

平成 2 1 年度中学生・高校生の科学・技術研究論文

中学校共同研究の部 最優秀賞



水道水を利用したミニ水力発電の研究
～家庭でできるエコ発電～

二本松市立安達中学校
理科研究グループ

研究の動機

「省資源」、「省エネ」、「E C O」など、エネルギーや環境に関する問題は、地球規模で解決しなければならない課題である。

私達、理科研究グループは、一昨年には「火鑽」による発電装置の研究を、昨年「スターリングエンジン」による発電の研究を行い、これまで「自然環境に負荷を与えない発電方法」を大きなテーマに研究してきた。これまでの経緯を踏まえ、今年度も、自分達のレベルで地球規模の課題の解決に取り組み、貢献できる方法を探ることにした。

私達が今年度の研究に選んだのは、家庭内の生活用水を水力発電に活かす取り組みである。

水力発電のタービンを高速で回すには、高速の水流が必要であり、台所などで使用した後の排水は、水圧が低いことや汚れがタービンに付着することを考えると、適していない。

一方、水道の蛇口から出る水には水圧がかかっており、しかもきれいな水なので、タービンを汚さず、発電に適している。

この水を利用してタービンを回せば、どれくらいの発電が可能なのだろうか。

フィンの形状と水流から受ける力の関係

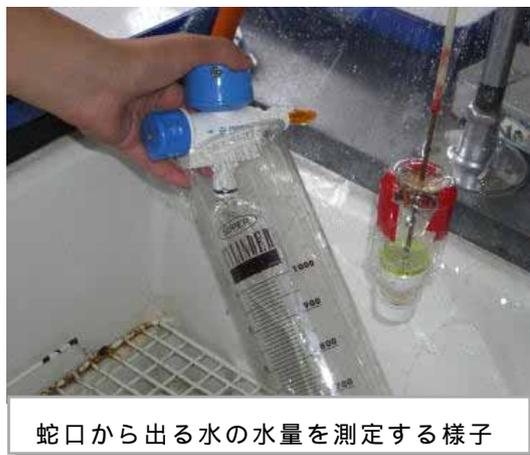
【実験 1】

一定の強さの水流を、様々な形のフィンに見立てた板に当てて、水流から受ける力の大きさを比較した。

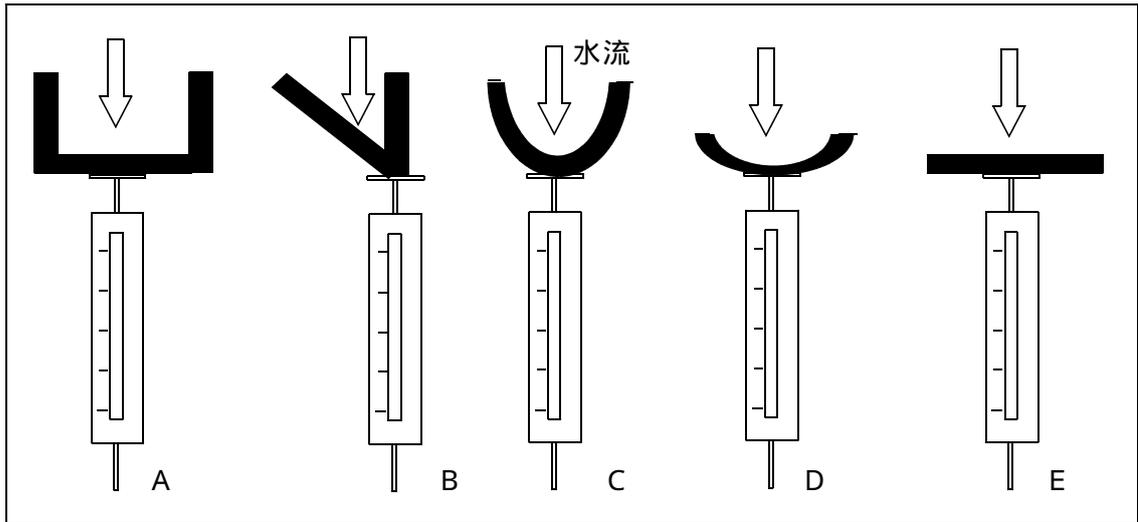
(方法)

右写真のように、1 L のメスシリンダーで一定時間に溜まる水量を測定し、水流の強さの目安とした。

図(次項)に示したように、押し引きばねはかりに板を取り付けて水流を受け、押される力の大きさを調べた。



蛇口から出る水の水量を測定する様子



(結果)

1874 mL / 分の水流を30秒間当てた平均値は、次の通りであった。

形	A	B	C	D	E
受ける力 [N]	0.40	0.43	0.40	0.38	0.30

受けた力が最も大きかったのはB、最も小さかったのはEであった。しかし、A・B・Cの結果に大きな差はなかった。

(考察)

中央部が凹形になっているものは、受ける力が大きく、水平なままの板は受ける力が小さい傾向がある。

A・B・Cの場合は、板に当たった水が、板を押し向きと反対方向にはじかれる。それが反作用の力を生み、板はさらに押されるようだ。

それに対してDやEは、板に衝突した後の水が主に横方向に広がり、反作用の力を生み出さない。そのため、D・Eが押される力はA・B・Cよりも小さいと考えられる。



発電装置の試作

【タービンの製作】

右図のように、銅板を切断してフィンを作り、木製の円盤に取り付けた。

なお、実験1の結果から、フィンの形はAタイプにした。

【カバーの製作】

水が飛び散るのを防ぎ、タービンを回した水を集めて流すため、PETボトル容器を利用して、カバーを作った。

【ノズルの製作】

タービンに当てる水の力を強くするためには、水の量を増やすか、水の流速を速める必要がある。

少ない水量でタービンを回すことも考え、吹き出し口に細いノズルを取り付けることにした。

ノズルにはボールペンの軸を使い、水が勢いよく直線的に出るよう工夫した。

【実験2】

試作したタービンの回転力を確かめた。

(方法)

タービンの回転が上がれば、発電量も増加する。約1L/分の水流を噴射してタービンを回し * 発電量を調べた。

* 豆電球（規格3.8V - 0.3A）に加わる電圧と電流の値から発電量を調べた。これ以降の実験も同様に行った。

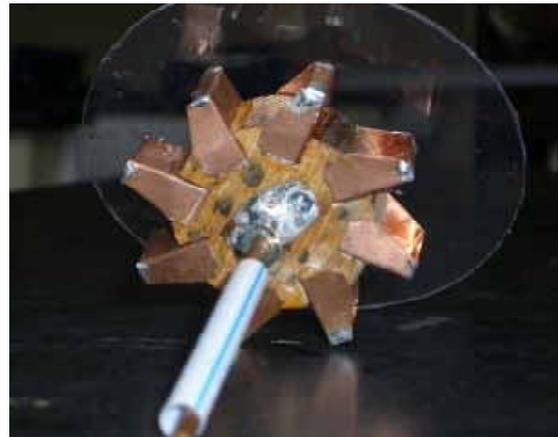
(結果)

水を当ててしばらくは、勢いよく回転するが、すぐに回転数が落ちるようだ。

(考察)

排水が追いつかず、タービンを収めたカバー容器いっぱいに水が溜まっていた。

これが、タービンが回転する抵抗になっていると考えられる。



銅板と木で自作したタービン



【実験3】

右図のように、カバーに多数の排水口を設けて、発電量を調べる実験を再度試みた。

(結果)

1分間発電した平均値は下の通りである。

(考察)

予想通り、排水口を多くした改良後の装置の方が発電量が約9倍になった。やはり、容器内に溜まった水の抵抗がタービンの動きを阻害していた。



水の抵抗以外に、タービンの動きに影響を与える要素は何だろうか。

	電圧 [V]	電流 [mA]	電力 [W]
改良前	0.04	45	0.0018
改良後	0.11	145	0.01595

効率の良いタービンの開発

効率の良いタービンを作るために、私達は次の4点に着目し、仮説を立てた。

(ア) タービンの直径

タービンの軸(支点)からフィンに水が当たる場所(力点)までの距離が大きいほど、軸を回転させようとする力が大きい。しかし、この場合「大回り」する分だけ、回転する速さは遅くなるはずだ。

(イ) タービンの重さ

タービンの軸が重いほど、運動エネルギーは大きくなるので、回転速度が上がれば発電機を回す力も大きくなる。しかし、慣性も大きくなるため水流がフィンに当たってからの反応が遅くなるはずだ。

(ウ) フィンの形状

実験1より、フィンに当たった後の水流がフィンと反対方向に跳ね返るような形にすれば、反作用の力も加わるため、タービンが回転する力は大きくなるはずだ。

(エ) 排水

(イ)より、タービンが重いほど回転速度が落ちるとすれば、タービンを回した後の水が速やかにフィンから離れないと、タービンに付いた水の分だけ重くなり、回転速度が下がることになる。

また、カバー容器の底に水が溜まってタービンに接触すると、回転速度が落ちてしまうため、排水にも注意が必要だ。

仮説

タービンの直径が小さくて軽く、フィンが「く」の字形をしているタービンが、最も発電能力が高い。

次に、仮説の検証実験を行った。

【実験 4】

(ア)の、タービンの直径による影響を調べた。

(方法)

実験 2 で使用したタービンと、質量やフィンの形状が同じで、小型のタービンを製作して、発電量を比較した。

(結果)

タービンを 1 分間作動させた平均値



左のタービンと同型で小形にしたタービン(右)

	タービンのサイズ	電圧 [V]	電流 [mA]	電力 [W]
大 型	直径 55 mm	0.5	101	0.05
	質量 21.4 g			
小 型	直径 35 mm	0.8	130	0.10
	質量 21.4 g			

(考察)

直径の大きいタービンの方が、発電量が少ない結果になったのは、回転軸からフィンまでの距離が長い分、回転した距離の割には、回転角の変化が小さいことが原因だと考えられる。

【実験 5】

(イ)の、タービンの重さによる影響を調べた。

(方法)

実験 2 で使用したタービンにおもりを取り付けて、発電量の違いを調べた。

(結果) 1 分間作動させた平均値

タービンの質量	電圧 [V]	電流 [mA]	電力 [W]
21.4 g	0.35	90	0.031
21.4 + 14.0 g	0.35	85	0.029
21.4 + 28.0 g	0.35	65	0.022

(考察)

質量の大きいタービンの方が、発電量が小さくなったのは、慣性によって、回転速度が加速しにくいためだと考えられる。

【実験6】

(ウ)の、フィンの形状による影響を調べた。

フィンに付いた水を速やかに除去する形を探る。

フィンで跳ね返る水の力を、推進力として最も効率よく利用できる形を探る。

(方法)

これまでの実験から、フィンが回転すると、フィンに付いた水は遠心力で外側へ飛ばされることがわかった。

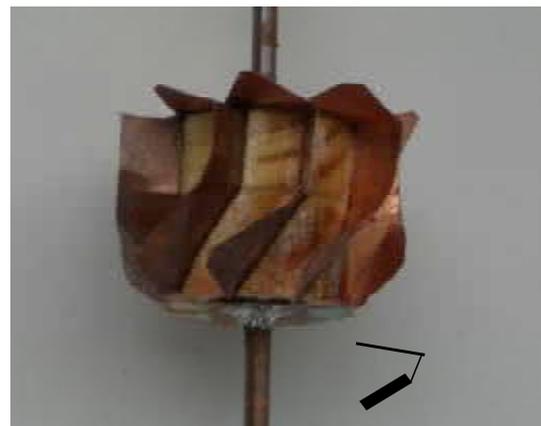
そこで、これまで使ってきた四方を囲んだ升形(箱形)のフィンと、フィンの外側の部分を解放して、水を外側へ排出しやすくしたもので、発電量を比較する。

水が付きにくく、しかも回転力を得やすいと思われる形は、実験1からフィンの形を「フ」または「く」の字形にした場合だと考えられる。

この形を基本形に、様々な形状での発電量を測定することにした。



フ形タービン(縁がフラット)



縁を折り曲げたフ形タービン

(結果) 2060 mL / 分の水を1分間噴射した場合の平均値

水量: 2060 mL / 分

フィンの形状					
電圧 [V]	0.13	0.11	0.13	0.13	0.15
電流 [mA]	162	150	173	155	198
電力 [W]	0.021	0.016	0.022	0.020	0.030

(考察)

最も発電量が大きいのは、フィンの外側の端を折り曲げたタイプであった。

他のタイプの値との差が大きいことから、フィンに当たった水が、フィンの上下だけでなく横からも噴出する点が回転力につながったのではないかと考えられる。

【実験7】

水流の強さによって、力を受けやすいフィンのタイプが異なるのかどうかを調べた。

(方法)

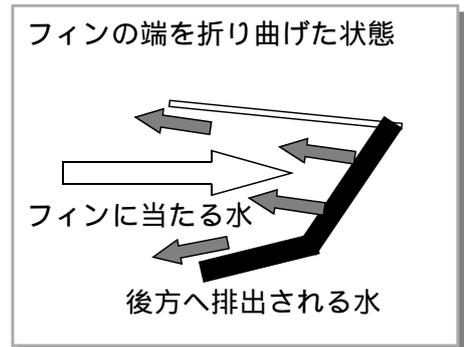
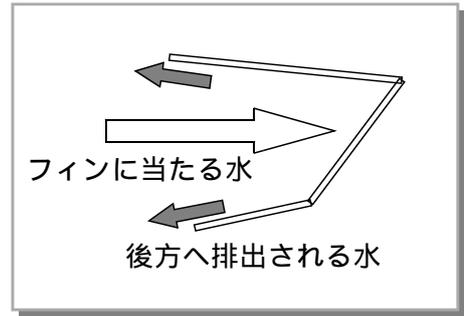
実験6の内容を、水流の強さを約1/2に弱めて行った。

(結果)

1026 mL / 分の水を1分間噴射した場合の平均値

水量：1026 mL / 分

フィンの形状					
電圧 [V]	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
電流 [mA]	175	155	160	155	165
電力 [W]	0.019	0.017	0.018	0.017	0.018



(考察)

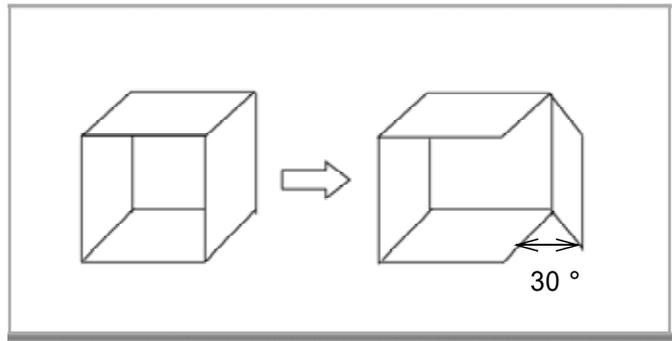
発電量の大きさにほとんど差がみられなかったのは、フィンの外側を折り曲げても水流が弱いために反作用の効果が表れなかったのだと考えられる。

実験6・実験7の結果から、予想通り反作用の力がタービンの回転に寄与していることが確認された。

「く」字形のフィンは排水に優れているが、水流を当てる場所によって得られる力の大きさが異なる場合があるようだ。そこで、付着した水の振り切りやすさは「く」字形よりも劣るが、水流が垂直に当たる「凹」字形のフィンを改良し、水切りを良くして実験することにした。

【実験 8】

右図のように、フィンの外側を約 30° 開き、水切りを改善するとともに、反作用の力も得られるよう工夫した。



(結果)

水量：2060 mL / 分

フィンの形状	■ 閉	□ 開	
電圧 [V]	0.15	0.15	0.15
電流 [mA]	175	182	198
電力 [W]	0.026	0.027	0.030

(考察)

外側を開いた方が、わずかではあるが発電量が大きかった。やはり、フィンの水切りがスムーズになったことに加え、フィンに当たった後の水を噴射する方向がやや外向きになり、すぐ後のフィンに水が当たりにくくなったことも、回転速度が増加した理由の一つだと考えられる。

「凹」字形フィンでは、タービンに噴射する水とタービンから跳ね返ってくる水の通り道が接近しているため、互いの水が衝突する割合が大きいのに対し、「く」字形フィンでは、フィンに噴射される水と、跳ね返った水の通り道が区別され、互いの水が衝突する割合が小さい。このことが、「く」字形フィンの好結果に結びついたと考えられる。

(仮説を検証した結論)

実験 4 ~ 実験 8 の結果より、仮説が成り立つことが証明された。

発電装置の実用化に向けて

次に、実際の生活場面を想定して装置を組み立て、実験を行った。装置のポイントは次の2点である。

(ア) 使い勝手を考え、小さくまとめる。

(イ) 発電量を大きくする。

まず、(ア)の条件に対しては、蛇口からノズルへ水を導入するホースの形を工夫して、塩ビパイプのアームに固定した。

また、タービンを回した後の水は、洗い物等に利用するため、装置の排水口の位置が低くなりすぎないようにして、洗い物ができるスペースを確保した。



アームに固定した発電装置



容器内のタービンの様子

【実験9】

実際の生活場面での使用を想定し、条件(ア)について、使い勝手を調べた。

(結果)

試しにピーカーを洗ってみたが、手元のスペースは十分であった。しかし、装置自体の小形化が十分ではなく、まだ圧迫感を感じた。



発電の様子 (発電機1基)

【実験10】

条件（イ）について、発電機が1つの場合と2つの場合（タービン軸の両端に発電機を取り付けた）や、箱形フィンの外側を閉じたものと開いたもので、それぞれ発電量を比較した。

なお、この実験では水を一定の位置に受けやすい、「凹」字形フィンを使用した。

発電機 2 基を作動させ、豆電球が点灯している様子



（結果）

水量：4910 mL/分

発電機の数	1	2	2
フィンの形	■ 閉	■ 閉	□ 開
電圧 [V]	0.63	1.15	1.33
電流 [mA]	132	151	167
電力 [W]	0.083	0.174	0.222

発電機を2個にすると、予想通り発電量は約2倍になり、前項の写真のように豆電球（規格3.8V - 0.3A）が点灯した。

フィンの外側を開くと、さらに発電量が増加した。

まとめ

結論

発電能力が高いタービンの条件は
（ア） 直径を小さく、軽くする。
（イ） フィンを「く」字形にする。 「凹」字形フィンよりも優れる。

成果

- 1 今回の実験により、蛇口から出た水を、
まず発電に利用する。
次に生活用水として使用する。
というスタイルでの利用が、実際の生活でも可能なことを確認できた。
今回の研究は、実用的な装置の開発の基礎になる可能性がある。
- 2 ノズルで水を噴射するため、節水の効果もあった。（約25%減）

研究メンバー

品竹	亮佑
尾形	健太
遠藤	栞
安齋	董

指導教諭 日下部準一