

第2章 小水力発電の基礎知識の整理

2-1 小水力発電とは

水力発電は、水の流れ落ちるエネルギーを利用して、水車を回して発電機で発電するものである。この中でも発電出力 1,000kW 以下のものを小水力発電と呼んでいる。

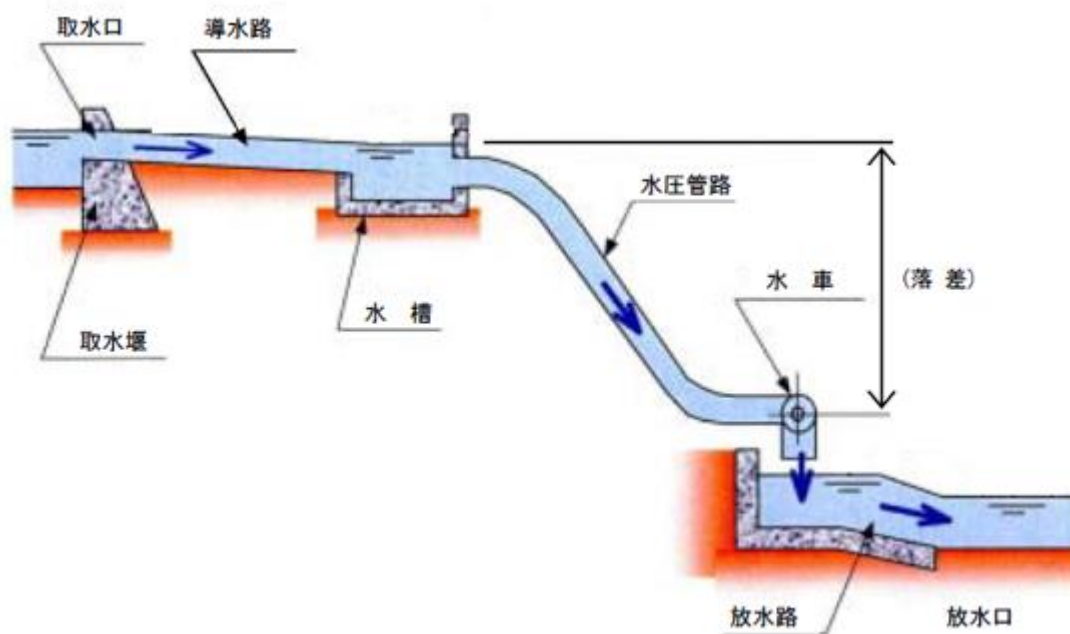


図 2.1.1 水力発電の仕組み

出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

2－2 小水力発電を行う場所

小水力発電は、流量と落差のある場所が対象となる。

一般河川	砂防ダム、治山ダム
	
農業用水路	上水道施設
	
下水処理施設	ダム維持放流
	
既設発電所の放流水	ビルの循環水、工業用水
	

図 2. 2. 1 小水力発電の設置箇所

出典：全国小水力利用推進協議会HP

2-3 発電電力

1. 発電出力

水力発電所の発電出力を求める式を下記に示す。

$$P \text{ (発電出力 kW)} = 9.8 \times Q \text{ (m}^3/\text{s)} \times H_e \text{ (m)} \times \eta \quad \cdots \text{式 1}$$

- ・ P : 発電設備の出力
- ・ 9.8 : 係数 (重力加速度 $\times$ 水の密度)
- ・ Q : 流量
- ・ H_e : 有効落差 (総落差 - 損失落差)
- ・ η : 効率 (水車効率 $\times$ 発電機効率 $\times$ 増速機効率など、60~85%程度)

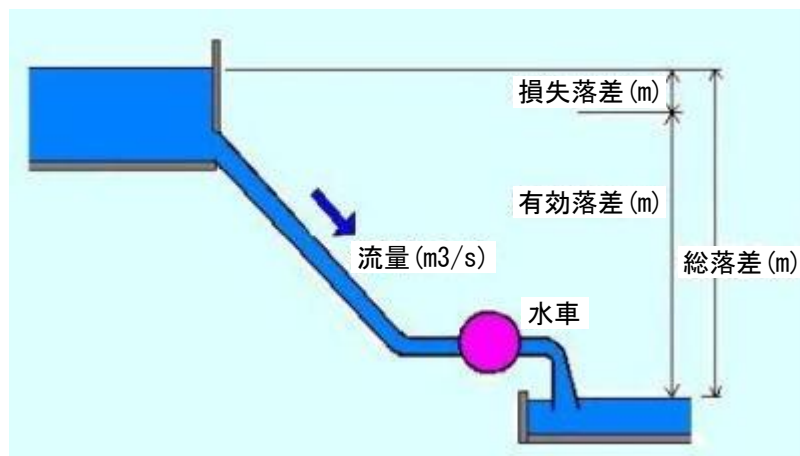


図 2.3.1 有効落差について

出典：全国小水力利用推進協議会HP

2. 年間発電量

年間発電量を求める式を下記に示す。

$$\text{年間発電量 (kWh)} = \text{発電出力 (kW)} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \times \text{設備利用率} \quad \cdots \text{式 2}$$

- ・ 年間発電量 : 1年間に発電できるエネルギー量
- ・ 設備利用率 : 流量が減ると発電出力も下がる。最大出力で1年間連続運転する場合の発電量に対する実際の発電量の割合をいう (流況により異なるが、通常 50~95%程度)。

2－4 発電方式

1. 水路式発電方式

水路を設ける発電方式であり、落差を利用するための「導水路」や「水圧管路」を設置する。下記にその代表的な構成を示す。

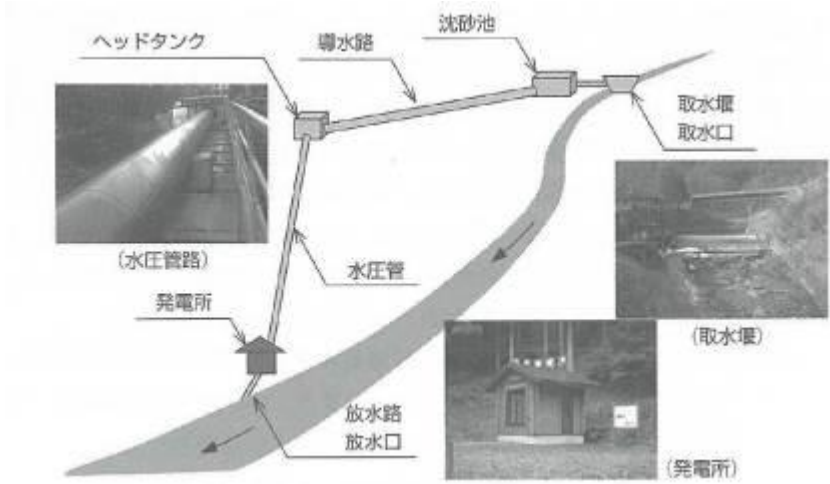


図 2.4.1 一般的な水路式発電の構成例

出典：小水力エネルギー読本（全国小水力利用推進協議会）

メリット	発電所の地点選定を含めて、レイアウトが比較的自由に決められる。
デメリット	水量が減る「減水区間」が出てくるため、発電維持流量（正常流量）の検討が必要になる。このため、減水区間の影響を考慮した取水量の決定が重要となる。

2. 直接設置式発電方式

砂防ダムや農業用水路の落差工などに水車・発電機を直接設置する発電方式。下記にその代表的な構成を示す。

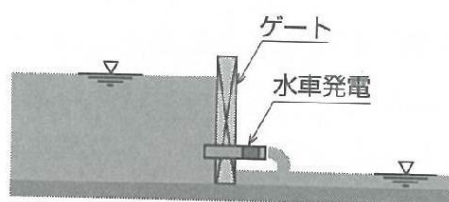


図 2.4.2 水路を持たない発電方式の構成例

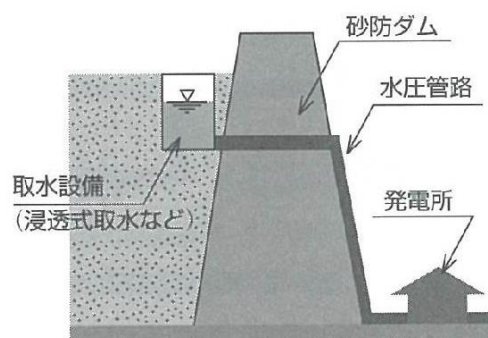


図 2.4.3 砂防堰堤を利用した発電方式の構成

出典：小水力エネルギー読本（全国小水力利用推進協議会）

メリット	減水区間を生じないので、環境への影響が軽微である。
デメリット	発電所の位置が砂防ダムや落差工、ゲートなどがあるところに制限される。

3. 減圧設備代替式発電方式

水道や農業関係のパイプライン、ダムなどに付属する利水放流設備の末端、ビルや工場などの給水設備などに設置されている減圧バルブでは水圧を強制的に放出している。ここで放出されている水圧を水車発電機により電気のエネルギーに変換するのが、減圧設備代替方式発電方式である。下記にその代表的な構成を示す。

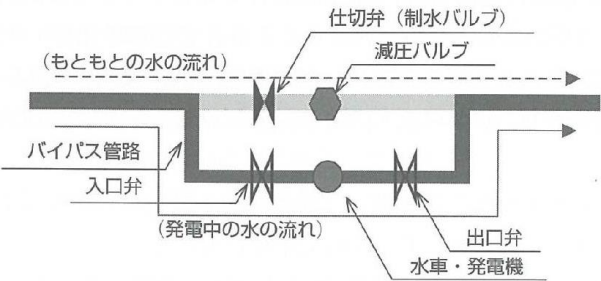


図 2.4.4 水路施設における減圧設備代替方式発電方式のイメージ

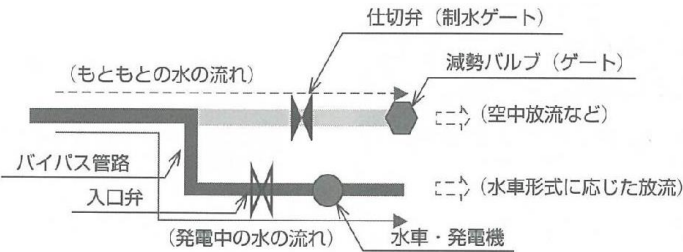


図 6・9 利水放流設備における減圧設備代替式発電方式のイメージ

図 2.4.5 利水放流設備における減圧設備代替方式発電方式のイメージ

出典：小水力エネルギー読本（全国小水力利用推進協議会）

メリット	水量や落差などが安定しているケースが多く、ごみや土砂などの影響がないことから、効率的な発電が可能となる。また、減圧弁の騒音が解消される利点もある。
デメリット	水道や農業関係等の施設の完全従属的な運用となるため、発電計画の自由度は小さくなることや新たな設置スペースの確保が必要になる。また、水質悪化などにも配慮する必要がある。

2-5 水車の仕組み

発電に利用される水車は、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。

水車は、流水のエネルギーを機械エネルギーに変換する羽根車(ランナ)の形状と構造により衝動水車と反動水車に大別され、表に示すように分類される。

表 2.5.1 水車形式

水車の種類			摘要範囲			落差
			出力 (kW)	落差 (m)	流量 (m ³ /s)	
衝動水車 (速度エネルギー)	ペルトン水車		0.5～ 4,000	17～ 500	0.01～ 2	高い ↑
	ターゴインパルス水車		100～ 8,000	25～ 300	0.2～ 8	
	クロスフロー水車		10～ 1,000	5～ 200	0.1～ 8	
反動水車 (圧力エネルギー)	フランシス水車		50～ 4,000	10～ 300	0.3～ 10	↓ 低い
	プロペラ水車	カプラン水車	1,000 ～ 100,000	10～ 60	10～	
		チューブラ水車	50～ 5,000	3～ 18	1.5～ 40	
		プロペラ水車	1～ 200	2～ 150	0.01～ 3	
	水中ポンプ形 水車	ポンプ逆転水車	1～ 200	6～ 80	0.02～ 1	
		水中タービン水車	10～ 500	2.8～ 20	0.4～ 10	
重力水車 (水の重さ)	開放型水車	らせん水車	-	1～ 5	-	
		上掛け水車	-	2.5～ 5.5	0.2～ 1.2	
		下掛け水車	-	1～ 2	1.0～ 2.0	

参考：

衝動水車：圧力エネルギーを速度エネルギーに変えて水車に作用させるものであり、高落差用。

反動水車：圧力エネルギーを水車に作用させる水車であり、低落差～中落差用。

重力水車：水の重さを利用する水車で、超低落差用（1～5m 程度）。

※クロスフロー水車は、衝動水車と反動水車の両方の性質を持っている。

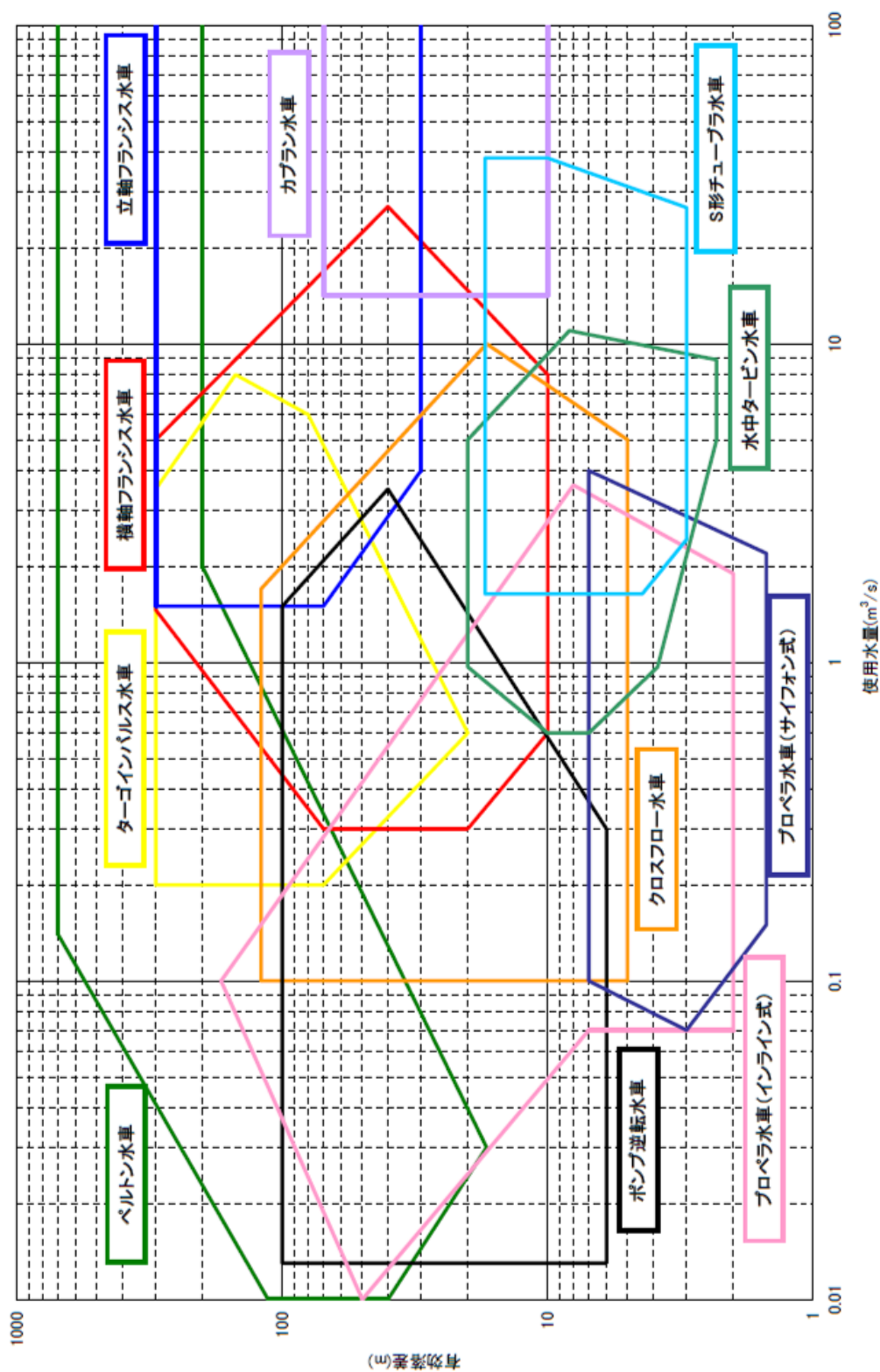


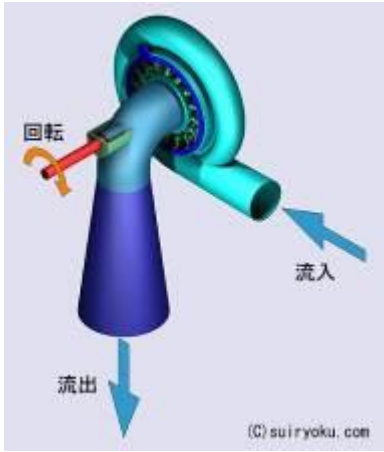
図 2.5.1 水車選定図

出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

水車形式	内容
ペルトン水車 (衝動水車) 流量調整運転： 可	・非常に少ない流量から採用可能。ただし、ある程度の落差を必要とする。 ・高価である。 ・ペルトン水車は、ノズルから噴出する水をバケットに衝突させる機構の衝動水車で、高落差に適しており、大型機から小型機まで多くの採用例がある。 ・ペルトン水車は流量調整できる機構(ニードル)を備えており、流量調整が優先される場合にも使用できる。 ・流量 0.01～2m³/s、落差 17～500mで、高落差に適する。 ・効率は他の形式と比べると落ちるが、流量の変化に対する出力の変動が小さい。 出典：四国電力㈱

水車形式	内容
ターゴインパ ルス水車 (衝動水車) 流量調整運転： 可	・非常に少ない流量から採用可能。また、ペルトン水車ほど落差を必要としないので採用しやすい。 ・ターゴインパルス水車は、ノズルからのジェット主流をランナの斜めから入射させる構造となっている衝動水車で、流量調整できる機構(ニードル)を備えている。 ・この水車は、ペルトン水車よりも低い落差に適用でき、フランシス水車とペルトン水車の中間領域では非常に有利な水車である。また、この水車はペルトン水車に比べて水車の回転数を上げることができるので、水車及び発電機の寸法を小さくできる。 ・流量 0.2～8m³/s、落差 25～300mに適する。 ・低流量でも効率低下が小さく、構造が簡単でメンテナンスが容易である。 出典：ハイドロパレー計画ガイドブック（経済産業省） 出典：全国小水力利用推進協議会HP

水車形式	内容
クロスフロー水車 (衝動水車) 流量調整運転：可	・流量変化の大きい箇所に適している。比較的安価である。 ・クロスフロー水車は、水流が円筒形のランナに軸と直角方向より流入し、ランナ内を貫通して流出する衝動水車で、流量調整できる機構(ガイドベーン)を備えた、中小水力用の水車である。 ・クロスフロー水車は比較的高い効率で運転することができ、ガイドベーンを1/3ガイドベーンと2/3ガイドベーンに分割したものでは、負荷に応じて操作が可能で、低流量でも効率の低下を小さくすることができる特徴を持っている。また、クロスフロー水車は、外側のカバーを外すだけでランナを点検することができ、容易に除塵することができる簡単な構造の水車である。 ・流量 0.1～8m³/s、落差 5～200mで、高落差に適する。 ・低流量でも効率低下が小さく、流量変化の大きい場所に適する。 出典：山梨県HP 出典：ハイドロパレー計画ガイドブック（経済産業省）

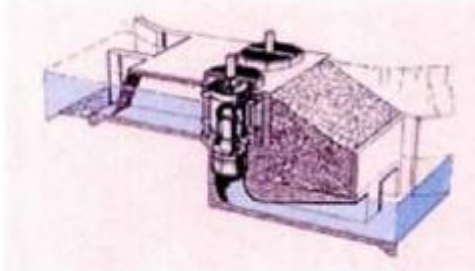
水車形式	内容
フランス水車 (反動水車) 流量調整運転：可	・フランス水車は、高落差から低落差まで、大容量から小容量まで広い範囲に用いられ、構造も簡単なので、中小水力発電においては横軸フランス水車が多く採用されている。 ・この水車は反動水車に分類され、水はランナの全周から中心に向かって流入し、水圧によりランナを回転させつつ、ランナ内で軸方向に向きを変えて流出する。フランス水車は、流量調整できる機構(ガイドベーン)を備えており、水道等の流量調整が最優先される場合にも使用できる。 ・流量 0.3～10m³/s、落差 10～300mに適する。 ・高効率(85～93%)である。  出典：水力ドットコム  出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

水車形式	内容
カプラン水車 (反動水車) 流量調整運転： 可	・プロペラ水車は水車の水を受ける部分(水車翼、水車羽根)が固定されているが、カプラン水車は水車翼(羽根)が可動式となっており流量(出力)に応じて角度(翼角)を変化させることによりプロペラ水車よりも効率良く運転が出来る。 ・流量変化が大きい地点はカプラン水車、流量変化がない地点はプロペラ水車などと使い分けするのが基本となる。 ・流量 10m³/s～、落差 10～60mに適する。 A 3D cutaway diagram of a Kaplan turbine. It shows a central vertical shaft with a water runner (水車ランナー) at the bottom. The runner has adjustable blades. Surrounding the runner are guide vanes (ガイドベーン) that direct water flow onto the blades. The diagram is labeled with '水車ランナー' and 'ガイドベーン'. 出典：水力ドットコム Two images illustrating the Kaplan turbine. The left image is a photograph of a large blue and yellow Kaplan turbine runner being worked on by two people. The right image is a schematic diagram titled 'カプラン水車の仕組み' (Mechanism of a Kaplan turbine). It shows the turbine (水車) connected to a generator (発電機) inside a powerhouse. Water flows through the turbine from a reservoir. A crane (除塵機) is also shown near the generator. 出典：日本小水力発電㈱

水車形式	内容
プロペラ水車 (反動水車) 流量調整運転： 不可	・カプラン水車と同様に低落差に適した水車であり、羽根の動かない水車がプロペラ水車で、流量の変化等に応じて羽根の開度を調整できる水車がカプラン水車である。 ・流量が一定の地点に適した水車であるため、流量の変化が大きい地点には不適である。 ・流量 0.01～3m³/s、落差 2～150mに適する。 出典：全国小水力利用推進協議会HP

水車形式	内容
チューブラ水車 (反動水車) 流量調整運転： 不可	・チューブラ水車は、円筒形(チューブラ)のプロペラ水車のことをいい、低落差に使用される水車である。ランナの羽根は、小容量では固定式が多く、大容量では可動式となる。 ・中小水力発電用としては、S形チューブラ水車、立軸チューブラ水車、バルブ水車等がある。 ・チューブラ水車は、水流の流入、流出とも水車の軸方向なので、図に示すように配管直線部に挿入する機器配置が可能であり、近年上下水道などにおける発電用に使われている。 ・ランナの羽根が固定式の場合には、流量調整できないので、落差、流量とも変化しない地点が最適であるが、流量変化が大きい場合には水車を複数台設置し、運転台数を変更することで水の利用率を高めることもできる。 ・流量 1.5～40m³/s、落差 3～18mに適する。 出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

水車形式	内容
ポンプ逆転水車 (反動水車) 流量調整運転： 不可	・水車発電機建屋が不要。機器本体は高価であるが、付帯設備の省略が可能である為、トータルでは安価に抑えられるケースもある。 ・一般的に使われるポンプ(渦巻ポンプあるいは軸流ポンプ)に水を逆に流し、ポンプを逆方向に回転させることで発電に使用する水車である。 ・ランナの羽根形状以外はポンプと同じ部品を使えるので安価だが、効率は他の水車よりも低くなる。 ・渦巻ポンプには、回転軸の横方向から水が流入し、水車内で軸方向に向きを変えて流出するタイプ(片吸込形)と、流入、流出とも回転軸の横方向となるタイプ(両吸込形)がある。 ・軸流ポンプは、発電機を設置する側の流入、流出どちらか一方で水流を直角に曲げる必要がある。 ・流量 0.02～1m³/s、落差 6～80mに適する。 出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

水車形式	内容
水 中 式 発 電 機 一 体 型 水 車 (反動水車) 流量調整運転： 不可	・水車及び発電機が一体となっている水中ポンプに水を逆に流し、ポンプを逆方向に回転させることで発電に使用する水車である。 ・ランナの羽根形状以外はポンプと同じ部品を使えるので安価だが、効率是他の水車よりも低くなる。この水車は、水槽底部や配管内に水中設置することになるが、点検や部品交換のため水中から取り出せるような据付とする必要がある。 ・流量 0.4～10m³/s、落差 2.8～20mに適する。   出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

水車形式	内容
らせん水車 (重力水車) 流量調整運転： 不可	・大昔から存在する農事用水車。配管土木工事がほとんど必要ない。 ・世界的に古くから工業、林業、農業などの動力源として使用されてきた水車だが、現在は発電用として活躍している。 ・1～5m程度の超低落差に適した水車である。 ・水車自体の効率 は 70～80%程度である。  出典：全国小水力利用推進協議会HP

水車形式	内容
上掛け水車 (重力水車) 流量調整運転： 不可	・既設の水路等を使えば、配管土木工事が殆ど必要ない。 ・利用し得る落差が低く小容量であること、効率が低いことから発電利用のみを考えた場合の価値は高くないが、見た目が分かり易く、構造が簡単でメンテナンスも容易なことから、最近ではモニユメントとして設置される例も増えている。 ・流量 0.2～1.2m³/s、落差 2.5～5.5mに適する。  出典：全国小水力利用推進協議会HP
下掛け水車 (重力水車) 流量調整運転： 不可	・既設の水路等を使えば、配管土木工事が殆ど必要ない。 ・利用し得る落差が低く小容量であること、効率が低いことから発電利用のみを考えた場合の価値は高くないが、見た目が分かり易く、構造が簡単でメンテナンスも容易なことから、最近ではモニユメントとして設置される例も増えている。 ・流量 1.0～5.0m³/s、落差 1.0～2.0mに適する。  出典：全国小水力利用推進協議会HP

2-6 河川法について

1. 水利許可申請について

発電所を設置する場所により、河川法の手続きが必要な場合がある。下記に、河川法の手続きが必要な場合と不要な場合を示す。なお、水色の範囲については、河川法の手続きは不要である。

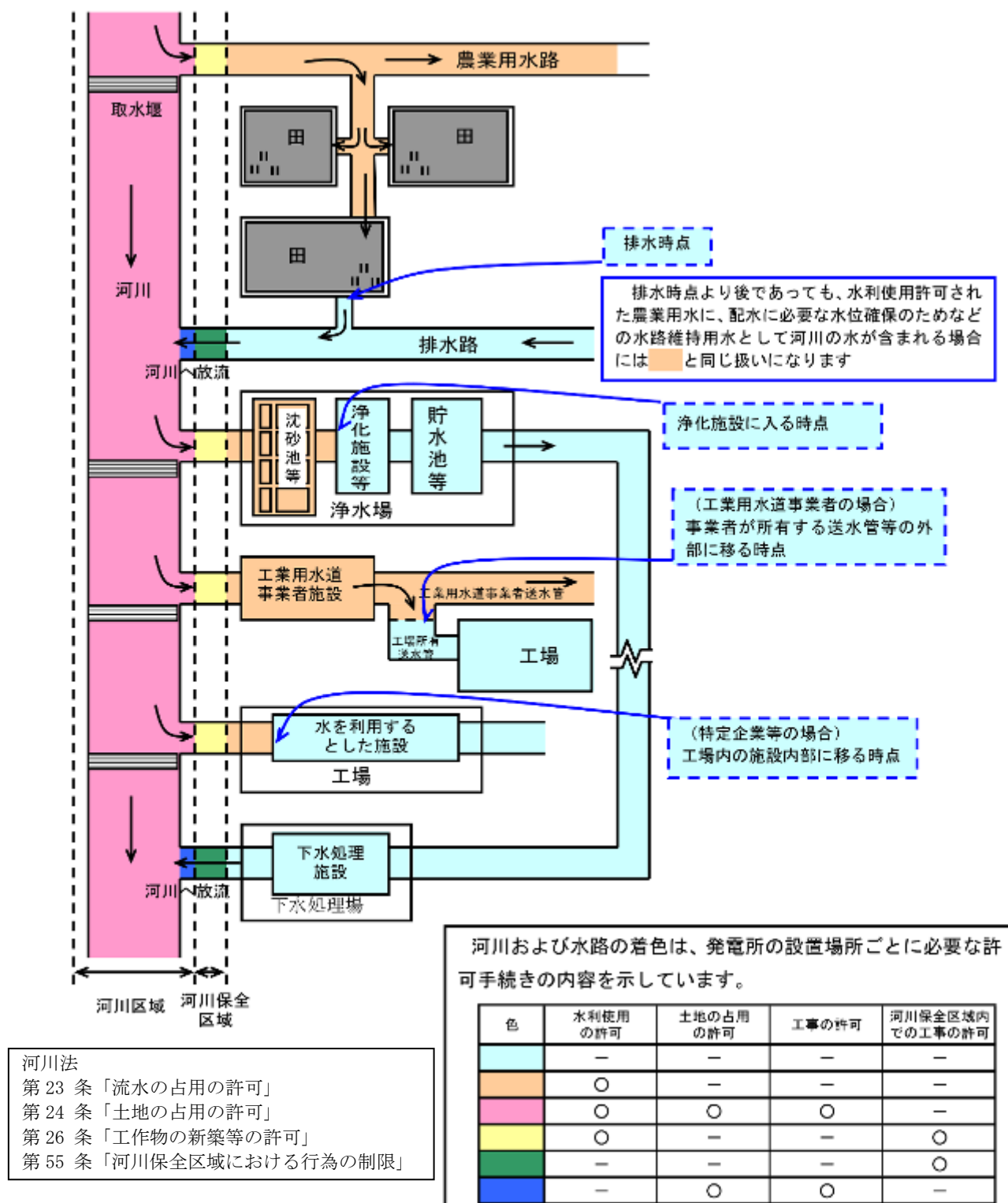


図 2.6.1 河川および水路における水利許可申請図

出典：小水力発電を行うための水利使用の許可申請ガイドブック（国土交通省）

2. 河川法の申請窓口と必要書類

下記に、河川法の申請窓口と許可申請に必要な資料を示す。

表 2.6.1 許可申請窓口

河川の種類	許可申請窓口
一級河川	国土交通省の各河川事務所、新潟県
二級河川	新潟県
準用河川	市町村役場
普通河川	市町村役場（普通河川は河川法の適用外、自治体が管理条例を定めている）

表 2.6.2 許可申請に必要な資料例

水利使用許可申請に必要な書類	通常 発電	従属 発電	備考
①発電計画の概要	●	●	発電の目的、発電方式、施設管理者との関係など
②発電に使用する水量確認資料	●	●	水量設定の根拠
③河川流量の確認資料	●		原則 10 年間分の流量データ
④発電のための取水が可能か判断 する計算書	●		
⑤治水・利水・環境対策	●		
⑥発電施設の構造計算書・設計図	●		他、工事工程表、位置図、一般図、現場写真など
⑦関係河川使用者の同意書	●		河川管理者から指示
⑧用水および施設利用の確認書		●	施設管理者との利用契約
⑨他の規制・法令の手続き状況	●		他の規制の許認可の取得状況の確認
⑩その他	●	●	

※従属発電：農業用水など他の目的で水利使用許可を得た水を利用して発電事業を行う場合のこと。

3. 許可水利権と慣行水利権

許可水利権：河川法に基づき、河川管理者の許可により成立する流水の占用の権利。

慣行水利権：旧河川法（明治 29 年公布）施行以前あるいは河川法の適用を受ける法定河川（一級、二級、準用河川）として指定される以前から、特定の者による排他継続的な事実上の水の支配をもとに、社会的に承認された権利。

2-7 河川維持流量について

1. 河川維持流量とは

小水力発電を設置することにより下図に示すように、取水地点下流において河川に減水区間が生じる場合がある。このような場合は、河川環境保全の目的で減水区間の河川流量を確保するために、取水地点より下流へ河川維持流量分を放流する必要がある。更に、灌漑用水等の取水が行われている場合は、これら必要水量の放流も必要となる。これらの放流は発電計画に与える影響が大きいため、あらかじめこれを差引いて流況曲線図を作成する必要がある。

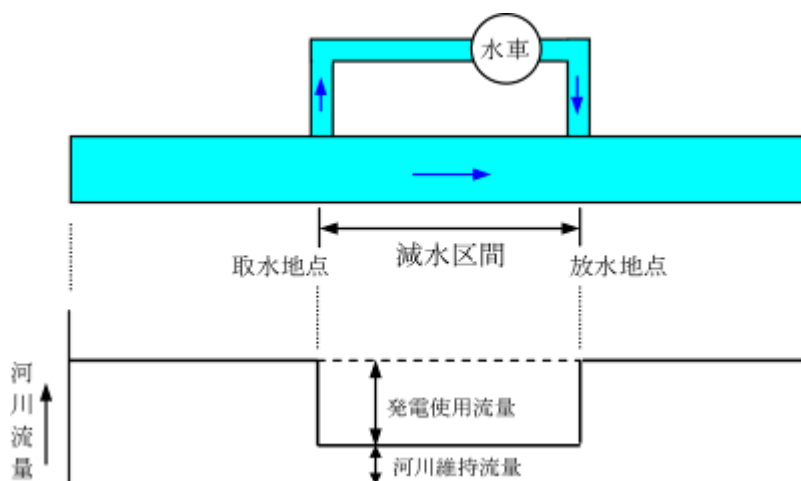


図 2.7.1 河川維持流量と発電使用流量の関係

出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

2. 流況曲線とは

発電計画の取水地点における流況曲線図を、河川維持流量等を差引いた河川流量データより作成する必要がある。流況曲線図とは、縦軸に流量、横軸に日数を取り、1年間の日流量データを順番に並び替えたものであり、下図に示すように図化したものである。

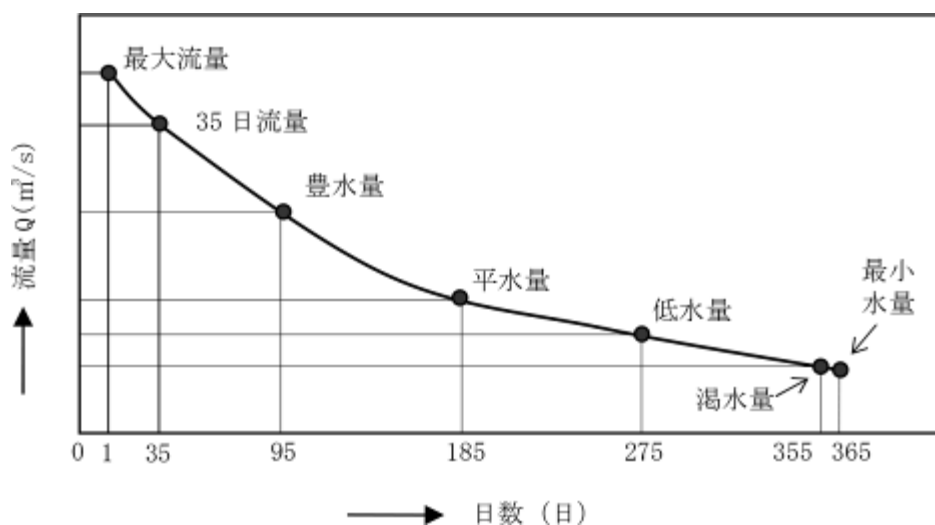


図 2.7.2 流況曲線

出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（経済産業省）

2-8 電気事業法について

以下の条件に全て該当するものを「一般用電気工作物」、それ以外は「事業用電気工作物」となる。なお、発電設備が「一般用電気工作物」であれば、電気事業法上必要な手続きは不要となる。

- ・電圧 600V 以下で受電
- ・ダムを伴わない出力 20kW 未満、かつ最大使用水量 1m³/s 未満
- ・受電線路以外で構内以外の場所の電気工作物と電氣的に接続されていない

また、事業用電気工作物の場合、発電方法や発電出力に応じて、下記のような手続きが必要になる。

表 2.8.1 電気事業法に基づき必要な書類

発電方法・出力の条件	保安規程	電気主任技術者	ダム水路主任技術者	工事計画届
ダム・堰を有する、または出力 200kW 以上	●	●	●	●
ダム・堰を有せず出力 20～200kW 未満	●	●	—	—
上下水道・工業用水の落差を利用し、ダム・堰を有しない	●	●	—	—
ダム・堰を有せず出力 20kW 未満	—	—	—	—

※保安規程：電気工作物の工事、維持、運用において、電気事業法施行規則で定められた事項についてルールを定め、使用開始前に経済産業省に届け出る必要がある。

電気主任技術者：電気工作物の工事、維持、運用のための保安監督として、主任技術者を選任し、経済産業省に届け出る必要がある。なお、発電出力 1,000kW 未満であれば、資格を持つ個人事業者や電気保安協会などに委託することが可能である。

工事計画届：電気工作物の工事、変更では、事前に工事計画を策定し経済産業大臣に届け出る必要がある。なお、届出が受理されてから 30 日経過しないと、工事を開始することはできない。