

官民連携新技術研究開発事業
(小水力発電施設の効率的な除塵対策に資する技術開発)

農業用水利施設を活用した小規模水力発電設備における
除塵設備の選定マニュアルについて

平成29年3月

農林水産省農村振興局整備部水資源課

目 次

第1章 総則	1-1
1-1 目的	1-1
1-2 適用範囲	1-1
1-3 塵芥による発電事業への影響.....	1-1
1-3-1 農業水利施設を活用した小規模水力発電における除塵設備.....	1-2
1-3-2 発電出力 200kW 未満の注意事項.....	1-2
 第2章 除塵設備設計指針.....	2-1
2-1 除塵設備設計指針.....	2-1
2-1-1 章構成.....	2-1
2-2 形式	2-2
2-2-1 形式.....	2-2
2-2-2 除塵機の形式選定.....	2-5
2-2-3 除塵機の形式と適用例.....	2-7
 第3章 農業水利施設を活用した小規模水力発電と塵芥の特徴.....	3-1
3-1 農業水利施設を活用した小規模水力発電.....	3-1
3-2 農業水利施設における水車（参考）	3-2
3-2-1 水車選定図.....	3-2
3-2-2 見込まれる水車の特徴.....	3-3
3-3 農業用水路に流れる塵芥の特徴.....	3-8

第4章 農業用水利施設の小水力発電における除塵装置の手引き	4-1
4-1 農業用水利施設を活用した小水力発電における除塵装置	4-1
4-2 100KW から 10kW クラスの小水力発電の除塵装置	4-1
4-2-1 候補地点	4-1
4-2-2 レーキ形除塵機	4-2
4-2-3 ネット形除塵機	4-4
4-2-4 ストレーナ式	4-12
4-3 極小クラスの除塵装置	4-13
4-3-1 塵芥処理の現状	4-13
4-3-2 極小クラスにおける除塵の方向性	4-13
4-3-3 特殊スクリーン装置の効果	4-16
4-3-4 特殊スクリーン装置設置時の留意事項	4-17
4-4 農業用水利施設を活用した小水力発電設備における除塵機選定の参考例	4-21

第1章 総則

1 - 1 目的

農業水利施設の適正な維持管理を確保するため用水路の落差等を活用した小水力発電の導入が広く推進されているが、200kW 未満の小規模水力発電の分野は実現事例も少なく、設備設計の際に参考となる書籍・マニュアル・指針も少なく、規模の大小による違いを明確にしているものは稀であり、1,000kW 超の規模となる水力発電設備と同等の扱いになっていることが多い。

本マニュアルは、平成26年度から28年度にかけ行われた官民連携新技術研究開発事業（小水力発電施設の効率的な除塵対策に資する技術開発）での実証試験を基に、農業水利施設を活用した、特に小規模な水力発電設備の企画・建設を考えている場合の除塵設備の選定について、その手引きを示すことを目的とする。

1 - 2 適用範囲

本マニュアルは、土地改良事業で造成する用水路に付属する急流工や落差工、減圧水槽など、農業用水利施設に存在する水力エネルギーを活用する小水力発電設備に設置される除塵設備を対象とする。

1 - 3 塵芥による発電事業への影響

一般河川から直接取水して営まれる一般水力（流れ込み式）では、水力発電設備へ導かれる水に含まれる塵芥を発電事業に影響を与えない程度にまで取り除かれることが前提となる。具体的には、取水部や配管部、水車部において流路を閉塞しないことである。

塵芥除去の必要性は、塵芥が流路を閉塞する（必要な流路断面を確保できなくなる）ことにより、発電設備に十分な流水が届かず発電停止に至って、ひいては事業採算性に大きく影響するためである。

1-3-1 農業用水利施設を活用した小規模水力発電における除塵設備

農業用水利施設を活用した小水力発電設備の多くは、一般河川より既に除塵した形で取水している水（用水）を活用することから、流木などの大きな塵芥を対象とした除塵設備の設置は求められない。そこで周辺樹木からの落葉や、農業用マルチシートのような水路周辺の人工的な塵芥が流れ込んでくるための除塵設備の設置が求められる。

除塵設備の設置において、もし除塵能力が過小であった場合は、その発電設備の稼働時間の減少をもたらすこととなり、発電電力量の減少即ち収入の減少に直結する。また、過剰な性能を具現した設備を設置したとなれば、その過大な投資額が事業収支に悪影響を与える。このため用水路に流れてくる塵芥に適した除塵設備の設置が求められる。

1-3-2 発電出力 200kW 未満の注意事項

昭和 50 年代後半から平成 24 年前半までに検討・設置された小水力発電設備において、売電単価は電気事業者との相対で設定されていたため低価格であり、小規模の水力発電では事業性を確保できない場合が散見された。それ故、この時代に新設された水力発電設備の出力規模は小さくても数百 kW 級であり、設備設計の考え方もこのクラスを対象としていた。

平成 24 年に「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（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）」が施行され、より小規模領域の水力発電でも事業採算性が確保できるようになったことから、出力 200kW 未満の領域でも事業検討が進むこととなった。

200kW 未満の領域で採用される水車は、従来機に比べ当然のことながら使用する水量が少なくなるために小型化されている。水力エネルギーを回転力に変換する機構（水車ランナ）部も小さくなり、通水断面も狭くなっている。このため、落葉のような細かなものでも除塵しておかないと、発電に悪影響を及ぼすこととなり、注意が必要となる。

第2章 除塵設備設計指針

2 - 1 除塵設備設計指針

除塵機の設計において、多くの指針(ガイドライン)が準拠する先として、社団法人水門鉄管協会が編集・発行していた「除塵設備設計指針」がある。本設計指針は、電力会社や除塵機メーカーの長年の経験と英知により、細部にわたる設計要件が反映されており、除塵装置の設置検討の際は、必読を要する。なお、水門鉄管協会は平成 21 年 7 月 31 日を以て解散しており、水門鉄管協会が行っていた業務のうち一部は一般社団法人電力土木技術協会が引き継ぎ、同指針も電力土木技術協会が継続して発行、販売している。

2-1-1 章構成

除塵設備設計指針の章構成は以下のとおり。

第1章 総則

- 1. 1 目的
- 1. 2 適用範囲
- 1. 3 定義
- 1. 4 形式の選定

第2章 設計総論

- 2. 1 設計一般
- 2. 2 許容応力度・安全率・許容たわみ度
- 2. 3 部材に関する事項
- 2. 4 駆動装置
- 2. 5 掻揚・移動・開閉装置
- 2. 6 構成要素に関する事項

第3章 設計各論

- 3. 1 レーキ形定置回動式除塵機
- 3. 2 レーキアーム回動式除塵機
- 3. 3 レーキアーム往復式除塵機
- 3. 4 レーキ往復式除塵機
- 3. 5 ネット形回動式除塵機
- 3. 6 塵芥コンベヤ
- 3. 7 ホッパー
- 3. 8 制御装置
- 3. 9 付属設備

第4章 施工

4. 1 一般

4. 2 製作

4. 3 防食

4. 4 輸送及び据付け

第5章 保守管理

5. 1 一般

5. 2 補修又は取替え

5. 3 塗膜の管理と塗替塗装

2 - 2 形式

除塵設備設計指針の第 1 章 総則に掲載されている内容（除塵機の形式）について、抜粋して以下に転記引用する。

2-2-1 形式

除塵機の形式は、設置場所、使用条件及び塵芥の種類・量・形状等を考慮して決定する。

同指針における分類の特徴は、塵芥捉え方（鋼製のツメにより掻き上げる方式、ネット付着した塵芥そのものを引き上げるか）による分類を行い、以降、それぞれに主だった形式を細分化して掲載している。

(1) 用語の定義

同指針で使用される、除塵機に係わる用語を説明する。

用語	説明
レーキ	除塵機に取付けた塵芥を掻き上げる爪、鋼製で作られるものが多い
ネット	鋼棒を編み込んだ網により塵芥を留める装置
定置式	比較的短径間の取水口等に設置される除塵機の分類をいい、除塵機をその場に固定させ塵芥を取り除く方式で、回転式と往復式に分かれる
移動式	比較的長径間の取水口等に設置される除塵機の分類をいい、除塵機を移動させながら塵芥を除去する方式で往復式が採用される

回動式	定置式の除塵機的方式で、スクリーン面に対しレーキが回転するようチェーンで駆動する方式を採用したもので、比較的中小規模の発電所に多く採用されている
往復式	定置式回動式以外及び移動式の除塵機的方式で、レーキアーム往復式、レーキアーム回動式が採用される
背面降下前面掻揚式	定置式、回動式に採用される方式で、スクリーンの背面をレーキが降下しスクリーン前面下部より、レーキによりスクリーンに付着した塵芥を除去する方式
前面降下前面掻揚式	定置式、回動式に採用される方式で、スクリーンの前面側からレーキが降下し、スクリーン下部のスプロケットで回転したレーキによりスクリーン前面に付着した塵芥を除去する方式
レーキアーム	レーキが腕金により固定され、油圧やラック式で駆動し、レーキはスクリーンに接触しない形で降下し、スクリーン下部で油圧又は電動でスクリーンに接触させ塵芥を掻き上げる方式
チェーン式	レーキの昇降をチェーンで行う方式
ワイヤーロープ式	レーキの昇降をワイヤーロープで行う方式
ラック式	レーキの昇降をラック棒で行う方式
油圧シリンダ式	レーキの昇降を油圧シリンダで行う方式
デュアルフロー式	ネット式で水路軸に平行に設置する除塵機
ストレートフロー式	ネット式で水路軸に直角に設置する除塵機
セパレートネット式	ネット式除塵機でネットがセパレート型
エンドレスネット式	ネット式除塵機でネットがエンドレス型

(2) レーキ形

レーキ形 分類				名称
定置式	回動式	背面降下前面搔揚式(チェーン式)		背面降下前面搔揚式
		前面降下前面搔揚式(チェーン式)		前面降下前面搔揚式
	往復式	レーキ往復式	ワイヤーロープ式	定置ワイヤーロープ式
		レーキアーム回動式	チェーン式	定置レーキアーム回動チェーン式
			ラック式	定置レーキアーム回動ラック式
		レーキアーム往復式	ラック式	定置レーキアーム往復ラック式
			油圧シリンダ式	定置レーキアーム往復油圧シリンダ式
移動式	往復式	レーキ往復式	ワイヤーロープ式	移動ワイヤーロープ式
		レーキアーム回動式	チェーン式	移動レーキアーム回動チェーン式
			ラック式	移動レーキアーム回動ラック式
		レーキアーム往復式	ラック式	移動レーキアーム往復ラック式
			油圧シリンダ式	移動レーキアーム往復油圧シリンダ式

(3) ネット形

ネット形 分類				名称
回動式	デュアルフロー式 (水路軸平行)	イン・アウト	セパレートネット式	デュアルフローイン・アウト式
			エンドレスネット式	
		アウト・イン	セパレートネット式	デュアルフローアウト・イン式
			エンドレスネット式	
	ストレートフロー式 (水路軸直角)	セパレートネット式		ストレートフロー式

2-2-2 除塵機の形式選定

除塵機を用いる設備として、「発電施設」の他、「発電以外の取水口」「揚水機場」「排水機場」「川水路」がある。これらに除塵機を設置する際の検討する項目は以下のとおりである。

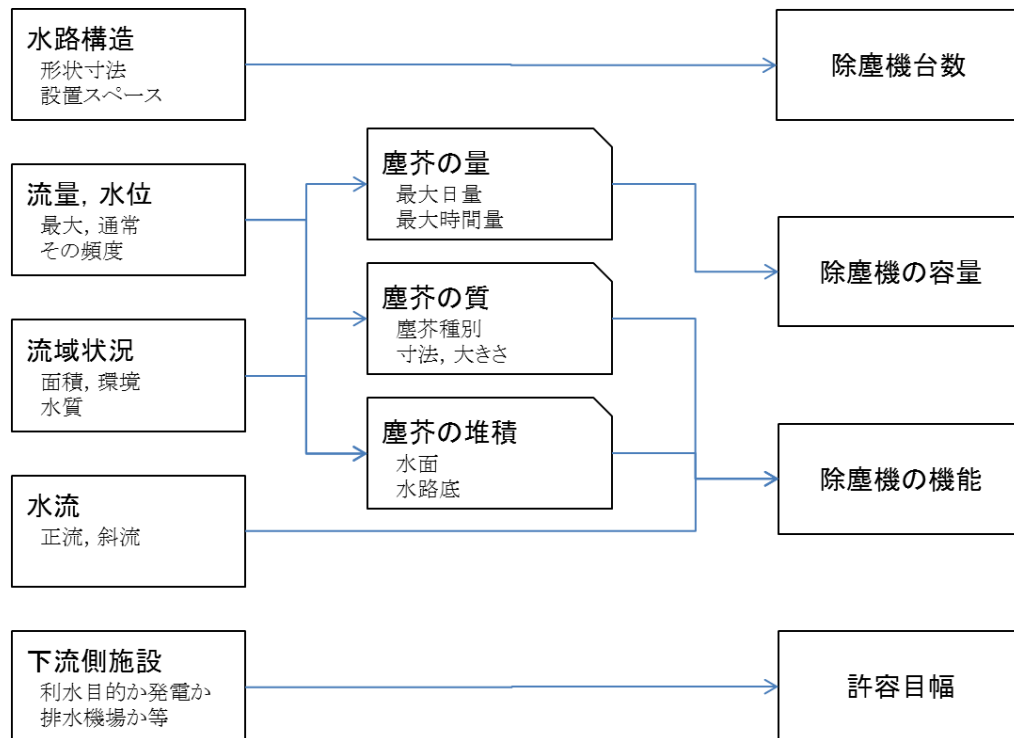


図 2-1 除塵機の形式選定

上図のフローは、主に一般河川の取水地点を対象に検討されており右の4項目の検討が必要であるが、本マニュアルで取り扱う 100kW から 10kW クラスの水車及び極小クラスの水車においては、除塵機の機能と許容目幅に重点をおいた検討が必要である。

- ① 除塵機台数：定置式で台数を増やすか、移動式で台数を減らすか検討
- ② 除塵機の容量：想定塵芥量により電動か油圧制御を検討
- ③ 除塵機の機能：塵芥の種類により浮遊物除去が有利な型式か水中部の塵芥除去が有利な型式かを検討
- ④ 許容目幅：除塵装置以降の水車の種類によって許容目幅を検討

(1) レーキ形除塵機の選定フロー

- 設置する場所（水路）が、単一か複数かにより、定置式か移動式かに分類される。

設置する場所による選定基準は以下のとおり。

設置する場所 (水路)	単一もしくは狭い	定置式
	複数	移動式

塵芥の量による選定基準は以下のとおり。

塵芥の量	(比較的) 多い	定置式
	少ない	移動式

以上を踏まえた上で、定置式か移動式かを最終判断するための要因として、上記2項目以外に「イニシャルコスト」や「ランニングコスト」、「塵芥の質」「保守性」「水路条件」が挙げられる。これらを総合的に判断して、定置式か移動式かを判断する。ただし、移動式では除塵しきれない状況が発生することもあるため注意されたい。

- 次に回動式か往復式かの判断は、「高揚程」および「水面、水路底部でのゴミの堆積」による。

付着した塵芥を掻き上げる高さ（揚程）による選定基準は以下のとおり。

掻き揚げ高さ (揚程)	(比較的) 高い	レーキ往復式
	低い	それ以外

塵芥の量による選定基準は以下のとおり。

水面、水路底部でのゴミの堆積	(比較的) 多い	往復式	レーキアーム往復式
		回動式	背面降下前面掻揚式
	少ない	往復式	レーキアーム回動式
		回動式	前面降下前面掻揚式

(2) ネット形除塵機の選定フロー

ネット形除塵機において、ストレートフロー（水路軸直角）式かデュアルフロー（水路軸平行）式かの判断は、「イニシャルコスト」や「ランニングコスト」、「水理条件」「信頼性」「水路条件」「操作性」により総合的に行う。

更に、ネットスクリーンの両面を使用することができるデュアルフロー式においては、「機械高さ」や「塵芥排出方向」、「ランニングコスト」を判断基準として、アウトインかインアウトかに分けられる。

2-2-3 除塵機の形式と適用例

表 2-1 除塵機の形式と適用例（出典：除塵設備設計指針）

除塵機の形式				設置場所	発電施設	取水口等	発電以外の	揚水機場	排水機場	用水路
レーキ形	定置式	回動式	背面降下前面掻揚式	×	△	○	○	△		
			前面降下前面掻揚式	○	△	○	△	△		
		往復式			○	○	○	○	○	
	移動式	往復式			○	○	○	○	△	
ネット形		回動式	デュアルフロー式	×	△	○	×	△		
			ストレートフロー式	×	△	○	×	△		

○：適用する

△：適用する場合がある

×

「除塵設備設計指針」では上表のとおり，発電施設に用いる除塵機は「レーキ形定置式回動式前面降下前面掻揚式」もしくは「レーキ形定置式往復式」「レーキ形移動式往復式」の3種が推奨されている。

第3章 農業水利施設を活用した小規模水力発電と塵芥の特徴

3 - 1 農業用水利施設を活用した小規模水力発電

昭和の時代より水力発電設備が多々設置され運用されているが、農業用水利施設を活用した小規模水力発電備は、本章で扱う小規模発電設備（100kW から 10kW クラス小水力及び極小クラス）に関しては「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（以下，“固定価格買取制度”と略す）の施行により生み出された新領域と言っても良い。

水力発電の発電出力規模は、使用水の流量と落差、そして構成する設備によって決定されるが、用水路を流れる水の量には上限があることなどから、如何に落差を確保するのが小水力発電の実現を左右すると言って良い。農事用ダムや多目的ダムを活用することで比較的大きな落差を活用するのではなく、農事用水利施設を構成する急流工や落差工（図3－1）、減圧水槽等の持つ“水の落差”を活用することで、100kW から 10KW クラス及び極小クラスの小水力発電が具現化される。



図 3-1 農業用水路落差工（出典：東京発電株式会社）

3 - 2 農業用水利施設における水車（参考）

3-2-1 水車選定図

水力発電に用いる水車は、図 3-2 水車選定図（出典：水力発電計画工事積算の手引き）に代表されるような「水車選定図」によって対象型式が絞り込まれる。水車選定図は、両対数グラフで発電使用水量と有効落差を軸に、2次元にてその水車が適用できる領域を示すものである。初期の大まかな選定に用いるものであり、水車メーカーによる製品の差は反映されていない。同じ流量と落差で複数の水車型式が適用可能となるポイントも多いが、その場合は他の要因を加味して選定することとなる。

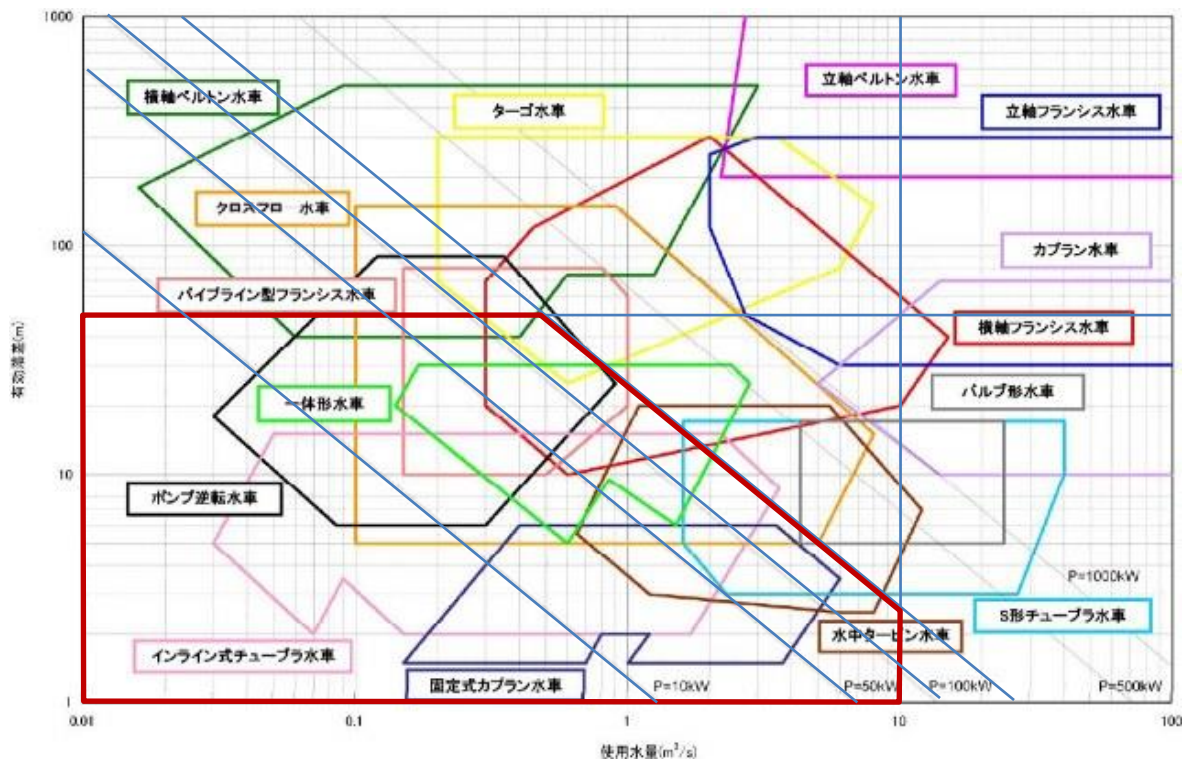


図 3-2 水車選定図（出典：水力発電計画工事積算の手引き）

農業用水利施設に設置される小水力発電設備においても、図 3-2 に記載されているような水車（型式）を適用することとなる。なお、本図には近年開発された新形式の水車や、変更効率の低い水車は記載されていない。

3-2-2 見込まれる水車の特徴

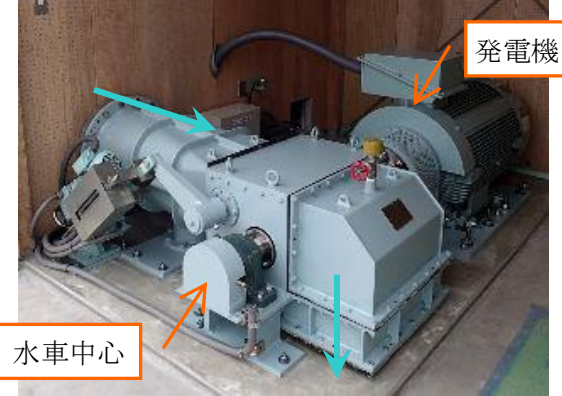
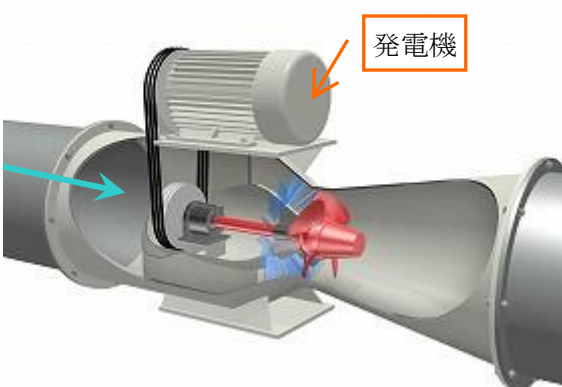
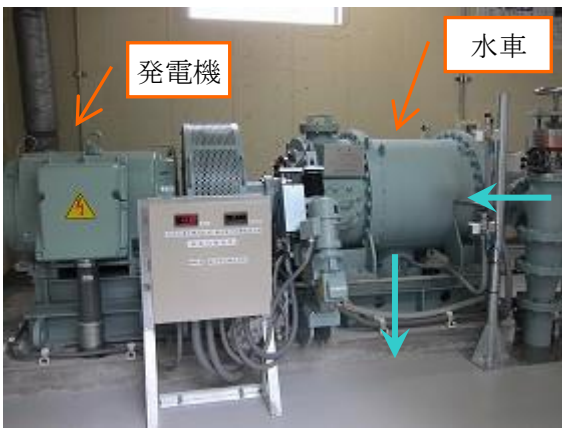
(1) 水車選定図から見込まれる水車型式

図 3-2 にて，農業用水路への設置が見込まれる 3 条件「流量（10m³/s 以下），落差（50m 以下），出力（200kW 以下）」を当てはめると赤線枠となる。この領域に適用する水車型式は以下のとおりである。

表 3-1 適用水車一覧

型式名	概要
クロスフロー水車	部分負荷対応，変換効率やや低い
インライン式チューブラ水車	製品により部分負荷対応，変換効率並
パイプライン形フランシス水車	部分負荷に広く対応，変換効率並
横軸フランシス水車	部分負荷に広く対応，変換効率高い
ポンプ逆転水車	部分負荷に適用できず，変換効率も低いため，近年採用事例は少ない
一体型水車	
固定式カプラン水車	
水中タービン水車	

以下に各水車の設置例を示す。

	クロスフロー水車設置例 画面中央：水車 画面奥： 発電機 左方より導水し、ランナの前方真下へ放流する (写真提供：東京発電株式会社)
	インライン式チューブラ水車 カットモデル 左方より導水し、ガイドベーン(青色)を經由してランナ(赤色)に至る (写真提供：東京発電株式会社)
	パイプライン形フランシス水車 設置例 右方より導水し、ランナを經由して真下に流れる (写真提供：東京発電株式会社)
	横軸フランシス水車設置例 左手前より導水し、ランナを經由して真横に流れる (写真提供：東京発電株式会社)

(2) 水車の特徴 ー羽根車（ランナ）サイズによるもの

水車は、水の持つエネルギーを「ランナ」と呼ばれる羽根車で作用させ、回転力に変換する。以下に部分負荷対応に対応し農業用水利施設への適用性が高く、設置が見込まれる3種の水車形式のランナ構造を示す。

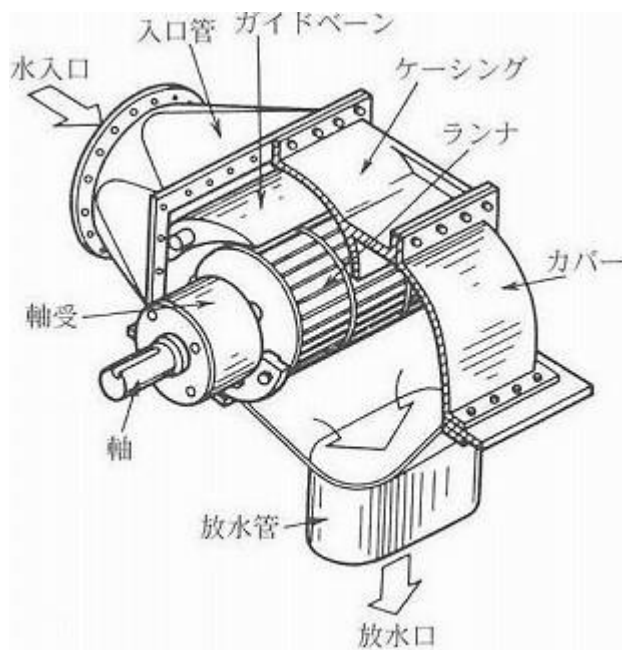


図 3-3 クロスフロー水車構造図

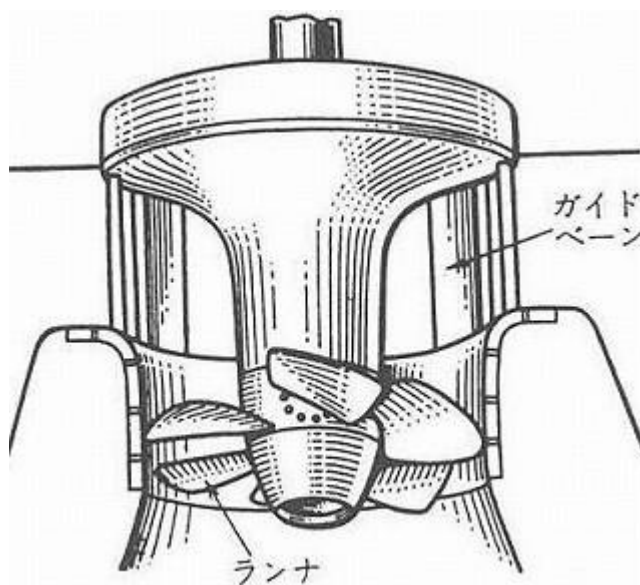


図 3-4 プロペラ水車ランナ構造図

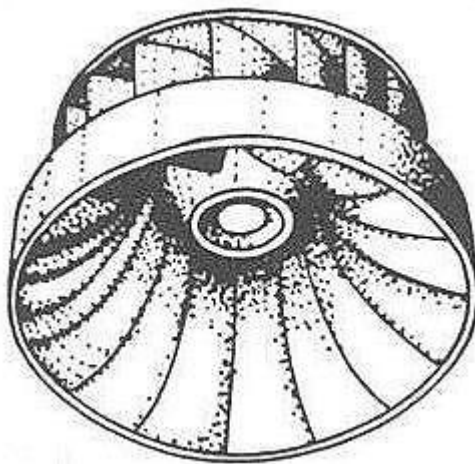


図 3-5 フランシス水車ランナ構造図

(図 3-3、図 3-4、図 3-5 の出典：中小水力発電ガイドブック[新エネルギー財団著])

ランナは、受ける水力エネルギーの大きさによって構成サイズが変化するため、出力 200kW 未満の小水力発電設備を構成する水車ランナは絶対的に小さくなってしまふ。上の 3 図に示されるような代表的な水車ランナの場合では、水流の通る幅（翼間）は数センチメートル程度となり、塵芥の侵入に対して比較的注意深い対処が必要となる。以下に 200kW 未満の小水力発電設備（農業用水利用）での水車ランナの塵芥付着状況の例を示す。翼間が狭く、ちょっとした塵芥でも詰まってしまう様子が見て取れる。特に水を含んだ落葉は、ランナに付着する性質を持つため、十分な対処（除塵）が求められる。



図 3-6 クロスフロー水車塵芥付着例(写真提供：東京発電株式会社)

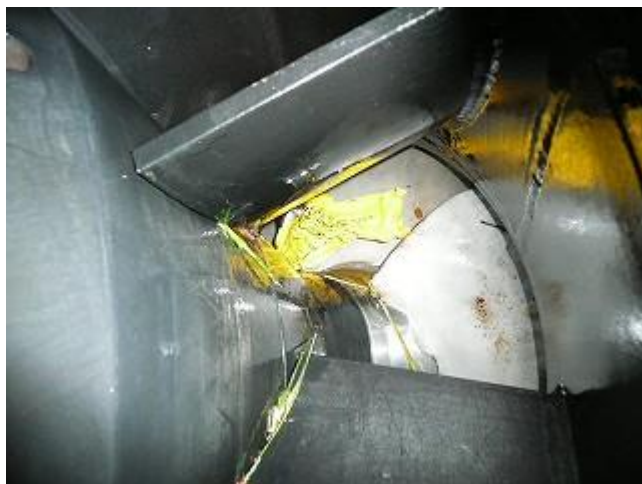


図 3-7 チューブラ水車塵芥付着例(写真提供：東京発電株式会社)

3 - 3 農業用水路に流れる塵芥の特徴

農業用水路には様々な種別の塵芥の混入が見られる。基本的に河川から取水する時点においてバースクリーン等で除塵されるため、河川から流入する大きな塵芥（流木等）は除かれているが、取水口以降発電設備設置地点までの用水路間において、新たに塵芥が混入する事が多い。

これら塵芥のうち代表的なものが落葉である。落葉は河川から流入するものや、用水路近隣の樹木から落下するものがある。落葉は、混入してしばらくは水面に浮いた状態で流れるが、時間経過と共に水分を含んで沈み込み、水流の中間層を漂うことになる。このように水分を含んだ状態の落葉は、平面に対して吸着する性状を表し、水流の流路断面を阻害するような場所（水車内部や弁内部等）に貼り付き、堆積していくこととなる。

次に顕著なものは、薄い長さのあるもので、農業用マルチや草刈り後に放置された雑草などである。これらは水流を回転運動に変換する役割を果たす水車ランナ部を通過する際に、ランナに絡みつき、巻き取られてしまうことがある。流路断面的には非常に小さいものであり、網目（メッシュ）状のように細かい幅の除塵機でないと取り除くことが難しい。



図 3-8 網目(メッシュ)状スクリーンの例(写真提供：株式会社広洋技研)

以上の例は人為的に混入した訳では無く、混入そのものを根本から無くすような対策は難しいが、一方で用水路に人為的に塵芥を流すような行為が見られる地域も存在する。これらは過去から存在する風習であることが多く、行為の実施者に悪意が見られる訳ではないが、小規模水力発電設備を設置した場合、その行為が発電に大きな悪影響を及ぼす。このため、用水路に人為的に塵芥を流す行為をなくすための理解活動を推進することで、高価な除塵設備を設置する以上の効果を発揮する事例が多い。



図 3-9 農業用水で掻き揚げられた塵芥の例(その1)



図 3-10 農業用水で掻き揚げられた塵芥の例(その2)

第4章 農業用水利施設の小水力発電における除塵装置の手引き

4 - 1 農業用水利施設を活用した小水力発電における除塵装置

農業用水利施設を活用した小水力発電における除塵装置について、第2章で示した「除塵設備設計指針」において選定される除塵装置のほか、H26 から 28 年度にかけて行われた実証試験において評価された除塵装置の特徴や導入時の留意事項及び選定にあたってのポイントを取りまとめる。

4 - 2 100kW から 10kW クラスの小水力発電の除塵装置

4-2-1 候補地点

100kW から 10kW クラスの小水力発電について、図4-1に示す急流工を活用した事例により、除塵装置設置検討の候補地点を示す。

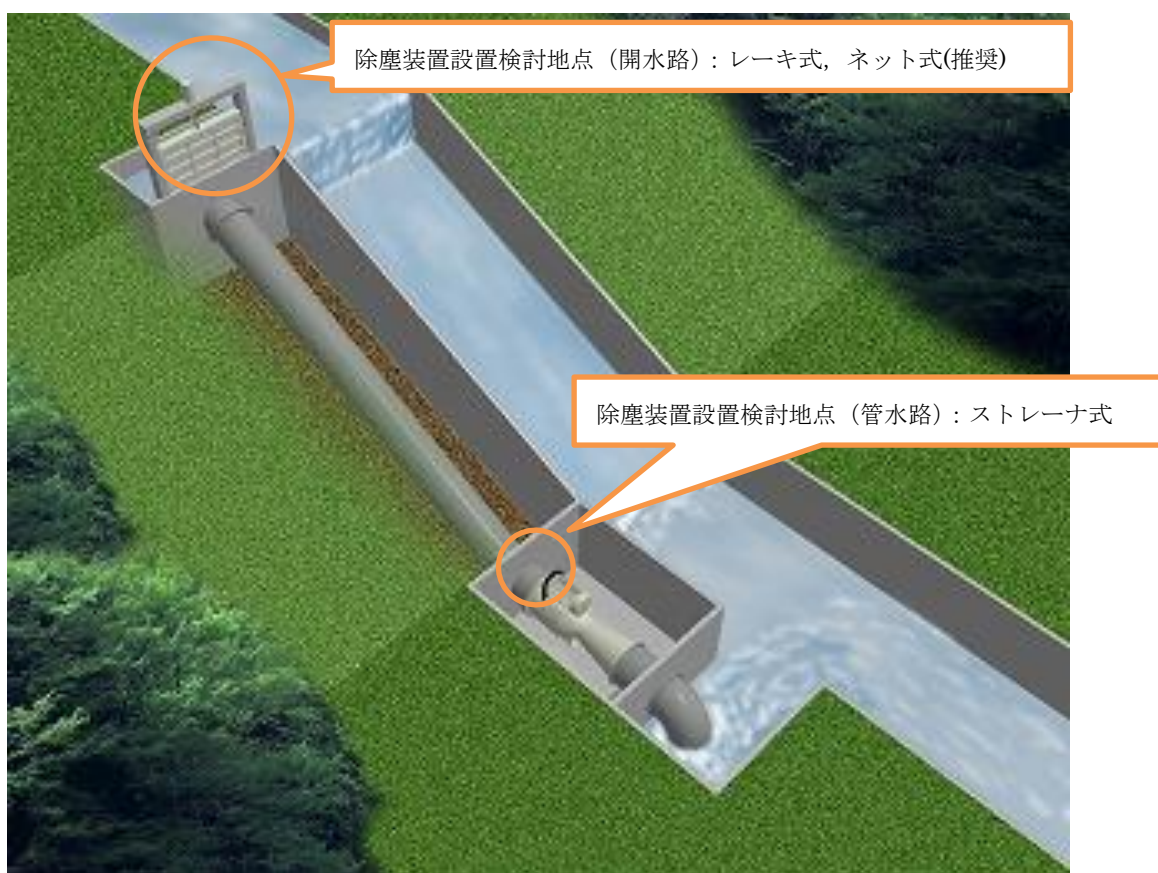


図 4-1 急流工を活用した小水力発電例（出典：東京発電株式会社）

4-2-2 レーキ形除塵機

(1) レーキ形除塵機の特徴

国内の除塵装置の採用例としては最も多く、技術レベルも最も高い装置と言える。また、使用環境に対応できる数多くの型式を有しており、水深の深い地点や径間の長い地点においても柔軟に対応できるよう設計指針も充実している。



図 4-2 レーキ形除塵機（背面降下前面掻揚式）（写真提供：東京発電株式会社）

また、塵芥量に応じた設備設計も地点ごとに設計可能で、レーキ本数やレーキ速度、掻き揚げ荷重を任意に設定できるところも魅力である。第2章でも述べているが、もともと発電施設用の適用において、発電規模を概ね数百 kW として考えられており、多少の塵芥の水車への流入は許容した設計であった。発電事業者の実情においては、図4-3に示す通り、100kW 級の水車への落ち葉等の詰りにより、水車が停止する事象も散見されている。

水車の入り口、出口の隙間と除塵装置のスクリーン目幅を十分に勘案した上での設備設計が必要である。



図 4-3 水車内の塵芥（落ち葉）（写真提供：東京発電株式会社）



図 4-4 水車ケーシングマンホール取り外し状況（人力による塵芥除去）
（写真提供：東京発電株式会社）

(2) レーキ形除塵機の型式

第2章参照

4-2-3 ネット形除塵機

(1) ネット形除塵機の特徴

ネット形除塵機は、従来、揚水機場の採用例が多く発電施設への適用は多く採用された例はなかったが、比較的小さな塵芥の回収に適しているネット形が小水力分野に活用できるのではないかとこの視点から、採用例が徐々に増えている。

ネットの形状に関しては、棒鋼を編み込んだネット形状と、鋼板を折り曲げた奥行き深いネット形状が候補として挙げられ、鋼板を折り曲げた形状のネットにおいては、小水力発電の分野では導入事例が浅いため、平成 26 年度から 28 年度に行われた官民連携新技術研究開発事業（小水力発電施設の効率的な除塵対策に資する技術開発）により、検証を重ね十分な除塵効果を有することを確認している。

ネット形除塵機の多くは、ハウジングに上部スプロケット、水路底部に下部スプロケットを配置し、その間をエンドレスチェーンに金網（メッシュ 10 mm）を取り付けて、ネット自体を回転させてネットに付着した塵芥を掻き上げ、除塵機背面に設けたブラシにより塵芥を分離する方法がとられている。

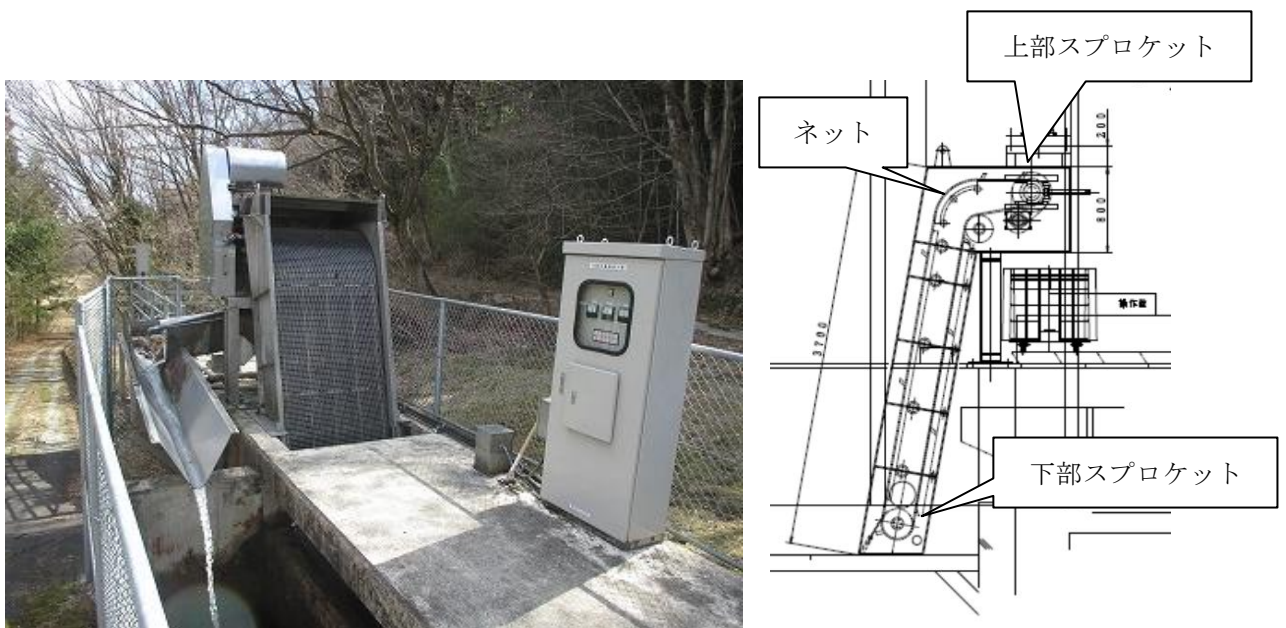


図 4-5 ネット形式全景－エンドレスネット式(写真提供：株式会社広洋技研)



図 4-6 背面に設置された塵芥分離用のブラシ(写真提供：株式会社広洋技研)

(2) 水路形状に応じた除塵機形式

① デュアルフロー

農事用水路の形状により水路軸に平行に除塵機を取付け、除塵機通過後、別の水路で発電設備に導水する場合などに採用される。

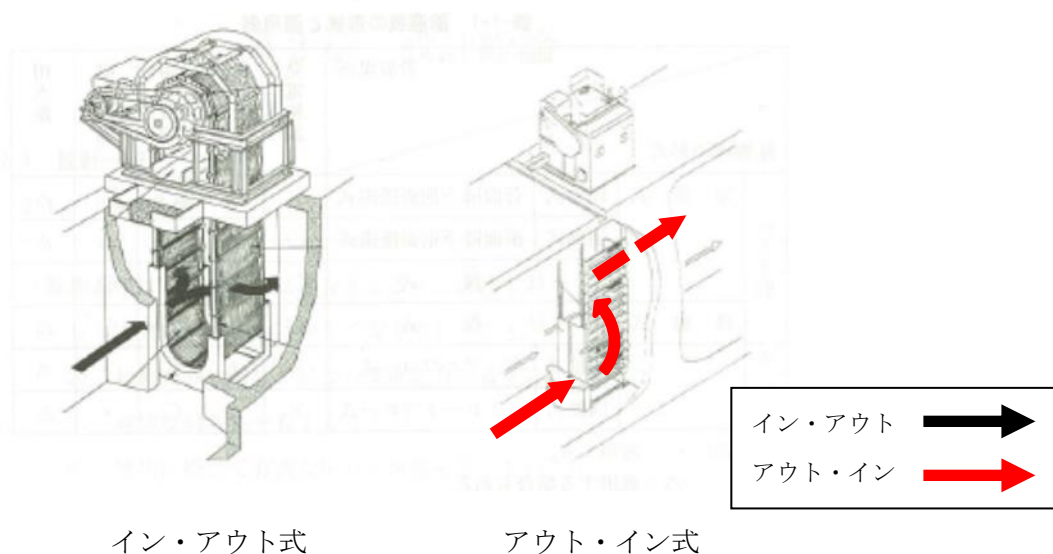


図 4-7 デュアルフロー（水路軸に平行）式（出典：除塵設備設計指針）

② ストレートフロー

農事用水路に直角に取り付け、ネット通過後発電設備に直接導水する場合に採用される。この場合、水路幅全面に除塵機を設置することになるケースが多く、除塵機故障などによる水路水深上昇による溢水防止を十分に検討する必要がある。

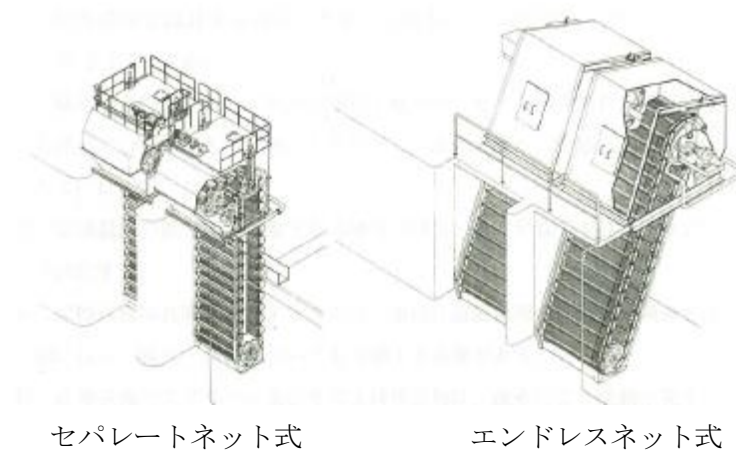


図 4-8 ストレートフロー（水路軸に直角）式（出典：除塵設備設計指針）

(3) ネット形状

ネット形除塵機を採用する場合、そのネット形状を十分に検討する必要がある。時に落ち葉や蔓類の流下が多く、それら塵芥が網目にかかったまま取れず、最悪流入量を減少させてしまうような事態が考えられる。このため、塵芥のほとんどが落葉である場合などは、鋼板ネット式を推奨する。

① 鋼板ネット

ステンレス鋼板を下図のように折り曲げ・接続する方法で、棒鋼に比べ鋼板の幅があることで、塵芥の巻き込みを抑制する効果がある。ネットの幅としては 10 mm と 20 mm を採用しており、水車出力に応じた目幅を決定する必要がある。



図 4-9 鋼板ネット

② 棒鋼ネット

鋼棒を以下のように編み込んだネットを採用している。鋼板ネットに比べ安価ではあるが、落葉や蔓類の絡みつきに注意が必要である。

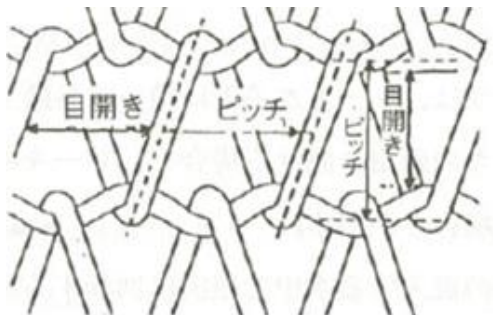


図 4-10 棒鋼ネット（出典：除塵設備設計指針）

(4) 鋼板ネット形除塵機

発電所出力 100kW から 10kW クラスにおいては、今後、比較的小さな落葉を除去できる除塵装置を求められるケースが多くなるため、実証試験において確認されている鋼板ネット形除塵機を推奨する。

この除塵機は、スクリーン自体が回転するエンドレスタイプで、流水中の大量の浮遊物・塵芥等の固形物を短時間に連続的に除去する特徴を有している。特に、落ち葉や花びら等の小さい塵芥の除去に優れ、水車内部への塵芥の流入を防いで不要な発電停止を抑制する。



図 4-1 1 鋼板ネット型除塵機設置例(写真提供：東京発電株式会社)

(5) 鋼板ネット形除塵機の効果

小水力発電に採用した鋼板ネット形除塵機の設置例とその除塵効果を参考例として以下に示す。

本小水力発電設備は、コンクリートマンホール内の落差を利用したチロリアンクロスフロー水車で、水車上部に設けたスクリーンにより流水にて塵芥除去としていたが、スクリーン吸い込み口に落葉が詰まって発電停止に至る事象が発生していた。図4-12にとおり、水車手前に鋼板ネット形除塵機を設置したことにより、十分な除塵効果を得ている。

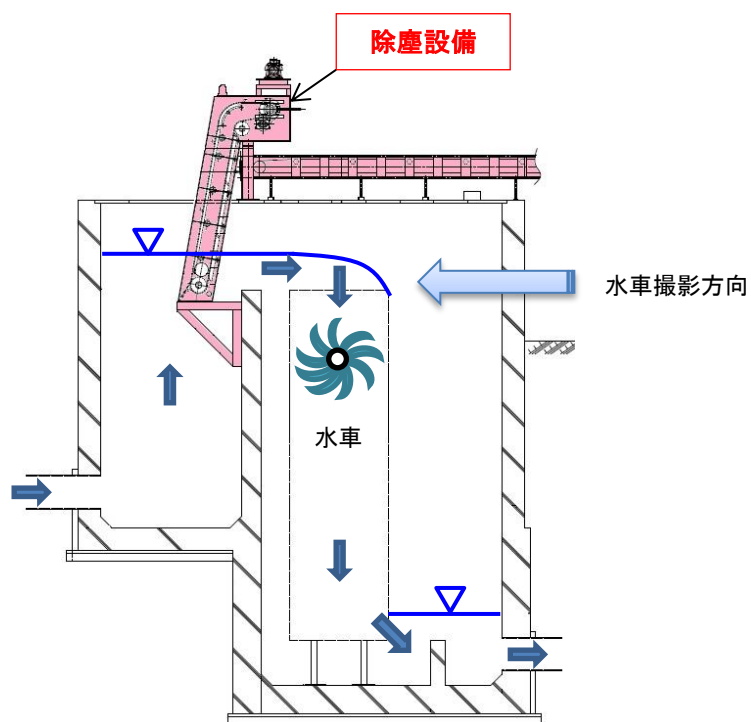


図 4-1 2 除塵機・水車側面図

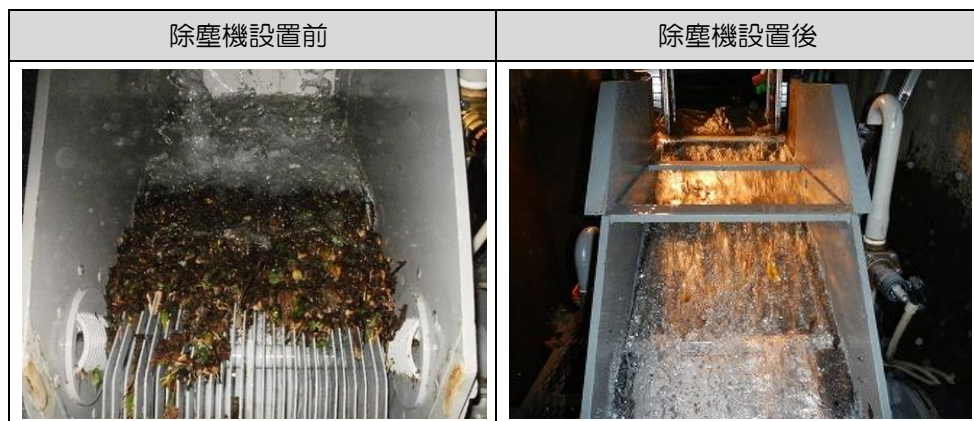


図 4-1 3 効果確認

(6) 鋼鉄ネット形除塵機の設置時留意事項

① 消費電力量

除塵機の設置は、発電所の事業採算性に大きく影響するため設置の判断は慎重に行うべきである。また、設置する場合の消費電力についても十分な検討が必要である。

既存の発電所における発電所出力を横軸に年間発電電力量に対する所内電力量の割合を縦軸にとった関係性を以下に示し、消費電力量における除塵機設置の可否の判断材料として参照されたい。

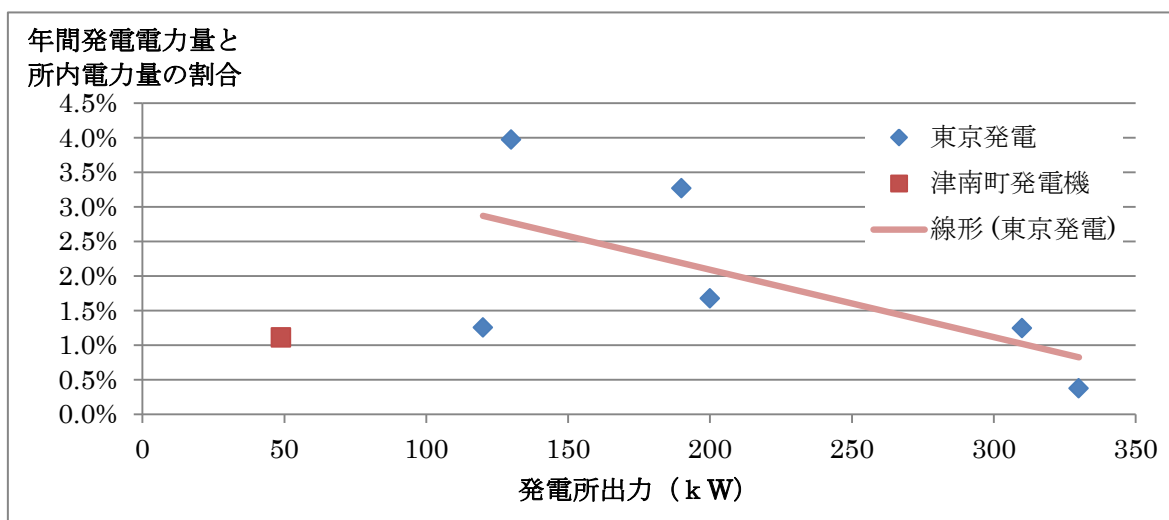


図 4-14 発電電力量と所内電力量の割合（出典：東京発電株式会社）

② スノージャム

ネット形除塵機は、落ち葉や花びら等の小さい塵芥の除去に優れる反面、冬期間中のスノージャムが網目に詰まる現象が確認されている。

本来、冬期間は落ち葉が無く塵芥の量としては極めて少ない季節であり、除塵装置の消費電力量を抑制する面から、停止もしくは必要なときの動作する間欠運転を選択するところであるが、それらを選択した場合、下図の通りスノージャムによって上流水路の水面を押し上げ水路からの溢水が懸念される。これらスノージャムによる目詰まりを防止する方法としては、現在のところ連続運転が有効であり、このため、消費電力量にも配慮した設置検討が望ましい。



図 4-15 ネットに付着するスノージャム(写真提供：東京発電株式会社)

4-2-4 ストレーナ式

図4-16に示す通り、原水が左側より侵入しケーシング下部に通水され、かご型のスクリーンを通過することにより濾過され、右側より放水される仕組みで、ケーシング下部のかご型スクリーンは、電動または手動で定期的に回転洗浄する仕組みである。

ストレーナ入り口及び出口とも管水路で構成されているため、管水路の途中（特に水車の手前）に設置する場合は殆どである。

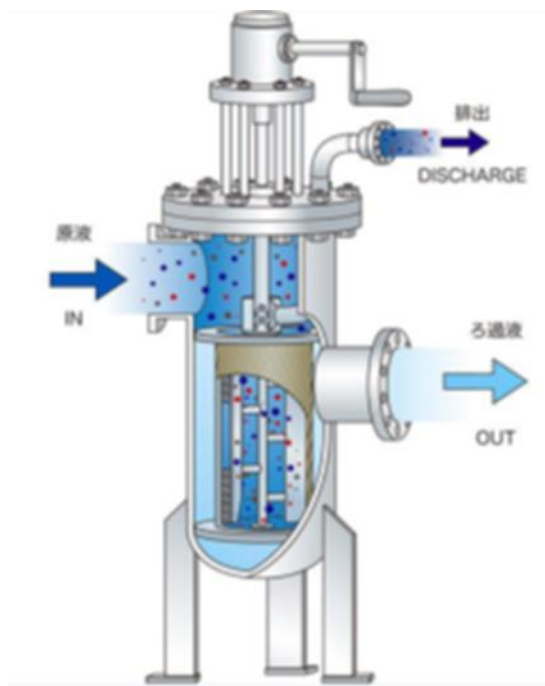


図 4-16 ストレーナ式

4 - 3 極小クラスの除塵装置

4-3-1 塵芥処理の現状

極小クラスの出力の発電所においては，塵芥の掻き揚げ作業を人力で行うのか電動駆動にするのかで判断が分かれるところである。一般的には，出力の小さい発電設備に設置する除塵設備が捕集した塵芥の掻き揚げは人力に頼ることが多い。



図 4-17 人力による塵芥掻き揚げの例

4-3-2 極小クラスにおける除塵の方向性

(1) バースクリーン方式

従来から採用されるバースクリーン方式は水路の流芯に対し直角に設置される例が多く，バーに留まった塵芥は人力にて除去する。このため，塵芥に対する保守費用については，事業性を判断する段階で十分に検討する必要がある。



図 4-18 バースクリーンの設置例

(2) 特殊スクリーン方式

本装置は、上流から流れ着く塵芥を発電設備下流へ流下させる仕組みとしており、低コストを思考した装置である。

独自開発による独特な構造と特殊スクリーン（図4-19、4-20）により、河川水に混入した落ち葉や土砂を常に洗い流しながら取水するので目詰まりしにくく安定した取水量を確保できる。

従来の取水方法と比較して、取水口の頻繁な清掃から解放され、取水施設の維持管理における負担を大幅に軽減し、既存の設備を改良しての設置が可能なため、建設コストが抑えられる特徴を有している。

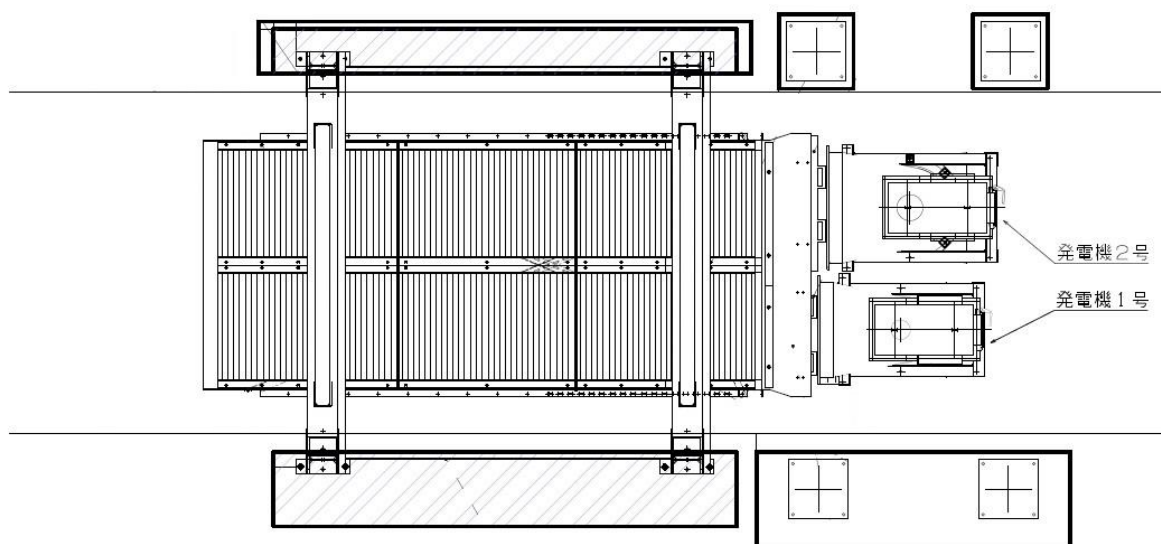


図 4-19 除塵設備構造（平面図）

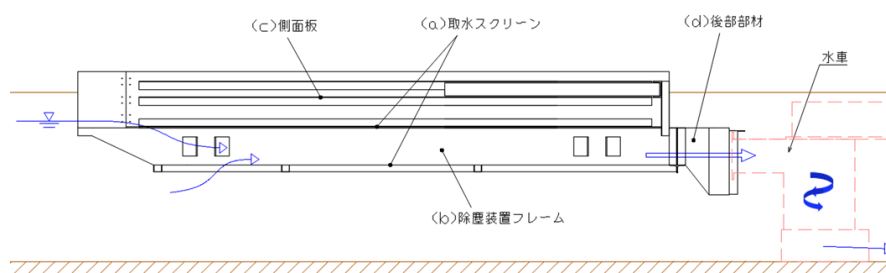


図 4-20 除塵設備構造（縦断図）

特殊スクリーンは、図 4-2 1 に示す水車の上流部に設置した。

水車の型式は、縦型のプロペラ水車で呑口が 800mm×150mm となっており、落ち葉、枝等が流入し易い構造である。そのため、塵芥が呑口に流入せずに下流に流れるスクリーンの形状を採用した。

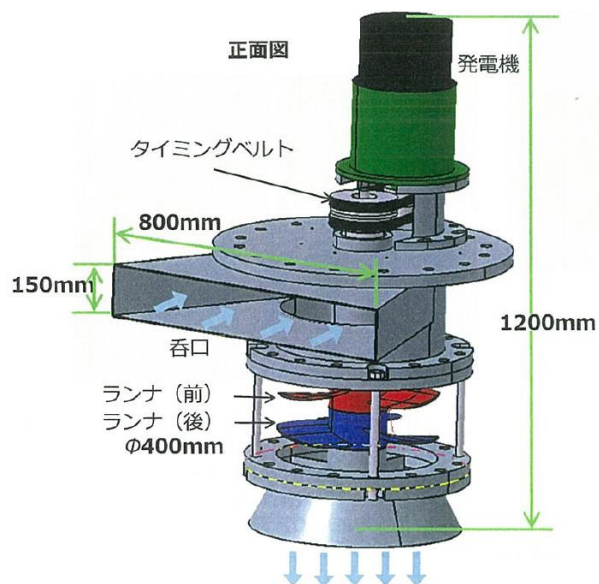


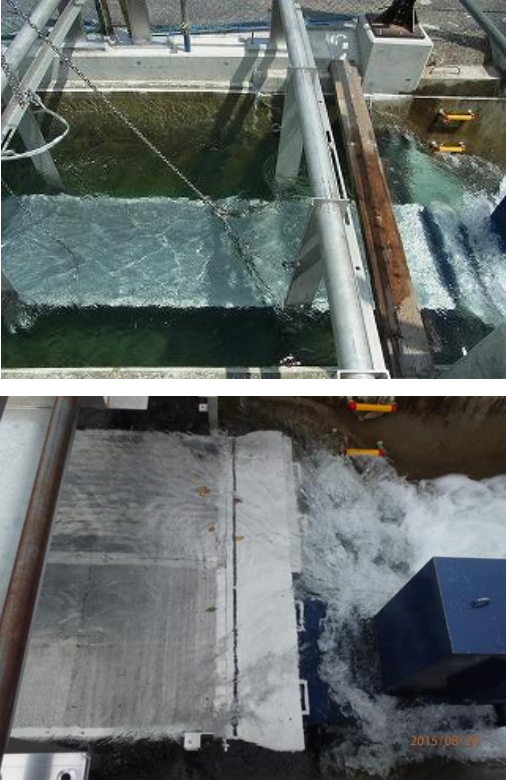
図 4-2 1 水車構造図



図 4-2 2 水車全景（下流より）

4-3-3 特殊スクリーン装置の効果

特殊スクリーン設置による効果は以下の通りで、スクリーン全体が水路の中に没している状態であれば、塵芥の付着は確認されず、スクリーン上を塵芥が流下したことを確認している。しかし、水路流量が少なくなり、スクリーン面が露出するような状況になると、塵芥の付着が次第に多くなっていく。このため、本スクリーンの設置においては、水車前面の水位を一定に保つなどして、スクリーン面が露出しない環境とすることが肝要である。

	
水車前面の水位が安定して、右記の様にスクリーン面が露出するような環境でなければ十分な効果	水車への流入量が増えるとスクリーン面の水位が下がり塵芥の付着が確認

4-3-4 特殊スクリーン装置設置時の留意事項

(1) 設置場所

塵芥の自然流下の効果を更に高めるため、スクリーン部にある程度の勾配を設けた設備（図4-23）とすることにより塵芥の付着を抑制することができる。



図 4-23 スクリーンの設置例(写真提供：日本エンヂニヤ株式会社)

上図の様に、スクリーンに角度付ける設備構成とする場合は、農業用水路内に直接水車を設置することが難しくなるため、チロリアン取水方式を採用する例が多い。

チロリアン取水方式とは、落差工上段部水路底部に横取取水用の導水路を設け、その水路上部に鋼製のスクリーンを適切な傾斜角、長さ、間隔で取付け、スクリーンのすき間から落下する水を導水路で受ける方式である。（図4-24）

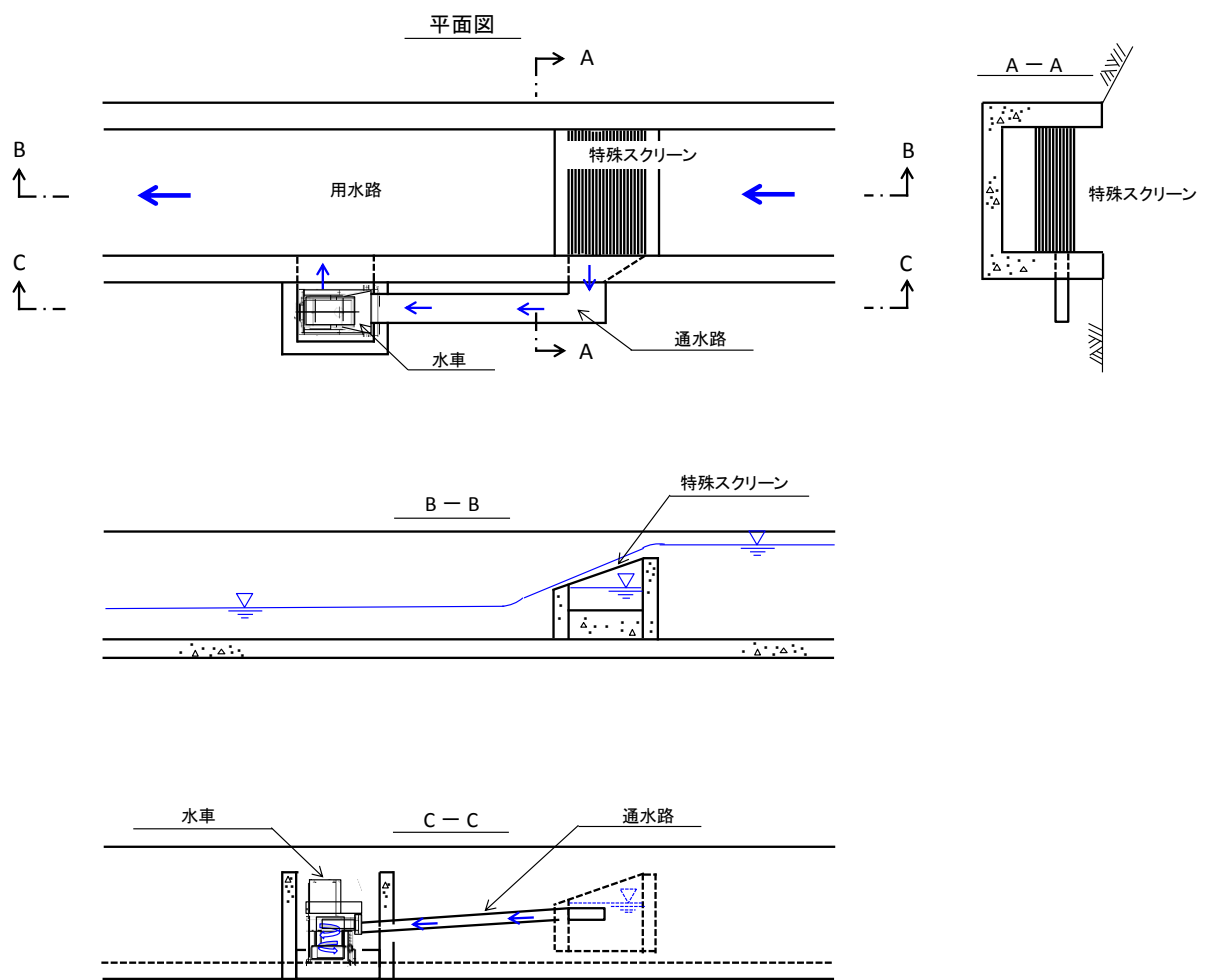


図 4-24 チロリアン取水方式による水車設置例

(2) 通過流量

スクリーンの構造は、下図の通り流芯方向に対して直角にスクリーンバーが設置され、その隙間から通過流量を確保する仕組みとなっている。

通過流量を算出するにあたって、一般的にスクリーン 1 m²当たり 0.1m³/s の面積が必要となる。

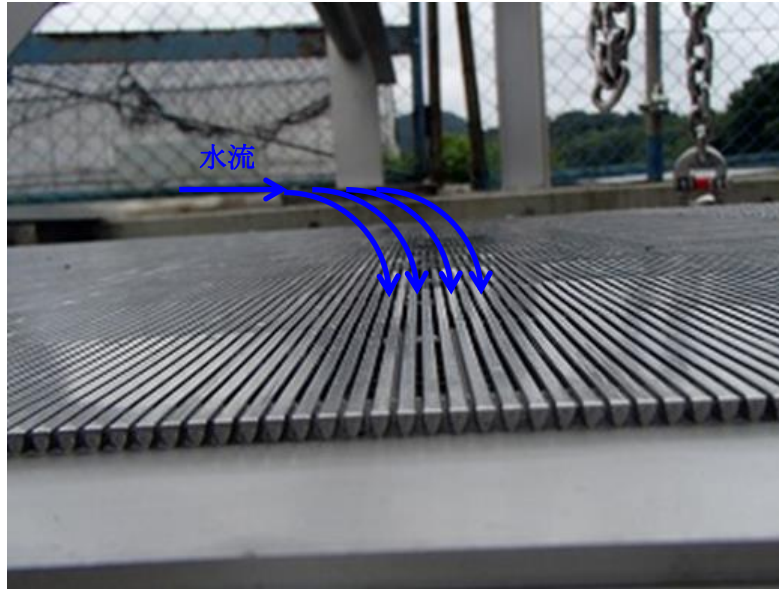


図 4-25 スクリーンの構造(写真提供：日本エンジニア株式会社)

このため、必要流量が多くなればなるほどスクリーン面積が必要となるため、例えば下図のように3面を確保するなど、用地とコストと得られるエネルギーとを比較し決定する必要がある。



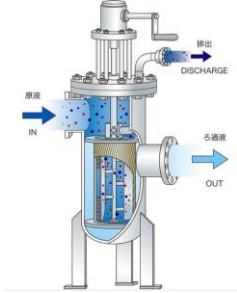
図 4-26 3面スクリーンの設置例(写真提供：日本エンジニア株式会社)

4 - 4 農業用水利施設を活用した小水力発電設備における除塵機選定の参考例

農業用水利施設を活用した小水力発電設備に設置可能な除塵装置の選定参考例を以下に示す。

表 4-1 小水力発電設備における除塵機選定の参考例

農業用水利施設を活用した小規模水力発電設備における除塵機選定の参考例

形式		除塵機(電動)+スクリーン			スクリーン	
		レーキ式	ネット式		ストレーナ式	特殊スクリーン
			鋼板ネット形状	棒鋼ネット形状		バースクリーン
除塵機設計指針の記載		○	—	○	—	—
H26～H28実証試験対象設備		—	○	—	—	—
機種概要図						
						
特徴		発電施設を始め揚水機場、排水機場等への導入事例が多く、設計指針も定まり技術的に確立されている。	揚水機場の導入事例が多く、次いで用水路への導入もあるものの、発電設備や排水機場には適用例が少ない。H26～28年度の実証試験にて効果を確認(100kW～10kW)。	揚水機場の導入事例が多く、次いで用水路への導入もあるものの、発電設備や排水機場には適用例が少ない。	管路に設置する発電に採用される例が多く、開水路への適用は不可であり限定的である。	極小クラスの発電施設や比較的幅の狭い用水路への採用例があるが、人力での塵芥処理が必要で維持運用面に苦慮する。H26～28年度の実証試験にて効果を確認(極小クラス 10kW以下)。
形式例		第2章除塵機設計指針 2-2-1 形式による	・デュアルフローイン・アウト式 ・デュアルフローアウト・イン式 ・ストレートフロー式		—	・WSSウォータースクリーン (日本エンヂニヤ製)
発電規模による推奨例	1,000kW以上	◎ 適用例も多く、技術面においても確立している	△ 実績のあるレーキ式に比べ価格面において高価であるほか、大きめの塵芥への対応が難しい	× 大きめの塵芥への対応が難しく、蔓や落葉が多い箇所でのネット面からの剥離方法に課題あり	× 水車ランナが大きくなりストレーナでの除塵は不要	× 除塵機との併用が必要で、単体使用は逆に採算性を悪化させる
	1,000kW～100kW	○ 200kW未満の水車ランナへの塵芥の付着が確認されており、保守面において課題あり	◎ 十分な除塵効果が得られる	△ 蔓や落葉が多い箇所でのネット面からの剥離方法に課題あり	△ 100kWクラスに一部採用可能な程度で限定的	× 除塵機との併用が必要で、単体使用は逆に採算性を悪化させる
	100kW～10kW	△ 十分な除塵効果が得られず、規模の小さい場合は採算性確保も難しい	○ 十分な除塵効果は得られるが、発電規模が小さい場合の採算性を要検討	△ 蔓や落葉が多い箇所でのネット面からの剥離方法に課題あり	○ 定期的なストレーナの清掃が必要であり保守面に課題あり	△ スクリーン面積を要するため設置費用が高価となり、人力対策との費用対効果を検証する必要あり
	極小クラス(10kW以下)	× 十分な除塵効果は得られず、採算性も見込めない	× 十分な除塵効果は期待できるが採算性が見込めない	× 蔓や落葉が多い箇所でのネット面からの剥離が難しいほか、採算性も見込めない	○ 小型のストレーナも存在するが、定期的なストレーナの清掃が必要であり保守面に難あり	○ チロリアン方式による取水で効果を発揮、水車の設置箇所が限定的
導入時の留意事項		・100kW以上の水力発電所の採用例が多いが、200kW以下においてはランナへの塵芥詰まりも発生しており、採用に当たっては塵芥の種類、量の推定に配慮を要する。 ・多種多様な型式が存在するため、設置条件やコスト面に対し十分検討し型式を選定する。 ・スクリーンに付着した塵芥をレーキにより掻き揚げける設計思想のため、塵芥の掻き揚げ重量を十分に検討する。	・細かな塵芥までキャッチできるため、掻き揚げ後の塵芥の処理を完全にする。 ・メッシュが細かくなる分、流水の損失が大きくなるため、上流部の水深と下流部の水深に差が出来きやすく有効落差に影響が出る。 ・レーキ式除塵機と比べ、発電設備と比較しても割高である。 ・大量のスノージャムが想定される場合は、雪の流入対策や水路上流に余水吐装置の設置が必要である。	・細かな塵芥までキャッチできるため、掻き揚げ後の塵芥の処理を完全にする。 ・落葉、蔓類のメッシュ面からの分離対策を十分に行う必要がある。 ・大量のスノージャムが想定される場合は、雪の流入対策や水路上流に余水吐装置の設置が必要である。	・管路に限定されるため、使用範囲に限られる。 ・多量の塵芥を処理できる能力を有していないため、表面取水をしている場所等には適さない。 ・ストレーナ自体の清掃も必要なため、ストレーナ上流部に仕切弁等の設置が必要である。	・スクリーン通過流量が1㎡あたり0.1m3/sであり、通過流量が増大するにつれスクリーン面積も大きくなるため設置エリアを確保する必要がある。 ・チロリアン取水方式への適用実績があり除塵効果が期待できる。
選定にあたってのポイント		・取水口等の幅、高さ、塵芥の種類から除塵装置の形式を決定する。 ・設置箇所の水質等を十分調査し、期待する設置期間を勘案して採用する鋼材を決定する。 ・水車入口及び出口の隙間及び設置箇所の流速・許容する上下流の水面差を勘案してスクリーンピッチを決定する。 ・想定する塵芥量を定め駆動力を決定する。	・除塵装置を設置する向きにより形式を決定する。 ・設置箇所の水質等を十分調査し、期待する設置期間を勘案して採用する鋼材を決定する。 ・水車入口及び出口の隙間及び設置箇所の流速・許容する上下流の水面差を勘案してメッシュの間隔を決定する。	・除塵装置を設置する向きにより形式を決定する。 ・設置箇所の水質等を十分調査し、期待する設置期間を勘案して採用する鋼材を決定する。 ・水車入口及び出口の隙間及び設置箇所の流速・許容する上下流の水面差を勘案してメッシュの間隔を決定する。	・ストレーナの分解清掃ができるスペースを確保する。 ・設置箇所の水質等を十分調査し、期待する設置期間を勘案して採用する鋼材を決定する。 ・塵芥の大きさを勘案の上、ストレーナメッシュの大きさを決定する。 ・塵芥量を調査の上、ストレーナの起動間隔を調整する。	・水車とスクリーンの設置位置を決定する。 ・計画発電可能な落差を確保する。 ・塵芥の大きさを勘案して、スクリーン目幅を決定する。 ・スクリーン通過流量を決定する。(1㎡あたり0.1m3/s) ・スクリーンの強度等、水圧に対して十分な強度とする。
参考機種の仕様		チェーンロータリー形 除塵機:機幅2.0m、水位高1.028m、コンベア付き。水位計歩廊等含む スクリーン:高さ3.1m、幅1.92m、バーピッチ30mm 操作盤含む	鋼板メッシュ形(ワイヤーベルト方式) 除塵機:機幅1.2m、機長3.7m、コンベア付き メッシュ幅10mm 操作盤含む	棒鋼メッシュ形 除塵機:機幅2.0m、機長3.0m、コンベア含む メッシュ幅10mm 操作盤含む	流入管径 φ 200mm～250mmクラス	スクリーン幅1.4m、スクリーン長さ3.6m、面積5.04㎡
概算導入費用		1,900万円	2,700万円	2,500万円	500万円	250万円

◎:適用可能で推奨する
○:適用可能
△:適用可能ではあるが推奨しない
×:適用しない