

環境にやさしい水力発電

玉川学園高等部 赤塚 暉洋

指導者 小林 慎一

概要

本研究では、水力発電の一種である「時流式」の発電効率と、使用しない水の割合の相乗平均を高める方法について研究した。

研究動機

この研究をしようと思った理由は、漫画で、ダムに沈められそうになる村の住民がデモを起こしたシーンを見たとき、ダムを使用する水力発電だと、環境へ打撃を与えてしまうが、逆に水力発電の中で自然にやさしいものはないのかと思ったのがきっかけである。そこで見つけたのが「時流式」である。この発電方法は、川の水の流れ（運動エネルギーの一部）をそのまま水車を回すことに利用し、発電する方法だ。環境に打撃を与えないかつ、川をそのまま利用しているのだから機械を設置する条件も簡単なものだったのだと思うので、今後いろいろなことに応用できそうだと思う興味を持ったのでこの研究をした。

本研究における基礎

本研究では、時流式のメリットを最大限活用していきたい。時流式のメリットとは、自然のまま電力を作れるといった点だ。確かに、高い電力を水力発電で作りたいなら、ダムを作り、大量の水を一度に流すのが効率の良い方法だ。しかし、それでは自然環境に打撃を与えてしまう。そうではなく、自然のまま発電したいのだ。よって、本研究では、発電に使用する水は流れている水の運動エネルギーの約4割だけとする。4割にした理由は、そのくらいなら、川の水位が多少上がるだけで問題ないし、発電量もある程度は得られると思ったからである。参考までに下の図を見てもらうと、左が、晴れが続いた日の水量である。右は台風の日



写真 1. 晴れだった日の川



写真 2. 台風の日

実験① 動機

本実験を行った理由は、モーターの電気から力学的エネルギーへ、力学的から電気エネルギーへの変換効率を知るためである。モーター同士を連結させることにより、モーターの最大発電量を調べるためである。負荷である可変抵抗を調節して最大の変換効率になる点で測定するその時のモーターの発電電力が、つぎ込んだ電力の何%なのかを知り、実験

②へ活用する為である。

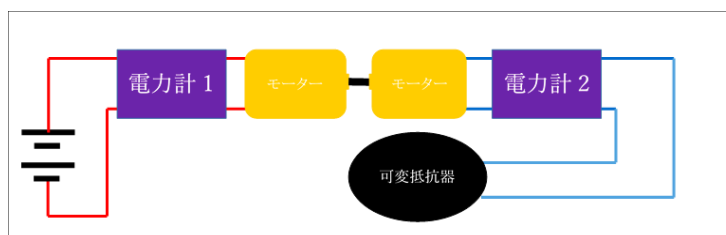


図1 実験方法①

実験① 方法

本実験で使用した装置は、「plorer GLX pasco、モーター×2、voltage current センサー、可変抵抗器、単1電池×2」である。図1のように回路を組み、左のモーターの運動を水のエネルギーとおく。そして、右のモーターは水車（実際に発電する部分）とおく。電池で左のモーターを回し、右のモーターにその運動を直接伝える。そうすることで、水のエネルギーを最大限に活用できる状況を作った。そして、電力計1をしようして、左のモーター、つまり水のエネルギーを測る。そして、電力計2を使用し、右のモーター、つまり発電量を測る。

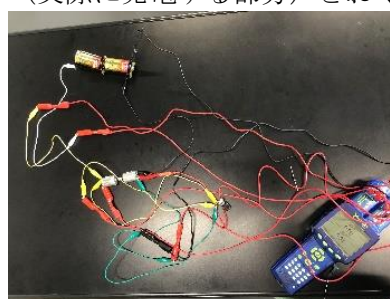


写真3. 実験方法①

実験① 結果

	電流[A]	電圧[V]	電力[W]
電力計1	0.176	2.60	0.458
電力計2	0.116	1.76	0.204

表1

実験① 考察

電気から力学的エネルギーへの変換効率を e_{EM} とし力学的から電気エネルギーへの変換効率を e_{ME} とすると $e_{EM} e_{ME} = 0.204 / 0.458 = 0.445$ となる。仮に $e_{EM} = e_{ME}$ と仮定すれば $e_{EM} = e_{ME} = \sqrt{0.445} = 0.67$ となる。これを水力発電に置き換えたとき、水のエネルギーを最大限利用しても、発電効率は70%もいかないということである。

実験② 動機

本実験を行った理由は現実の川と同じような状況を作り、そのような状態で発電し作り出される電力は水がもともと持っているエネルギーの何割かを調べるためである。明確に発電量を表さない理由は、現実の川と今回の実験で作った疑似的な川とではエネルギー量が違うので実際の発電量で表すよりも割合で表したほうが分かりやすいと思ったからだ。

実験② 方法

本実験では、写真4のような装置を組んだ。使用した器具は「塩化ビニル管、バケツ×2、モーター2種類、洗濯機用ポンプ、ホース、モーター固定用の板、ギア5:2」である。塩ビ管を川と見立て、ポンプを使って上から水を流す。今後はこの装置のことを「実験キット」と呼称する。このときに、塩ビ管の傾斜を色々変え、水の変え、様々な

水のエネルギーパターンで行っているからである。そして、水車の羽の枚数は8枚で行った。また、水車の奥の方にタイヤがついている理由は、水車の回転速度を測る為である。タイヤの部分に回転センサーを当てて回転速度を調べる。本実験を行う方法は、ポンプを使用して、塩ビ管の上から水を流



写真4 疑似的な川

し、水の運動エネルギーによって水車を回し、水車に連結しているモーターを利用して発電する、といったものである。このモーターと水車は2:5のギアで接続し、水車の回転数に対してモーターの回転数を2.5倍にあげる。

実験② 結果

これらの実験の結果が下の図2,3である。図2は、抵抗の値を変えながらそれぞれデータをとったグラフである。また、図3は、「使用していない水の割合」と、「水のエネルギーに対する発電量の割合」を相乗平均したグラフである。相加平均でなく、相乗平均した理由は、お互いの価値を同等にしたいからである。相加平均だと、「使用していない水の割合」の値が大きすぎて、平均値がそちらに引っ張られてしまうからである。互いの価値を同等にしたい理由は、発電量だけを重視すると、ダムを作ればよいという話になって面白くないからだ。逆に使用しない水の割合を重視すると、ろくに発電できないという問題が起きてしまうからである。

毎秒出てる水の量	0.264L
水車前の速さ	1.49m/s
水車の後の速さ	1.06m/s

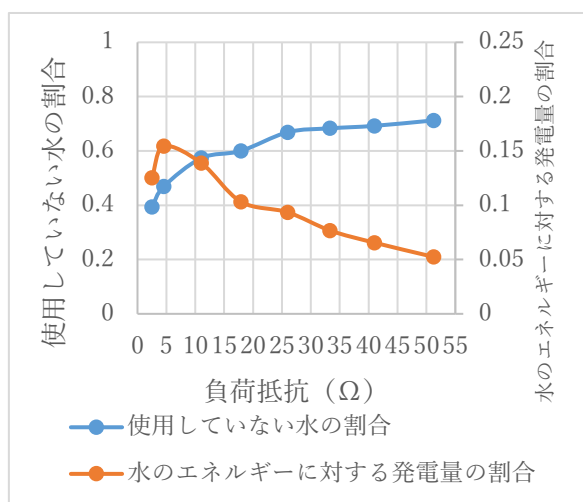


図2 負荷抵抗による変化

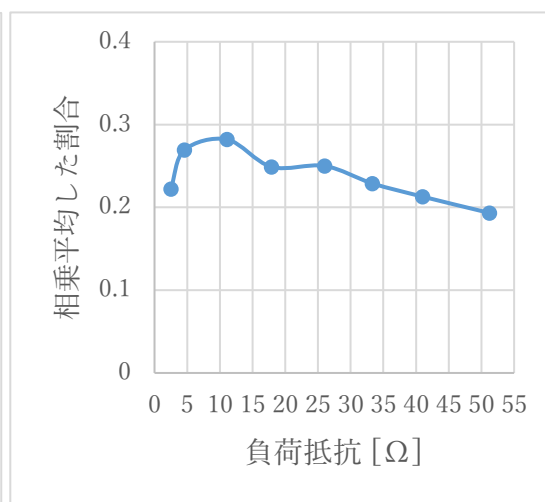


図3 相乗平均の変化

実験② 考察

これらの図から、それぞれのモーター（回転速度）によって最適な抵抗値があることが分かった。発電から見た負荷抵抗の最適値は5Ω程度、発電と未使用の水流を相乗平均し

で評価した最適値は 10Ω 程度となり、すこし差が出たが、ほぼ一致していた。また相乗平均の最適値では、未使用の水流が 60% となっており、40% しか発電に使用しないことに合致している。使用できる水の割合が約 4 割なので、約 4 割だけ使った発電量を見てみると、発電量が、水が持っているエネルギーの約 0.15 つまり 15% 発電できた。実験①より、ギアをつけなくて発電できる最大量が 70% なので、今回の実験では水を約 4 割しか使っていないので、 $70\% \times 0.4 = 28\%$ となる。よって今回の実験で出せる最大の発電量は 28% と求められる。しかし、実際に発電して得た電力は、15% と理論値よりもかなり少ない。

実験③ 動機

なぜ、発電だけを見ても適切な抵抗値が存在するのか。その原因を装置の一部ごとに分解して考えてみたいと思った。

実験③ 方法

使用した器具は、「実験キット、重り、糸」である。本実験では、水車の軸に糸を使って重りをぶら下げる。そうすることで、重りにトルクのような効果を持たせることができる。重りは様々な重さのものを用意し、それに対応する水車の回転速度を測る。こうして、発電側の負荷によって水車の観点がどのように変化するか調べる。

実験③ 結果

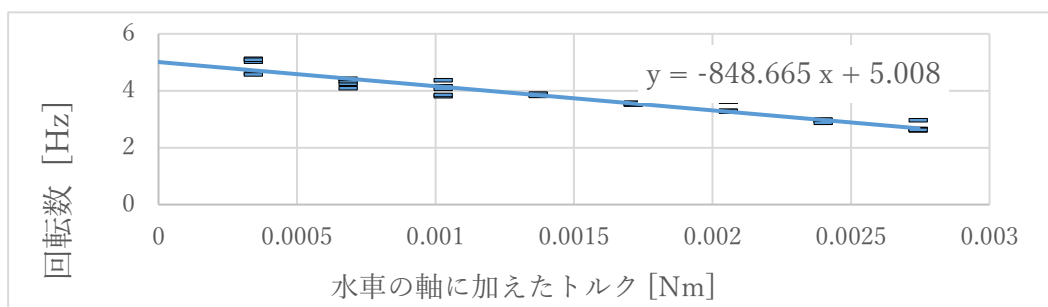


図4 水車の軸に加えたトルクと回転数

実験③ 考察

水車に負荷を加えていくと、水車の回転数が減少していくことが分かった。回転数とトルクの実験結果を一次関数で近似すると、水車にトルクを与えない本来の水流にあった水車の回転数は 5.0Hz であると読み取れる。水車の羽根の回転半径が 4cm であるので水車のある場所の水本来の流速は回転円周×回転数から 1.25m/s と考えられる。これは実験②の 1.49m/s よりやや小さい。

実験④ 動機

発電側のギヤとモーターと抵抗のセットが、負荷に加えた抵抗によって回転に加えたトルクとその際の回転数を知りたかったが一定のトルクと一定の回転数を得る実験が出来なかつたので水車の部分も使って実験し後から水車の部分の結果を差し引くことにした。

実験④ 方法

水車にモーターをかみ合わせてモーターを回す。この際モーターには負荷として抵抗をつ

ないで、回りにくくしておく。その状態での水車の回転速度と発電量を測った。

実験④ 結果 図 5,7

実験④ 考察

実験③、④のデータから水車の回転速度が同じところを照らし合わせると図6のようになる。したがって、ギヤ+発電側は負荷抵抗を小さくすると回転に必要なトルクは大きくなることわかる。

図7より、電圧は負荷抵抗が30Ω以下で急に下がっていく。これはファラデーの法則で発電電圧は回転数に比例するはずが抵抗が小さくなるとフレミングの左手の法則で回転を妨げる力が大きくなるため回転数が下がったためと考えられる。電力は負荷抵抗が下がるほど電力は大きくなるが抵抗が5Ω以下では急に下がっていく。これは、電力 $P=V^2/R$ で抵抗に反比例するはずが、抵抗があまり小さくなると発電に必要なトルクが上がり水車の回転が遅くなるためと考えられる。

図8で回転数と発電量の間関係で見ると、発電に最適な抵抗値があることが分かる。

研究の結論

結論としては、今回の水路と水車の設定では、発電効率の最も高い負荷抵抗値は5Ω程度で、一方発電効率と同時に使用しない水の割合を相乗平均で評価して最も高い負荷抵抗値は10Ω程度であり、ほぼ両立出来る設定であった。また発電効率と同時に使用しない水の割合を相乗平均の最適値で使用してない水の割合は60%であり、当初の目標の40%発電、60%水流温存という環境に優しい設定に合っていた。

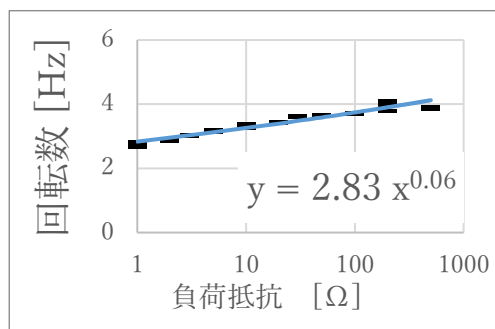


図5 負荷抵抗と回転数

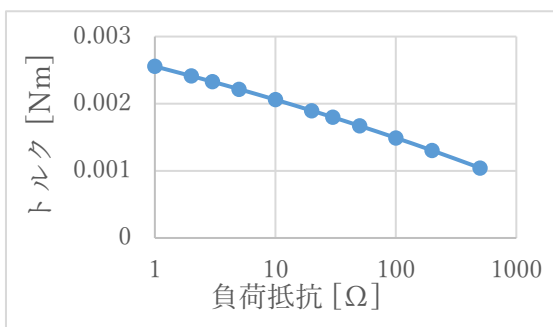


図6 負荷抵抗によるトルク

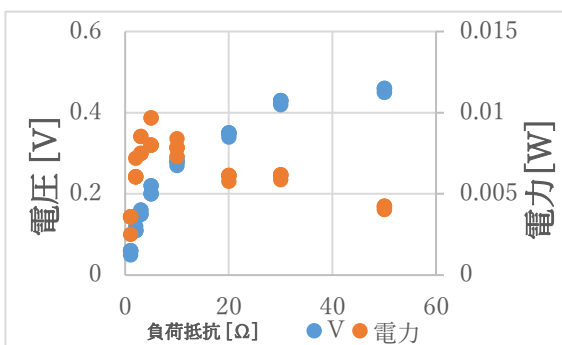


図7 負荷抵抗による電圧と電力

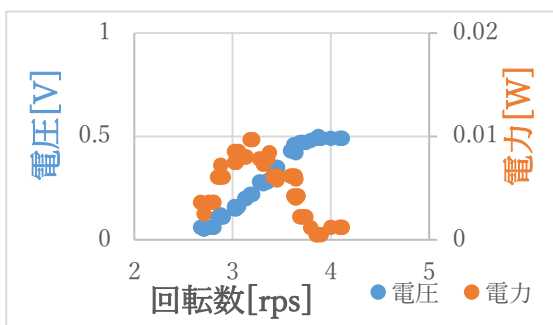


図8 回転数と発電量

謝辞

本研究を行うにあたり玉川学園高等部 SSH 物理顧問の小林慎一先生の指導を受けました。

参考文献

1. 電気事業連合会 「水力発電」

<https://www.fepc.or.jp/enterprise/hatsuden/water/index.html>

2. 河川ライブカメラシステム

<http://www.mizumori.jp/tatsuno/12senbonya.php>