

宇都宮市小水力発電システム導入可能性調査
調査報告書

宇都宮市環境部 環境政策課

調査報告書

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. はじめに..... | 1 |
| 2. 調査の全体概要..... | 2 |
| 2.1 目的..... | 2 |
| 2.2 概要..... | 2 |
| 2.3 調査実施フロー..... | 2 |
| 3. 工業用水等を活用した小水力発電..... | 3 |
| 3.1 小水力発電を設置できる地点..... | 3 |
| 4. アンケート調査..... | 4 |
| 5. 導入可能性調査..... | 5 |
| 5.1 対象の区分..... | 5 |
| 5.2 導入可能性調査の結果..... | 5 |
| 5.3 調査結果からの考察..... | 10 |
| 6. 事業性モデルの検討..... | 11 |
| 6.1 調査結果から得られた導入可能性のある地点のグルーピング..... | 11 |
| 6.2 事業性評価モデル..... | 12 |
| 7. おわりに..... | 25 |

1. はじめに

現在、我が国では、地球温暖化対策とエネルギー供給問題の観点から、再生可能エネルギーへの注目度が非常に高まっている。

このような中、本市においては温室効果ガス排出量の削減につながる貴重な地産地消エネルギーである再生可能エネルギーを、地域の特性を生かすことのできる有効な資源として積極的に活用していけるよう、市域へのより一層の普及促進に取り組んでいるところである。

本調査では、再生可能エネルギーの一つである水力発電のうち、工場や商業施設等で使われる水を利用した「小規模な水力発電」の普及促進を図るため、発電設備を導入する際に障壁となっている課題を抽出し整理するとともに、その解決方法について検討した。

この調査報告書は、その検討結果を取りまとめたものである。

2. 調査の全体概要

2.1 目的

市内の工場や商業施設等において、小規模な水力発電（以下「小水力発電」という。）を導入する際に障壁となる課題を抽出し、その解決方法について検討することを目的とする。

2.2 概要

本調査では、小水力発電を導入する意向がある工場や商業施設等を対象として、設置手法や採算性などの課題を抽出し、その解決方法を検討した。

2.3 調査実施フロー

調査は、①アンケート調査、②導入可能性調査のための対象工場や商業施設等の公募、③選定された工場や商業施設等を対象とした導入可能性調査、④事業性評価、を行い、①～④の結果を踏まえ報告書を作成する手順で実施した。調査実施フローを図 2-1 に示す。

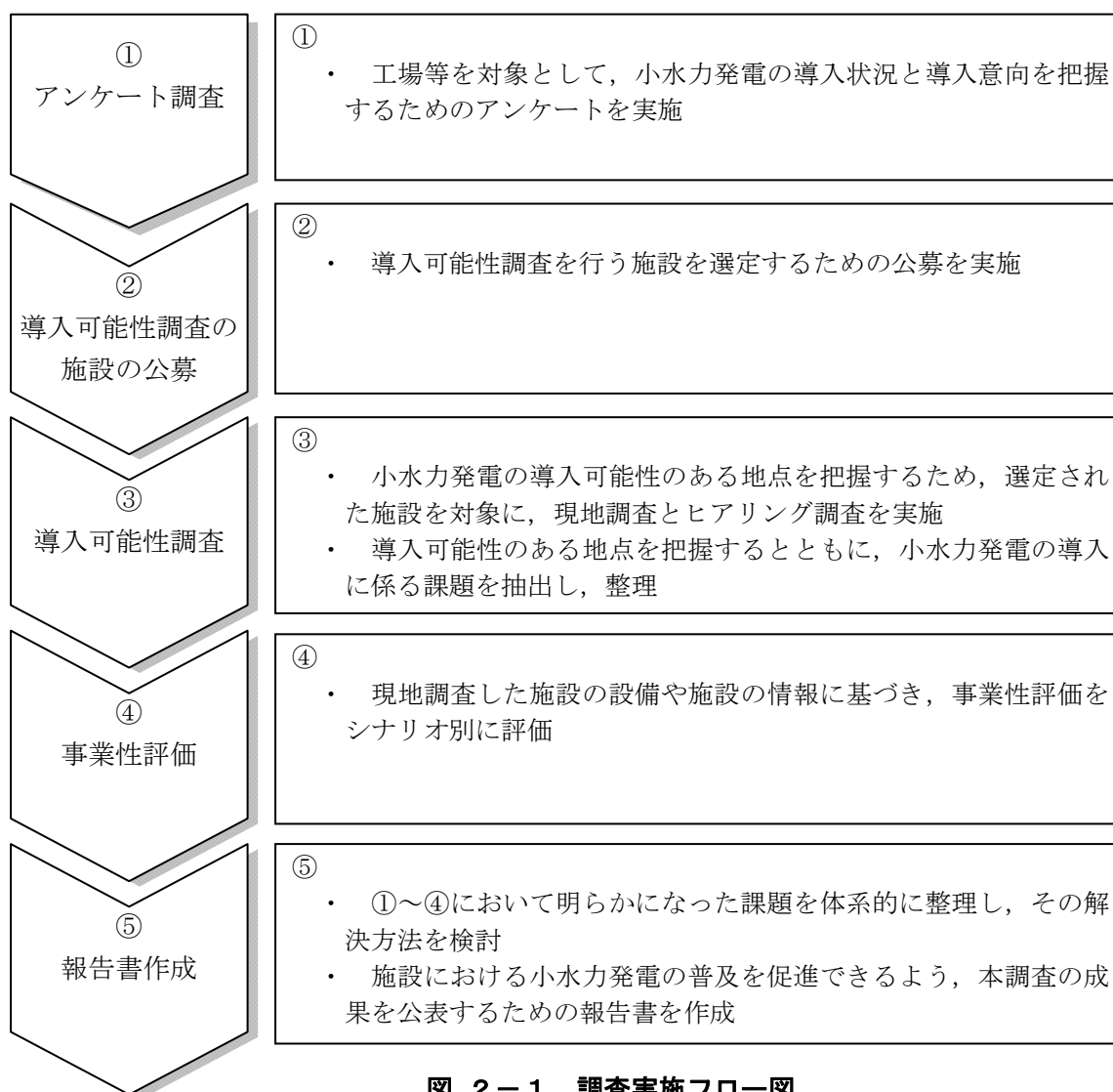


図 2-1 調査実施フロー図

3. 工業用水等を活用した小水力発電

3.1 小水力発電を設置できる地点

工場や商業施設等において小水力発電の導入可能性がある地点として以下の3つのグループが考えられる。

A：工場や商業施設等に入る敷地内の水

B：工場や商業施設等の敷地・施設内を循環する水

C：工場や商業施設等から出る敷地内の水

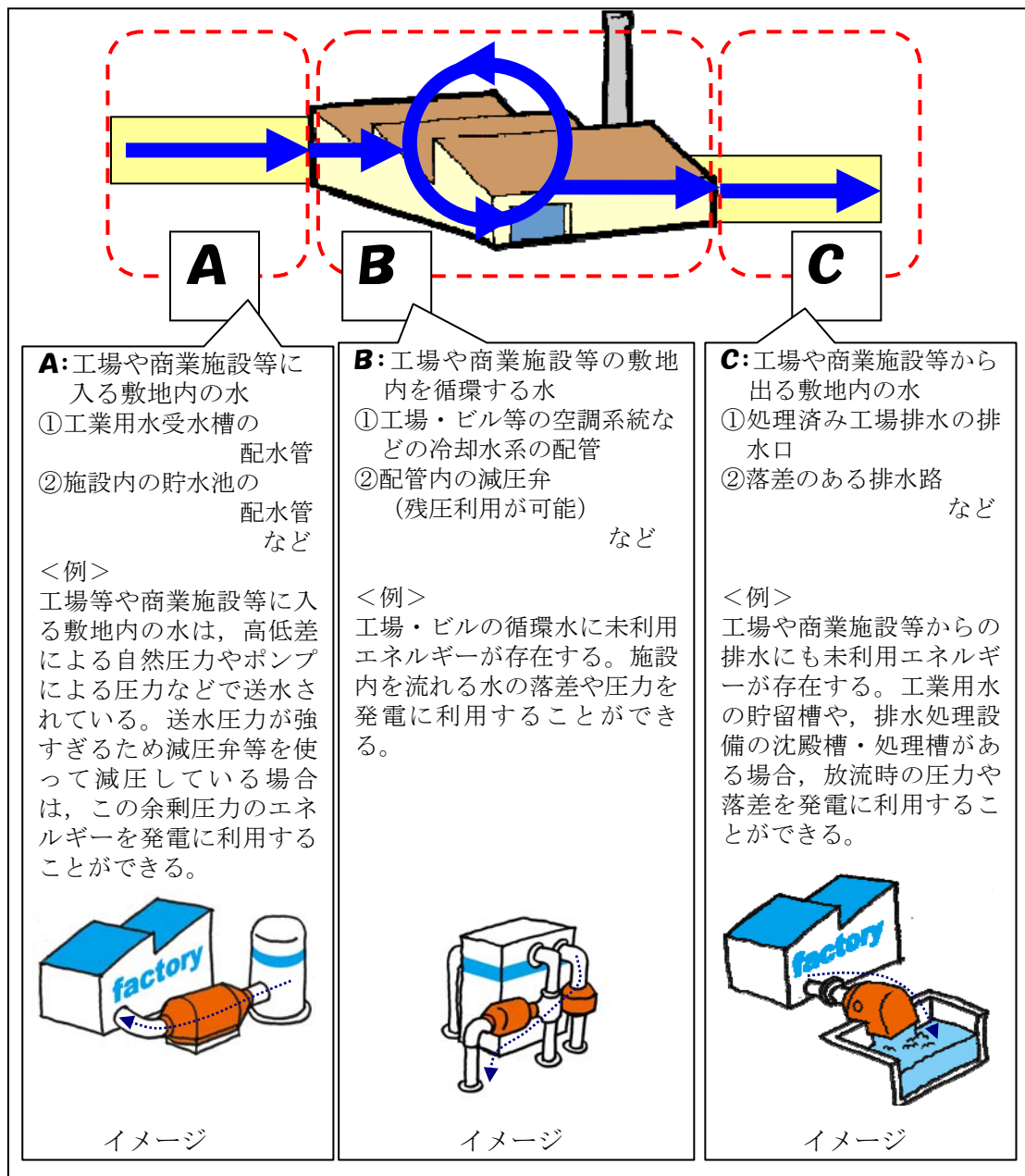


図 3-1 工場や商業施設等において小水力発電の活用が可能な地点（イメージ）

4. アンケート調査

本アンケート調査は、宇都宮市域の工場や商業施設等における小水力発電の導入意向を把握することを目的とし、市内の事業者のうち、地球温暖化対策の推進に関する法律（以下「温対法」という。）に規定する特定排出者、又は水質汚濁防止法（以下「水濁法」という。）に規定する特定事業場である83事業者を対象に実施した。

アンケート調査の設問項目「小水力発電の導入意向」の集計結果では、以下のことが明らかになった。

- ・ 小水力発電の導入に関する市の調査に興味がある事業者は18%であり、小水力発電に関心のある事業者がいると推察できる。

アンケート調査の設問項目「小水力発電の活用に関し、障壁となっている要因」の集計結果では、以下のことが明らかになった。

- ・ 小水力発電の導入は「採算性など事業評価が見だしにくい」との回答が49%あり、小水力発電の導入に係る事業性評価に関する情報が不足していると考えられる。
- ・ 「導入コストがどのくらいなのか検討がつかず導入に躊躇する」といった意見もあり、初期費用に関する情報が不足していると考えられる。
- ・ 「工場や商業施設等において導入可能な設置地点が不明」と回答した事業者が31%であり、設置可能な地点の情報が不足していると考えられる。

以上の回答結果から、以下のとおり考察することができる。

- ⇒ 小水力発電の導入に関心がある事業者がいるものの、小水力発電について十分に理解されていないことが考えられる。
- ⇒ 小水力発電は採算性の面から事業として成立しないと認識されていることが推察される。

5. 導入可能性調査

アンケート結果を踏まえ、工場や商業施設等における小水力発電の導入可能性を把握するため、導入可能性調査を行った。

この調査は、工場や商業施設等の施設や設備などの稼働状況等を踏まえながら検討する必要があることから、現地に赴き、データ収集と担当者へのヒアリングを行った。

5.1 対象の区分

業種や規模に応じ、以下の3つに区分し、導入可能性調査を実施する工場や商業施設等の選定に当たっては、応募様式と添付された書類を基に審査し、調査対象として3者を調査対象として選定した。

表 5-1 対象区分と調査対象

| 対象区分 | 選定した調査対象 |
|-----------|----------|
| 製造業（中小企業） | 食料品製造業 |
| 製造業（中小企業） | 医薬品製造業 |
| 商業 | 複合商業施設 |

5.2 導入可能性調査の結果

各事業者において小水力発電の導入可能性があると認識している地点とヒアリングを通じて小水力発電の導入可能性を検討すべきと判断した地点で、導入可能性調査を行った。地点の特徴と落差・流量から得られる発電出力を整理した結果一覧を表 5-2～表 5-5に示す。

表 5-2 導入可能性調査結果一覧（食料品製造業）

| 業種 | 導入検討地点 | A 入る水 | B 循環水 | C 出る水 | 想定される小水力発電システム | 地点の特徴 | 地点の写真 | 地点の特性を踏まえた発電システム導入の可能性について | 流量 [m ³ /s] | 落差 [m 又は mAq] | 理論上の発電出力 [kW] |
|--------|-----------------|----------|----------|----------|------------------------------|--|---|--|---------------------------|------------------|------------------|
| 食料品製造業 | ① 井戸送水ポンプ（2号井戸） | ● | | | ポンプの供給圧の残圧を利用したシステム | 地上から建屋（25m相当）の屋上に設置された水槽（50T）に送水。ポンプの送り圧は0.3MPa（=約30mAq） |  | 定格仕様する汎用ポンプにおいて能力に余力がある場合には利用の可能性がある（深井戸ポンプの全揚程と高架水槽の圧力差が余力となる） なお、水車設置による動力増とならないことが前提条件となる。 | 0.010 | 3.2 | 0.22 |
| | ② 井戸送水ポンプ（3号井戸） | ● | | | ポンプの供給圧の残圧を利用したシステム | 地上から建屋（20m相当）の最上階に設置された水槽（25T）に送水。送り圧は0.6MPa（=約60mAq） |  | 同上 | 0.017 | 14.0 | 1.6 |
| | ③ 空調系統冷水 | | ● | | 空調設備の配管における供給圧の余剰圧力を利用したシステム | 空調は麦芽発芽用に使用。リバースリターン（逆環水）方式※1を採用。冷水系配管の送り圧は0.25MPa（=約25mAq）。一次ポンプ供給圧の余剰圧力は約0.05MPa（=約5mAq）。稼働時の流量変動はないが、季節変動あり（冬季停止） |  | 室外機と室内機間で閉回路となっており、残圧分の利用がポンプ運転時の動力増になる可能性があるため、発電機導入の可能性は低い。 | - | - | - |
| | ④ 曝気槽から沈殿槽 | | ● | | 曝気槽から沈殿槽に送られる排水を利用したシステム | 活性汚泥貯留槽から曝気槽の過程で排水される流動性の低い排水。排水地点の落差は1m、流量0.004m ³ /s、流量変動なし |  | 流量変動がないが、落差を確保できないため、発電機導入の可能性はない。 | 0.004 | 1.0 | 0.03 |

・発電出力[kW]の算定式 発電出力[kW] = 流量[m³/s] × 落差[m 又は mAq] × 重力加速度9.8[m/s²] × 効率[0.7と設定]

※1：リバースリターン方式（逆環水）：環水方式による分類で、機器への行き管と還り管の総延長（配管抵抗の合計）がほぼ等しくなるように、行き管は、ポンプから近い機器へ接続し、還り管は最初に接続した機器が最後になるように配管し、流量のバランスをとる方式

表 5-3 導入可能性調査結果一覧（食料品製造業）

| 業種 | 導入検討地点 | A 入る水 | B 循環水 | C 出る水 | 想定される小水力発電システム | 地点の特徴 | 地点の写真 | 地点の特性を踏まえた発電システム導入の可能性について | 流量 [m ³ /s] | 落差 [m 又は mAq] | 理論上の発電出力 [kW] |
|--------|---------------|----------|----------|----------|--|--|---|--|---------------------------|------------------|------------------|
| 食料品製造業 | ⑤ 麦浸タンク | | ● | | 屋上に設置された水槽（50T）から建物内にフロアをまたいで配置された麦浸タンクに流下する水を利用したシステム | 麦浸タンクへの給水時間は、1日約40分 |  | 高架水槽からの落水を利用した発電の可能性がある。ただし、運転時間が少ないため経済性に課題がある。 | — | — | — |
| | ⑥ ACA沈殿槽から曝気槽 | | ● | | ACA沈殿槽から曝気槽に送水される水を利用したシステム | |  | 配管の落差としては発電の可能性があるものの、発電にはACA系統の流量を確保する必要がある。 | 0.002 | 3.0 | 0.04 |
| | ⑦ 処理済み工場排水 | | | ● | 排水路管路（埋設）の供給圧の残圧を利用したシステム | 排水圧は0.12MPa（＝約12mAq）、流量0.05m ³ /s、流量変動あり。処理済み工場排水は埋設管を通して排水 |  | 埋設管による排水のため、発電機導入に関して施工性の観点から困難 | — | — | — |
| | ⑧ 排水路 | | | ● | 排水路における流量・高低差を利用したシステム | 排水路落差は0.5m、流量0.004m ³ /s、流量変動なし |  | 流量変動がないため、一定の出力を得られるメリットがあるものの、流量・落差ともに小さく、発電出力が小さくなる。 | 0.004 | 0.5 | 0.01 |

・発電出力[kW]の算定式 発電出力[kW] = 流量[m³/s] × 落差[m 又は mAq] × 重力加速度9.8[m/s²] × 効率[0.7と設定]



表 5-4 導入可能性調査結果一覧（医薬品製造業）

| 業種 | 導入検討地点 | A 入る水 | B 循環水 | C 出る水 | 想定される小水力発電システム | 地点の特徴 | 地点の写真 | 地点の特性を踏まえた発電システム導入の可能性について | 流量 [m ³ /s] | 落差 [m 又は mAq] | 理論上の発電出力 [kW] |
|--------|-----------|----------|----------|----------|---------------------------|--|---|--|---------------------------|------------------|------------------|
| 医薬品製造業 | ⑨ 工業用水受水槽 | ● | | | 工業用水の供給圧の残圧を利用したシステム | 当地点における工業用水の給水圧力は0.31MPa（=約31mAq）。給水は受水槽の水位に応じて行うため、断続的な給水である。給水時の流量は約80m ³ /h（=0.02m ³ /s）。 |  | 工業用水本管の圧力と受水槽受け入れまでの落差によって発電の可能性が高い。給水圧は県水道局の試算値のため、本格的に発電機を導入する場合には、正確な給水圧力を計測する必要あり。 | 0.020 | 18.2 | 2.49 |
| | ⑩ 空調用冷水 | | ● | | 空調設備の配管の供給圧の余剰圧力を利用したシステム | 循環回路は密閉式で、冷水の搬送は変流量方式※1を採用。 |  | インバータによる制御であり、小水力発電機を設置することは機械の負荷を高めることになるため導入不可 | - | - | - |
| | ⑪ 終末処理施設 | | | ● | 排水路の流量・落差を利用したシステム | 排水量は0.004m ³ /s、落差はほとんどない。 | No image | 流量および落差を確保できないため、発電の効果が低い。 | 0.004 | 0.5 | 0.01 |
| | ⑫ 排水処理施設 | | | ● | 排水路の流量・落差を利用したシステム | 排水量は0.015m ³ /s、落差はほとんどない。 |  | 流量および落差を確保できないため、発電の効果が低い。 | 0.015 | 0.5 | 0.05 |

・発電出力[kW]の算定式 発電出力[kW] = 流量[m³/s] × 落差[m 又は mAq] × 重力加速度9.8[m/s²] × 効率[0.7と設定]

※1：変流量方式：負荷変動に対応して、空調機の冷コイル内の循環水量を2方弁設けて調整するシステム。負荷状況に合わせて流量が変動する方式で、負荷に合わせた台数制御や変流量制御（インバーター制御：回転数制御）を取り入れた方式。

表 5-5 導入可能性調査結果一覧（複合商業施設）

| 業種 | 導入検討地点 | A 入る水 | B 循環水 | C 出る水 | 想定される小水力発電システム | 地点の特徴 | 地点写真 | 地点特性を踏まえた発電システム導入の可能性について | 流量 [m ³ /s] | 落差 [m 又は mAq] | 理論上の発電出力 [kW] |
|--------|-----------|----------|----------|----------|------------------------------|--|---|--|---------------------------|------------------|------------------|
| 複合商業施設 | ⑬ 工業用水受水槽 | ● | | | 工業用水の供給圧の残圧を利用したシステム | 受水槽の水位が低下したら給水するシステム（間欠給水）。受水圧は平均0.342MPa（＝約34.2mAq） |  | 間接給水のため、経済性に課題がある。 | 0.004 | 34.2 | 0.94 |
| | ⑭ 空調用冷水 | | ● | | 空調設備の配管における供給圧の余剰圧力を利用したシステム | 循環回路は密閉式で、冷水の搬送は変流量方式※2を採用。当施設では冬季に空調を使用しない |  | 冬季は空調は使用していないことから、機器稼働に季節変動がある。そのため導入効果が低く、経済性に課題がある。また、インバータ制御により送水しており発電機を設置することによってポンプの負荷を高める要因になるため、導入意義が低い。 | — | — | — |

・発電出力[kW]の算定式 発電出力[kW] = 流量[m³/s] × 落差[m 又は mAq] × 重力加速度9.8[m/s²] × 効率[0.7と設定]

5.3 調査結果からの考察

「5.2 導入可能性調査の結果」から、現地調査を実施した工場や商業施設等の各設備・各地点においては、小水力発電の導入が可能な地点を有していることが明らかになった。しかしながら、発電量が十分に確保できない地点も見受けられた。

【発電量が十分に確保できない地点】

- ・ 流量と落差が十分に確保できない地点
 - ⇒ 小水力発電の出力規模が小さくなり、売電した場合、収益性が見込めない。
 - ⇒ 自家消費の場合は施設全体に占める寄与率が非常に小さくなる。

- ・ 流量に変動を生じるような間欠運転¹や季節別運転を採用した設備
 - ⇒ 流量変動がある地点では、小水力発電の稼働率が低下し、流量変動がない地点と比較して発電によって得られる収益が小さくなるため、採算性が悪化する要因となる。

- ・ 密閉型水循環システム（閉回路）²やインバータ³による制御が行われている地点
 - ⇒ 小水力発電を導入した場合には、機器への負荷が高まるため、導入は現実的でないと思込まれる。

¹ 間欠運転：ある一定の運転期間の後、暫く休止期間があり、その後再び運転期間に入る運転

² 密閉型水循環システム（閉回路）：機器間をポンプで循環させるシステム。例えば、冷凍機の冷水を空調機にポンプで送り循環させる方式などがある。

³ インバータ制御：ファンやポンプの負荷特性により、インバータにより回転数を変更し、無駄な動力を削減する省エネルギーシステム

6. 事業性モデルの検討

6.1 調査結果から得られた導入可能性のある地点のグルーピング

アンケート調査と導入可能性調査の結果を踏まえた事業性評価を行うに当たり、工場や商業施設等の各地点情報について、「水利用地点」と「小水力発電のシステム区分」の2つの要素に着目し、5つのグループに区分した。

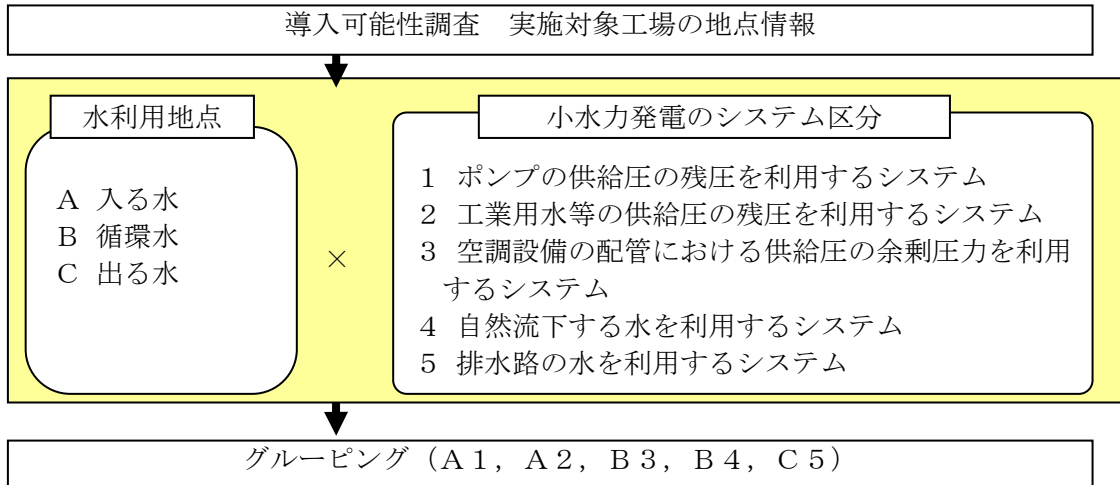


図 6-1 導入可能性のある地点のグルーピングのフロー図

導入可能性調査を実施した工場や商業施設等の各地点情報を5つのグループに区分した詳細結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 導入可能性のある地点のグルーピング結果

| No. | 業種 | 導入検討地点 | 入る水 A | 循環水 B | 出る水 C | 想定される 小水力発電システム | システム 区分 | グルーピング※ 1 |
|-----|--------|-------------------|----------|----------|----------|---------------------------------------|------------|--------------|
| ① | 食料品製造業 | 井戸送水ポンプ (2号井戸) | A | | | ポンプの供給圧の残圧を利用したシステム | 1 | A 1 |
| ② | | 井戸送水ポンプ (3号井戸) | A | | | ポンプの供給圧の残圧を利用したシステム | 1 | A 1 |
| ③ | | 空調系統冷水 | | B | | 空調設備の配管における供給圧の余剰圧力を利用したシステム | 3 | B 3 |
| ④ | | 曝気槽から沈殿槽 | | B | | 曝気槽から沈殿槽に送られる排水を利用したシステム | 4 | B 4 |
| ⑤ | | 麦浸タンク | | B | | 屋上設置の槽(50T)から建物内の麦浸タンクに流下する水を利用したシステム | 4 | B 4 |
| ⑥ | | A C A 沈殿槽から曝気槽 | | B | | A C A 沈殿槽から曝気槽に送られる水を利用したシステム | 4 | B 4 |
| ⑦ | | 処理済み工場排水 | | | C | 排水路管路(埋設)の供給圧の残圧を利用したシステム | 5 | C 5 |
| ⑧ | | 排水路 | | | C | 排水路における流量・高低差を利用したシステム | 5 | C 5 |
| ⑨ | 医薬品製造業 | 工業用水受水槽 | A | | | 工業用水の供給圧の残圧を利用したシステム | 2 | A 2 |
| ⑩ | | 空調系統冷水 | | B | | 空調設備の配管における供給圧の余剰圧力を利用したシステム | 3 | B 3 |
| ⑪ | | 終末処理施設 | | | C | 排水路の流量・落差を利用したシステム | 5 | C 5 |
| ⑫ | | 排水処理施設 | | | C | 排水路の流量・落差を利用したシステム | 5 | C 5 |
| ⑬ | 複合商業施設 | 工業用水受水槽 | A | | | 工業用水の供給圧の残圧を利用したシステム | 2 | A 2 |
| ⑭ | | 空調系統冷水 | | B | | 空調設備の配管における供給圧の余剰圧力を利用したシステム | 3 | B 3 |

※1：水利用地点をアルファベットで示し、システム区分を数値で示している。

6.2 事業性評価モデル

小水力発電の導入において、他工場や商業施設等への汎用性や事業化のしやすさといった視点から、事業性評価モデルを設定した。また、「5. 導入可能性調査」と「6.1 調査結果から得られた導入可能性のある地点のグルーピング」の結果を踏まえ、表 6-2 に示す 3 つのグループを事業性評価モデルとして抽出した。

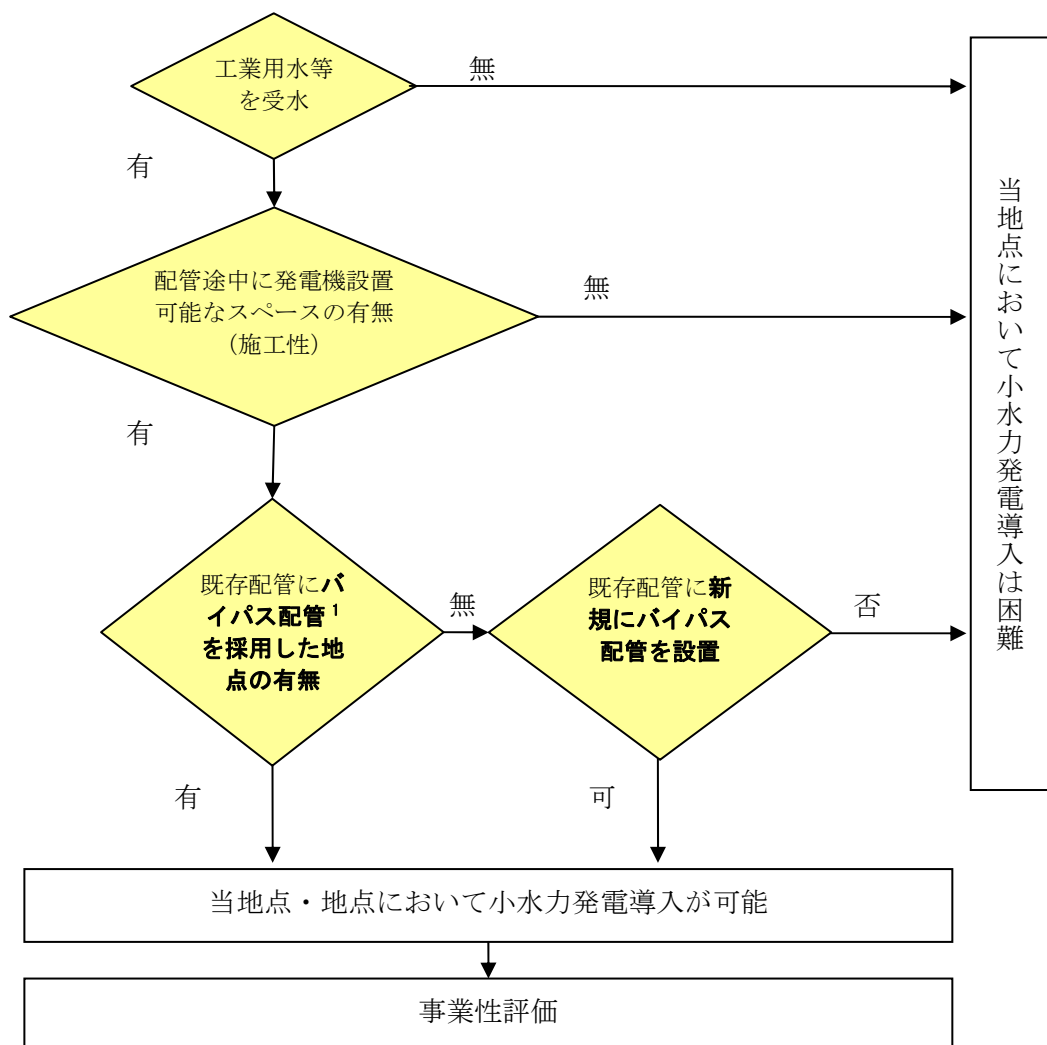
表 6-2 事業性評価モデルの抽出結果

| グルーピング | | 該当数 | グルーピングされた地点の特徴, 他工場や商業施設等への汎用性, 課題 | 事業性評価 モデルの 抽出対象 |
|--------|---------------------------|-----|--|-----------------------|
| A 1 | 入る水 | 2 | <ul style="list-style-type: none"> ・経済性の観点から、ポンプの連続運転が望ましい。 ・余剰残圧が十分である場合、通常、省エネの観点からポンプの最適化が実施される。 ・小水力発電導入により動力増にならないよう、導入検討する必要がある。 ・導入によって工場等の生産工程に影響をきたさないよう、十分ポンプ特性を把握する必要がある。 | - |
| | ポンプの供給圧の残圧を利用したシステム | | | |
| A 2 | 入る水 | 2 | <ul style="list-style-type: none"> ・受水している工業用水の残圧が利用可能なことが導入条件 ・経済性の観点から、間欠受水ではなく連続受水が望ましい。 ・工業用水の送水圧力値は、水道局等から入手しやすい。 | ○ |
| | 工業用水等の供給圧の残圧を利用するシステム | | | |
| B 3 | 循環水 | 3 | <ul style="list-style-type: none"> ・導入に適した設置可能地点（開放式空調システム）があることが導入条件 ・設置可能地点を周知することで、事業者へ導入可能性のある地点として認識・事業実施の判断材料となる。 ・設置可否に関する情報が不足といった課題も現地調査にておいて見受けられた。 | ○ |
| | 空調設備における供給圧の余剰圧力を利用するシステム | | | |
| B 4 | 循環水 | 3 | <ul style="list-style-type: none"> ・自然流下する水を対象とした発電で、流下の高低差が活用できる場合は小水力発電の導入の可能性があり。 | - |
| | 自然流下する水を利用するシステム | | | |
| C 5 | 出る水 | 4 | <ul style="list-style-type: none"> ・ポンプによる排水の場合は、小水力発電設置により動力増になるため困難 ・自然流下の流量・落差が確保できる場合は、設置の可能性はある。 ・埋設管の場合は、掘削工事および埋め戻しが必要となるが、管にバイパスを設け小水力発電を導入することは可能（費用面の負担増の課題あり） | ○ |
| | 排水路の水を利用するシステム | | | |

6.2.1 工場や商業施設等に入る水（工場や商業施設等敷地内の施設に入る水）

表 6-2 において抽出された「工場や商業施設等の施設内に入る水」と「工業用水等の供給圧の残圧を利用するシステム」を対象として、小水力発電導入の事業性評価を行った。工場や商業施設等敷地内の施設に入る水としては、上水道や工業用水の残圧エネルギーの利用が考えられる。

(1) 導入可能性の判断フロー（工業用水等の供給圧の残圧利用）



フロー内の「**太字の文字**」の設備等は、小水力発電導入の可能性のある設備等を示す。

図 6-2 工業用水等を活用した水力発電が導入可能か判断するためのフロー図

¹ バイパス配管：

既存配管内にバイパス配管を採用した地点がある場合は、新規にバイパス工事をする必要がないため、費用面のメリットがある。また、小水力発電の機器設置の際に送水を止める必要がないため、工場等の生産活動への影響が極めて小さいなどのメリットがある。

(2) 事業性評価の前提条件（工業用水等の供給圧の残圧利用）

工業用水等を受水している地点において小水力発電導入の事業性評価を試算する前提条件を表 6-3 に示す。この地点では、出力が 9 kW の機器（インライン水車）を想定し、事業性評価を行った。事業性評価は、導入地点特性（流量および落差）から得られる出力、電力用途（売電もしくは自家消費）、補助金の有無、設備運転状況（連続運転もしくは変動運転）といった変数を考慮した。なお、導入を想定した 9 kW の機器における各出力に必要な流量と落差の設定値を表 6-4 に示す。

表 6-3 事業性評価の前提条件（工業用水等の供給圧の残圧利用）

| | | |
|---------------|--------------|--|
| 運用期間 | 22 年 | 法定耐用年数と同様 |
| 売電価格 | 35.7 円/kWh | 固定価格買取制度の適用価格 買取区分：200kW未満 |
| 買電価格 | 15.0 円/kWh | 従量料金の設定値 |
| 想定機器 | 9 kW | プロペラ水車（インライン式） |
| 機器費 | 7,500 千円/9kW | メーカーヒアリング等に基づき設定 |
| 系統連系装置 | 500 千円/装置 | 同上 |
| 工事費 | 1,000 千円 | 同上 |
| 維持管理費 | 75 千円/年 | 機器費の1%と設定 |
| 補助金（初期投資額の割合） | 50 % | 補助金実績を踏まえ設定 |
| 法定耐用年数 | 22 年 | 機械装置の法定耐用年数 減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和40年大蔵省令第15号） |
| 連続運転時間 | 8,760 時間/年 | 365日連続稼働と設定 |
| 変動運転時間 | 4,380 時間/年 | 365日連続稼働の半分と設定 |

※事業性評価における減価償却費は、定額法（残存簿価1円）、金利は簿価の3%を考慮

表 6-4 9 kW機器において各出力を得るために必要な流量と落差の目安

| 出力[kW] | 流量[m ³ /s] | 有効落差[m 又は mAq] |
|--------|-----------------------|----------------|
| 3.0 | 約0.03 | 約15 |
| 6.0 | 約0.04 | 約25 |
| 9.0 | 約0.05 | 約30 |

(3) 事業性評価結果（工業用水等の供給圧の残圧利用）

変数を考慮した事業ケースの事業性評価の試算結果を表 6-5 に示す。発電原価，建設単価，投資回収年，IRR¹（内部収益率）といった指標を用い，各事業ケースに応じて事業性を評価した。

【事業性評価の指標の判断基準】

- ①発電原価：固定価格買取制度における電力の売電価格（35.7円/kWh）もしくは買電価格（15円/kWh）以下であること。
 ②建設単価：200円/kWh以下であること。
 ③投資回収年：投資回収年が減価償却年数以下（22年）であること。
 ④IRR：20年間の事業で8%以上であること。

表 6-5 事業モデルの試算結果 総括表（工業用水等の供給圧の残圧利用）

| ケース | 出力 | 電力用途 | 補助金 | 設備運転 | ① 発電原価 [円/kWh] | ② 建設単価 [円/kWh] | ③ 投資回収年 | ④ IRR (20年間) | |
|-----|----|------|------|------|----------------------|----------------------|------------|--------------------|------|
| 1 | 3 | 全量売電 | 50% | 連続 | 15.5 | 171.2 | 9 | 11.1 | |
| 変動 | | | | 31.1 | 342.5 | — | —4.8 | | |
| なし | | | 連続 | 28.2 | 342.5 | — | —2.9 | | |
| | | | 変動 | 56.5 | 684.9 | — | — | | |
| 2 | | 3 | 自家消費 | 50% | 連続 | 14.8 | 161.7 | — | — |
| 変動 | | | | | 29.7 | 323.4 | — | — | |
| なし | | | | 連続 | 26.8 | 323.4 | — | — | |
| | | | | 変動 | 53.6 | 646.9 | — | — | |
| 3 | 6 | | 全量売電 | 50% | 連続 | 7.8 | 85.6 | 4 | 32.9 |
| 変動 | | | | | 15.5 | 171.2 | 9 | 11.1 | |
| なし | | | | 連続 | 14.1 | 171.2 | 8 | 12.0 | |
| | | | | 変動 | 28.2 | 342.5 | — | —2.9 | |
| 4 | | 6 | 自家消費 | 50% | 連続 | 7.4 | 80.9 | 11 | 8.2 |
| 変動 | | | | | 14.8 | 161.7 | — | — | |
| なし | | | | 連続 | 13.4 | 161.7 | — | — | |
| | | | | 変動 | 26.8 | 323.4 | — | — | |
| 5 | 9 | | 全量売電 | 50% | 連続 | 5.2 | 57.1 | 2 | 53.7 |
| 変動 | | | | | 10.4 | 114.2 | 5 | 22.4 | |
| なし | | | | 連続 | 9.4 | 114.2 | 5 | 23.2 | |
| | | | | 変動 | 18.8 | 228.3 | 13 | 5.6 | |
| 6 | | 9 | 自家消費 | 50% | 連続 | 4.9 | 53.9 | 6 | 18.7 |
| 変動 | | | | | 9.9 | 107.8 | 18 | 1.7 | |
| なし | | | | 連続 | 8.9 | 107.8 | 16 | 3.1 | |
| | | | | 変動 | 17.9 | 215.6 | — | — | |

＜表の試算結果の見方＞

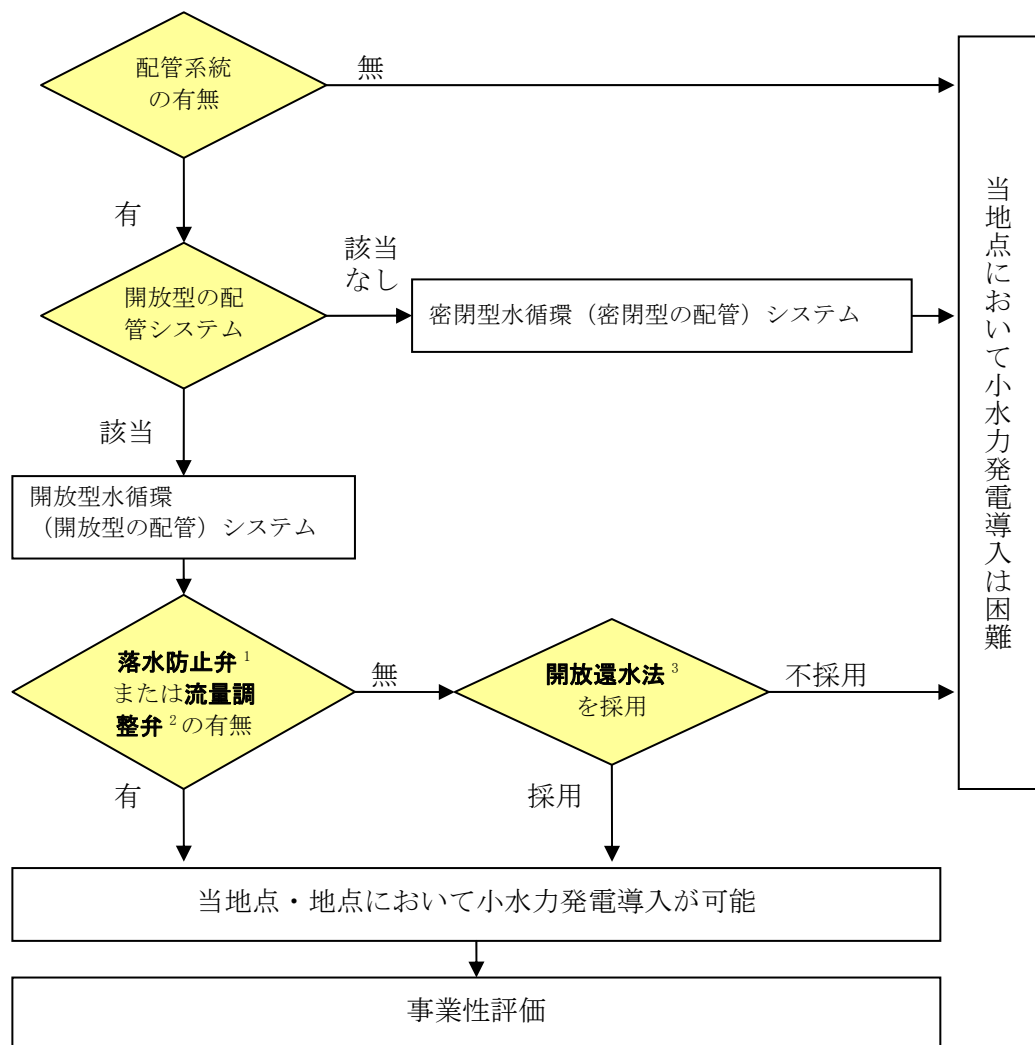
事業性評価の指標（①～④）で，4つとも網掛けとなっているケースが，小水力発電を導入した場合に健全な事業の可能性が高いことを示す。

¹ IRR:将来得られる現金収入（キャッシュフロー）の現在価値，すなわち「事業の現在価値」と，「現在投資しようとしている金額」が等しくなる収益率を指し，値が大きいくほど投資価値があると判断される。事業の現在価値を決める収益率が，投資資金の調達コストとなる利率よりも大きければ，投資適格であると判断できる。（固定価格買取制度における買取価格の検討では，再生可能エネルギー導入プロジェクトの投資判断の基準として，20年間のIRRを8%として計算している。）

6.2.2 工場や商業施設等の施設内を循環する水

表 6-2 において抽出された「工場や商業施設等の施設内を循環する水」と「空調設備の配管の供給圧の余剰圧力を利用システム」を対象として、小水力発電導入の事業性評価を行った。

(1) 導入可能性の判断フロー（空調系統）



フロー内の「**太字の文字**」の設備等は、小水力発電導入の可能性のある設備等を示す。

図 6-3 空調系統（配管系統）へ小水力発電の導入が可能か判断するためのフロー図

¹ 落水防止弁：通水中は入口圧力を一定に制御，通水停止時には完全閉止して，入口圧力を維持し，通水再開時の水撃を防止する。

² 流量調整弁：設定した流量を保つための弁。圧力・温度補償付きの調整弁もある。

³ 開放還水法：開放還水法とは，還水管の最上部を大気に開放して還り主管の水を落水させる方法

(2) 事業性評価の前提条件（空調系統）

空調系統を有する地点において小水力発電導入の事業性評価を試算する前提条件を、表 6-6 に示す。この地点では、出力が 3 kW の機器（インライン水車）を想定し、事業性評価を行った。事業性評価は、導入地点特性（流量および落差）から得られる出力、電力用途（売電もしくは自家消費）、補助金の有無、設備運転状況（連続運転もしくは変動運転）といった変数を考慮した。なお、導入を想定した 3 kW の機器における各出力に必要な流量と落差の設定値を表 6-7 に示す。

表 6-6 事業性評価の前提条件（空調系統）

| | | |
|---------------|--------------|--|
| 運用期間 | 22 年 | 法定耐用年数と同様 |
| 売電価格 | 35.7 円/kWh | 固定価格買取制度の適用価格 買取区分：200kW未満 |
| 買電価格 | 15.0 円/kWh | 従量料金の設定値 |
| 想定機器 | 3 kW | プロペラ水車（インライン式） |
| 機器費 | 2,500 千円/3kW | メーカーヒアリング等に基づき設定 |
| 系統連系装置 | 500 千円/装置 | 同上 |
| 工事費 | 1,000 千円 | 同上 |
| 維持管理費 | 25 千円/年 | 機器費の1%と設定 |
| 補助金（初期投資額の割合） | 50 % | 補助金実績を踏まえ設定 |
| 法定耐用年数 | 22 年 | 機械装置の法定耐用年数 減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和40年大蔵省令第15号） |
| 連続運転時間 | 8,760 時間/年 | 365日連続稼働と設定 |
| 変動運転時間 | 4,380 時間/年 | 365日連続稼働の半分と設定 |

※事業性評価における減価償却費は、定額法（残存簿価1円）、金利は簿価の3%を考慮

表 6-7 3 kW機器において各出力を得るために必要な流量と落差の目安

| 出力[kW] | 流量[m ³ /s] | 有効落差[m 又は mAq] |
|--------|-----------------------|----------------|
| 1.0 | 約0.010 | 約10 |
| 2.0 | 約0.014 | 約20 |
| 3.0 | 約0.017 | 約30 |

(3) 事業性評価結果（空調系統）

変数を考慮した事業ケースの事業性評価の試算結果を表 6-8 に示す。発電原価，建設単価，投資回収年，IRR といった指標を用い，各事業ケースに応じて事業性を評価した。

【事業性評価の指標の判断基準】

- ①発電原価：固定価格買取制度における電力の売電価格（35.7円/kWh）もしくは買電価格（15円/kWh）以下であること。
 ②建設単価：200円/kWh以下であること。
 ③投資回収年：投資回収年が減価償却年数以下（22年）であること。
 ④IRR：20年間の事業で8%以上であること。

表 6-8 事業モデルの試算結果 総括表（空調系統）

| ケース | 出力 | 電力用途 | 補助金 | 設備運転 | ① 発電原価 [円/kWh] | ② 建設単価 [円/kWh] | ③ 投資回収年 | ④ IRR (20年間) | |
|------|-----|------|------|------|----------------------|----------------------|------------|--------------------|------|
| 1 | 1 | 全量売電 | 50% | 連続 | 19.8 | 228.3 | 13 | 5.0 | |
| 変動 | | | | 39.5 | 456.6 | — | — | | |
| なし | | | 連続 | 36.7 | 456.6 | — | — | | |
| | | | 変動 | 73.4 | 913.2 | — | — | | |
| 自家消費 | | 50% | 連続 | 17.7 | 199.8 | — | — | | |
| | | | 変動 | 35.3 | 399.5 | — | — | | |
| | | なし | 連続 | 32.5 | 399.5 | — | — | | |
| | | | 変動 | 64.9 | 799.1 | — | — | | |
| 9 | 2 | 全量売電 | 50% | 連続 | 9.9 | 114.2 | 5 | 22.8 | |
| 変動 | | | | 19.8 | 228.3 | 13 | 5.0 | | |
| なし | | | 連続 | 18.3 | 228.3 | 12 | 5.9 | | |
| | | | 変動 | 36.7 | 456.6 | — | — | | |
| 自家消費 | | 50% | 連続 | 8.8 | 99.9 | 15 | 3.9 | | |
| | | | 変動 | 17.7 | 199.8 | — | — | | |
| | | なし | 連続 | 16.2 | 199.8 | — | — | | |
| | | | 変動 | 32.5 | 399.5 | — | — | | |
| 17 | | 3 | 全量売電 | 50% | 連続 | 6.6 | 76.1 | 3 | 38.5 |
| 変動 | | | | | 13.2 | 152.2 | 7 | 14.5 | |
| なし | | | | 連続 | 12.2 | 152.2 | 7 | 15.2 | |
| | | | | 変動 | 24.5 | 304.4 | 21 | 0.0 | |
| 自家消費 | 50% | | 連続 | 5.9 | 66.6 | 8 | 13.3 | | |
| | | | 変動 | 11.8 | 133.2 | — | -2.4 | | |
| | なし | | 連続 | 10.8 | 133.2 | 22 | -1.0 | | |
| | | | 変動 | 21.6 | 266.4 | — | — | | |

<表の試算結果の見方>

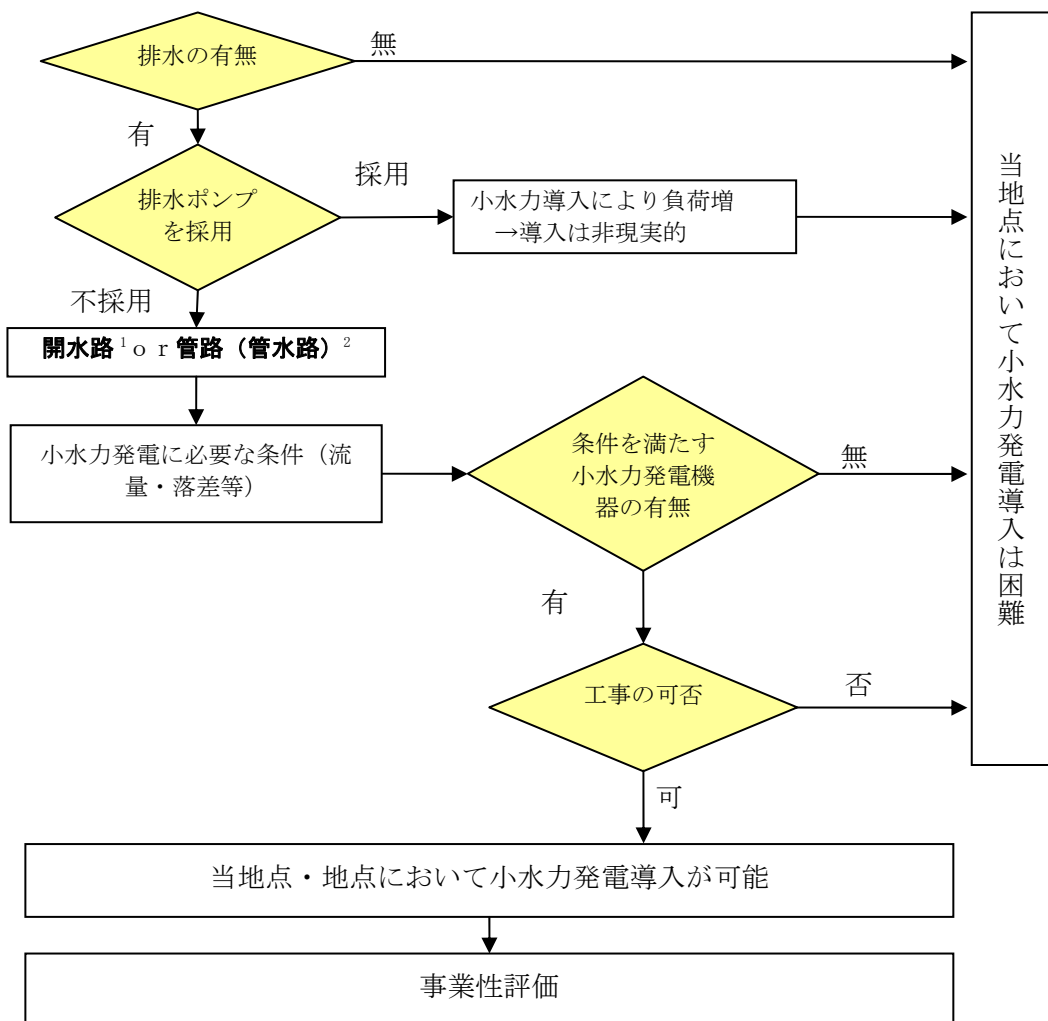
事業性評価の指標（①～④）で，4つとも網掛けとなっているケースが，小水力発電を導入した場合に健全な事業の可能性が高いことを示す。

6.2.3 工場や商業施設等から出る水（工場や商業施設等敷地内の施設から出る水）

表 6-2 において抽出された「工場や商業施設等の施設内から出る水」と「排水路の水を利用するシステム」を対象として、小水力発電導入の事業性評価を行った。

(1) 導入可能性の判断フロー（排水路の水利用）

当対象地点で導入可能か判断するためのフロー図を図 6-4 に示した。



フロー内の「太字の文字」の設備等は、小水力発電導入の可能性のある設備等を示す。

図 6-4 排水路へ小水力発電の導入が可能か判断するためのフロー図

¹ 開水路：水面を持つ水路。開水路を直接利用する小水力発電の水車としてクロスフロー水車がある。

² 管路（管水路）：水面を持たず、流体が流れる管。小水力発電導入では、バイパス配管を設置しインライン水車などの導入が考えられる。また、埋設管の場合も、掘削工事と埋め戻しが必要となるが、管にバイパスを設けることにより小水力発電を導入することが可能である。

(2) 事業性評価の前提条件（排水路の水利用）

工場や商業施設等敷地内の施設等から出る水を有する地点において小水力発電導入の事業性評価を試算する前提条件を、表 6-9 に示す。この地点では、出力が 5 kW の機器（クロスフロー水車）を想定し、事業性評価を行った。事業性評価は、導入地点特性（流量および落差）から得られる出力、電力用途（売電もしくは自家消費）、補助金の有無、設備運転状況（連続運転もしくは変動運転）といった変数を考慮した。なお、導入を想定した 5 kW の機器における各出力に必要な流量と落差の設定値を表 6-10 に示す。

表 6-9 事業性評価の前提条件（排水路の水利用）

| | | |
|---------------|--------------|--|
| 運用期間 | 22 年 | 法定耐用年数と同様 |
| 売電価格 | 35.7 円/kWh | 固定価格買取制度の適用価格 買取区分：200kW未満 |
| 買電価格 | 15.0 円/kWh | 従量料金の設定値 |
| 想定機器 | 5 kW | クロスフロー水車 |
| 機器費 | 7,000 千円/5kW | メーカーヒアリング等に基づき設定 |
| 系統連系装置 | 500 千円/装置 | 同上 |
| 工事費 | 1,000 千円 | 同上 |
| 維持管理費 | 240 千円/年 | 設定値 |
| 補助金（初期投資額の割合） | 50 % | 補助金実績を踏まえ設定 |
| 法定耐用年数 | 22 年 | 機械装置の法定耐用年数 減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和40年大蔵省令第15号） |
| 連続運転時間 | 8,760 時間/年 | 365日連続稼働と設定 |
| 変動運転時間 | 4,380 時間/年 | 365日連続稼働の半分と設定 |

※事業性評価における減価償却費は、定額法（残存簿価1円）、金利は簿価の3%を考慮

表 6-10 5kW機器において各出力を得るために必要な流量と落差の目安

| 出力[kW] | 流量[m ³ /s] | 有効落差[m 又は mAq] |
|---------|-----------------------|----------------|
| 0.5～5.0 | 0.20～0.45 | 0.7～2.3 |

(3) 事業性評価結果（排水路の水利用）

変数を考慮した事業ケースの事業性評価の試算した結果を表 6-11 に示す。発電原価、建設単価、投資回収年、IRR といった指標を用い、各事業ケースに応じて事業性を評価した。

【事業性評価の指標の判断基準】

- ①発電原価：固定価格買取制度における電力の売電価格（35.7円/kWh）もしくは買電価格（15円/kWh）以下であること。
 ②建設単価：200円/kWh以下であること。
 ③投資回収年：投資回収年が減価償却年数以下（22年）であること。
 ④IRR：20年間の事業で8%以上であること。

表 6-11 事業モデルの試算結果 総括表（排水路の水利用）

| ケース | 出力 | 電力用途 | 補助金 | 設備運転 | ① 発電原価 [円/kWh] | ② 建設単価 [円/kWh] | ③ 投資回収年 | ④ IRR (20年間) |
|------|----|------|-----|-------|----------------------|----------------------|------------|--------------------|
| 1 | 1 | 全量売電 | 50% | 連続 | 63.3 | 485.2 | — | — |
| 変動 | | | | 126.7 | 970.3 | — | — | |
| なし | | | 連続 | 99.3 | 970.3 | — | — | |
| | | | 変動 | 198.6 | 1940.6 | — | — | |
| 5 | | 自家消費 | 50% | 連続 | 61.2 | 456.6 | — | — |
| 変動 | | | | 122.5 | 913.2 | — | — | |
| なし | | | 連続 | 95.1 | 913.2 | — | — | |
| | | | 変動 | 190.1 | 1826.5 | — | — | |
| 9 | 2 | 全量売電 | 50% | 連続 | 21.1 | 161.7 | 11 | 7.7 |
| 変動 | | | | 42.2 | 323.4 | — | — | |
| なし | | | 連続 | 33.1 | 323.4 | — | — | |
| | | | 変動 | 66.2 | 646.9 | — | — | |
| 自家消費 | | 50% | 連続 | 20.4 | 152.2 | — | — | |
| | | | 変動 | 40.8 | 304.4 | — | — | |
| | | なし | 連続 | 31.7 | 304.4 | — | — | |
| | | | 変動 | 63.4 | 608.8 | — | — | |
| 17 | 5 | 全量売電 | 50% | 連続 | 12.7 | 97.0 | 5 | 23.9 |
| 変動 | | | | 25.3 | 194.1 | 16 | 2.7 | |
| なし | | | 連続 | 19.9 | 194.1 | 12 | 6.6 | |
| | | | 変動 | 39.7 | 388.1 | — | — | |
| 自家消費 | | 50% | 連続 | 12.2 | 91.3 | — | -1.3 | |
| | | | 変動 | 24.5 | 182.6 | — | — | |
| | | なし | 連続 | 19.0 | 182.6 | — | — | |
| | | | 変動 | 38.0 | 365.3 | — | — | |

<表の試算結果の見方>

事業性評価の指標（①～④）で、4つとも網掛けとなっているケースが、小水力発電を導入した場合に健全な事業の可能性が高いことを示す。

6.2.4 シミュレーション結果

事業性評価のモデル検討結果を踏まえた、導入シミュレーション結果を表 6-12 から表 6-14 に示す。

表 6-12 導入シミュレーション結果（工業用水等の供給圧の残圧利用）

| | | |
|------|--------|--|
| 導入地点 | グループ | A2 ※グループ定義は、11ページ参照 |
| | 水利用地点 | 入る水 |
| | システム区分 | 工業用水等の供給圧の残圧を利用するシステム |
| | 備考 | 導入を想定する水車はインライン水車 本シミュレーションでは、補助金を利用し、自家消費を目的に小水力を導入した場合の事業性を評価 |

| 項目 | | 条件 |
|------|---------------------|------------------------|
| 地点情報 | 流量 | 0.05 m ³ /s |
| | 落差 | 30m |
| | 流量変動 | なし |
| 導入目的 | 自家消費 | |
| 導入機種 | 9 kW | |
| 事業期間 | 22年 | |
| 費用 | 初期投資額 ^{※1} | 約425万円 |
| | 維持管理額等 | 約8万円 |

※1：補助金50%考慮

| 項目 | 結果 |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 年間発電量 | 約80千kWh/年 |
| 年間省エネ効果 ^{※1} | 120万円 |
| 事業期間便益 ^{※2} | 2640万 |
| 費用便益費(B/C) ^{※3} | 4.4 |
| 投資回収年 ^{※4} | 6年 |
| CO ₂ 削減量 ^{※5} | 約37 t-CO ₂ /年 |

<導入効果試算のための前提条件>

※1：従量料金を15円/kWhと設定

※2：年間省エネ効果×事業期間

※3：事業期間便益/（初期投資額+維持管理額等×事業期間）

※4：減価償却費は定額法（残存簿価1円），金利は簿価の3%を考慮

※5：電力排出係数0.464 kg-CO₂/kWh（平成23年度の東京電力の実排出係数）を使用

導入前

導入後

↓

<特記事項>

- 工業用水の供給圧は水道局から情報提供可能な場合もあるが、小水力発電導入の際には計測を行うなど供給圧の残圧を正確に把握する必要がある。

表 6-13 導入シミュレーション結果（空調系統）

| | | |
|------|--------|---|
| 導入地点 | グループ | B3 ※グループ定義は、11ページ参照 |
| | 水利用地点 | 循環水 |
| | システム区分 | 空調設備の配管の供給圧の余剰圧力を利用するシステム |
| | 備考 | 蓄熱槽式冷温水供給サイクルを採用している空調設備において、落水防止弁※で消失する圧力（未利用エネルギー）を活用 導入を想定する水車は、インライン水車 |

<シミュレーション条件>

| 項目 | | 条件 |
|------|---------|------------------------|
| 地点情報 | 流量 | 0.03 m ³ /s |
| | 落差 | 20 m |
| | 流量変動 | なし |
| 導入目的 | 自家消費 | |
| 導入機種 | 3 kW | |
| 事業期間 | 22年 | |
| 費用 | 初期投資額※1 | 約180万円 |
| | 維持管理額等 | 約3万円/年 |

※1：補助金50%考慮

<導入効果等>

| 項目 | 結果 |
|-----------------------|--------------------------|
| 年間発電量 | 約26千kWh/年 |
| 年間省エネ効果※1 | 39万円 |
| 事業期間便益※2 | 858万 |
| 費用便益費(B/C) ※3 | 3.5 |
| 投資回収年※4 | 8年 |
| CO ₂ 削減量※5 | 約12 t-CO ₂ /年 |

<導入効果試算のための前提条件>

※1：従量料金を15円/kWhと設定

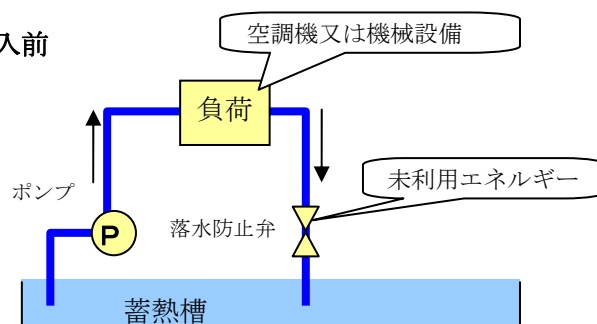
※2：年間省エネ効果×事業期間

※3：事業期間便益/（初期投資額+維持管理額等×事業期間）

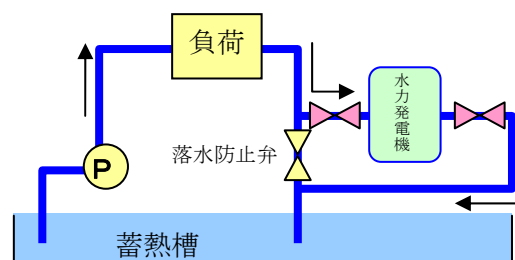
※4：減価償却費は定額法（残存簿価1円），金利は簿価の3%を考慮

※5：電力排出係数0.464 kg-CO₂/kWh（平成23年度の東京電力の実排出係数）を使用

導入前



導入後



<特記事項>

- ・落水防止弁のほかに、流量調整弁、開放還水法を採用していれば小水力発電導入可能な地点となる。
- ・施設が高層で落差が大きい場合は水車2台を直列運転することも可能、流量が多い場合は並列運転
- ・複数台設置により発電出力が20kW以上となる場合は事業用電気工作物に該当、規制への対応が必要
- ・売電可能な系統連系仕様機器はあるが、工場や商業施設等における売電実績はほとんどないことをメーカーヒアリング等にて確認

表 6-14 導入シミュレーション結果（排水路の水利用）

| | | |
|------|--------|--|
| 導入地点 | グループ | C5 ※グループ定義は、11ページ参照 |
| | 水利用地点 | 出る水 |
| | システム区分 | 排水路の水を利用するシステム |
| | 備考 | 工場や商業施設等からの排水と排水地点の落差の条件を活かした小水力発電を想定 導入を想定する水車はクロスフロー水車 本シミュレーションでは、補助金を利用せず売電による収益による事業を想定 |

<シミュレーション条件>

| 項目 | | 条件 |
|------|---------------------|------------------------|
| 地点情報 | 流量 | 0.45 m ³ /s |
| | 落差 | 2.3 m |
| | 流量変動 | なし |
| 導入目的 | | 売電 |
| 導入機種 | | 5 kW |
| 事業期間 | | 22年 |
| 費用 | 初期投資額 ^{※1} | 約850万円 |
| | 維持管理額等 | 約24万円/年 |

※1：補助金0%の場合を考慮

<導入効果等>

| 項目 | 結果 |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 年間発電量 | 約44千kWh/年 |
| 売電収入 ^{※1} | 約157万円 |
| 事業期間便益 ^{※2} | 3454万 |
| 費用便益費(B/C) ^{※3} | 2.5 |
| 投資回収年 ^{※4} | 12年 |
| CO ₂ 削減量 ^{※5} | 約20 t-CO ₂ /年 |

<導入効果試算のための前提条件>

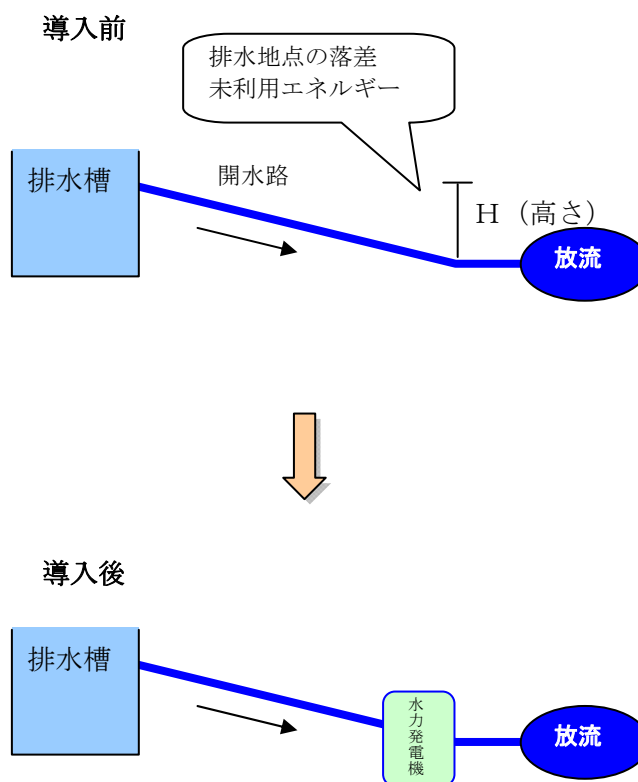
※1：固定価格35.7円/kWhを事業期間（22年）に適用

※2：年間売電収入×事業期間（22年）

※3：事業期間便益/（初期投資額+維持管理額等×事業期間）

※4：減価償却費は定額法（残存簿価1円），金利は簿価の3%を考慮

※5：電力排出係数0.464 kg-CO₂/kWh（平成23年度の東京電力の実排出係数）を使用



<特記事項>

- ・小水力発電システムによっては、水質（水道水相当）や液温度などの使用条件があるため、導入対象地点に適用可能な機種かメーカーに確認する必要がある。

7. おわりに

再生可能エネルギーの固定価格買取制度の導入により再生可能エネルギーの導入に対する注目度が年々増す中、本調査では、工場や商業施設等で使用される水に注目し、小水力発電に関する導入可能性の調査を実施した結果、以下のような課題が浮き彫りになった。

- ・ 小水力発電に関する基礎的な情報が不足している。
- ・ 小水力発電では採算が取れないというイメージが多い。
- ・ 間欠運転の工場の場合、年間の発電量が小さくなることから採算性が上がらない。
- ・ 自家消費をした場合では、電力会社から買う電力料金の方が安いいため、経済的メリットが少ない。
- ・ 工場や商業施設等に設置する場合、太陽光発電のように外部から見える位置に設置することが少ないため、環境配慮に関する外部へのアピール性が低いと考えられている。

一方で、小水力発電は、工場や商業施設等においても設置できる可能性があることも分かってきており、エネルギーコストの削減や会社のCSRに十分寄与すると考えられる。

この報告書では、小水力発電に関する知識の少ない事業者でも、自社の施設で小水力発電の導入を検討できるような内容になるよう心がけ作成した。

再生可能エネルギーの更なる普及拡大は、今後、社会的に重要となってくることから、継続的な普及拡大が必要であり、この報告書がその一躍を担えれば幸いである。