

農業用水の活用による小水力発電の可能性 —勇払東部地区における小水力発電の検討—

厚真町土地改良区 ○中島 羊介
室蘭開発建設部 農業開発課 竹矢 俊一
室蘭開発建設部 胆振東部農業開発事業所 狩野 誠二
(独) 土木研究所寒地土木研究所 水利基盤チーム 須藤 勇二

地球温暖化防止に向けて、CO₂排出削減が急務となっている中で、循環エネルギーの評価が高まっている。

発電電源別でもっともCO₂排出量が少ないと言われている水力発電の内、農業用水に着目し、農業用水が持つ未利用エネルギーの小水力発電による活用の可能性について、国営かんがい排水事業勇払東部地区の用水施設で、比較的流量と落差の大きい導水路（管水路）と流量、落差とも小さな開水路について検討した結果を報告する。

キーワード：農業用水、小水力、発電、温室効果ガス、新エネルギー

1. はじめに

地球温暖化防止に向けて、CO₂排出量削減が急務となっている。本論文では、小水力発電を巡る最近の状況を述べたうえで、農業用水が持つ未利用エネルギーの小水力発電による活用の可能性について、国営かんがい排水事業勇払東部地区の用水施設を事例に検討した結果を報告する。

2. 小水力発電を巡る最近の状況

(1) 導入の背景

小水力発電の導入が求められる背景には、以下の項目などが挙げられる。

a) 地球温暖化防止

地球温暖化の防止が世界的な課題となっており、2007年11月のIPCC第4次評価報告書では、「世界の温室効果ガスの排出量は、工業化以降、人間活動により増加しており、1970年から2004年の間に70%増加」しており、「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が高い。」とされた。2004年の世界の人為起源の温室効果ガス年間排出量は、CO₂換算ベースで49.0GtCO₂換算/年であり、そのうち56.6%は化石燃料起源である¹⁾。

また、京都議定書で設定されているわが国の温室効果ガス排出量削減目標は、1990年と比べて2008年から2012年までの間に6%とされている。

これらに対応するため、農業用水のもつ未利用エネルギーを小水力発電により利用することは、化石燃料の消費を抑制し、温暖化ガス排出量削減に効果がある。

b) エネルギー自給率

わが国のエネルギー自給率は、1960年には57%であったものが、それ以降大幅に低下して、2006年には4%になっている²⁾。エネルギー安全保障の観点から、国内産のエネルギーを増やすことは重要であり、小水力発電は有効な手段の一つである。

c) 農林部門でのエネルギー消費

わが国全体の最終エネルギー消費は、1990年度の13,889PJから2007年度の15,794PJに13.7%増加している。このうち農林部門の最終エネルギー消費は、1990年度の98.8PJから2007年度の131.0PJと32.6%増加している³⁾（図-1）。

このように増加している農林部門でのエネルギー消費を、未利用の循環エネルギーである小水力発電で補うことにより農林部門の環境への負荷を軽減することができる。

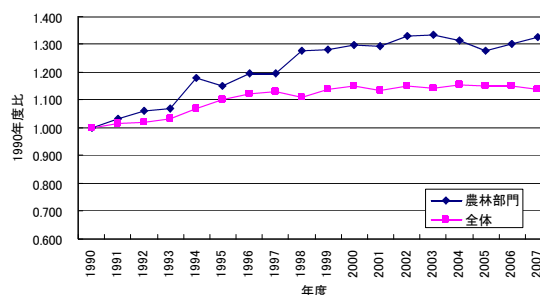


図-1 最終エネルギー消費の経年変化
(資料3)から作成)

d) RPS法

電気事業者から新エネルギー等から発電される電気を一定割合以上利用することを義務づけるRPS法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法、

Renewable Portfolio Standard) が2003年に施行された。この法律のなかで、出力1,000kW以下の水力発電が新エネルギー等として位置づけられており、小水力発電も含まれている。

(2) 小水力発電の特徴

a) ローカルエネルギー供給

小水力発電所の適地は、農山村地域に点在するため、ローカルな電力需要に対処する供給源としての機能を期待できる。また、自然災害などの緊急時に必要最小の電源として地域のエネルギー供給に貢献できる。

b) 太陽光発電との比較

太陽光発電と比較すると、太陽光は、単位面積当たりのエネルギー量が小さいので設置面積も大きくなるのに対し、水力は、エネルギー密度が高く設置面積が小さいことや、常に安定した出力で発電が行えるといった特徴を持っている。

c) 様々な流量・落差に対応

発電設備に利用される水車は約100年の歴史を持つ。地形により様々な落差や流量があるため、水車もそれに合わせて様々な種類が使われている。落差・流量による代表的な水車の適用範囲は図-2のとおりである。

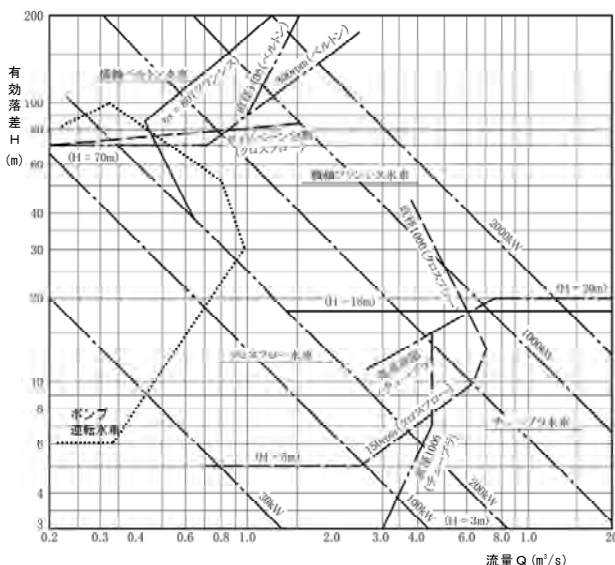


図-2 水車の選定図¹⁾

3. 勇払東部地区における小水力発電の検討

(1) 勇払東部地区の概要

国営かんがい排水事業「勇払東部地区」は、胆振支庁管内東部に位置する勇払郡厚真町の約3,000haの水田を対象に、頭首工、揚水機場、用水路、排水路の整備と農業用水の持つ地域用水機能の増進を目的とするものであり平成13年度に事業着手した。

本地区の用水路としては、図-3に示すように、北海道で建設中の厚幌ダム(補助多目的ダム)から直接取水す

る厚幌導水路1条、この導水路からの分水による用水路11条と厚真川に建設されている頭首工2カ所から取水する用水路6条がある。

厚幌導水路は最大流量8.50m³/s、最大管口径2,400mmの管水路で、9カ所の分水工から用水路を経由し圃場へ用水供給される。また、頭首工は最大取水量2.56m³/sの美里頭首工と最大取水量1.61m³/sの第9区頭首工があり、それぞれ用水路を経由し圃場へ用水供給される。

なお、小水力発電の検討にはかんがい期間である5/1から8/31のかんがい用水を対象とし、導水路(管水路)の分水地点と用水路(開水路)における揚水力発電の可能性について検討した。

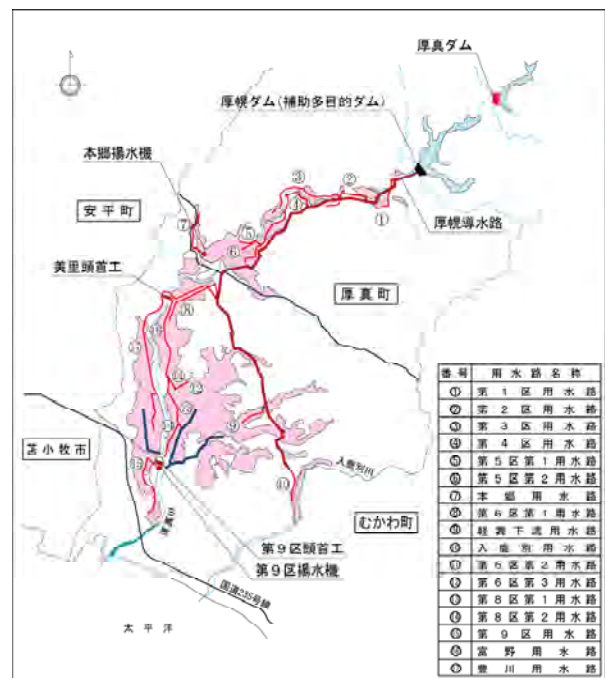


図-3 地区概要図

(2) 導水路による小水力発電の検討

a) 有効落差の検討

導水路での発電エネルギーは、落差と流量により算出される。導水路には下流用水路に分水するための分水工があり、図-4に示すとおり、用水路中に急流工を計画している地点を管水路で連絡し、管水路の損失水頭を除いた有効水頭と流量を活用した水力発電設備について検討した。なお、かんがい用水は表-1のように期別による水量が異なる。

表-1 期別有効水頭

区分	流量 (m³/s)	分水工水位 (m)	動水位 (m)	有効水頭 (m)
苗代期	1.691	35.23	25.84	9.39
代かき期	3.475	35.41	27.55	7.86
普通期	2.473	35.32	26.48	8.84
深水期	3.075	35.38	27.08	8.30

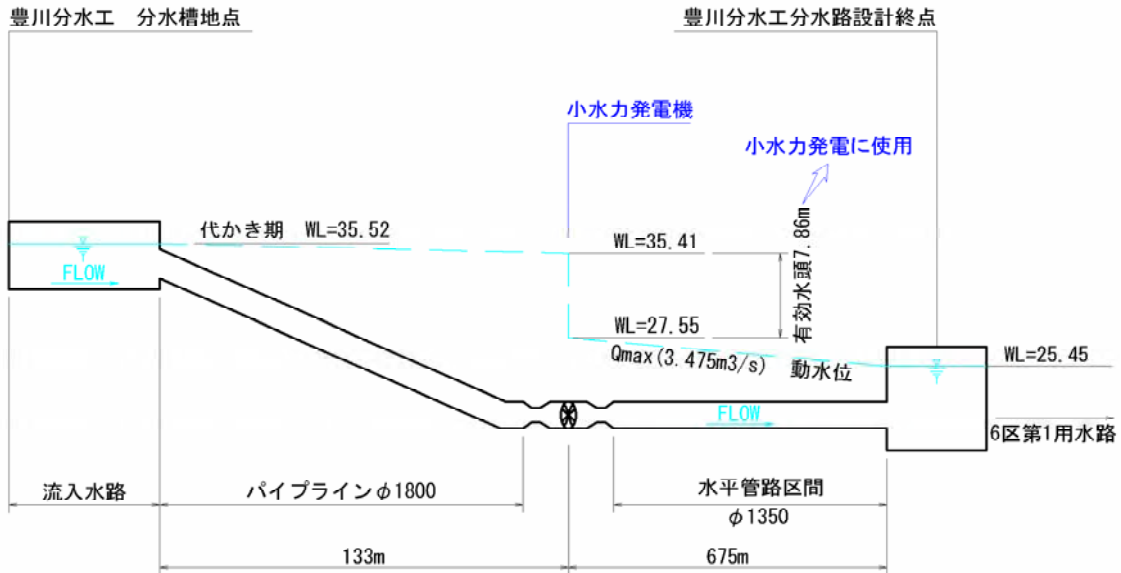


図-4 有効水頭の活用

b) 発電出力の検討

発電出力の算出式は以下のとおりである。

$$\text{発電機出力} = \text{重力加速度} \times \text{有効水頭} \times \text{流量} \times \text{発電機効率}$$

代かき期と普通期の発電出力を算出すると以下となる。

$$\begin{aligned} (\text{代かき期}) &= 9.8 \times 7.86 (\text{m}) \times 3.475 (\text{m}^3/\text{s}) \times 0.75 \\ &= 201 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{普通期}) &= 9.8 \times 8.84 (\text{m}) \times 2.473 (\text{m}^3/\text{s}) \times 0.75 \\ &= 161 \text{ kW} \end{aligned}$$

※発電機効率はメーカーカタログを参考に0.75とした。

c) 小水力発電設備計画

小水力発電の水車形式は、利用水量、有効落差、流量変動、落差変動の状況等を考慮し、最適な特性の機種選定が望ましく、トータルコストによる検討が必要であるが、本検討では本分水地点における代かき期・普通期の有効水頭と流量を考慮し、表-2から低落差・中小容量に適しているチューブラ水車を選定することとする。また、出力規模は、最も用水期として長い普通期を考慮し、既製品として直近の出力となるM型チューブラ水車1台(123kW)を選定することとした。

表-2 落差及び容量による水車の適用範囲⁴⁾

機能	落差	容量	落差 (m)	流量 (m ³ /s)	出力 (kW)
横軸ペルトン水車	高	中小	70以上	0.2-3.0	100-5000
横軸フランシス水車	中	中小	18-200	0.4-20	200-5000
クロスフロー水車	中低	小	5-80	0.1-7.0	30-100
チューブラ水車	低	中小	3-20	4.0以上	100-4000
ポンプ水車	中低	小	6-100	0.02-0.8	500以上

d) 概算工事費と地元負担金

国内の農業用水を活用した小水力発電施設で本施設と最大出力が比較的近い施設(表-3)から、本施設の建設費を400百万円とする。なお、建設費にはチューブラ水車および発電設備費が120百万円、建屋、土木工事、発電停止時の放流バイパス管および監視設備で280百万円を想定した。

表-3 小水力発電施設実施地区の建設費⁴⁾

地区	県名	発電方式	水車形式	最大出力 (kW)	建設費 (百万円)
A	大分	ダム水路式	横軸ペルトン	260	213
B	岡山	ダム式	横軸フランシス	510	539
C	鹿児島	ダム式	クロスフロー	190	122
D	富山	水路式	横軸フランシス	530	476
E	栃木	水路式	横軸フランシス	340	715
平均				366	413

地元負担金は勇払東部地区(農業用水再編対策事業)の地元負担率が8%であることから32百万円となる。

e) 発生電力の活用方法とコスト収支

発生電力の活用方法には次のようなものがある。

- ①発生した電力を農業施設(ダム、揚水機場、頭首工等)で利用する。
- ②上記で利用し余った電力を電力会社へ売電する。
- ③発生電力を全量電力会社へ売電し農業施設に必要な電力は購入電力とする。

これらについて、次のような課題がある。

- ①は、発電施設と利用施設の距離によって送電建設費、

維持管理費などのコスト面と電圧低下等の検討が必要だが、自家用電力としての利用は可能である。

②は、電力会社との協議が必要であるが余剰電力として売電は可能である。

③は、自家用電力と見なされなければ発電の許可は困難である。

上記以外にもクリアしなければならない課題はあるが、将来の循環エネルギーとしての多様な可能性を検討するという意味から、ケース③の場合のコスト収支の概算を表-4に示す。

表-4 小水力発電のコスト収支

項目	細目	売電価格 (10円/kWh) (千円)	売電価格 (24円/kWh) (千円)
収入	電力売電料金(123kW) ※1	58,095	139,429
支出	建設工事費(地元負担)	32,000	32,000
	電力購入料金(機場、頭首工) ※2	54,080	54,080
	発電施設年維持管理費 ※3	30,340	30,340
収支	収入-支出(20年間) (1年当り)	-58,325 -2,916	23,009 1,150

※1 123kW×24hr×123日×0.8(利用率)×20年×10or24

10円/kWh: 他県の売電価格を参考

24円/kWh: 太陽光発電の買取価格を参考

※2 土地改良区の実績を参考×20年

※3 小水力発電事業化へのQ&A(改訂版)より

人件費 6,000千円/年×0.5人×4/12×20年=20,000千円

修繕費・諸費 4.2千円/年/kW×123kW×20年=10,332千円

表-4に示すとおり、売電価格が10円/kWhの場合、収支は-2,916千円/年であるが、太陽光発電の余剰電力の買取価格の24円/kWhの場合の収支は1,150千円/年となる。

(3) 開水路による小水力発電の検討

表-2のとおり、一般的な小水力発電に必要なエネルギー源として落差は3m以上、流量も一定量が必要である。しかし、近年、落差1m程度、流量1.0m³/s程度で発電可能なマイクロ小水力発電機が開発されている。

本検討では冬期間取り外しが可能な流水式小水力発電機について紹介する。なお、開水路での発電エネルギーは、流速と流量から算出される。

a) 対象用水路

対象とした用水路は、勇払東部地区の現在使用している第6区第1用水路で流量は3.02m³/s、流速1.07m/sのコンクリート水路で図-5の断面である。

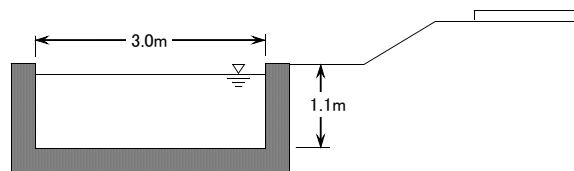


図-5 第6区第1用水路断面図

b) 発生電力量の検討

発電機出力は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{発電機出力} &= Q \times V^2 \times \alpha \div 2 \\ &= 3.02 \times 1.07^2 \times 0.45 \div 2 \\ &= 0.778 \text{ kW} \end{aligned}$$

Q: 水路に流れる流量

V: 現状水路の流速

α: 総合効率(水車効率や発電効率)0.3~0.6

※本検討では普通期の流量を使用し、総合効率は中間値とした。

発生発電量(かんがい期間: 123日)

$$\begin{aligned} \text{発生発電量} &= 0.778 \text{ kW} \times 24 \text{ (hr)} \times 123 \text{ (日)} \times 0.8 \text{ (設備利用率)} \\ &= 1,837 \text{ kWh} \end{aligned}$$

※設備利用率は「小水力発電事業化へのQ&A(改訂版)」を参考に0.8とした

発生電力量(1日)

$$\begin{aligned} \text{発生発電量} &= 0.778 \text{ kW} \times 24 \text{ (hr)} \times 0.8 \text{ (設備利用率)} \\ &= 15 \text{ kWh} \end{aligned}$$

c) 実用の可能性

本検討に用いた流水式小水力発電機(垂直二軸型水車)の設備費は約300万円/kW(メーカー聞き取り)である。

$$300 \text{ 万円/kW} \times 0.778 \text{ kW} = 233 \text{ 万円}$$

既存の第6区第1用水路では補助ポンプ(還元水利用)が使用されている。発電によって得られた電力は、このポンプの電源として活用することなどが考えられる。

なお、この流水式小水力発電では、関東農政局中信平二期農業水利事業所において、カスケード水車、シグナスミル型水車の実証試験を行い、その実用化が検証されている。発電機1台当たりの出力は700W/台と報告されており、本用水路地点における実用も可能と考えられる。

発電機価格については両タイプとも60万円以下と報告されており、小規模、安価かつ設置(冬期間の取り外し)可能な小水力発電機の実用化の可能性は高いと考えられる。

(4) 小水力発電によるCO₂排出削減について

火力(石油)と水力のCO₂排出量差は、図-6のとおり

$$742.1 \text{ g-CO}_2/\text{kWh} - 11.3 \text{ g-CO}_2/\text{kWh} = 730.8 \text{ g-CO}_2/\text{kWh}$$

であることから、導水路分水工地点における発電量が、

$123\text{kWh} \times 24\text{hr} \times 123\text{日} \times 0.8(\text{利用率}) = 290,477\text{kWh}$

CO₂排出削減量は、

$730.8\text{g-CO}_2/\text{kWh} \times 290,477\text{kWh} = 212.3\text{t-CO}_2$

となり、日本人の年間1人当りのCO₂排出量が10.20t⁵⁾であることから、CO₂の削減量は約21人相当となり、杉の木の植樹に換算すると(14kg-CO₂/kWh/1本)に換算すると約15,000本相当となる。

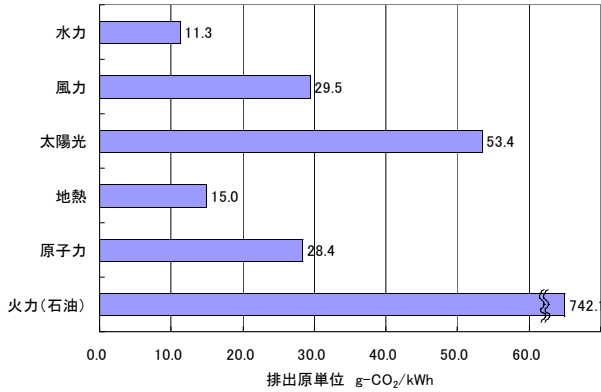


図-6 ライフサイクルCO₂排出量比較⁶⁾

4. おわりに

小水力発電導入の背景には、地球温暖化防止、エネルギー自給率の上昇、農林部門での環境への負荷軽減、R

PS法の制定などが挙げられる。

勇払東部地区での事例検討の結果として、代かき期の流量が3.475m³/sの導水路からの分土工では、発電機出力123kWのチューブラ水車を想定し、売電価格を現在の太陽光発電の買取価格である24円/kWhとした場合、地元負担と収支が整うことがわかった。また、3m³/s程度の流量を有する地区内の開水路での試算では、1日当たりの発生電力量として15kWh、設備費233万円が見込まれ小水力発電の実用化への可能性は高いと考えられる。さらに、導水路で発電した場合の年間CO₂排出削減量は212.3t-CO₂と見込まれ、その量は日本人約21人相当、杉の木約15,000本に相当することがわかった。

参考文献

- 1) IPCC第4次評価報告書政策決定者向け要約、p. 5、2007
- 2) エネルギー白書2009、資源エネルギー庁、p. 104、2009
- 3) 総合エネルギー統計、資源エネルギー庁、1990～2007
- 4) 小水力発電事業化へのQ&A (改訂版)、クリーンエネルギー普及検討会、pp. 41～42、p. 100、2005
- 5) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書、(独) 国立環境研究所、p. 2-3、2009
- 6) 本藤祐樹、内山洋司、森泉由恵：ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価、電力中央研究所報告、pp. 39～47、2000