

複数のため池を利用した揚水発電システムの導入可能性の検討 Feasibility study on pumped storage hydroelectricity system using irrigation ponds

○廣瀬 裕一* 後藤 眞宏* 上田 達己* 浪平 篤*

Yuichi HIROSE Masahiro GOTO Tatsuki UEDA and Atsushi NAMIHIRA

1.背景と研究目的 東日本大震災での既存の発電所停止は、エネルギー不足を顕在化させた。同時に再生可能エネルギーの利用促進への国民的要求が高まっている。そのため、農林水産省も小水力発電のような土地改良施設等を利用したエネルギー開発を促進している。しかし、再生可能エネルギーは出力変動があるため、安定的な利用を行うためには蓄電等を用いる必要がある。本研究は、蓄電施設として揚水発電に着目し、農村に散在する農業用ため池を利用した揚水発電システムを開発することを目的にその導入可能性を検討する。

2.ため池揚水発電システム 本研究で提案するた

め池揚水発電システム（以下本システム）は、近

接する複数のため池（以下標高の低い池を下池、

標高の高い池を上池と呼ぶ）を連結し、1日の非

ピーク時に電力会社等が供給する電力を用いて下池から上池に揚水し、ピーク時に上池から下池に放流し発電する。ここで、揚水時に必要となる電力量 P_{up} (kW)は、水の比重 γ 、流量 Q (m^3)、全揚程 H_{up} (m)、揚水時の総合効率 η_{up} （モーターとポンプの効率の積）で計算され(1)式で示される。また発電量 P_{down} (kW)は、流量 Q (m^3)、有効落差 H_{drop} (m)、発電時の総合効率 η_{down} （発電機と水車の効率の積）で計算され(2)式で示される。本研究では、 η_{up} を0.8、 η_{down} を0.7（小水力利用推進協議会編、2006）として計算した。

3.解析方法 解析は、連続した上池と下池からなる2つのため池（以下両者を親子池と呼ぶ）を想定し、発電量を試算した。実際は上池と下池の有効貯水量が異なると考えられるが、揚水発電を行う際、両者のうち貯水量の少ない方に合わせる必要があるため上池と下池の有効貯水量 V (m^3)は同量とした。なお、式(1)、(2)の Q は、 V を稼働時間(s)で除した値になる。ため池の貯水量 V (m^3)は、わが国に存在するため池貯水量の頻度分布¹⁾（表1）から、100万 m^3 以下の各階層の中央値と池数との加重平均値を参考に30000 m^3 とした。

表1 ため池有効貯水量の頻度分布

貯水量(千 m^3)	池数
～5	48451
5～10	17515
10～30	19373
30～100	9255
100～1000	2757
1000～	213

また、灌漑期の有無や雨水による補給も考慮するため、想定ため池に集水域と受益水田をそれぞれ設定した。つくば市に立地する若森池を参考に集水域面積を88ha、受益水田面積を34haとした。降雨量はつくば市のアメダスデータを用いて、蒸発散量もMakkink式から推定した。期間は2006年5月から2011年4月までとし、5月1日から8月31日までが灌漑期、それ以外は非灌漑期として、灌漑期には全受益面積に圃場単位用水量(20mm/d)を乗じた量を放水し、池の水が必要放水量に満たない場合は全量放水する条件で計算した。

*農研機構農村工学研究所（National Institute for Rural Engineering）

キーワード：揚水発電 ため池 再生可能エネルギー 水力

有効落差を 13m（上池の水深の中央値＋標高差），全揚程を 16m（下池満水時の水深＋標高差），蓄電（揚水）および発電（放流）は 1 日 1 回とし，発電には上池から下池に移動する全流量を利用するものとした。また，非灌漑期は，灌漑期初日に満水位にする貯水期間（4 月 1 日～4 月 30 日）を除き，最大限揚水発電を行うものとした。集水域からため池への流入量は，実測値がないため集水域内の降雨量に浸透損失係数 0.8 を乗じた値とした。

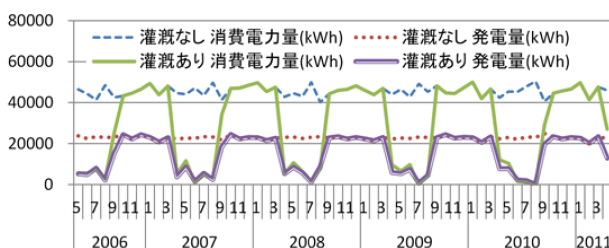


図 1 月あたりの発電量と消費電力量

表 2 灌漑期別の日平均消費電力量と日平均発電量

	灌漑なし		灌漑あり		※
	消費電力量 E_c	発電量 E_g	消費電力量 E_c	発電量 E_g	
灌漑期平均	1488.9	746.7	167.1	150.1	20.1%
非灌漑期平均	1508.0	751.1	1346.0	674.3	89.8%
年平均	1501.6	749.6	948.7	497.7	66.4%

※：灌漑なしの発電量に対する灌漑ありの発電量の割合

単位はkWh

$$\text{損益分岐点(円/kW)} = \text{コスト総額(円)} / \text{発電出力(kW)} \quad (3)$$

4.結果と考察 解析の結果（図 1），灌漑期と非灌漑期で大きな違いが見られた。具体的には，灌漑期の有無を考慮した場合の灌漑期は，発電量と消費電力量がほぼ同程度であり，概ね 1 万 kWh/月以下であるが，非灌漑期は，発電量と消費電力量間で約 2.5 倍の差が発生し，少なくとも 2 万 kWh/月以上の発電量が期待できる。この発電量と消費電力量の差は，揚水ポンプ及び発電機の稼働に係る効率が多くを占める。灌漑期別の日平均発電量（表 2）は，灌漑を行う場合の灌漑期で 112.5～228.4kWh，それ以外で約 750kWh であった。このように，灌漑期の有無で蓄電能力に大きな差が見られた。

次に，蓄電システムとしての本システムの優位性を検討するために，既存の蓄電技術とのコスト比較を行う。灌漑を行わない場合，日平均 750kWh の蓄電量が想定される（表 2）が，ここでは，揚水発電で年間の 90% の日数で蓄電率が 100% となり電力の安定供給が見込める 1 日 600kWh の蓄電に係るコストを比較する。リチウムイオン電池は，寿命が 10 年，kWh あたりの単価が 20 万円²⁾とされ，年間 1,200 万円のコストが発生する。一方，本システムの寿命は不明だが仮に 60 年とすると，リチウムイオン電池よりコストが優位になるためには(3)式の損益分岐点以下になる必要がある。600kWh の蓄電が可能なりチウムイオン電池を 60 年利用したときのコスト総額は 7.2 億円である。揚水発電の発電量は，蓄電量 600kWh を夜間電力料金の適用時間である 8 時間で揚水し，ピーク時を中心に 8 時間かけて発電する方法が，揚水用と発電用の管径が同一となるため共用可能となり，最も効率的かつ低コストと推察される。その場合の出力は 75kW で損益分岐点は 960 万円/kW である。本システムのような小規模な揚水発電については，事例がないためその建設コストは不明だが，一般的に小水力発電のコストは kW あたり概ね 100 万円であることを鑑みれば，リチウムイオン電池より優位なコスト設定が可能と推察される。

今後は，今回検討しなかった鉛蓄電池等とのコスト比較や具体的な電力使用量と発電量（蓄電能力）からみた性能評価，本システムの妥当性や適用性の検討が必要である。

1) 内田和子(2003):日本のため池，海青社，p.50.

2) 資源エネルギー庁（2009）：蓄電池技術の現状と取り組みについて，
www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90225a05j.pdf（確認日 2011.10.07）