

農業用水路における小水力発電の適用性

(株)アルファ技研 ○松中 慧太

(独)土木研究所 寒地土木研究所 中村 和正

川辺 明子

1. はじめに

近年、地球温暖化の抑制のため、温室効果ガスの一つである二酸化炭素の削減が急務とされている。エネルギー分野においては、発電過程で二酸化炭素を発生せず、再生可能なエネルギーの利用が期待されている。水力発電は、年間を通じて安定したエネルギー供給が可能で、わが国エネルギー自給率(4%)の内 35%を占めている。水力発電は技術的に確立されて経済性に優位性のある地点の開発はすでにならかなり利用が進んだ。今後は、小規模な地点(小水力発電可能地点)に開発の余地が残されている。

農業用水について見ると、小水力発電の未開発地点は全国に存在し、資源エネルギー庁の試算によれば、全国 547 地点(全国のダム式・水路式の発電出力 10kW 以上、通水期間 185 日以上、有効落差 1.5m 以上)、総出力 119,093kW、総発電電力量 58,769,700kWh¹⁾とされる。一方、北海道は通水期間が他県に比べて短いことや積雪の影響などから、これまで農業水利施設における小水力発電の利用が進んでこなかった。

本検討では、農業用水路を利用した小水力発電の現状や課題を整理するとともに、道内の開水路およびパイプラインを事例として包蔵水力の算出および、経済性等の面から北海道における小水力発電の適用性について考察した。

2. 小水力発電の特徴

(1) 小水力発電の発電形式

小水力発電の発電形式には、落差利用型と流水利用型がある。落差利用型は落差の有する位置エネルギーを利用して発電を行うので、ダム、開水路の落差工及びパイプラインの減圧施設等で発電が可能となる。また、流水利用型は流速のもつ速度エネルギーを利用して発電を行うので、落差のない用水路での発電が可能となり、農業水利施設は多くの小水力発電可能地点を有している。

(2) 農業用水を利用した小水力発電に係る制度と変遷

農業農村整備事業等の小水力発電に関する制度としては、土地改良事業による設置を可能とするため、昭和 58 年に小水力発電設備がかんがい排水事業の一工種として制度化された。また、平成 21 年には、地域用水環境整備事業が拡充され、農業水利施設を活用した小水力発電設備の単独整備が可能となっている。

農業用水の発電利用の特徴として、低落差・小流量の場合が多いこと挙げられる。また作物生育期別の流量変動が大きいことも特徴である。そのため、発電規模が小さく経済収支が成り立たずに設置できない地点が多かった。

しかし、近年、発電機の性能が向上し、低落差・小流量でも発電可能な水車および流速を利用した水車の開発が進み、従来は発電が難しかった地点でも可能になってきた。平成 21 年度時点で農業農村整備事業により全国 26 ヶ所²⁾に小水力発電施設が整備されている。

(3) 小水力発電の導入効果

小水力発電の導入効果としては、①得られた電力を直接利用または売電することにより維持管理費を節減・補完できる、②発電過程において二酸化炭素の発生がなく環境保全の視点からのPRすることでのイメージアップが期待できる、さらに③農村地域周辺の公共施設や災害時の非常用電源としての利用により地域貢献ができるなどが挙げられる。

(4) 小水力発電の経済性

小水力発電の経済性を評価する手法には、発電原価が用いられている。発電原価は最適施設規模や経済性を示す指標である。

表-1 に電源別耐用年における初期の発電原価³⁾を示す。大規模な水力発電における、初期の発電原価は13円程度である。

次に、RPS法下における取引価格⁴⁾を表-2に示す。小水力発電の売電価格はRPS法の認定を受けた場合、「RPS相当量+電気」の価格は8.9円/kWhである。

現在、「再生可能エネルギーの全量買取制度」の導入が検討されており、売電価格が15～20円/kWh⁵⁾程度とされている。

表-1 電源別耐用年における初期の発電原価

電 源	原子力	LNG火力	石炭火力	石油火力	一般水力	地熱	風力	太陽光
発電原価	9円程度	9円程度	10円程度	10円程度	13円程度	16円程度	16円程度	67円程度
燃料費割合	2割程度	5割程度	3割程度	6割程度	0	0	0	0

表-2 RPS法下における取引価格(加重平均価格)

		[加重平均価格の推移(単位:円/kWh)]					
		H15FY	H16FY	H17FY	H18FY	H19FY	H20FY
「RPS相当量+電気」	風力	11.8	11.6	11.0	10.7	10.4	10.4
	水力	8.1	8.5	8.4	8.4	7.2	8.9
	バイオマス	7.2	7.5	7.6	7.7	7.8	8.0
「RPS相当量のみ」		5.2	4.8	5.1	4.9	4.9	4.9

※H20FYとはH20年度である。

3. 北海道の農業施設における小水力発電のケーススタディ

(1) ケーススタディ諸元

ケーススタディでは、道内の開水路およびパイプラインを事例とした。事例の選定理由は、開水路は農業水利施設として、パイプラインは北海道の畑作地帯では一般的であるためである。

表-3 対象施設の諸元

	A地区の開水路	B地区のパイプライン
水路形式	開水路	クローズド形式パイプライン
最大流量	1.838m ³ /s	0.270m ³ /s
付帯施設	落差工 2ヶ所	分水栓 37ヶ所
施設規模	B=1.350m、H=0.860m	DCIP・FRPM 600～750m

1) 対象施設

ケーススタディの対象施設の概要を表-3に示す。

A地区の開水路は、最大流量1.838m³/s、水路幅1.350mであり、落差工を2ヶ所所有している。

B地区のパイプラインは、ファームポンドに接続する幹線とこれより分岐する3幹線から構成され、分水栓37ヶ所が付帯したクローズド形式パイプライン(管網状)である。

2) 検討条件

工事費は最大発電出力を基に算出⁶⁾し、年間経費は耐用年数を20年⁷⁾とし算出した。なお、本検討においては国営かんがい排水事業(一般型)の補助率を選定した。地元負担金は5%である。

(2) 開水路における包蔵水力算定

1) 検討条件

発電期間は本地区のかんがい用水の取水が行われている123日とした。また、発電水車は、有効落差と流量から小水力発電用として実績が多いプロペラ水車とした。図-1に落差工模式図を示す。

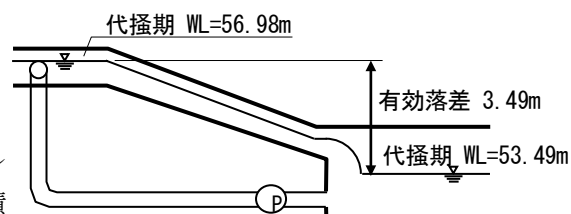


図-1 落差工模式図

2) 包蔵水力算定結果

発電水車は、流量(発電規模)に合った規模を選定することが効率的・経済的である。農業用水は期別の流量変動が大きいため、苗代期、代掻期、普通期、深水期の各期別最大流量を発電水車規模に設定し発電諸元を試算した。流量変動による相対効率は図-2 に示すプロペラ水車の相対効率⁹⁾を考慮した。

また、発電原価により最適水車規模の検討を行った。発電原価は下式により算出される。

$$\text{発電原価} = \text{年間経費} / (\text{年間可能発電電力量} \times 0.95)$$

0.95: 1 年間に発生する停止日を考慮した係数

表-4 に示す包蔵水力算定結果より、年間発電電力量の最大は深水期流量を発電水車規模とした時の 87,831kWh であるが、経済性を考慮した最適規模は、普通期流量を発電水車規模とした時となる。この場合の年間最大発電電力量は 85,493kWh、発電原価は 27.7 円/kWh となる。

(3) パイプラインにおける包蔵水力算定

1) 検討条件

パイプラインを湿潤かんがいに使用する期間は、かんがい期間である 123 日を基準として、分水栓を使用する頻度を 1 週間に 1 回、1 回の使用時間を 12 時間と仮定すると 9 日間となるので、発電可能日数を 114 日とした。このような想定は、かんがい目的の従属使用ではなく、現実性は小さいが、潜在的にどのような発電が可能なのかを知ることを目的として検討した。

本検討の発電は、かんがい目的ではないので、発電原価は補助考慮の有り無しの両方で示した。また、各分水栓は個別で操作すると仮定した。各分水栓の位置は図-3 に示す。

2) 最適地点の検討

包蔵エネルギーの大きさは、発電出力が下式により算出され、流量(Q)と有効落差(He)の積で比較できる。

$$\text{発電出力 } P(\text{kW}) = 9.8 \times \text{He} \times Q \times \eta \quad \eta : \text{発電効率}$$

そのため、分水栓の設計流量と全水頭から代表地点として 5 地点を選定し最適地点の検討を行った。分水栓の設置標高を図-4 に示す。

分水栓地点における有効落差は、節点水頭法を用いた水力計算より求めた。

表-5 に各分水栓の有効落差と発電原価を示す。設計流量と管種・口径・流量・パイプライン延長などにより求められた有効落差の条件より、A 分水栓の発電原価が最低値となり最適地点となった。

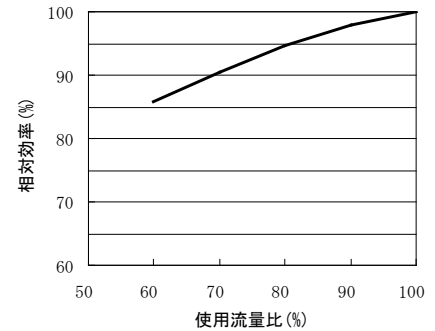


図-2 プロペラ水車の相対効率

表-4 包蔵水力算定結果

項目		苗代期	代掻期	普通期	深水期	
発電計画	流量 (m ³ /s)	1.287	1.838	1.129	1.670	
	かんがい期間 (日)	123				
	有効落差 (m)	3.49				
	最大発電出力 (kW)	33.0	47.1	29.0	42.8	
	最大日発電電力量 (kWh)	792	1130	696	1027	
	年間発電電力量 (kWh)	87,265	86,990	85,493	87,831	
	設備利用率 (%)	85.1	59.4	94.9	66.0	
工事費	概算工事費 (百万円)	110.6	124.9	106.5	120.5	
	補助金考慮後 (百万円)	5.5	6.2	5.3	6.0	
	年間経費 (百万円)	2.335	2.641	2.248	2.548	
経済性指標	kWh当り建設単価 (千円/kWh)	3352	2652	3672	2815	
	kWh当り建設単価	補助なし (円/kWh)	1,334.1	1,511.4	1,311.3	1,444.2
		補助有り (円/kWh)	66.3	75.0	65.3	71.9
	発電原価 (円/kWh)	28.2	32.0	27.7	30.5	

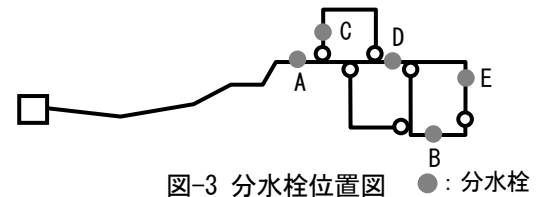


図-3 分水栓位置図 ●: 分水栓

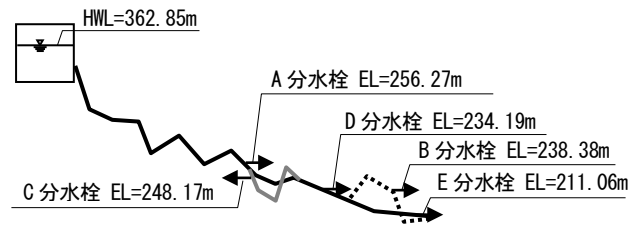


図-4 分水栓設置標高

表-5 有効落差と発電原価

項目	A分水栓	B分水栓	C分水栓	D分水栓	E分水栓	
分水栓設置標高(m)	256.27	238.38	248.17	234.19	211.06	
設計流量Q(m ³ /s)	0.043	0.033	0.019	0.012	0.011	
全水頭H(m)	106.58	124.47	114.68	128.66	151.79	
有効水頭He(m)	74.511	86.264	79.417	98.263	119.959	
年間発電電力量(kWh)	64,296	57,182	30,370	23,803	26,539	
年間経費(百万円)	補助なし	7.599	7.401	6.648	6.472	6.544
	補助有り	2.126	2.079	1.863	1.821	1.828
発電原価(円/kWh)	補助なし	124.4	136.2	230.4	286.2	259.6
	補助有り	34.8	38.3	64.6	80.5	72.5

管網パイプラインでは複合的な要因により有効落差が決定されるので、最適地点を選定するためには管網計算を行うことが必要である。

3) 包蔵水力算定結果

最適地点となったA分水栓の包蔵水力算定結果を表-6に示す。年間発電電力量は64,296kWhであり、最適な発電規模や経済性を判断する指標である発電原価は、補助を考慮しない場合は124.4円/kWhであり、補助を考慮すると34.8円/kWhである。

4. 考 察

農業用水路を利用した小水力発電の課題として、維持管理費に比較して売電価格が低いことが指摘されることが多い。特に北海道では水田用水の通水期間が123日と比較的に短いことを一つの要因として、経済収支が成り立ちにくい。

そのため、①通年取水が行えるように水利権変更が容易にできるような制度構築、②売電よりも、災害時の非常用電源や農業水利施設(自家利用)への電力供給等、周辺地域を含めた多面的な利用、③調査・計画や小水力発電設備の整備に対する補助だけではなく、配電線路等の一体的な補助・助成の充実も有効であると思われる。

5. おわりに

わが国におけるエネルギー分野の課題として、地球温暖化対策・再生可能エネルギーの利用・エネルギー自給率の向上などが挙げられ、農業部門における対応として、小水力発電が期待されている。

水利使用期間の現状から発電可能日数が比較的に短い北海道においても、流量・有効落差など包蔵エネルギー量に加えて、多面的利用の視点からその適地を検討していくことが重要であると思われる。

積雪寒冷地域においても、小水力発電技術の確立を図ることが重要であり、これまでの地域活用の可能性・方法の検討を含め、寒冷地域で実施された小水力発電設備の追跡調査、技術的データを蓄積し、効率的な小水力発電の工法検討を行うことも重要であると思われる。

【参考文献】

- 1) 平成20年度 中小水力開発促進指導事業基礎調査報告書/財団法人 新エネルギー財団/平成21年3月/pp.1-9
- 2) 農業用水を利用した小水力発電導入の手引き/財団法人 日本水土総合研究所/平成21年3月/pp.9
- 3) ハイドロバレー計画ガイドブック/経済産業省 資源エネルギー庁・財団法人 新エネルギー財団/平成17年3月/pp.2-3
- 4) RPS法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格調査結果について/
資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部・新エネルギー等電気利用推進室/平成21年8月
- 5) 「再生可能エネルギーの全量買取制度」の導入にあたって(案)/再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム/
平成22年7月
- 6) 農業用水を利用した小水力発電導入の手引き/財団法人 日本水土総合研究所/平成21年3月/pp.51
- 7) ハイドロバレー計画ガイドブック/経済産業省 資源エネルギー庁・財団法人 新エネルギー財団/平成17年3月/pp.7-8~7-9
- 8) ハイドロバレー計画ガイドブック/経済産業省 資源エネルギー庁・財団法人 新エネルギー財団/平成17年3月/pp.添付資料4-21
~添付資料4-22

表-6 包蔵水力算定結果

項目		A分水栓	
発電計画	流量 (m ³ /s)	0.043	
	かんがい期間 (日)	123	
	発電可能日数 (日)	114	
	有効落差 (m)	74.51	
	最大発電出力 (kw)	23.5	
	最大日発電電力量 (kWh)	564	
	年間発電電力量 (kWh)	64,296	
設備利用率 (%)	95.0		
工事費	概算工事費 (百万円)	100.9	
	補助金有り (百万円)	5.0	
年間経費	補助なし (百万円)	7.599	
	補助有り (百万円)	2.126	
経済性指標	kWh当り建設単価 (千円/kWh)	4294	
	kWh当り建設単価	補助なし (円/kWh)	1,651.9
		補助有り (円/kWh)	81.9
	発電原価	補助なし (円/kWh)	124.4
補助有り (円/kWh)		34.8	