

自動車の捨て熱を刈り取る？

チーム名 : 呉高専 自動車部
チーム代表者: 彌吉 峻太 (やよし りょうた)
所属: 呉工業高等専門学校 機械工学科 4年

1. 実験の目的と概要

現在の自動車のエンジンにおいて、ガソリンや軽油の燃焼によって得られる熱エネルギーの30%程度しか走行エネルギーとして利用されていないと言われます。実際、エンジンの熱エネルギーはラジエータを介して水冷あるいは空冷により、得られた熱エネルギーをわざわざ強制的に冷却し、エンジンの焼き付きなどの不具合を防いでいます。それにも関わらず、自動車のボンネットを開けると、エンジンの周辺から大量の熱エネルギーが外気に放出されていることが、エンジンの上に手をかざしただけでも体感できます。このように、自動車の熱エネルギーの70%程度を自動車は外気に無駄に捨てているともいえます(図1)。これらの捨て熱を回収したい(刈り取りたい)と感じるのは私達だけではないと思います！ 燃費偽装問題で揺れる自動車産業界に、新たな燃費向上の一手段と成り得る要素も含んでいると考えます。

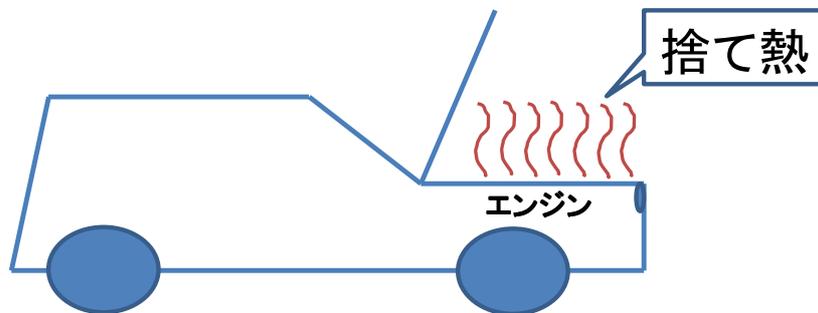


図1 エンジン周辺からの捨て熱

また、夏期においては、ボンネットや室内天板、フロントガラスやダッシュボックス周辺において太陽からの熱エネルギーを直接受けている表面があります(図2)。特に黒色系の塗料で塗られたボンネットや天板などの表面は、手を触れていることができない程、高温に熱せられことが経験的に知られています。実際、真夏に黒色のボンネット上で100度以上にもなり、目玉焼きが調理できたとのネット上での報告も見受けられます。こうした太陽から自動車への熱エネルギーも無駄に捨てられている熱の1つとして常に感じています。こうした自動車表面に蓄えらえる熱エネルギーを捨てずに回収したい(刈り取りたい)と感じるのは私達だけではないと思います！ これらの熱の刈り取りにより、室内での温度上昇を防ぐ役割にも貢献すると想定しています。

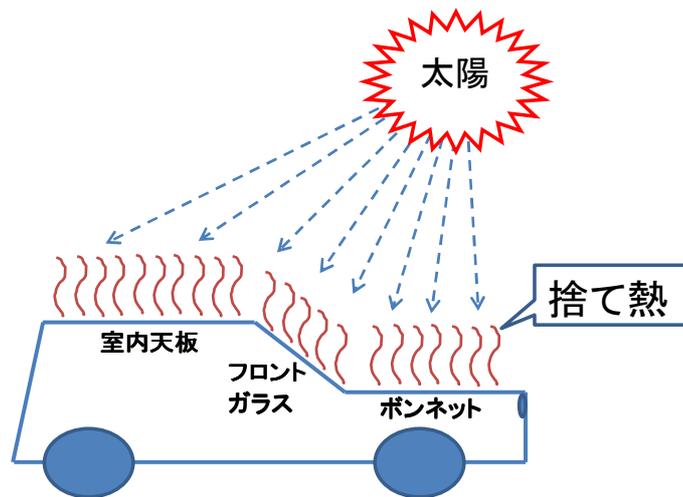


図2 太陽熱エネルギーの捨て熱

このように、自動車に注目したときに、無駄に捨てられている熱エネルギーが多く、これら捨て熱をなんとかして回収できないかと考え、本テーマである「自動車の捨て熱を刈り取る」ことを考えました。たとえば、自動車周辺の高温度を見つけ、熱電エネルギー変換素子であるペルチェ素子などを活用して、得られた電気エネルギーを二次バッテリーに蓄電し、それを自動車自身の蓄電補助機器や室内の空調補助機器など、様々な機器に有効活用することができるのではないかと考え、熱の実験コンテストに応募させていただきました。

実験の流れとしては、温度の測定、ペルチェ素子の取付、発電効果の確認、エネルギーの活用の手順で行うこととしました（図3）。

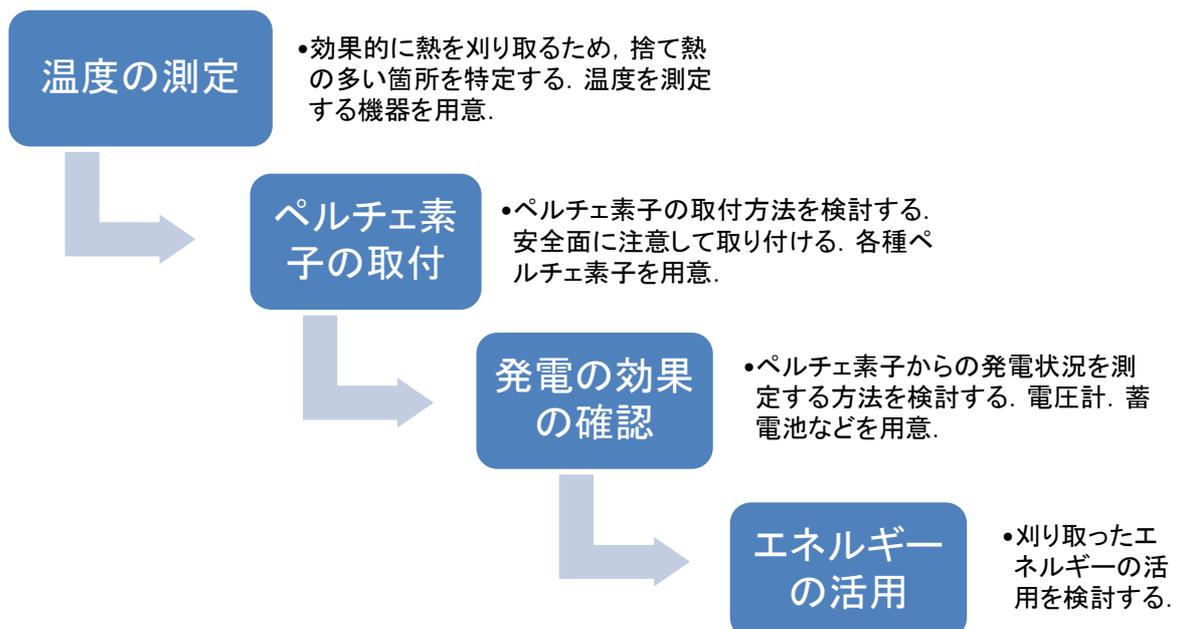


図3 熱の実験の流れ

なお、私達は自動車部 (<http://www.kure-nct.ac.jp/campuslife/MotorVehicles/index.html>) に所属している有志学生で構成されており、自動車やエンジンに関する基礎知識（手作り50ccカーレースに毎年参加）、火災等の安全面の知識（危険物取扱資格乙種4類を有する者を含む）を最大限に活かしつつ、安全を何よりも最優先して、実験に取り組むこととしました。

2. 温度の測定

2-1. エンジン周辺からの捨て熱

効果的に熱を刈り取るため、自動車周辺の捨て熱の多い箇所を特定する実験を行うこととしました。最初に自動車周辺の温度分布を効率的に測定するための放射温度計の選定を行いました。予算面を考慮して、添付の写真の5000円程度の放射温度計（1秒間に4回計測）を購入させて頂き、その操作方法の練習と大まかな実験予定を考えました。

ためしに、トヨタのノアを対象にアイドリング中の高温部を探してみました（**図4**）。エンジンルーム内は常に50度を超えている高温箇所が多く、特に排気系の出口当りが150度を超えており、熱エネルギーが常に空気中に捨てられていることが確認されました。このようなことで、今回購入した放射温度計で温度計測が十分にできることが確認できました。この様子は、学校のHP内の高専日誌において紹介しました。

<http://www.kure-nct.ac.jp/newdiary/2016/07/26.html>



図4 温度測定の様子（放射温度計を活用しました）

温度測定実験（エンジン周辺）：

「放射温度計を使い、アイドリング中の自動車の高温部分の調査実験」

対象車種：マツダ MPV

吸気系 70℃

排気系 127.5℃

排気カバー 190℃

マフラー 70℃
ブレーキロータ 前 60℃
ブレーキロータ 後 40℃
インタークーラー 50℃
エンジンフード（ボンネット）裏 48.5℃

以上より、排気系が 100℃を超える部分が多く、その中でも、排気カバーが 190℃と局所的に高温になる箇所が分かりました。なお、他の車種でも測定した結果、同じように排気カバーが高温になることを確認しました。

2-2. 太陽熱エネルギーの捨て熱

つぎに、直射日光を受けた自動車のボディ表面の高温部分を調査しました。

温度測定実験（ボディ周辺）：

「放射温度計を使い、直射日光を受けた自動車の高温部分の調査実験」

対象車種：マツダ MPV

ボディ色：黒（もっとも熱を吸収するボディ色をターゲットにしました）

結果として、ボディの表面温度は約 72℃であることが分かりました。直感的には、100℃近辺であろうと予測していましたが、実際には異なっていました。この結果を踏まえて、走行時は、空気の流れにより、冷却され、ボディ表面の温度は下がる方向になるので、**2-1節**で行った実験のエンジン排気カバー（約 190℃）の熱源の方が、倍以上の高熱源であることが分かりました。よって、エンジン排気カバーの捨て熱について、熱回収のターゲットとして絞り、**3章**にて、ペルチェ素子の取付を検討していくこととします。

3. ペルチェ素子の取付

3-1. ペルチェ素子の選定

取扱い易さを優先し、これまでに使用経験のあったペルチェ素子を選定しました。その外観を図5に、スペックを表1に示します。ネット販売で1枚 300円程度で入手できます。

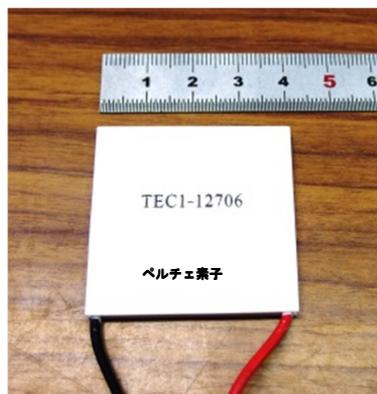


図5 ペルチェ素子の外観

表1 ペルチェ素子のスペック

製品名：半導体冷凍タブレット(耐湿シール品)
モデル：TEC1-12706
動作電流：電流 4.5A (標準) 5.8A (最大)
動作電圧：電圧 12V (標準) 15V (最大)
冷凍仕事率： Q_{cmax} 58-65W
最大温度差 T_{max} ：65°C以上
重量：25g
サイズ：40×40mm 厚さ3.9(±0.1)mm

3-2. ペルチェ素子の取付

2章の実験結果より、エンジン排気カバーの捨て熱について、熱回収のターゲットとしました。そのためには、ペルチェ素子を高温となっている排気カバーへの取付という問題があります。180°C近い高温部分への接着という意味で、耐熱性のない両面テープですと溶けてしまうなど、思ったよりも難しい技術であることが分かりました。

対応できそうな、両面テープを探して、現在以下のテープを取り付けて、溶けないかどうか検討した結果、700円程度とかなり高額ではあるが、使用できる温度範囲が-20～180° と都合の良い範囲であったため、以下の両面テープを購入した。

○スリーエム社、「スコッチ 強力両面テープ 耐熱用」、耐熱温度 180°C

排気カバーの温度が 180° を超えない箇所にペルチェ素子を取り付けることとして、両面テープの選定の問題は解決しました。ペルチェ素子を貼り付ける場所を選定している実験の様子を図6に示します。取付や取り外しのし易さも考慮し、エンジン上面の付近の排気カバーの上面に取り付けることとしました。



図6 ペルチェ素子を貼り付ける場所の検討している様子
(排気ヘッド上部は、124°程度であり、外気側との温度差が得られやすい)

4. 発電効果の確認

対象車種は顧問教員の所有するトヨタのノアを使用させて頂きました。図7の様にペルチェ素子1枚の排気カバーへの取付を完了しました。耐熱性の両面テープの粘着力の効果は十分であった。簡単に金属製の排気カバーにペルチェ素子を取り付けることができた。



図7 ペルチェ素子を貼り付けて発電効果の確認
(1枚当たり約0.4Vを発電, 3枚直列にすると約1.2Vを発電)

電圧測定実験の具体値 (アイドリング):

アイドリング時・・・カバーは約125℃、素子は約100℃を示し、約0.25Vを発電した。予想外の低電圧であり、原因を検討したところ、125℃を超える排気カバーの熱がペルチェ素子へ急速に熱が伝わり、空気側の冷却面の温度が上昇し、高温側と同じくらい(約100℃)までになっていることが分かりました。そのため、ペルチェ発電に必要な「温度差」が十分に得られないので、0.25V程度になったようです。空気側の冷却面の冷却能が予想以上に弱いということが判明しました。

この対策として、ペルチェ素子の上面冷却側にヒートシンクを接着すると素子は約90℃まで下がり、約0.4Vを安定して発電するようになった。しかしながら、まだ、発電能力が貧弱であり、乾電池1本の1.5Vには到底及ばないことが明らかとなった。

この結果から、1.5V程度の電圧を得られるようにペルチェ素子を複数枚、最低でも3枚を用意することとした。なお、ヒートシンクについては、廃棄されたデスクトップパソコンの内部からCPUを冷却するためのヒートシンク(無料)が簡単に入手できたので、これを利用することとしました。

電圧測定実験の具体値 (走行時):

アイドリング時と並行して、走行時の発電性能の確認を行いました。空気側の冷却面の冷却能は、強制冷却となり、いくらか発電性能は上昇するかと予想した。

しかしながら、実際には、走行時は時折、エンジンの熱上昇を抑えるラジエータによる水冷でエンジンが冷やされるため、ラジエータの自動スイッチのオン・オフにより、0.2V~0.5Vの間の電圧値を行ったり来たりし、一定の電圧値を取らないことが分かった。

特に 0.2V あたりを示す状態では、ラジエータが駆動しエンジンからの放熱量が小さくなっていると考えられる。

以上のことから、アイドリング時も走行時も、時間平均的な発電量は約 0.4V と、たいして変わらないことが分かった。つまり、乾電池 1 本の 1.5V 程度を得るためには、ペルチェ素子を 3 枚直列（約 1.2V）に使用すればよいということになります。

図 8 のようにエンジンの排気カバーにペルチェ素子を 3 枚直列に配線し、アイドリング時と走行時とも約 1.2V が安定して得られることを確認しました。（実験状況のメール報告時に「3 枚並列」と報告しましたが、「3 枚直列」の誤植でありました。大変失礼いたしました。）



図 8 エンジンの排気カバーにペルチェ素子 3 枚を貼り付けた状態
（3 枚直列に配線し、ペルチェ素子の外気側にはヒートシンクを貼り付けた）

5. エネルギーの活用

エンジン上部の排気カバーに配置したペルチェ素子 3 枚で得られる 1.2V のエネルギーを活用するため、見た目でも分かり易い模型用のプロペラファン（200 円程度）を室内で回転させることとした。ある程度の空気流動が得られれば、冷暖房効果の促進に役に立つかもしれません。エンジン内から、簡単に室内へ配線し、低電流でも駆動できるモーター（MABUCHI RF-500TB, 1000 円程度）を選定し、動作実験を行いました。

プロペラファンの動作実験：

アイドリングのスタート時、0.3V 程度から回転を始め、1.2V 程度は、軽快にプロペラファンは回転しました。走行時も安定してファンが回転することを確認しました。その様子の画像を図 9 に示します。車内に設置したプロペラファンの動作の様子は添付しました動画ファイルにてご確認ください。安全のため、温まったエンジンのスイッチを切った後に撮影しました。そのため、電圧は 0.3V 程度まで下がっていますが、プロペラファンが回転していることは確認できます。プロペラファンにより、ある程度の空気流動が得られることが分かりました。ペルチェ素子の増加により、さらにプロペラファンの空気流動の効果は高まると想定されますが、今回の実験では、この段階で終了となりました。

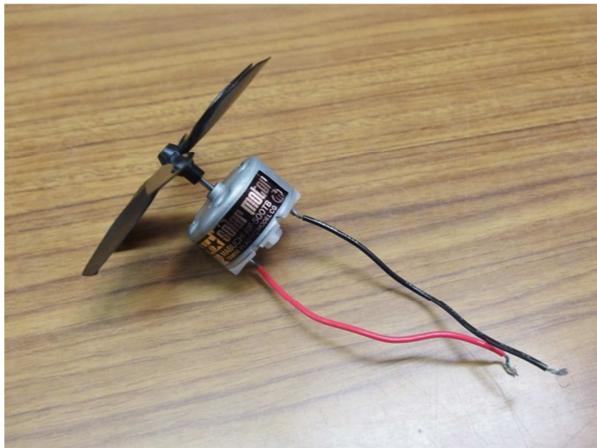


図9 モーターとプロペラファンの外観（左），車内でのプロペラファンの動作実験（右）
（モーターとプロペラファンは模型用を使用，電圧状況はテスタで確認）

6. まとめ

以上により，自動車のエンジン排気カバーからの捨て熱をペルチェ素子を介して電気エネルギーに変換し，プロペラファンの様な室内の役に立つ機器への駆動電気として使用できることを確認しました．今回の実験では，アイドリング時および走行時の両方に対して，1.2V程度の安定した発電および車内でのプロペラファンの駆動を確認するに留まりましたが，ペルチェ素子の増加により，さらにプロペラファンの空気流動の効果は高まると想定されます．また，LEDの発光，携帯電話の充電など，自動車室内のさまざまな電気機器のエネルギー源として，自動車の捨て熱の刈り取り（活用）の応用面へとつながると考えられます．

～ 謝辞 ～

このような熱の実験の機会を提供して頂いた株式会社八光電機様に深く感謝いたします．また，「自動車の捨て熱を刈り取る？」実験を実現するためにアドバイスを頂いた先生方，実験を手伝って頂いた自動車部の皆さんに心より感謝を申し上げます．熱エネルギーの取扱いの困難さと実験の面白さを本実験で体感することができ，大変記憶に残る思い出となりました．また，現在勉強している機械工学の楽しさを再確認するができました．本当に有難うございました．（図10：熱の実験を楽しんでいる様子）



図10 熱の実験を楽しんでいる様子

以上