

熱で泳ぐ魚ロボット？

チーム代表者：古久保 佳男（ふるくぼ よしお）

所属：呉工業高等専門学校 機械電気工学専攻 機械系 1 年 流体工学研究室

1. 実験の「構想」と「ねらい」

生物が進化をする過程で獲得したメカニカルデザインを理工学に融合させることが様々な分野で試みられています。その中でも、船や潜水艇の新たな推進装置として、魚類の尾ひれ機構を模した推進装置が、機械工学の分野で多くの研究者により研究されています。魚類を模した尾ひれ推進機構は、従来のスクリューやジェットによる推進に比べ、生態・環境への影響が少なく、エネルギー的にも効率が良いと言われていますが、大型・小型のスケールに関わらず、工業面への実用化までには至っておりません。そこで、小型の尾ひれ推進装置の実用化を目指しつつ、小中学生の生徒から大学生の学生に至るまでの【創造力を育む】ホビースケールで製作・改造のしやすい【熱エネルギーで泳ぐ魚ロボット教材】の開発を行うことを考えました。また、スピードレースも可能な競技コースを設営することにより、創造力を喚起する【魚ロボットの競技実践】を行うことも検討しました。本教材の製作・改造・競技実践は、小学校から大学に至るまでのエンジニアリングデザイン教育や総合教育に関わる科目に活用できるだけでなく、幅広い年齢層で男女を問わず理工学分野に関心を深めてもらう意味でも、呉地域の一般市民や小中学生を対象とした【公開講座や出前授業】などでも活用できる教材内容とし、実際に使用することにより、その教育効果を確かめました。多くの市民に製作して頂き、また、自由な発想で改造・改良することにより、スムーズに泳ぐための創造力を育む教材開発を「ねらい（図 1）」とし、泳動実験の結果および考察から、魚ロボットのみならず水中・水上ロボットの進展に少しでも寄与できればと考え本実験を遂行しました。

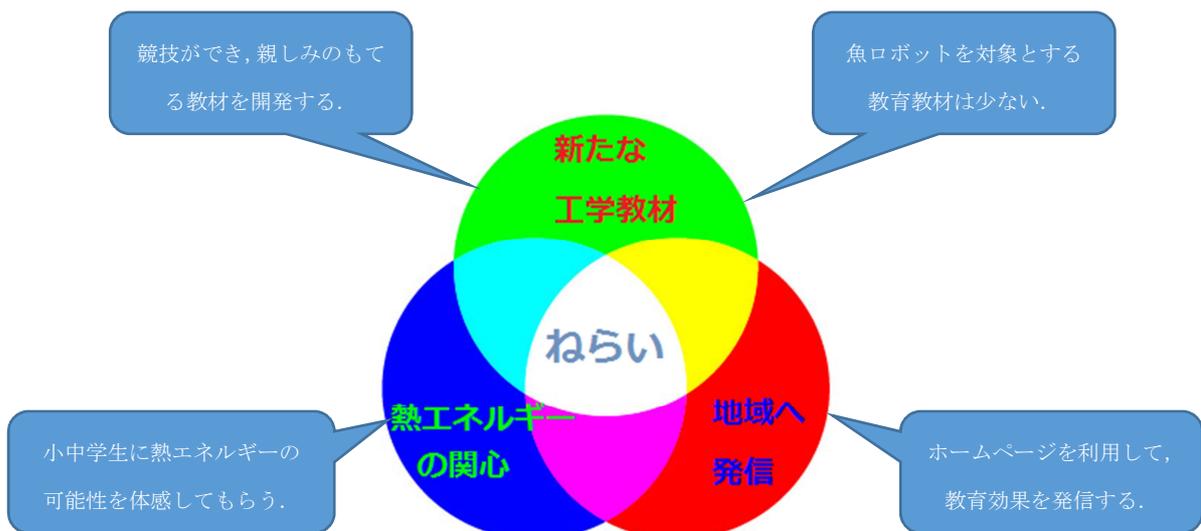


図 1 実験の「構想」と「ねらい」

2. 実験教材の基本形の検討（まずはエネルギー源を乾電池として）

熱の実験の前準備として、小中学生対象のモノづくり講座などで利用可能な、まずはアルカリ単3乾電池をエネルギー源とするオリジナルの魚ロボット教材（図2）の基本形を用意しました。これは私が所属している研究室内のメンバーで開発したもので、近隣の小中学生への出前授業や公開講座で活用しているものです。

主な構造は、スチロール製の「フロート」、単三電池2本用の「電池ボックス」、模型用の「モーター（一般的な130モーター）」、減速用の「ギヤボックス」、回転運動を往復運動に変換する「クランクアーム」、プロペラスクリューの代わりとなる「尾ひれ」から構成されます。左側のモーター側が前方であり、右側の尾ひれ側が後方です。減速用のギヤボックスについては、タミヤ模型の3速クランクギヤボックスを使用しています。フロートや尾ひれの取り付けを出来るだけ簡素にして、製作の自由度を高くしています。特に、フロートや尾ひれは、製作者のアイデアが活かせる箇所としています。この基本形の状態で、約0.2m/sの速度で水上泳動することを確認しています。小中学生の子供を対象としてのモノづくりあるいは実験に使用するには十分な工作内容と泳動速度であると言えます。

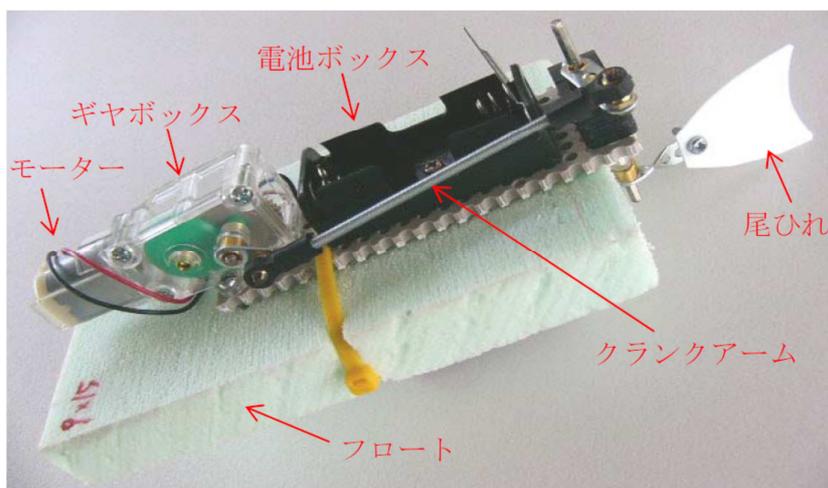


図2 試作した魚ロボット教材の基本構成（エネルギー源は乾電池）

図3は、講座等での教材の配布状態を試みました。約18cm×22cmのストックバックに全ての部品が収納できるようにしました。



図3 試作した魚ロボット教材の配布状態（乾電池タイプ）

図4は、教材と共に配布する作り方の説明書であります。A4×3枚で構成され、写真による組み立て手順を紹介したものです。モノづくりに関心のある小中学生のために説明書を作成用意しました。



図4 試作した魚ロボット教材の作り方説明書（乾電池タイプ、A4×3ページ）

この魚ロボット教材を利用して様々な箇所の実験・考察を行うことができます。たとえば、フロート形状、尾ひれ形状、尾ひれ水深位置、尾ひれの振幅・周期などが挙げられます。これらの最適な組み合わせにより、泳動速度を高めることも可能であります。表1に考察可能な箇所と考察例について整理しました。全体で14項目程度の考察箇所が考えられますが、本教材のみで十分対応できる項目には、対応性の欄に○、工夫次第で対応できるものに△を付しています。また、別途材料を用意しなければならない場合は、×を付しています。

表1 魚ロボット教材の考察可能箇所のまとめ

考察箇所	考察例	本教材の対応性
フロート	フロートの形状	○ 教材に含まれる材料を加工する
	フロートの材質	× 別途材料を用意
	フロートの表面性状	△ 表面加工が必要
尾ひれ	尾ひれ形状	○ 教材に含まれる材料を加工する
	尾ひれの振幅	△ ある程度は、変更可能
	尾ひれの周期	△ ある程度は、変更可能
	尾ひれ的水深位置	○ 尾ひれの取り付け位置を変更する
	尾ひれの材質	× 別途材料を用意
	尾ひれの表面性状	△ 表面加工が必要
船体	船体重量	○ 錘を固定して重量を増すことは可能
	船体重心位置	○ 各 부품の配置によりある程度変更可能
その他	モーターの出力変更	× 多種類のモーターを用意
	減速比の変更	△ 教材のギヤボックスでは3段階に変更可能
	電源の変更	× 多種類の電源を用意

また、競技の一例として、ミニ四駆のコースを利用し、1周するタイムを競うなどのスピード競技ができることも講座で確認しました（図5）。



図5 講座でのスピード競技の試行例（ミニ四駆のコースを用意、コース接合箇所をシーリング）

3. 実験教材の基本形の検討（いよいよエネルギー源を熱エネルギーとして）

2章のエネルギー源を乾電池として検討した試作教材を基礎として、いよいよエネルギー源を乾電池から熱エネルギーに移行することに挑戦してみました。まずは、熱エネルギーを電気エネルギーに変換させる電氣的装置として、ペルチェ素子に置き換えるアイデアを検討しました。ペルチェ素子の加熱面に熱水（75℃）を接触させ高温とした場合、非力ではあるが模型用モーターが回転し、リンクを介して尾ひれの往復運動を行う可能性があることを確かめることができました。そのときの初期アイデア図を図6に示します。ペルチェ素子の加熱面は船体上面、冷却部は船体底部として配置し、加熱面に熱湯などをかけることで電圧を発生させることとなります。冷却部は水面に接しており、常に一定の冷熱源を得ることができます。この時は冷却面にはヒートシンクを取り付け熱の放出効果を高くしようとするアイデアがありました。ただし、ヒートシンクは熱の移動を妨げてしまう結果が分かり、実際には使用しておりません。実際に使用したペルチェ素子の外観とスペック表を図7と表2に示します。魚ロボット教材で使用するペルチェ素子の大きな制約としては、水没することも考え、防水タイプを探しました。また、ペルチェ素子は今後講座で活用することも考え、安価な1枚450円程度のものを使用しました。

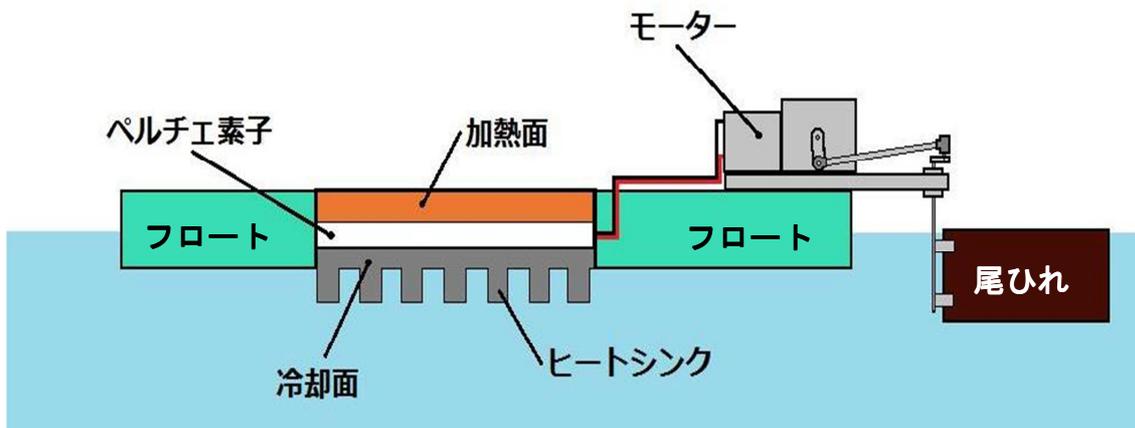


図6 乾電池からペルチェ素子に移行した魚ロボット教材の初期アイデア図（ヒートシンクは熱の移動を妨げてしまうことが判明し、実際には使用しておりません）

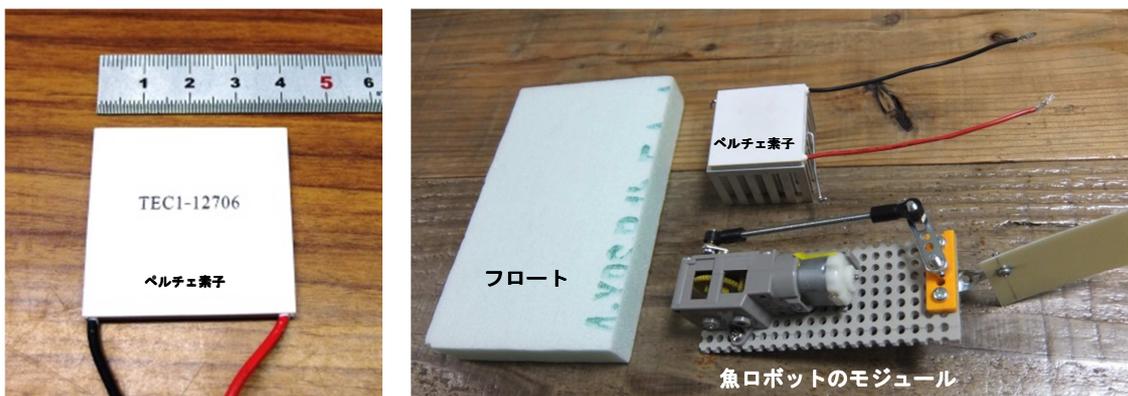


図7 ペルチェ素子（左：ペルチェ素子単体の画像，右：工作前の魚ロボットの各モジュール構成）

表2 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℃以上
重量：25g
サイズ：40×40mm 厚さ3.9(±0.1)mm

しかしながら、単にペルチェ素子を利用したとしても、乾電池と同等の動力を得ることは難しい、これまで熱コンに参加された実験テーマに見受けられるプロペラスクリュー船（H24年度、山梨大学）のように、単に「回転運動→回転運動」の利用ではなく、リンクのような機械的要素を含む「回転運動→往復運動」を利用する魚ロボットをスムーズに泳がせるには、機械工学および電気工学の総合力が必須となります。そこで、まずは、図6のアイデア図を元に図8のペルチェ素子1枚のタイプを製作しました。ちょうどフロートに熱水を入れる直方体の穴を設け、その底面にペルチェ素子を貼り付けました。

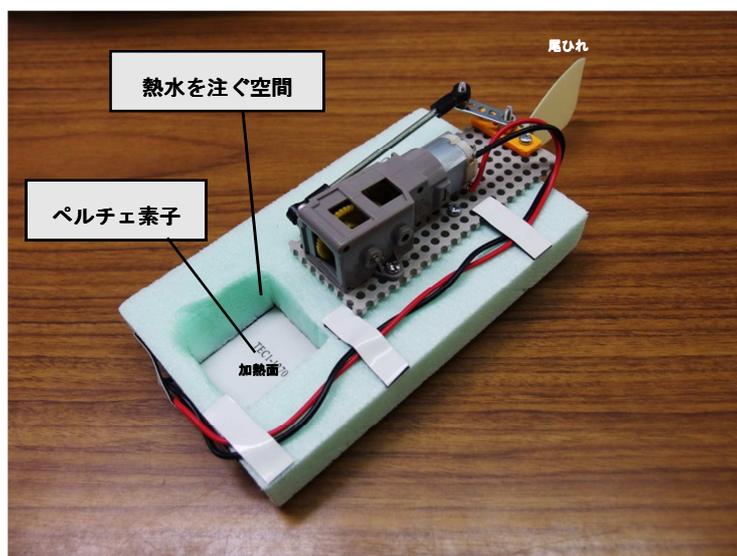


図8 ペルチェ素子を取り付けた魚ロボット教材の試作（ペルチェ素子1枚）

さらに、機械的な改造を検討しました。機械的な損失をなくすため、ギアボックスやリンク機構の周辺に以下の改造を行いました。

- ① 歯車の歯先の接触面積を減らすため、歯車の歯先面を長方形から台形になるように削る。(ミニ四駆の改造で一般に行われる事例を参考)
- ② 減速用歯車に配置されたシャフトと軸受のガタを極力無くす。
- ③ モーターの取り付けガタを極力無くす。(ビニールテープで固定するだけで、安定度が増した)
- ④ 尾ひれ付け根の回転軸と軸受とのガタを極力無くす。

これらの改造の有無による魚ロボットの動きの違いについて、乾電池を動力源として確認したところ、改造後はスムーズであることが目視と機械音で確認できました。これらの改善で機械的な損失がいくらかは減ったと推測される。

以上のペルチェ素子 1 枚を使用した魚ロボット教材について、動作実験を行った。その時の実験映像は**動画 1**に紹介します。ある程度は予想していたのですが、あまりにも非力な駆動であり、軽快に魚ロボットが泳ぐというレベルではありませんでした。機械的な駆動箇所の検討を行ったのですが、ペルチェ素子 1 枚では「泳いだ」という満足な結果は得られませんでした。とくにある程度の温度差が必要であることから、水槽の水には冷却材を入れて 0℃に近づけていないと、満足な動作をするには至らなかった。以上のことから、ペルチェ素子 1 枚タイプの魚ロボット教材は、屋外のプールや水槽で熱水を注いだけで泳ぐ魚ロボットの試験には不向きであると確認することができました。

4. 実験教材の改良形の検討 (ペルチェ素子の枚数を 3 枚として)

つぎに、そもそものエネルギー源を大きくする工夫を検討しました。製作しやすい観点から、3 章で紹介したペルチェ素子を 1 枚で泳動実験した場合、10 数秒で電圧が約 1.0V→0V へとすぐに小さくなってしまったことが分かりました。このようなことから、熱水の容量も大きくするには本体にも限界があるので、ペルチェ素子の枚数を 1 枚→3 枚 (並列接続) に増やしてフロート本体の改良を行った。図 9 にペルチェ素子を 3 枚取り付け加工を施した魚ロボットのフロートを示します。また、図 10 にペルチェ素子 3 枚を取り付けた魚ロボット教材の試作を示します。

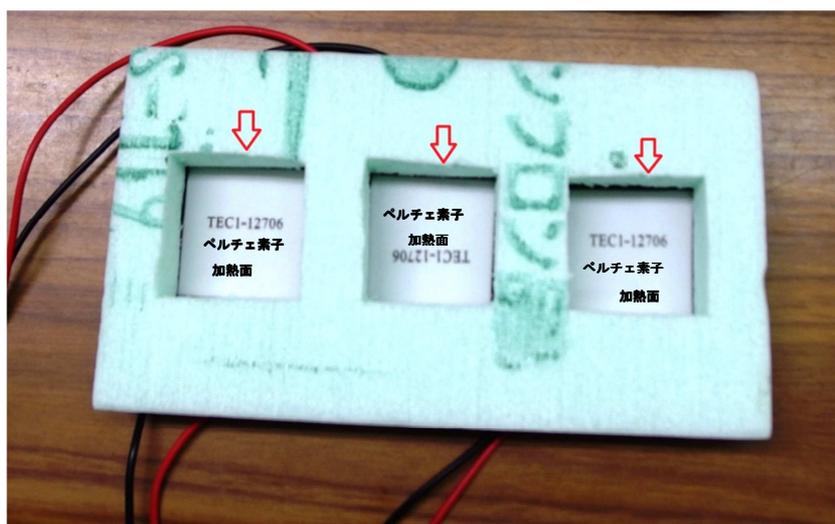


図 9 ペルチェ素子を 3 枚取り付け加工を施した魚ロボットのフロート (ペルチェ素子 3 枚)

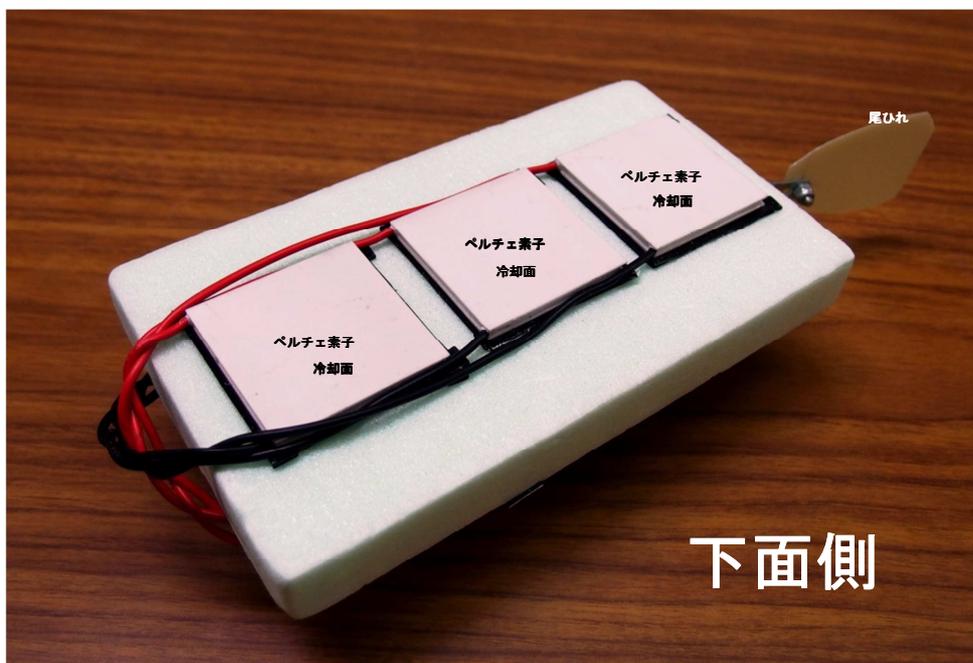
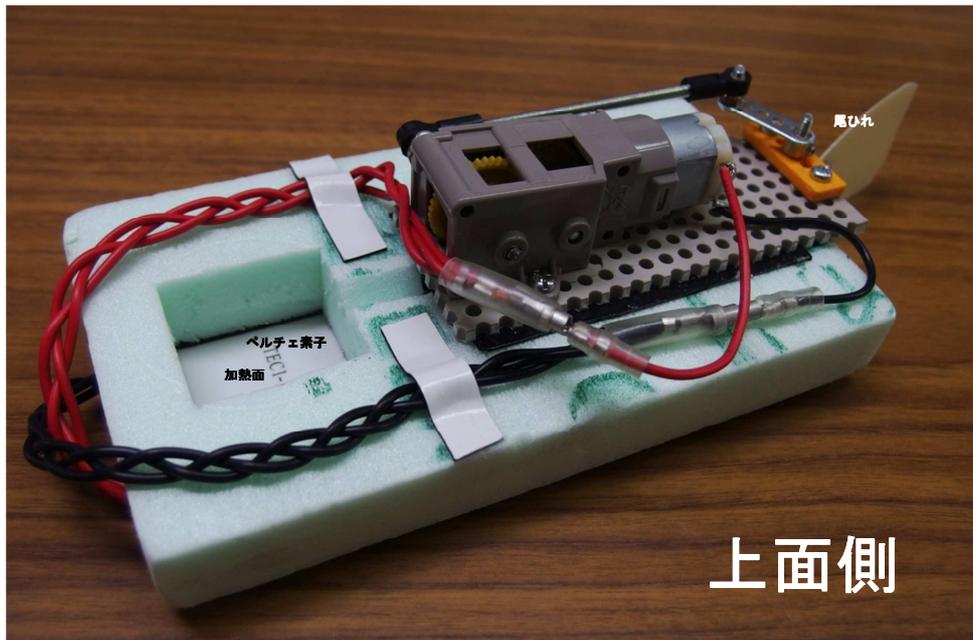


図 1 0 ペルチェ素子を取り付けた魚ロボット教材の試作（ペルチェ素子 3 枚，上：上面側，下：下面側）

最後にペルチェ素子 3 枚を使用した魚ロボット教材について，動作実験を行った．その時の実験映像は動画 2 に紹介します．室内実験で発生電圧も乾電池 2 本と同等の 3V を十分に発生していたので，ある程度の泳動性能を見込んでいたため，実験場所は屋外の広い浅い池を利用した．この池ではラジコン戦艦模型などの練習場所として利用されており，今回の魚ロボットの泳動実験場所としては非常に適していると判断した．期待していた通り，水筒に用意した熱水をペルチェ素子の加熱面に注いだところ，軽快に魚ロボットが泳いだ．ペルチェ素子 1 枚→3 枚への改良である程度泳ぐというレベルに到達することができた．泳動速度は約 0.2m/s と乾電池と同等であり，泳動時間も 1 回の熱水の補給で 1～2 分程度は持続することができた．

5. まとめ

以上により、魚ロボット教材を**乾電池タイプ (第1章)** → **ペルチェ素子1枚タイプ (第2章)** → **ペルチェ素子3枚タイプ (第3章)** へと進化させることで、**熱で泳ぐ魚ロボットの基本教材の開発を一応のレベルで達成することができました。**

しかしながら、当初、応用的な実験として考えていた泳動に関する様々な要素、たとえば流体力学（浮力、メタセンタ、流体抵抗）、材料学（軽量化、耐久性、摩擦の低減）、物理学（重心、作用反作用）、材料力学（強度問題）、機構学（リンク機構）、電気工学（ペルチェ素子等の選定、モーター選定）、熱工学（熱源の選定、断熱材の選定）などの応用的な実験についてはまだ未到達であり、今後も検討を続けていきたい。また一方で、様々な地域講座でこの教材を活用して頂き、小中学生や地域の方に熱やロボットに関心を持って頂けるよう、今後も**熱で泳ぐ魚ロボットの実験**を積極的に行い、HP等を活用し、地域から世界へ発信していこうと思います。

謝辞

このような貴重な勉強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、熱で泳ぐ魚ロボットの実現にアドバイスを頂いた先生方、実験を手伝って頂いた研究室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モノづくりの面白さを本実験で体感することができ、今後の学習意欲も高めることができました。本当に有難うございました。

以上