGAWA and Katsuhiko KOIZUMI

ABSTRACT

We investigated the feasibility of a self-cooling mechanism, in which refrigerant in a sealed container is heated by waste heat, a turbine is rotated by the vapor generated, and the rotational force is extracted using a magnetic coupling, which in turn is used to rotate a cooling fan. As a result of repeated improvement of the prototype apparatus, circulation of the refrigerant in the apparatus was confirmed. By increasing the pressure differential between the heat chamber and the refrigerant receiver using a nozzle with optimum bore size, a rotor with an inner ring inside the chamber providing a magnetic coupling to an outer magnetic ring outside the chamber was successfully rotated. The above verified the validity of the system's principle.

Keywords: Energy saving, Cooling of electronic equipment, Wasted heat, Cooling fan

1. 緒 論

近年、電子機器や電気機器の熱問題が深刻さを増しているが、このような機器内で発生した熱をそのまま大気放出する冷却方法は、省エネルギーの観点から問題となりつつある。

そこで、本研究では、電子・電気機器の廃熱をそれ自身の冷却に利用できるように冷却システム機構を開発するため、今回は試作機により、その原理の妥当性検討試験を行った。

2. 廃熱利用冷却構造

2.1 冷却システム機構

最近になって廃熱を利用した冷却システム機構が注目され始めた(1)。たとえば、廃熱を利用して熱電素子による発電でファンを回転させる方法がある(2)。この方法の機構は簡単であるが、熱電素子の発生電圧が低いことや、また多量に排熱する電力機器には不向きという欠点がある。本研究では、従来、熱の移動のみに使用されていたヒートパイプ内部からエネルギーを取り出すことを考えた。簡単に言えば、ヒートパイプ容器の中にタービンを設けて、加熱冷媒の蒸気流でタービンを回転させ、その動力を磁気カップリングで容器外に取り出そうとするものである。この機関の特徴は、機構は複雑であるが、将来マイクロマシン技術を応用するとコンパクトになるという以外に、容器内部の冷媒を加熱する熱源として、電子・電気機器などの廃熱を利用して冷却ファンを動作さ

せることができるので省エネの効果が期待できる点である。

2.2 動作原理

図1に自己冷却システムの動作原理を示す。ヒータにより暖められた冷媒は、蒸気流となってタービン部へと上昇移動する。タービン部の前に設けてあるノズルで蒸気を絞り、加速する。

Fig. 1 Principle of operation

ノズル部出口からタービン部までは、加熱側であるノズル部入り口より低い蒸気圧になっており、しかも容積が大きいため、ここで蒸気は膨張し、タービンを回転させたあとで凝縮し、受液部に落下する。受液部は加熱部とつながっており、受液部の液面が加熱部よりも高くその

圧力差にて液は加熱部に戻る。これを繰り返す。

3. 基本実験

3.1 実験装置と方法

図2に今回試作した実験装置を示す。装置は加熱部、

Fig. 2 Experimental apparatus

Fig. 3 Aluminum turbine (70mm 直径)

タービン部、凝縮器、受液部などによって構成されている。加熱部、タービン部、受液部にはそれぞれ熱電対が設置されており、内部温度を測定している。加熱部は冷媒が入る容器とこの容器の下部にスペースヒータが挿入され構成されている。タービン部は先細ノズルとタービンとタービンの回転力を取り出す磁気カップリング、そしてこれらを収納する容器から構成されている。タービンの支持にはセラミックボールベアリングを使用した。本研究では外輪側磁気カップリングの回転を確認するため、ファンの代わりに羽板を取り付けた。タービンは羽根が6枚取り付けられているアルミニウム製の垂直軸型タービンである。実験はフッ素系不活性液体（フロリナートFC-72）を注入した装置内を密閉し、真空ポンプで減圧して行った。ノズルは出口口径 2.0、2.5、3.0mm の3種類を用いた。

3.2 実験結果と考察（基本実験）

発熱量 73W、ノズル口径 2.0mm の条件で実験では、加熱部でヒータの加熱により冷媒が沸騰しており、受液部では凝縮部で排熱・凝縮された凝縮液が流れ出している

ことが観察され、冷媒が装置内を循環していること確認できた。しかしタービン部では、ノズルから蒸気流が勢い良く噴出している様子は見られず、タービンの羽根は回転していない。他の2種類のノズルを用いても同様であった。この原因の1つとして発熱量の不足が考えられる。加熱部の温度は67℃と冷媒の沸点（56℃）を超えていたが、それに伴う圧力上昇がなく、受液部との圧力差を十分に得ることができなかった。また、タービンを回転させるときに掛かる負荷（磁石の重さ）も影響していると考えられる。しかし内・外輪側の磁気カップリングを取り外し、最も負荷が小さい状態で同様の実験を行ったが、タービンを回転させることはできなかった。以上のことから、ノズルから蒸気は噴出しているが、非常に微弱であるためタービンが回転しなかったと考えられる。そこで、次に改良版を製作した

発熱量の増加にはニクロム線ヒータに加え2種類のシリコンラバーヒータを取り付け、合計3つのヒータで加熱させた。さらに、断熱材として材質がガラス繊維リボンを加熱部全体に巻きつけた。ノズルからの噴出でタービンが回転するかを確認するため、軽量化したタービンを用意した。羽根はプラスチック製であり、枚数はアルミニウム製のタービンと同じく6枚である。改良実験も基本実験と同じ方法で行った。加熱部と受液部との差圧の測定にはマノメータ（岡野製作所製 PA 型圧力計：最大 3.0kPa）を用いた。また、タービンの回転数の測定には、ストロボスコープ式回転計（テストー製 ストロボスコープ SR-475）を用いた

3.3 装置の改良

前述のように発熱量の不足により、加熱部と受液部との圧力差が小さく、ノズルからの噴出速度を十分に得ることができなかった。そこで、加熱部と受液部の容積を確保するため、図4に示すように装置全体を高く改造し、中心高さを 531 mm とした。

発熱量の増加にはスペースヒータに加え、加熱部の形状に合わせた2種類のシリコンラバーヒータを取り付け、合計3つのヒータで加熱させた。ヒータは装置の外部に取り付けてあるため、ヒータからの熱の外部への損失を最小にするため、材質がガラス繊維であるリボンヒータを未電気入力で加熱部全体に巻きつけ、断熱材として用いた。液量も 720 cm³ と増やした。

ヒータの増設による加熱部の温度上昇で、加熱部と受液部での圧力差があるかを計測するため、マノメータ（岡野製作所製 PA 型圧力計：最大 3.0kPa）を設置した

Fig. 4 Experimental apparatus after improvement

3.4 実験方法

改良実験も基本実験と同じ方法で行った。タービンの回転数の測定には、ストロボスコープ式回転計（テスト製 ストロボスコープ SR-475）を用いた。プローブをタービン部観測窓に可能な限り近づけて、タービンの表面の図形が確認できなくなるまで数値を上げ、それから数値を下げていき、静止して見える状態のときの数値を回転数として計測した。図5にヒータに一定の発熱量を与えた時の装置内部の温度変化を示す。実験開始後、約4時間で装置内の温度がほぼ一定になっていることが確認できる。よって、以下の結果は実験開始から4時間経過後のデータを使用するものとする。

3.5 実験結果と考察（改良実験）

図6に内輪側の磁気カップリングだけを取り付け、出口口径2.0mmのノズルを用いたときの、加熱部と受液部の圧力差とタービンの回転数の関係を示す。発熱量はスペースヒータとシリコンラバーヒータを1つ使い、その合計の発熱量を示している。タービンはプラスチック製のブレードを取り付けたものを用いた。装置改良前ヒータの発熱量73Wのときより100W増加することで、内輪側磁気カップリングを取り付けた状態でも、タービンを回転させることができた。そのときの回転数が34rpmであった。さらに発熱量を上昇させると、それに伴い圧力差が上昇し、回転数も多くなっている。最大242Wの発熱量で圧力差が1.06kPa、回転数が60rpmであった。図7に装置内部の温度変化を示す。発熱量の増加とともに加熱部の内部温度が上昇しており、69Wの発熱量上昇に対して、約36℃の温度上昇が見られた。しかし、タービン部と受液部においては、若干の温度上昇は見られるものの、それぞれ63℃、30℃前後で安定しており、加熱部ほどの温度上昇はなかった。図6,7により、加熱部の温度上昇に

伴う圧力上昇が、ノズルからの噴出速度を促進し、回転数の増加を得たと考えられる。

ノズルの出口口径を評価するため、あらかじめ内・外輪側の磁気カップリングを取り外し、最も負荷が小さい状態で実験を行い、タービンを回転させ、そのときの加熱部と受液部の圧力差、タービンの回転数を測定した。図8の結果では、ノズル口径を大きくするに伴い、圧力差が小さくなっており、ノズル口径2.0mmのときが最も大きく約2.71kPa、2.5mmのときで約1.80kPa、3.0mmのときで約1.07kPaであった。回転数はノズル口径2.5mmのときが最も多く、約638rpmであった。ノズル口径3.0mmのときの回転数が約477rpmであり、2.5mmのときと比較して約161rpmもの差となる結果となった。

これより、300W程度の発熱量では、ノズル出口口径の大きい方がタービンの回転数が多い傾向がある。しかし、大きくなりすぎると、ヒータにより暖められた冷媒の蒸気が抜けすぎてしまい、圧力差をつけることができないため、ノズルからの噴出速度を十分に得ることができない。そのため今回のように、ノズル口径が3.0mmになると極端に回転数が少なくなったと考えられる。よって、本タービンを最も効率よく回転させられるのは、出口口径が2.5mmのノズルであるといえる。

前述のように、タービンを回転させるのに最も効率がよかった出口口径2.5mmのノズルを用いて、内輪側磁気カップリングを取り付けた状態で実験を行った。発熱量を300、310、320Wと変化させ、そのときの圧力差と、内・外輪側磁気カップリングを取り付けた状態でのそれぞれの回転数を計測した。タービンはアルミニウム製のタービンを用いた。図9に各発熱量の圧力差とタービンの回転数を示す。圧力差と回転数はそれぞれ5回測定した平均の値である。

先に述べたように、発熱量の増加とともに圧力差が上昇し、回転数も多くなっているのが確認できる。3つのヒータで、最大発熱量320Wのとき、回転数は外輪側磁気カップリングを取り外した状態で約209rpmを得た。また、外輪側磁気カップリングを取り付けた状態のとき、300Wの発熱量で約31rpm取り出すことができ、320Wで約38rpm取り出すことができた。つまり、今回試作を行った自己冷却システムの最大出力は3.98Wであった。

しかし、外輪側磁気カップリングを取り外した場合と取り付けた場合とでは、80%以上の損出がある。また、先の実験結果と比較すると、発熱量300Wのとき、磁気カップリングを取り外した場合と内輪側磁気カップリングのみを取り付けた場合では、約70%、外輪側磁気カップリングを取り付けた場合に至っては約95%もの損失があることになる。

先の実験より、外輪側磁気カップリングを回転させることができたので、トルクの算出を行った。算出は回転している羽板を、バネばかり（大場計器製作所製 丸型

Fig. 5 Temperature change inside experiment equipment

Fig. 6 Pressure difference and rotation number in each heat value (Plastic turbine)

Fig. 7 Internal temperature change of each Input power

Fig. 8 Pressure difference and rotation number in each nozzle exit diameter (Aluminum turbine)

Fig. 9 Pressure difference and rotation number in each Input power (Aluminum turbine)

バネ式テンションゲージ)で押さえる方法で行った。、磁気カップリングの軸の中心からの距離 25mm のところをバネばかりで押さえ、そのときの秤量から算出した。その結果、ヒータの最大発熱量 320W のときの秤量が約 0.35N であったことから、タービンのトルクは $8.75 \times 10^{-3} \text{N/m}$ となる。これらの結果より、熱入力との比での効率では約 0.01% を得ることになる。

4. 結言

電子・電気機器の廃熱を冷却構造に利用できるように機構を開発するため、自己冷却システムを試作し、原理の妥当性を確認した。さらに今回の実験結果から以下の知見を得た。

- (1) 試作した自己冷却システム内での冷媒の循環を確認した。
- (2) 発熱量を増加させ、圧力差を上昇させることで、内輪側磁気カップリングを取り付けた状態でも、タービンを回転させることができる。
- (3) 今回試作した自己冷却システムの最大出力は 3.98W で、熱入力との比での効率では 0.01% を得た。

参考文献

- (1) 石塚勝 (2003) : 電子機器の熱設計 基礎と実際、丸善 pp. 361-364.
- (2) Yazawa ほか 2 名. Thermal Science and Engineering Vol. 10 No. 5, pp. 29-36.