

道営地域用水環境整備事業(小水力発電)緑地区について～フェーズ I 計画編～

オホーツク総合振興局産業振興部

チーム「Green Small Water Power」

調整課 小笠原 聡彦 ○山村 航也 村田 新也

整備課 長久保 一也 長瀬 大児 関口 純司

I. はじめに

我が国の農業とその基盤の整備は、アジア・モンスーン地帯の地理的、気象的条件を生かした水稻栽培を中心に、水を制することで発展した。その水に内在するエネルギーを活用しようと、水車という動力装置を用いてそば挽きなどに活用されてきた。

このエネルギーを電力に用いる試みは、修学旅行で定番の京都南禅寺を通る琵琶湖疏水の落差を市電の電力供給等に活用した「蹴上(けあげ)発電所」が我が国のスタートだった。その後、戦後の国民の大量の電力消費を背景に、火力や原子力発電が進められたものの、中東情勢に端を発した昭和 50 年頃の石油価格高騰、平成 9 年京都議定書をはじめとする地球温暖化への国際的な取組などが契機となり、比較的小規模な水力発電が見直された。平成 23 年東日本大震災による原子力へのリスクの顕在化と電力供給の逼迫により、中小水力発電を含む「再生可能エネルギー」(以下、「再生エネ」)が見直され、資源エネルギー庁が掲げるエネルギーミックスでは、2030(平成 42)年度までに再生エネの構成比率を 22~24%(水力を除く平成 26 年度では約 3.2%)と設定されており、これを背景に、「固定価格買取制度」(以下、「FIT」)が平成 24 年度からスタートとなり、法律により高値で再生エネが買い取られることとなった。

北海道特有の「冬期間の水供給」という課題から展開を見せなかった農業用排水施設の小水力発電について、ダムを用いた事例としては北海道で初となる「緑ダム」(所在地:斜里郡清里町)における、FITを前提とした小水力発電施設整備の「計画」について、現在策定中ながらも、施設の概要、諸課題と解決方法を報告する。

II. 小水力発電とは

1. 定義

資源エネルギー庁の区分によると、出力 2000kW 以下を「中小水力発電」と称している。明確な区分はないものの、一般的には 1000kW 未満を小水力発電と称している。河川や農業用水の落差を用いる発電が一般的だが、上下水道でも落差があれば発電はできる。



図-1(農業用排水施設を活用した小水力発電施設の整備状況) 出典:農水省

なお、全国で農業用排水施設を用いた小水力発電施設は、65 地区において整備が完了しているが、その中に北海道の地区はない。

2. 発電原理

発電出力は、使用水量と落差により決定され、機器仕様による効率を乗算することで算定される。発電電力量にはこれに時間の要素が加わる。原理及び数式は以下のとおり。

- 発電電力量(kWh)＝発電出力(kW)×発電時間(hr)
- 発電出力 (kW)＝9.8×使用水量(m³/s)×有効落差 (m) ×水車及び発電機効率

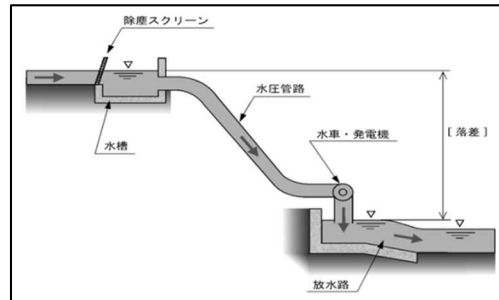


図-2(発電原理模式図) 出典:H26 概略設計

3. 水車形式

水車形式は、使用水量と有効落差に応じて様々な種類があり、「水力発電計画工事費積算の手引き」(平成 25 年 3 月、経済産業省 資源エネルギー庁)に水車形式などが詳しく記され、計画段階の水車形式選定に用いられる。

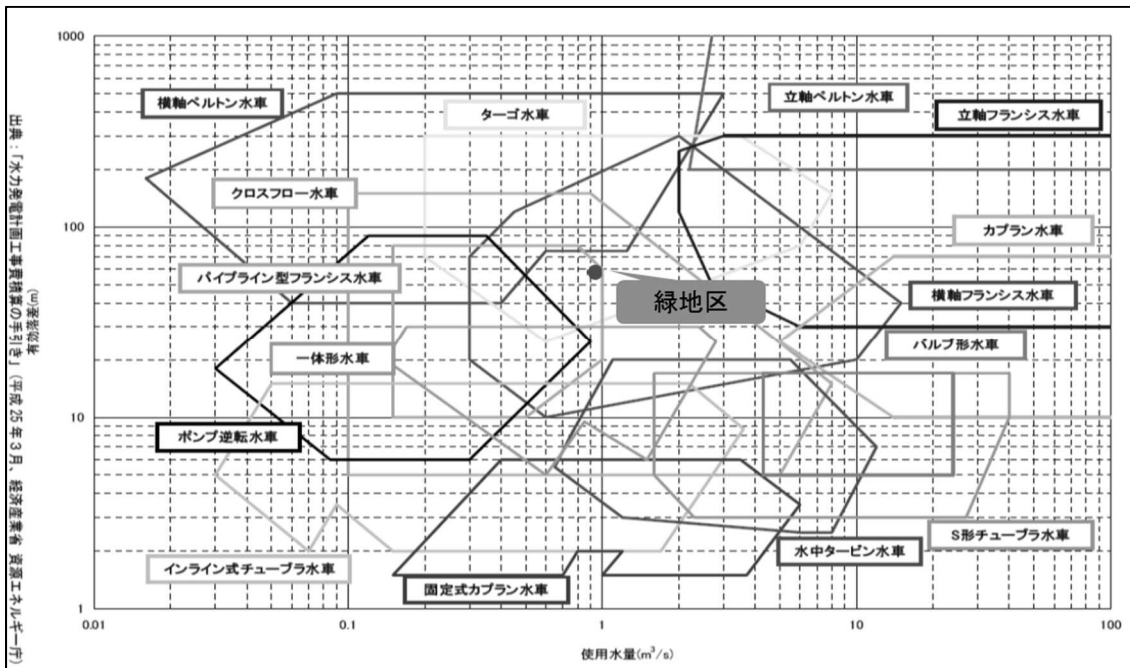


図-3(水車形式選定表) 出典:資源エネ庁「水力発電計画工事費積算の手引き」

III. 緑地区の小水力発電施設の概要

1. 事業の目的

小水力発電施設の整備は、斜網地域における畑地かんがい施設における維持管理費の節減、及び二酸化炭素の排出削減を図る、という双方の目的を有している。

2. 畑地かんがい施設の概要

1市4町(網走市・斜里町・清里町・小清水町・大空町)にまたがる農用地 18,514ha を受益地とする畑地かんがい施設は、国営畑地帯総合土地改良パイロット事業「斜網西部」 「小清水」 「斜里」、国営かんがい排水事業「斜里二期」により整備され、いずれも平成 18

年に完了した。この受益地の水源（一部エリアを除く）として緑ダムが造成された。

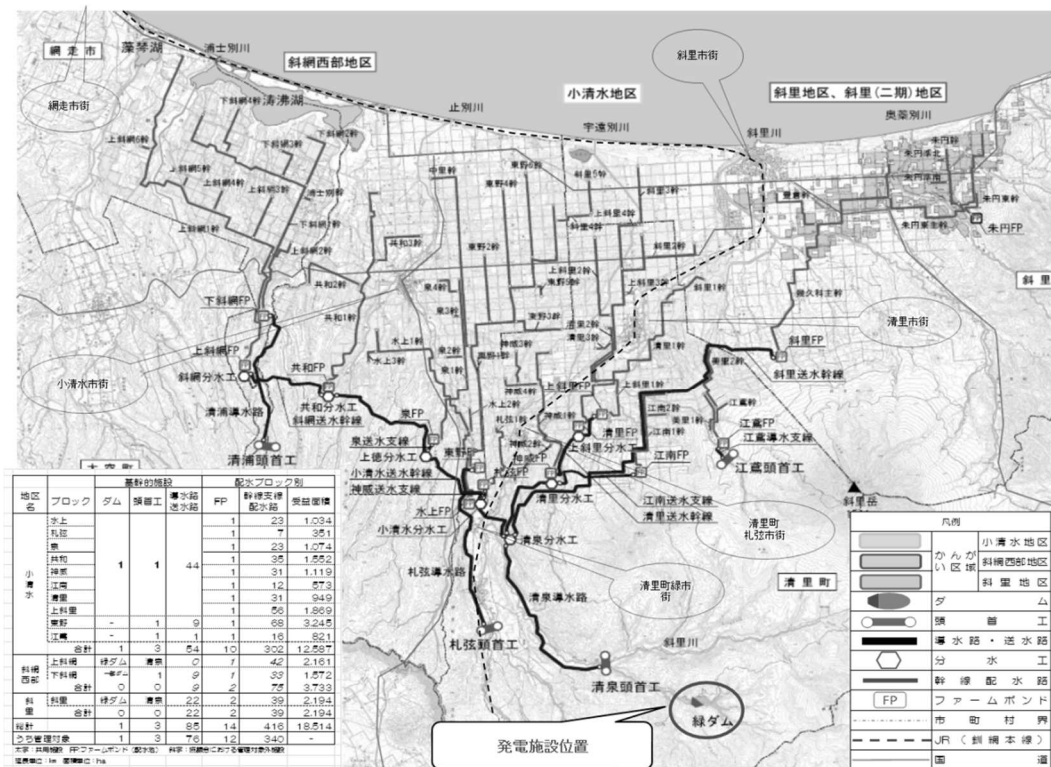


図-4(畑地かんがい施設の位置概要図) 出典: 網走開発建設部の資料に追記

- ・貯留施設：緑ダム
 - 水源：普通河川斜里川支流アタックチャ川 形式：ロックフィルダム
 - 堤高：73m 有効貯水量：640 万m³
 - 取水方式：傾斜式シリンダゲート (MAX3.28m³/s)
- ・取水施設：清泉頭首工（斜里川←アタックチャ川←緑ダム）
 - 札弦頭首工（札鶴川） 江鳶頭首工（チクサクエトンビ川）
- ・その他施設：幹線用水路 7 6 km、支線用水路 3 4 0 km、ファームポンド 1 2 箇所
- ・配水ブロック：1 1 ブロック

3. 維持管理費への充当

上記の畑かん施設は国の財産であり、土地改良法第 9 4 条の 6 に基づき国が各市町と委託協定を締結している。管理の事務は、1 市 4 町が地方自治法第 2 5 2 条の 2 に基づく「斜網地域国営畑地かんがい維持管理協議会」を組織して運営を行っている。

「売電収入を当該発電施設に関係する施設のほか、当該地方公共団体が管理する一連の管理体系下にある土地改良施設の維持管理費に充当することに支障はない」（農水省農村振興局 QA 問 4-17 など）とあることから、発電施設本体の維持運営費を除いた売電収入は、上記協議会が管理の対象とする施設の維持管理費等へ充てることとした（詳しくは後述）。

IV. 検討事項

1. 使用する既存施設の検討

緑ダムの農業用水は、河川維持流量も含め、非常時以外は傾斜式シリンダゲートから取水し、導水管路を通り、放流ゲートから普通河川アタクチャ川に注水する。取水ゲート上部にはスクリーンがあり、ゴミ等の混入による水車機器への損傷も少ないと想定され、導水管路に分岐工を新たに設けて発電に用いることとした。

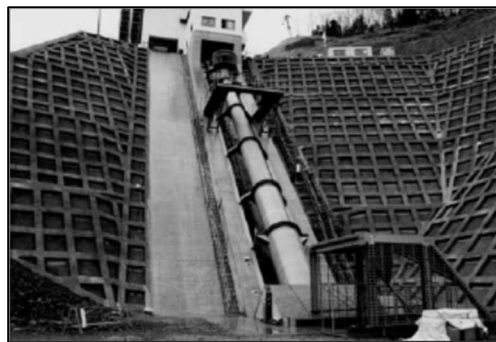


写真1 傾斜式設置された排池・樹走開閉機

なお導水管の隣に非常放流管があるが、スクリーン等の調整が難しいことから発電への利用は考えなかった。

2. 有効落差等の検討

有効落差を決める要素は、①ダム水位、②損失となる落差、③放水水位であり、①はダム水位の実績データを活用、②は既存施設の設置状況（一部新設区間有）、③は施設位置選定により定まり、その概要は次のとおり。

- ① ダム水位：年間を通じて観測が可能となった H23 以降のデータを用いた。
- ② 損失落差：導水管路（圧力鉄管）を水が通過する際、流入やわん曲、分流及び鉄管そのものの延長に応じた損失。

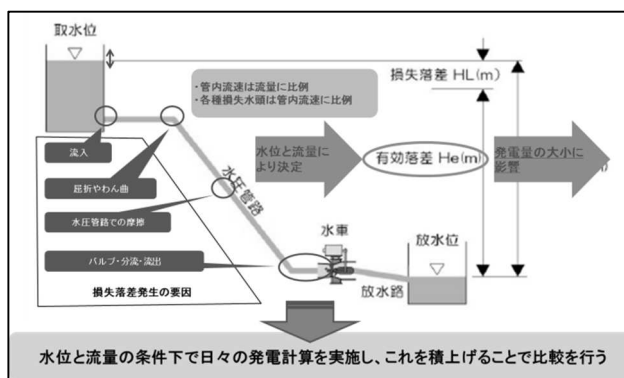


図-5(損失落差の概念) 出典:H26概略設計

- ③ 放水水位→「4.発電施設位置の検討」による

3. 使用水量の検討

緑地区においては、「これまでの水の流し方を変えずに発電する」（漁業者協議）ため、これまでの流量データを前提として流量を検討する。検討に当たっては日々のデータを累加曲線に置き換え、損失水頭や機器の発電可能水量（定格水量の約 30% 水車形式により異なる）を考慮し、水位と水量の条件を加えて日々の発電量計算を行い、比較検討により使用水量を決定した。

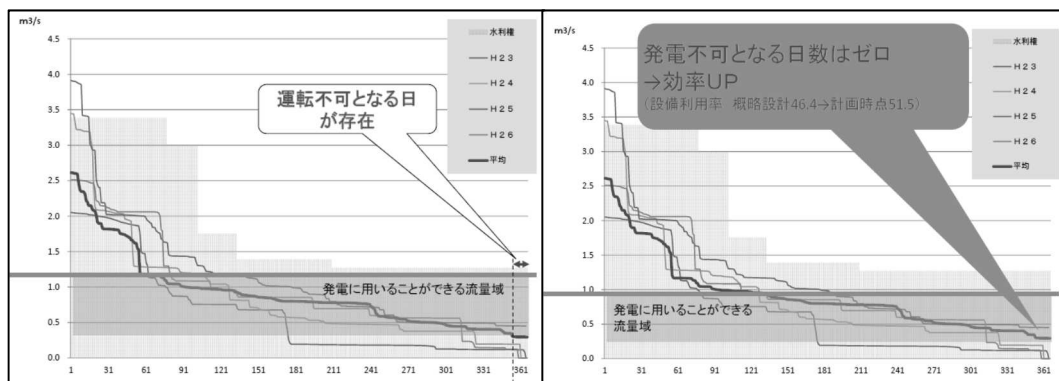


図-6(使用水量の検討 左:1.2m³/s 右:0.95m³/s)

4. 発電施設位置の検討

施設位置検討には、「有効な落差が確保される」、「維持管理が容易」、「整備が可能でコストが安価」という点が求められる。

H26 概略設計においては、放水ゲート工上流側に発電施設を設けることが提案されたが、より大きな落差が確保でき、切土は発生するものの上部のコア保管庫の移設が不要となり、橋梁の新設等による動線確保への検討が不要であるため、洪水吐の下流側（護床工脇）とした。

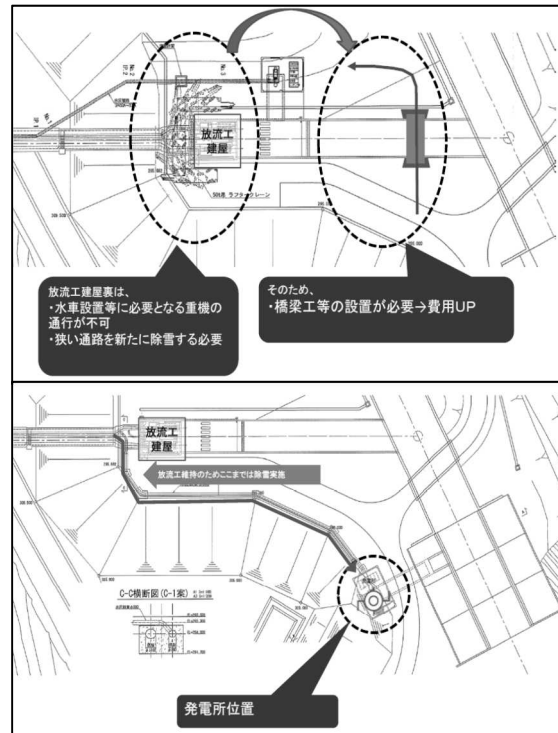


図-7(施設位置の検討 上:概略設計 下:今回設計)

5. 各種法令等の検討

発電施設の建設にあたって関係する法令等は、河川法・土地改良法・電気事業法・FIT法であり、これに売電に関する事項（後述）を考慮して施設を検討する必要がある。

① 清里町普通河川管理条例

アタックチャ川は普通河川であり管理者及び水利権者は清里町となる。

畑かん用水の水利使用に従属した発電となることから、清里町では河川法に準じて条例を改正し、許可制ではなくて「登録制」により水利使用を行う方針となっている。

② 土地改良法

緑ダム及び附帯施設、建設用地等は国の土地改良財産であり、これを改築するための申請が必要となる。また土地及び流水を使用することから他目的使用の申請が必要となる。

他目的使用料が減免されるためには、本体維持運営費や畑かん施設維持管理費以外へ充当しないことが必要であり、「会計の見える化」（特別会計や複式簿記の採用等）が求められる。現在関係する1市4町では、共同管理手法も含めて検討している。土地使用に関しては整備内容が定まり次第、水量の使用に関しては施設整備計画や試運転等の成果を踏まえ、他目的使用申請や他目的使用料の検討が行われることとなる。

③ 電気事業法

小水力発電施設は、電気事業法上の「事業用電気工作物」であり、電力会社等の所有ではないことから「自家用電気工作物」に分類され、「技術基準への適合」「工事計画の

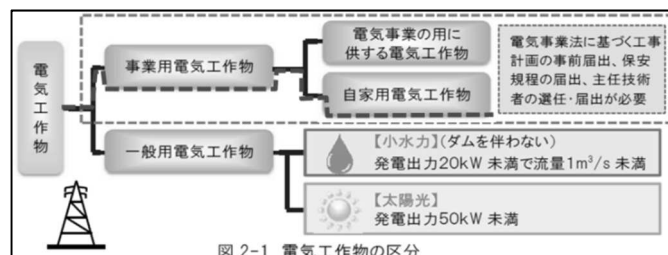


図 2-1 電気工作物の区分

図-8(電気工作物) 出典:全土連資料

策定」「保安規程の策定」「主任技術者の配置」が求められており、最大出力規模等に応じて経済産業大臣（北海道産業保安監督部）への届出または申請などの手続きを、

施設の設置前に行うことが必要となっている。

このうち主任技術者には、「ダム水路主任技術者」（注：ダム主任技術者ではない）と「電気主任技術者」があり、工事・維持または運用にかかる経験年数等に応じ、経済産業大臣が免状を交付することで資格の取得が可能となっている。

自家用電気工作物の場合、主任技術者に関して「委託」することが可能であり、電気主任技術者であれば電気保安協会など受託可能な組織も存在する。ダム水路主任技術者については、発電所と現地の間で、「到着に2時間以内」とする必要があり、加えて現在北海道では、受託を「業」として行っている組織や個人は存在しないことから、工事実施も維持管理も「直営」での配置が求められる。

主任技術者の配置に関しては、法に基づく経済産業省の「内規」が存在しており、これによると、水力発電所は500kWを境にして、500kW以上の場合は免状交付者の選任（ダム堤高の要件から1種）が必須となり、500kW未満の場合は土木施工管理技士等の資格を有していれば許可申請が可能となる。こうした背景から、発電施設の規模の上限値（最大出力）を「499kWh」に設定した。

なお、「北海道産業保安監督部電力安全課」（札幌第1合同庁舎）が電気事業法に関する対応窓口です。

表-1 電気事業法にかかる主任技術者の選任 検討表(北海道産業保安監督部との打合せもとに作成)

電気事業法にかかる主任技術者の選任 検討表

最大出力	ダム水路主任技術者		電気主任技術者		備考
	委託業務	選任者の要件	委託業務	選任者の要件	
500kWh以上	<ul style="list-style-type: none"> ・堤高15m以上のダムによる発電の場合、委託は不可（規則第52条の表、及び同第2項） ・（北海道産業保安監督部では）委託を「業」として行う申請を受けていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1種ダム水路主任技術者の免状を受けたもの（第2種はダム高さ70m未満→規則第56条） ※緑ダムは堤高73m 	<ul style="list-style-type: none"> ・出力2000kW未満の水力発電所は委託が可能（規則第52条の表、及び同第2項） 	<ul style="list-style-type: none"> ・第3種電気主任技術者の免状を受けたもの（電圧5万ボルト未満→規則第56条） ※緑ダムは6.6千ボルト 	
500kWh未満	上記のとおり	法43条の2（自家用電気工作物 免状交付者以外の主任技術者選任に関する主務大臣の許可） （「内規」2.（2）①） ・出力500kW未満の発電所 （「内規」2.（2）②） ・高校で土木工学を履修し卒業 ・技術士（建設・農業土木） ・土木施工管理技士（1種2種）、等 （※詳細事項は省略して記述）	上記のとおり	法43条の2（自家用電気工作物 免状交付者以外の主任技術者選任に関する主務大臣の許可） （「内規」2.（1）①） ・出力500kW未満の発電所 （「内規」2.（1）②） ・高校以上で電気主任技術者試験と同等の科目を履修 ・第1種電気工事士試験に合格 ・高圧電気工事技術者試験に合格、等 （※詳細事項は省略して記述）	

参考資料 ○電気事業法（43条） ○電気事業法施行規則（52条～53条） ○主任技術者制度の解釈及び運用（内規）

④ FIT法

FIT法とは正式には、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」と称し、平成24年度に施行された法律である。この法により、経産省の設備認定を受け、電力会社との接続契約申込、接続契約等により、FIT法の調達価格が決定され、FITによる売電が可能となる。この調達価格に対して国民は、電力会社を通じて「再生エネ賦課金」を毎月の電力料に上乗せされて支払っている。FIT法ではこうした枠組みやルールが定められている。

現在、FIT認定量の約9割を太陽光発電が占め、FIT認定を受けながら稼働に至っていないケースも存在することなどから、平成29年度から施行される改正FIT

T法において、「未稼働案件の発生を踏まえた新認定制度の創設」「適切な事業実施を確保する仕組みの導入」「地熱等リードタイムの長い電源の導入拡大」(※「等」に水力が含まれる)「電力システム改革を活かした導入拡大」等の見直しが行われる。

法改正の詳細事項には不明な点が多く、今後の情報に留意する必要がある。

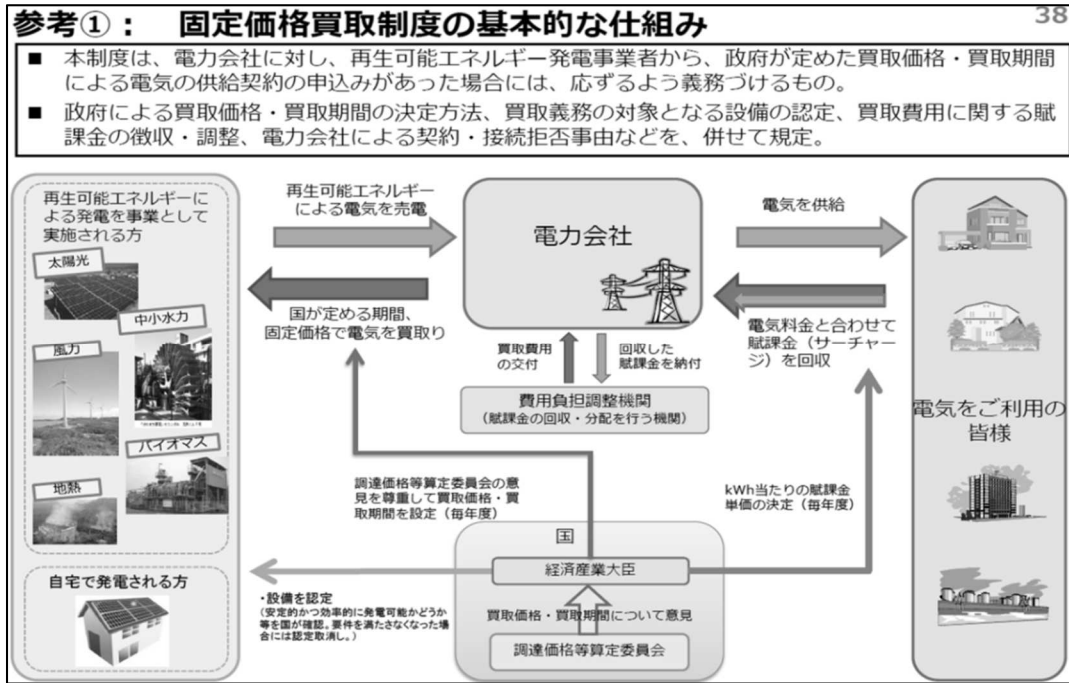


図-9(FITの仕組み) 出典:経産省

6. 発電施設規模の検討

平成26年度に小清水町が行った概略設計においては、流量データを参考に9通りの流量を設定し、その中で、「投資回収年」「IRR(内部収益率)」という指標を用いて優劣を検討した結果、使用水量1.2m³/s、有効落差55m、年間発電電力量2125MWhとなり、1市4町はこれを施行申請提出の根拠とした。

これまでの記述のとおり、実現性を考慮しつつ更に効率的な発電をめざし、次の事項を検討した。

- 発電規模の上限値(499kW)以内で検討
- 施設位置見直等による有効落差の向上
- 発電不可日を減ずることでの年間発電量の向上

その結果、使用水量0.95m³/s、有効落差60m、年間発電電力量2,252MWh(+127)となり、施設の効率を示す「設備利用率」も46.4%から51.5%と大きく向上した。

なお、図-3(水車形式選定表)によると、この使用

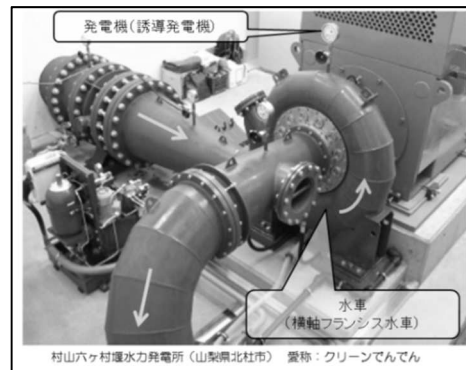


写真-2(横軸フランシス水車) 出典:山梨県北杜市HP



写真-3(横軸フランシス水車モニュメント)
所在:遠軽町白滝村(旧白滝発電所)

水量と有効落差で汎用性が高い水車形式は「横軸フランシス水車」「クロスフロー水車」があるが、吐出し口の水位変動による影響が少ない特徴から前者を選定した。

表-2(発電規模検討表)

発電規模検討表(施行申請時と採択申請時の比較)

大項目	中項目	番号	事項	細事項	単位	算式及び考え方	A'	A	B	C=B-A	備考	
発電 補元	発電 補元	(1)	発電使用水量		m ³ /s	与条件	1,200	1,200	0,950	-0.25		
		(2)	基準有効落差		m	与条件	55	55	60	5		
		(3)	最大出力		KW	出力計算結果	523	523	499	-24		
		(4)	年間発電量		MWh/年	発電量計算結果	2,125	2,125	2,252	127		
		(5)	設備利用率		%	発電量計算結果	46.4	46.4	51.5	5		
事業費算出	工事費 (直営)	(6)	土木工事費		百万円	別途計上	96	143	96	-47		
		(7)	水車・発電機・機器類		百万円	他地区事例を参考に試算	415	415	415	0		
		(8)	自営線増設費		百万円	概算値み上げ	72	72	72	0		
		(9)	ダム変電施設改設費		百万円	他地区事例を参考に試算				0		
		(10)	ダムコン改設費		百万円	想定	10	10	10	0		
		(11)	小計		百万円	Σ(6~11)	593	640	593	-47		
		工事費 (北電)	(12)	北電配電線付替え		百万円	概算値み上げ	434	434	434	0	
			(13)	バンク逆潮流対策費		百万円	出力×3345円/KW(税込)	2	2	2	0	
			(14)	小計		百万円	Σ(13~14)	436	436	436	0	
			測費 総事業費	(15)	調査測量設計費		百万円	概算値み上げ	53	53	53	0
		(16)		総事業費		百万円	(12)+(15)+(16)	1,082	1,129	1,082	-47	
	(17)	総事業費うち北電対策費以外			百万円	(12)+(15)	646	693	646	-47		
	売電収入		(18)	売電する電力量		MWh/年	(4)	2,125	2,125	2,252	127	
			(19)	調達価格		円/KWh	H27の単価	29	29	29	0	
			(20)	売電収入		千円/年	(18)×(19)	61,625	61,625	65,308	3,683	
			(21)			千円/年						
	年間維持管理 費用等の 検討		(22)	定期点検等		千円/年	算定資料(ハイドロレー)	7,000	8,000	7,000	-1,000	
			(23)	本体分	労務費用	千円/年	別途加算	9,000	9,000	7,000	-2,000	
(24)			維持管理費等	資本回収費用	千円/年	算定資料(ハイドロレー)	9,000	15,000	15,000	0		
(25)				改修基金(災害準備含む)	千円/年	(7)×0.5/20	10,375	10,375	10,375	0		
(26)			維持管理及び運営に要する費用合計	千円/年	Σ(22~25)	35,375	42,375	39,375	-3,000			
(27)			発電以外の維持管理費への充当可能額	千円/年	(26)-(28)	26,250	19,250	25,933	6,683			
(28)			発電原価	円	(26)/(21)×(20)	16.6	19.9	17.5	-2			
効果		(29)	発電原価	円	(28)/(4)	16.6	19.9	17.5	-2			

(注)ダム水路主任技術者 Aでは第1種が必要であり6000千円/年、Bでは施工管理技術者の配置で済むため4000千円/年としている。また電気主任技術者は業務委託を想定(一律3000千円/年程度)

7. 本体施設の維持管理

① 売電収入の充当範囲

農水省農村振興局作成の質疑応答問 4-5 において次の回答がなされており、この考え方にに基づき、売電収入の充当を検討した。

(問 4-5)「売電収入の具体的な充当範囲」

- 発電施設の維持運営費(維持費、人件費、資本改修費)
- 土地改良施設の維持管理費: 電力供給対象施設や発電施設と共用する施設を含む土地改良区が管理する土地改良施設全体の維持管理費であり、人件費、修繕費、購入電気料金、水路管理費など。※市町村管理も土地改良区と同等の読みとなる。
- 建設改良積立金: 将来とも安定した事業実施を維持するため、発電施設を含む全ての土地改良施設(発電施設含む)の機能が適切に発揮されるよう積み立てる建設改良・更新にかかる資金
- 災害準備積立金: 収支決算に大きな影響を与える落雷や豪雨等の自然災害や渇水時の発電量の減少

② 本体施設維持運営費の計上方法

- 本体施設の維持管理費及び資本改修費: ハイドロバレー計画ガイドブック(H17 経済産業省資源エネ庁)に詳しく、「年次別経費率表」にしたがって算出した。
- 追加労務費用: 小水力発電施設の稼働により、電気事業法の規定により「ダム水路主任技術者」「電気主任技術者」の配置が、これまでの管理に追加されて必要となることから、人件費として計上。なお電気主任技術者は委託業務を想定。ダム

水路主任技術者は自前での確保を検討している。発電施設建設の補助監督員として整備に携わることで、大臣より免状の交付を受けることとしている。なおその金額は、1市4町の平均的な給与額を参考とした。

- 本体施設の改修基金及び災害準備金：定まった算定手法がないことから、「水車・発電機・機器類については当初整備費用の約半額が今後20年間で必要」という想定で積上げた。

③ 畑かん施設全体の維持管理費等への充当

国営斜網地域畑地かんがい維持管理協議会では、畑かん施設全体の維持管理費に年間約3,000万円を要しており、この費用を1市4町がそれぞれ所定の割合で負担する。

売電収入のうち、売電収入のうち本体発電施設維持運営費用を差し引いた約2,600万円は、畑かん施設全体の維持管理費への充当を予定する。

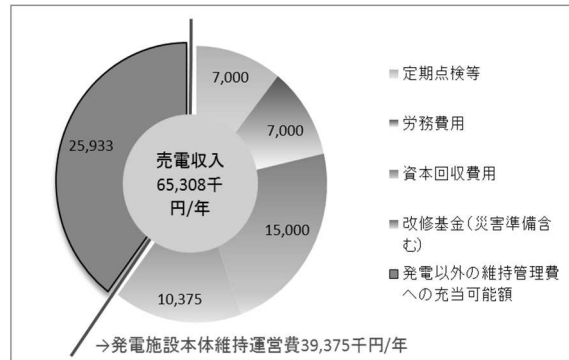


図-10(売電収入の充当先)

V. 売電に関する検討事項

1. 系統連系

発電施設の建設に当たっては、売電を伴うことから北海道電力(以下、「北電」)所有の配電線や変電所の設備容量が影響する。FITによる太陽光発電施設の導入の加速化はオホーツク斜網地域も例外ではなく、北電では接続連系の申込みを行った時刻を管理することで公平性を保つなどの対策を行っている。FIT法改正の情報



図-11(系統連系広域マップ)

も太陽光発電事業者の接続申込に拍車がかかり、「既存施設の空き容量>最大出力」となる可能性があり、この場合次の点が懸念される。

- 既存施設全体の容量増を行うための事業側負担額の増加。
- 空容量を前提とした最大出力とする場合の売電収入の減(「売電収入<本体維持運営費」となるとは事業を行う意義がなくなる)

そこで、接続連系に必要な発電機(モーター)の仕様を定め、早期の接続申込を行う取組として、技術調査費を活用し、小水力発電施設計画技術のマニュアル作成とあわせて、本年度の委託業務において発電機の仕様を定める考えであり、遅くとも本年度中の接続連系申込に向けて資料作成を行っている。

2. 配電線の改修

変電所から発電箇所までの距離は約 30 km と長く、沿線には一般の需要者も存在する。

配電線の機能には、緑ダム小水力発電の新たな電気を通しつつ、需要家が安定的に使用できるように周波数の維持（電気の品質の保持）が求められる。また原因者として北海道が配電線の対策費用を負担する必要がある。

概略設計の受託コンサルタントが作成した報告書によると、現況配電施設では容量が不足すると想定した札弦市街～責任境界線までの約 15 km については、配電線設備の改修が必要としており、その対策費用を約 4 億円と試算した。

なお今後は、発電機の仕様を定め、北電に対して所定の接続検討料を支払うことで、この費用は精査される予定となっている。

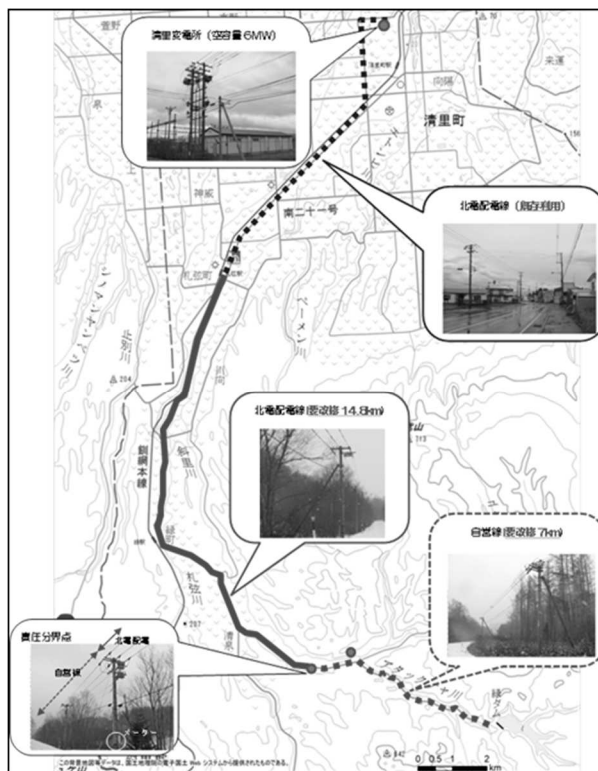


図-12(配電線マップ) 出典:H26 概略設計

VI. 終わりに

今回の発表は「フェーズ1 計画編」と称した。今後、実施設計や施工、維持管理など各段階にて、本報告会のような場を活用しつつ情報を共有し、道や各自治体など関係者が一丸となって多岐にわたる課題を克服し、完成を迎えられるよう祈念したい。

また本要旨執筆にあたりご協力を賜った組織名を、末筆ながら謝辞を込めて次のとおり列記する。

- 日本工営(株)札幌支社
- 北海道産業保安監督部（電力安全課）
- 北海道経済産業局（資源エネルギー環境部 エネルギー対策課）
- 北海道開発局 網走開発建設部（公物管理課・農業整備課）
- 北海道電力(株) 網走営業所

【参考文献】

- 1) 小清水町 平成 26 年度施行 小水力発電概略設計等業務
- 2) 経済産業省・資源エネルギー庁ホームページ（①水車形式の検討、②ハイドロバレー計画ガイドブック ③FIT）
 - ① http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_011.pdf
 - ② http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/
 - ③ http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/family/index.html
- 3) 農林水産省ホームページ（農業農村整備事業における小水力発電の整備状況）
<http://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/shousuiryoku/attach/pdf/rikatuyousokushinn-10.pdf>
- 4) 山梨県北杜市ホームページ（横軸フランス水車）
<http://www.city.hokuto.yamanashi.jp/komoku/shisei/ondanka/pdf/suiryokupannsu.pdf>
- 5) 平成 2 7 年度小水力等発電導入技術力向上中央研修（指導者育成研修第 3 回）テキスト