

水撃ポンプを用いた揚水式発電の省エネ化

1. 研究の目的と意義

火力発電に用いられる石炭、液化天然ガス、石油などから排出される二酸化炭素が近年増加の傾向にある。温室効果ガスの一種である二酸化炭素を排出せずに発電できる方法として再生可能エネルギーの中で最も効率のよい水力発電が考えられた。水力発電は温室効果ガスの二酸化炭素を排出せず、発電や管理のコストが安く、エネルギー変換効率が高い。そして電力需要の増減に対応して発電できるメリットがある。

[代表的な水力発電の種類]

- ① 揚水式 ポンプを用いて水をくみ上げ繰り返し利用する方式
- ② 流れ込み式 河川の流れをそのまま利用する方式
- ③ ダム式 水をせき止めるダムを築き人工湖を造り落差を利用する方式

揚水式水力発電は夜間に他の発電所で発電した余剰電力を用いて水を揚水しなければならない。揚水できる高さ（実揚程）を計測し水を高く揚程することができれば揚水式発電に応用が可能になり省エネ化が可能になると考えた。

よって本研究では、水撃ポンプを自作しより高い実揚程にできる工夫について考えることを目的とする。

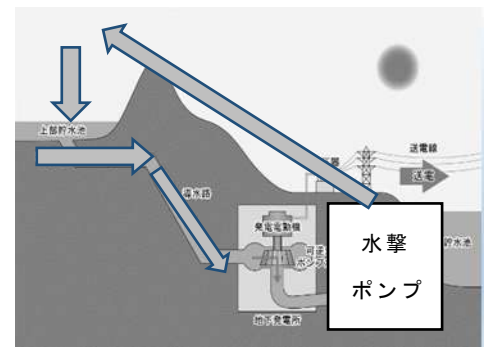


図1 水撃ポンプの利用

2. 研究内容

[実揚程とは]

ポンプが水を汲み上げられる高さ (m)

(ポンプが水を吸い込む水面の高さから吐き出し出した水面の高さまでの鉛直距離)

[揚水式発電の仕組みと応用]

発電所の上部と下部に大きな池（調整池）をつくり、昼間の電力需要の多いときは上部の調整池から下部の調整池に水を落として発電する。発電に使った水は下部の調整池に貯めておき夜間は余剰電力を使って下部の池に溜まった水を上部の池に汲み上げる仕組み。これに余剰電気を使わない発電方法としてダムの水の落差を使うことで水撃ポンプを稼働させ水を揚水でき省エネ化可能だと考える。

[水撃ポンプの仕組み]

1. 入水管から勢いよく水を取り入れる。
2. 弁室に水が流れ込む。
3. 弁室にある揚水弁が閉じる。
4. 3 が起こると入力管内が流水の運動によって水撃作用を起こす。
5. 4 からポンプ内の水圧が上がり揚水弁が開く。
6. 水が揚水管、圧力容器（ペットボトル）に流れ込むと圧力容器内の空気を圧縮する。
7. 揚水管へと流入した水は揚水管より高く水を持ち上げようとする。



図2 水撃ポンプ

8. 揚水管の流れが逆転しようとしたときに揚水逆止弁が閉じる。
9. 圧力容器内で圧縮された空気が容器内に流入した水を排出し、更に揚水口方向へ押し上がる。
全ての水が静止すると、静水圧に対して排水弁が再び開き、これまでの全過程が繰り返される。

[ポンプの材料]

ポンプ：VU50 パイプ VU50 チーズ VU50 エルボ VU50 掃除口 VP50*30 異形ソケット VP30
パイプ VP30 チーズ VP30*13 異形ソケット VP30 エルボ VP13 パイプ ペットボ
トルキャップ ペットボトル 接着剤 ホース

排水弁：VU50 キャップ 排水口皿 38 mm 6 mmナット 3個 6 mmバネ座金 重りワッシャー3個
ゴム板 5 mm 6 mm蝶ネジ VU50 ソケット 7 mmアルミパイプ まな板 全ねじ 6 mm
VU50 パイプ VU50 掃除口

揚水弁：まな板 2 mmゴム板 4 mmねじ 4 mm金属ワッシャー 4 mmナット

入力管：VU50 パイプ VU50*20 異形ソケット VU20 パイプ ホース

[組み立て方]

〈排水弁〉

- ① VU50 キャップの両端上部を切り、中央に 7 mmの穴をあける。また VU50 パイプを 5 cm切り、VU50 キャップと会わせる。
- ② VU50 パイプの外形に合わせまな板を長方形に切り、VU50 ソケットに収まる大きさにする。また、まな板の中央に 7 mmの穴をあけ、VU50 ソケットにまな板をはめ込み①と②を合わせる。
- ③ 掃除口の中央に 6 mmの穴をあけ、ホールソー25 mmでくりぬき、排水口皿に合わせ 5 mmのゴム板を切りの中央に 6 mmの穴をあける。
- ④ 6 mmの全ネジに下からナット、ばね座金、排水口皿、ゴム板、掃除口のくりぬいた部分、ナットの順に入れしっかりとめる。
- ⑤ アルミパイプと全ネジをストローク幅に切る。（全ネジを少しだけ長くする）
- ⑥ 全ネジにパイプを通し①～⑤を合わせ上部に重りを入れナットと蝶ナットで固定する。



図3 揚水弁

〈揚水弁〉

- ① VU50 パイプに入るようにまな板を切り中央に 4 mmの穴をあけ、また適当に 5 mmの穴を多数あける。
- ② 2 mmのゴム板を①のまな板より少し小さく切る。
- ③ 4 mmのネジに下からばね座金、円形まな板、円形ゴム、ワッシャー、ナットで止める。また 2 mmのゴム板を VU50 パイプの内径に合わせて切り中心部を切り抜く。

〈ポンプ〉

- ① VU50 パイプを VU50 チーズ差し込む。
- ② ①の反対側に VU50 パイプを差し込み、VU50 エルボ、VU50 掃除口（排水弁を取り付けておく）を取り付ける。
- ③ ①の上部分（中に揚水弁を入れておく）に VU50 パイプを取り付け、VU50×30 異径ソケットを取り付ける。
- ④ ③の異径ソケットに VU30 パイプを取り付け、VP30 チーズを取り付ける。

- ⑤ ④の VP30 チーズの両方に VU30 パイプを取り付け、VP30 エルボ（穴の空いたペットボトルキャップのついた VP30 パイプを取り付ける）、VP30×13 異径ソケットを取り付け、ソケットに短く切った VP13 パイプを取り付ける。

3. 実験方法

- ・実験日時：2021 年 12 月 29 日 12 月 30 日
- ・場所：江川 （本吉田周辺）
- ・測定方法：高低差のある川に水撃ポンプを設置し実際に稼働させる。
水を揚水させて水を吸い込む水面の高さを 0m としどこまで揚水できるかを測定する。



図 4 揚水

4. 実験結果

落差 1m で水を吸い込む水面の高さから 3m まで水を揚水することができた。

5. 考察と今後の課題

今回の実験で使用した自作の水撃ポンプでは水を 3m までしか揚水できなかった。

自作ポンプの性能を比較のため調べた際、実際に用いられる水撃ポンプは落差 1～30m で揚程約 300m、水量毎時 1～40 m³汲み上げることが可能であることがわかった。

実際に揚水式発電に水撃ポンプを設置するとなると今回使用した自作水撃ポンプでは揚程が足りない。揚程を大きくするには水撃圧（排水弁が閉じることで発生する圧力）を大きくする必要がある。

水撃圧を大きくするには、以下の 3 つが重要と考えた。

- ① 落差を大きくする。
- ② 流量を増やす。（水圧を大きくする）
- ③ 排水弁からの排水量を増やす。

揚水式発電は落差を用いた発電であるため落差を大きくすることは可能であると考え。また、流量と排水弁からの排水量を増やす必要がある。さらに水撃ポンプの巨大化と耐久性を高くすることが必要だと考えた。

6. 参考文献

柚木 朋也「水撃ポンプの制作と特性に関する研究」

<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssej/28/2/28>（参照 2021/7/29）

「水車（Water wheel）」 http://asait.world.coocan.jp/kuiper_belt/canal16/water_wheel.htm（参照 2021/7/29）

「水撃ポンプのしくみ」 <https://waterhammer.jimdofree.com/水撃ポンプのしくみ>（参照 2021/7/29）

「よっしゃーチャンネル」

<https://www.youtube.com/watch?v=Jn3fig0Bwk4&list=PL6cukzcZ11u4NJALmBnjRkJA16PLb0DCw&index=2>（参照 2021/7/29）

「水撃ポンプについて考えたこと - 子連れハンター」

<https://sanbikitoossan.hatenablog.com/entry/2018/05/30/160624>（参照 2021/7/29）

「水撃ポンプとは」 コトバンク <https://kotobank.jp> (参照 2021/7/29)

「水力発電 | 再エネとは | なっとく! 再生可能エネルギー」 <https://www.enecho.meti.go.jp> (参照 2021/7/29)

「発電方法の種類」 東京電力 <https://www.tepco.co.jp> (参照 2021/11/4)

「揚水式水力発電」 電気事業連合会 <https://www.fepc.or.jp> (参照 2021/11/4)

「揚水発電」 Wikipedia <https://ja.wikipedia.org> (参照 2021/11/4)

謝辞

日本工業大学 基幹工学部 機械工学科 丹澤祥晃教授 このたびは大変お世話になりました。