

## 一般研究 52 北海道の農業水利施設における用水資源のエネルギー利用に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 21～平 22

担当チーム：水利基盤チーム

研究担当者：中村和正、須藤勇二、川辺明子

### 【要旨】

本研究では、まず、農業用ダムや開水路、パイプラインなどの農業水利施設で電力として取り出せる小水力エネルギーの量と発電原価を試算した。試算した施設の数、農業用ダム 42 基、開水路による灌漑施設 2 システム、パイプラインによる灌漑施設 1 システムである。これらの 3 システムの規模は、灌漑面積としてそれぞれ約 1 万 ha である。エネルギー量と発電原価の試算には、それぞれの施設の基本諸元、標準的な利水計画の情報を用いた。その結果、発電可能量は、ダム 1 か所あたり 456MWh、1 万 ha 規模の開水路の灌漑システム 1 地区あたり 388MWh、パイプライン灌漑システム 1 地区あたり 3,643MWh となった。これらは、一般家庭の消費電力の 84 戸、72 戸、675 戸分にあたる。また、概ねの発電原価は、有効落差によりばらつきはあるものの、ダムで 22～52 円/kWh、開水路で 41～136 円/kWh、パイプラインで 13～67 円/kWh となった。

次に、普及のためのシステム検討として、農業用ダム、開水路、パイプラインのそれぞれで小水力発電を行う場合の計画流量・計画落差および発電機の設置位置の決定方法の整理、冬期発電の課題の整理、エネルギーを利用する可能性のある用途・利用施設のリストを作成した。その結果、道内の農業水利施設で小水力発電を普及するためには、①冬期発電が困難であるため他の地域に比べて経済性が低いこと、②発電した電力の消費地が発電地点から離れていること、などの問題があることがわかった。しかし、ダムとパイプラインにおける発電原価の推定値のうちのいくつかの値は、政府で現在検討されている再生可能エネルギーの全量買取制度において想定されている買取単価よりも低額であった。

キーワード：農業水利施設、小水力エネルギー、発電原価、冬期発電

### 1. はじめに

近年、エネルギー自給率向上と地球温暖化対策等に資する再生可能エネルギーの 1 つとして、小水力エネルギーの利用に対する期待が高まっている。最近では、各種の助成制度により農業水利施設における小水力発電推進につながる条件整備も進んでいる。

しかしながら、農業水利施設を活用した小水力エネルギーの利用例は少ない。そのため本研究では利用可能な小水力エネルギーの賦存量の推定と普及のためのシステム検討を行った。なお、賦存量の推定には発電原価の推定も含む。

### 2. 方法

#### 2.1 検討対象施設の概要

検討対象の施設は、北海道内の農業用ダム 42 基、水田地帯の受益面積約 11 千 ha と約 12 千 ha の 2 地区における開水路形式の灌漑施設、畑作地帯の受益面積約 12 千 ha の 1 地区におけるパイプライン形式の灌漑施設である。

### 2.2 賦存量推定の方法

#### 2.2.1 年間発電電力量の算出

年間発電電力量は、日発電電力量の合計である。日発電電力量は、発電出力と日発電時間（24 時間）の積により算出される。以下に発電出力算出の基本式と、その計算に必要なとなる発電流量の設定の考え方、有効落差の想定方法について述べる。

#### 1) 発電出力の算出

発電出力は以下の式にて算出される<sup>1)</sup>。

$$P = g \times \eta_t \times \eta_g \times Q \times h$$

P : 発電出力 [kW]

g : 重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

$\eta_t$  : 水車効率

$\eta_g$  : 発電機効率

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/s)

h : 有効落差 (m)

このことから、発電出力算出にあたっては、流量、有効落差等を設定する必要がある。

## 2) 発電使用流量の設定

水田主体地域と畑主体地域で発電に利用できる流量を整理すると、水田主体地域では、苗代期・代かき期・普通期・深水期・普通期の5期があり、流量変動がある。このため、水車能力低下を考慮して普通期流量を発電使用流量とする(図-1)。また、発電期間は、代かき期のはじめから灌漑期終了までとする。

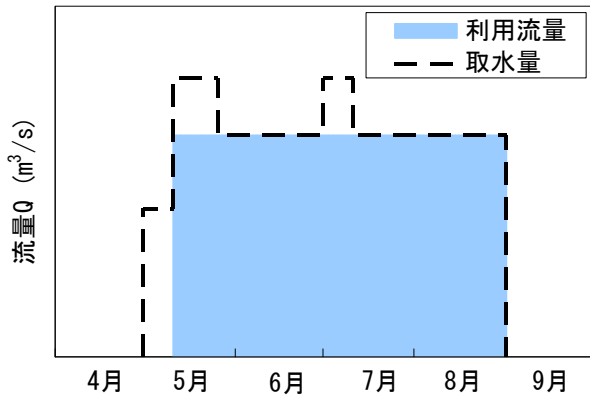


図-1 水田灌漑主体の場合の流量パターン

一方畑主体地域では、肥培灌漑用水などの冬期用水は、夏期灌漑期流量と比較して極めて少量であり同一の発電設備による通年発電は困難である。そのため、畑主体地域での発電使用流量は夏期灌漑期流量とする(図-2)。また、発電期間は、図-2のように夏期灌漑期間とする。なお、畑地灌漑用パイプラインは送水系と配水系に大別できるが、流量変動の少ない供給主導型の管理形態がとられる場合の送水系の流量を想定する。

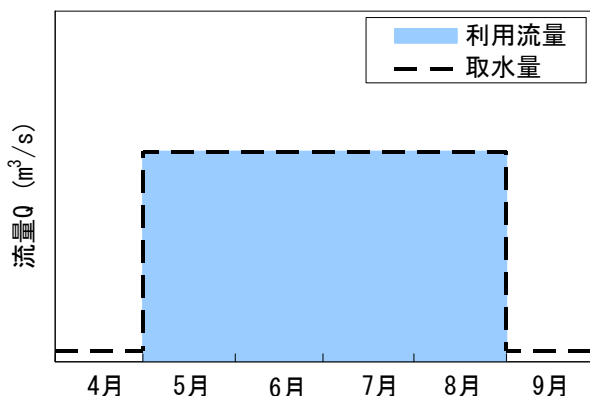


図-2 畑地灌漑主体の場合の流量パターン

## 3) 有効落差の想定

### ① 農業用ダムの場合

農業用ダムでの発電方法としては、利水放流施設

にバイパス管を設けて発電設備を設置するものとする。この時の発電に利用できる最大有効落差は、常時満水位と最低水位との差となる。また、最小有効落差は発電水車駆動最小落差である2mとする。これは既存の利水放流管口径は、計画最大取水量が流下するときの損失水頭が、ダム最低水位と利水放流水位の差に相当するように決定されているため、その間に発電に利用できる水頭はほとんど残されていないからである。(図-3)

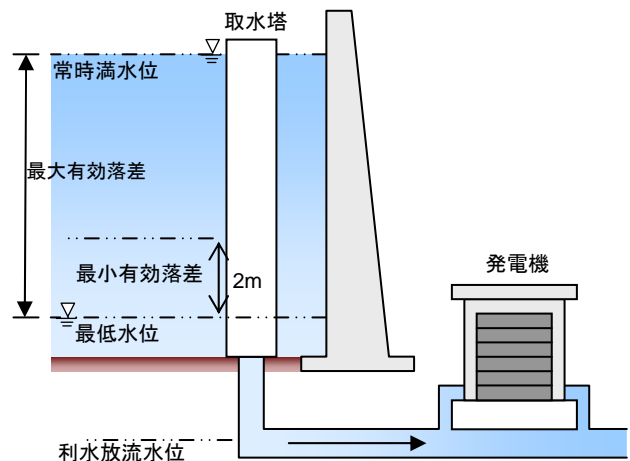


図-3 農業用ダムの有効落差

### ② 開水路の場合

開水路の有効落差は、発電機の設置方法により異なる。発電機の設置方法には、1か所の落差工に対して1個の発電機を設置する単独型と、近接する複数の落差工をバイパス管で連結して1個の発電機を設置する統合型(図-4)がある。さらに単独型は、有効落差により2つの方式に分類される。すなわち、有効落差が2m以上確保できる落差工ではバイパス管に発電機を設置する単独型(バイパス方式、図-5)となり、有効落差が2m未満の落差工では水路内の落差工直下流に発電機を設置する単独型(直接方式、図-6)となる。

それぞれの方式の有効落差は、次のとおりとなる。なお、直接方式の場合、水路内に発電機を設置するため、水路損失は見込まない。

$$\text{バイパス方式の有効落差} = \text{上流水路敷高} - \text{下流水路敷高} - \text{水路損失}$$

$$\text{直接方式の有効落差} = \text{上流水路敷高} - \text{下流水路敷高}$$

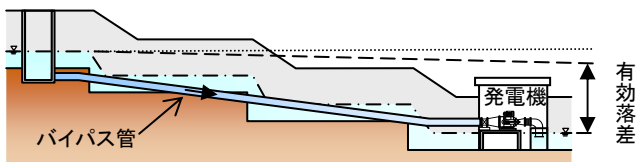


図-4 開水路統合型

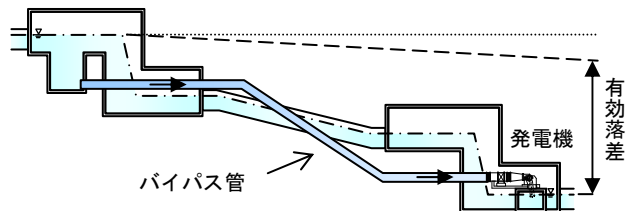


図-8 管水路統合型

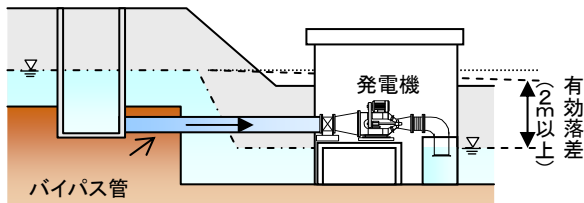


図-5 開水路単独型（バイパス方式）

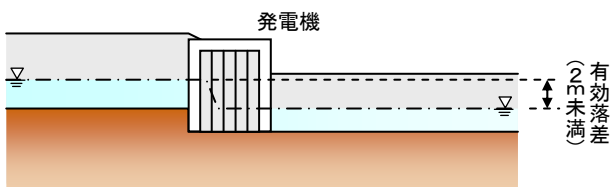


図-6 開水路単独型（直接方式）

### ③ 管水路の場合

管水路の有効落差は、次のとおりとなる。

有効落差=上流側水位-下流側水位-水路損失

なお、管水路での発電方法は、開水路と同様に、1か所の調圧施設に対して1個の発電機を設置する単独型（図-7）と、近接する複数の調圧施設をバイパス管で連結して1個の発電機を設置する統合型（図-8）に分類される。

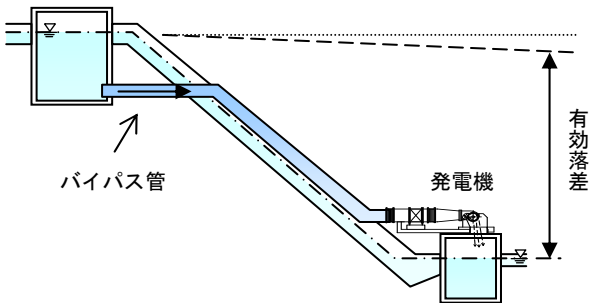


図-7 管水路単独型

### 2. 2. 2 発電原価の算出

発電原価は、次式で算定した。

発電原価(円/kWh)=建設単価(円/kWh)×経費率

なお、経費率は、「 hidroバレー計画ガイドブック」(表-1)<sup>2)</sup>により表-1のように設定した。

表-1 経費率表<sup>2)</sup>

資本費	補助率(%)	耐用年数(年)	経費率(%)
見込まない	-	22	1.091
		40	1.244
見込む	30	22	5.742
		40	4.661
	50	22	4.688
		40	3.962
	70	22	3.627
		40	3.262

また、建設単価は、既存の調査結果<sup>3)</sup>を基に発電出力との相関式により算定した。ただし、用いられている調査結果はその多くが本州での事例であり通年(365日)の発電を想定している。しかし、多くの北海道内の農業水利施設では発電期間が限られるため、建設単価は発電日数により割り増し(365日/発電日数)を行った。

### 2. 3 普及のためのシステム検討の方法

農業用ダム、開水路、管水路について、それぞれの施設で小水力発電を行う場合の特徴を検討して整理した。つぎに、冬期間の課題を検討して整理した。最後に、発電した電力の用途・利用者リストを作成した。

## 3. 結果

### 3. 1 賦存量の検討結果

#### 3. 1. 1 年間発電電力量

検討対象とした、農業用ダム、開水路、管水路での年間発電電力量は、表-1のとおりとなった。

表-1 年間発電電力量

	検討対象	設置可能箇所数	最大出力の平均値(kW)	年間発電電力量(MWh)	
				合計	平均
ダム	42基	23基	325	10,486	456
開水路	A地区	単独型4か所	11	114	28
		単独型2か所	15	122	41
		+統合型1か所			
	B地区	単独型14か所	14	532	38
単独型8か所		22	654	59	
+統合型2か所					
管水路	C地区	単独型14か所	69	2,831	202
		単独型4か所	123	3,643	364
		+統合型6か所			

それぞれの年間発電電力量は、一般家庭の一世帯当たりの年間電力消費量を5,400kWh<sup>4)</sup>とすると、ダム1基あたり84世帯、開水路1地区あたり23~121世帯、管水路1地区あたり675世帯相当となる。

### 3. 1. 2 発電原価

ダム、開水路、管水路の有効落差と発電原価の管径は、図-9~11のとおりとなった。

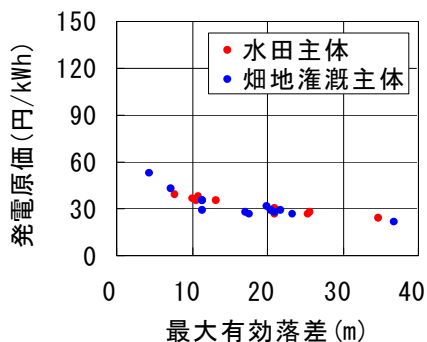


図-9 ダムの発電原価と有効落差

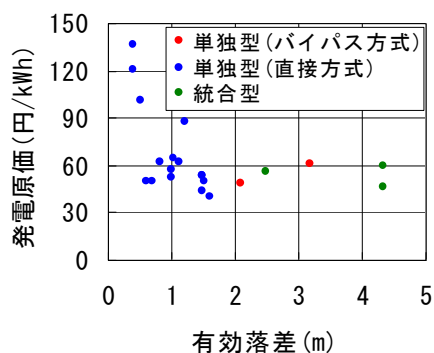


図-10 開水路の発電原価と有効落差

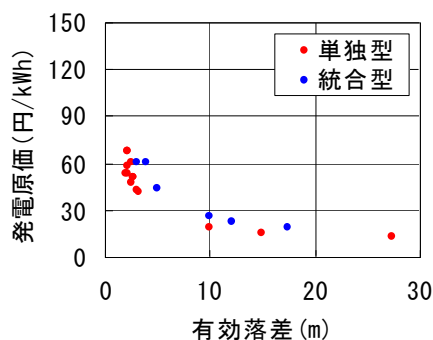


図-11 管水路の発電原価と有効落差

3種類の施設のそれぞれで、発電原価は有効落差によってばらつきがある。しかし、ある程度の大きさの落差があれば、それぞれの発電原価のばらつきが小さくなる。図-9、10、11では、ダム、開水路、管水路でそれぞれ30円、60円、20円近傍の値となっている。すなわち、比較的原価が低い施設が管水路であり、次いでダム、開水路の順番となった。

しかし、既開発の小水力発電原価(図-12)と比較すると、今回検討した施設の発電原価は高額であることがわかる。この差は、北海道内の農業用水で小水力発電に利用できる用水が、5月から8月までの夏期のみに限られることが大きな理由と考えられる。

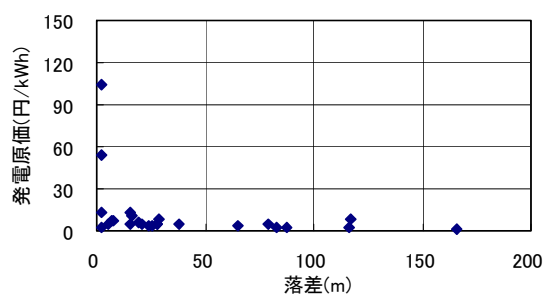


図-12 既開発の農業水利施設での小水力発電原価

なお、ダムとパイプラインにおける発電原価の推定値のうちいくつかの値は、政府で現在検討されている再生可能エネルギーの全量買取制度において想定されている買取単価よりも低額であった。

### 3. 2 普及のためのシステム検討

#### 3. 2. 1 計画流量・計画落差および発電機の設置位置の整理

農業用ダムの構造はフィルタイプが多く、このタイプのダムの利水放流は仮排水トンネルを利用している。その場合の利水放流形式には、トンネル内放流形式とトンネル外放流形式がある。前者の形式では発電設備設置が困難であるのに対し、後者の形式では発電設備の制約が少なく比較的多様な型式のものが設置することが可能である。

計画流量・計画落差および開水路と管水路の発電機の設置位置については、2.1.1 2)～3)のとおりである。

#### 3. 2. 2 発電所と電力負荷設備の連携

ダムは山間地、用水路は農業地帯に散在することから、発電適地は需要地から離れた場合が多く、発電地点から需要地まで電気を専用の送電路で送ることは困難である。

そのため、ダムなど発電場所と消費場所が近いものを除くと、小水力発電で発生した電力は全量を電力会社に売電し、別の土地改良施設又は公共施設に必要な電力は別途電力会社から購入する方式が妥当である。

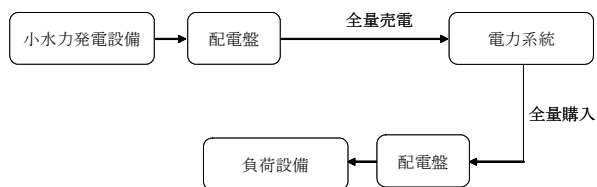


図-13 発電所と負荷施設を系統連携する場合のシステム構成図

#### 3. 2. 3 冬期発電における課題

冬期発電における課題は、北海道内では冬期の水

利権がない、あるいは夏期に比べると極めて少ないことが多い。このため、夏期の水利権を基準に設置した発電機が冬期に稼働することは困難である。

#### 3. 2. 4 利用者リスト

小水力発電による電力の利用者・用途を表-2のとおり整理した。

表-2 利用者・用途リスト

利用者	用途
水利施設管理	管理所内照明、空調、監視制御設備、ゲート動力、ポンプ動力、外灯
営農	照明、外灯、乾燥設備等
一般公共	照明、空調、外灯等

### 4 まとめ

エネルギーの賦存量は、水利施設の種類別に推計できた。

また、施設ごとの発電原価を整理することにより、小水力発電導入にむけて比較的優位性をもった施設を概定することができた。

さらに、普及のためのシステム検討については、比較的発電原価の低い例のあることが確認されたので、そこでの可能な用途との組み合わせを後継課題で考えたい。

### 参考文献

- 1)NEDO：マイクロ水力発電導入ガイドブック、p.10、2003
- 2)経済産業省資源エネルギー庁、(財)新エネルギー財団、ハイドロバレー計画ガイドブック、p.7-8、2005
- 3)中小水力開発促進指導事業基礎調査(未利用落差発電包蔵水力調査)報告書、2009
- 4)経済産業省、エネルギー白書 2010、p.165、2010