

豊中市上下水道における再生可能エネルギー手法の選定

日本水工設計(株) 佐藤友啓

1. はじめに

我が国では、平成 9 年に採択された京都議定書に基づき、二酸化炭素等の温室効果ガス排出量の削減を推進しており、日本に対し、2008-2012 年の温暖化ガス平均の合意排出量を 1990 年度比で 6%削減するように義務付けられている。

また下水道分野においては、平成 17 年 9 月に「下水道ビジョン 2100」の策定、平成 18 年 4 月には省エネ法が改正され、より一層のエネルギー消費の合理化、「健全な水循環と資源循環」を創出する 21 世紀型下水道への転換を目指すべきとしている。

これを受け豊中市では、平成 21 年 2 月に「とよなか水未来構想」を策定しており、目指すべき将来像の一つとして、「環境にやさしい事業の展開」を掲げ、水のもつエネルギーを利用して発電させる小水力発電事業、下水処理の過程で発生する汚泥や消化ガスなどの資源の有効利用、低公害・低燃費車両の導入など、さまざまな環境保全に取り組んでいる。

本報告では、豊中市上下水道事業における環境対策として、再生可能エネルギーを活用した発電施設の導入や、事業活動において発生する資源の有効活用について検討を行い、事業化へ向けての提案を行ったため報告する。

2. 豊中市の施設概要

(1) 豊中市の概要

豊中市は、大阪府の北西部に位置しており、水道事業は昭和 3 年、下水道事業は昭和 18 年から供用開始し、表 2-1 に示すとおり水道で約 11 施設、下水道で約 9 施設有している。

表 2-1 豊中市上下水道施設一覧

| 区分 | 施設名 | 用地面積 | 区分 | 施設名 | 用地面積 |
|------|----------|---------|-------|-----------|----------|
| 水道施設 | 上下水道局庁舎 | 3,168㎡ | 下水道施設 | 庄内下水処理場 | 34,137㎡ |
| | 石橋中継ポンプ場 | 1,626㎡ | | 桜井谷ポンプ場 | 3,985㎡ |
| | 柴原浄水場 | 6,407㎡ | | 新免ポンプ場 | 318㎡ |
| | 柴原配水場 | 9,547㎡ | | 千里園ポンプ場 | 2,650㎡ |
| | 新田配水場 | 8,735㎡ | | 利倉ポンプ場 | 9,486㎡ |
| | 野畑配水場 | 10,841㎡ | | 穂積ポンプ場 | 3,242㎡ |
| | 寺内配水場 | 21,821㎡ | | 小曽根第1ポンプ場 | 2,252㎡ |
| | 柿ノ木受配水場 | 10,525㎡ | | 小曽根第2ポンプ場 | 2,559㎡ |
| | 緑丘配水場 | 8,675㎡ | | 原田処理場 | 316,800㎡ |
| | 旧東豊中配水場 | 4,420㎡ | | | |
| | 猪名川取水場 | 271㎡ | | | |

(2) 豊中市環境保全の取組み

豊中市では、環境保全への取組みとして未利用エネルギーの有効活用等の事業を行っている。以下に環境保全事業の例を紹介する。

<寺内配水場 小水力発電設備>

豊中市では、太陽光発電や風力発電と比べても比較的安定して発電することが出来る「小水力発電事業」に民間事業者と共同で取り組み、二酸化炭素排出量の削減を図っている。

市内南部に水を送り届けている寺内配水池では、大阪広域水道企業団から受水した水を貯留する千里浄水池との落差(高低差約 35 メートル)を利用して、水車を回し、発電している状況である。発電によって生じた電気は一部を配水場内の電力に利用している。また平成 24 年 7 月から始まった固定価格買取制度を利用し、42 円/kWh の単価（平成 24 年度時点）で関西電力に買い取ってもらっている。

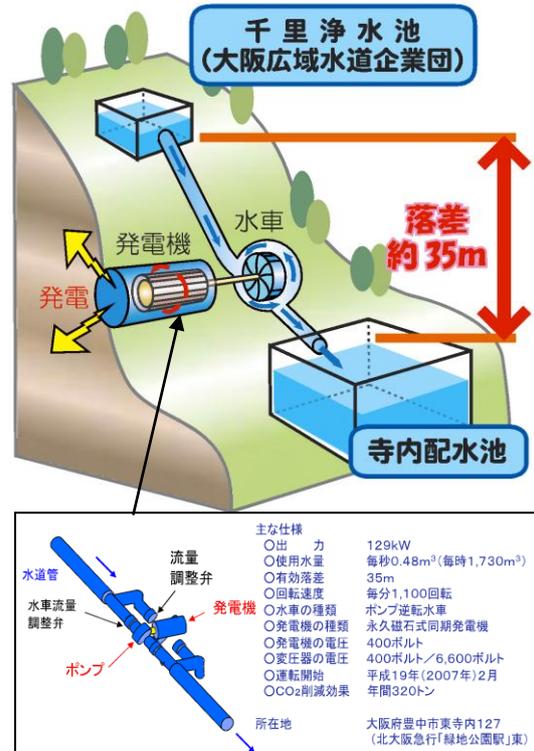


図 2-2 寺内配水場小水力発電概要図

3. 業務内容と検討フロー

図 3-1 に業務検討フローを示す。

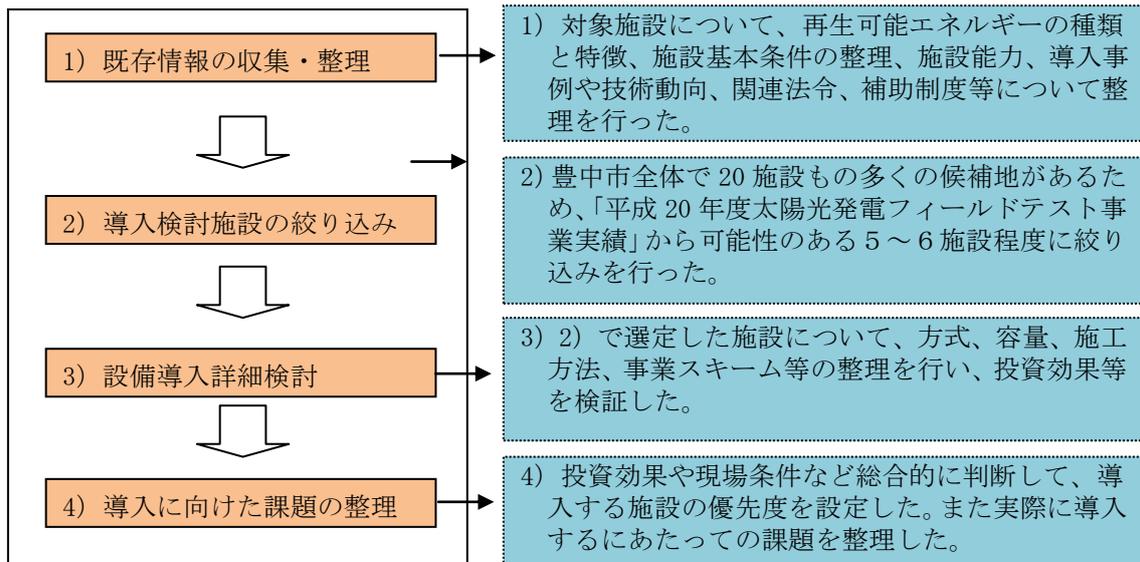


図 3-1 業務検討フロー

4. 再生可能エネルギー設備の導入施設の選定

上記検討フローに従い、まず 20 施設もの多くの候補地から 5～6 施設程度に絞り込みを行う。また以下に示す施設については、投資効果が無いと判断して検討から除外した。

- I) 小水力発電については、石橋中継ポンプ場及び柴原浄水場では水頭差を利用できる場所がなく、庄内下水処理場及び原田処理場では、水位高低図等により小水力発電が可能となる水位差がある場所がないことから、検討対象外とする。
- II) 消化ガス発電については、庄内下水処理場では消化タンク設備を有しておらず、将来計画においても建設計画がないことから、検討対象外とする。

表 4-1 再生可能エネルギー設備の導入検討対象施設の選定

| 項目 | 施設名 | 太陽光発電 | | | | 小水力発電 | | | |
|------|----------------|------------------|----------------|----------------|------|------------------|----------------|----------------|------|
| | | 年間発電量 (kWh/年) | 費用対効果1 B/C① | 費用対効果2 B/C② | 評価 | 年間発電量 (kWh/年) | 費用対効果1 B/C① | 費用対効果2 B/C② | 評価 |
| 上水1 | 上下水道局庁舎 | 33,567 | 0.15 | 0.73 | | — | — | — | — |
| 上水2 | 石橋中継ポンプ場（候補地①） | 18,182 | 0.11 | 0.58 | | — | — | — | — |
| 上水2 | 石橋中継ポンプ場（候補地②） | 22,378 | 0.12 | 0.63 | | — | — | — | — |
| 上水3 | 柴原浄水場 | 25,175 | 0.13 | 0.66 | | — | — | — | — |
| 上水4 | 柴原配水場 | — | — | — | | 133,000 | 0.14 | 0.46 | |
| 上水5 | 新田配水場（候補地①） | 215,385 | 0.26 | 1.04 | ○(3) | 99,000 | 0.11 | 0.36 | |
| 上水5 | 新田配水場（候補地②） | 75,525 | 0.21 | 0.89 | | — | — | — | — |
| 上水6 | 野畑配水場（候補地①） | 215,385 | 0.26 | 1.04 | ○(3) | 385,000 | 0.36 | 1.16 | ○(1) |
| 上水6 | 野畑配水場（候補地②） | 215,385 | 0.26 | 1.04 | ○(3) | — | — | — | — |
| 上水7 | 寺内配水場 | 783,220 | 0.28 | 1.10 | ○(2) | — | — | — | — |
| 上水8 | 柿ノ木受配水場 | 102,798 | 0.23 | 0.97 | ○(7) | — | — | — | — |
| 上水9 | 緑丘配水場 | — | — | — | | — | — | — | — |
| 上水10 | 旧東豊中配水場（未稼働施設） | — | — | — | | — | — | — | — |
| 上水11 | 猪名川取水場 | 19,580 | 0.11 | 0.59 | | — | — | — | — |
| 下水1 | 庄内下水処理場（候補地①） | 111,889 | 0.23 | 0.98 | ○(6) | — | — | — | — |
| 下水1 | 庄内下水処理場（候補地②） | 83,916 | 0.21 | 0.91 | | — | — | — | — |
| 下水2 | 桜井谷ポンプ場 | 34,965 | 0.15 | 0.73 | | — | — | — | — |
| 下水3 | 新免ポンプ場 | 2,797 | 0.02 | 0.16 | | — | — | — | — |
| 下水4 | 千里園ポンプ場 | 11,189 | 0.08 | 0.45 | | — | — | — | — |
| 下水5 | 利倉ポンプ場 | 36,364 | 0.16 | 0.74 | | — | — | — | — |
| 下水6 | 穂積ポンプ場 | 18,881 | 0.11 | 0.59 | | — | — | — | — |
| 下水7 | 小曾根第1ポンプ場 | 26,574 | 0.14 | 0.67 | | — | — | — | — |
| 下水8 | 小曾根第2ポンプ場 | 11,189 | 0.08 | 0.45 | | — | — | — | — |
| 下水9 | 原田処理場（流域下水道） | 93707 | 0.22 | 0.92 | | — | — | — | — |

注1：費用対効果1は、従来型の電力料金による費用対効果（B/C）である。
注2：費用対効果2は、固定価格買取制度による費用対効果（B/C）である。

注3：評価欄の（ ）内は、費用対効果（B/C）の高い順番である。
注4：B/C 総便益（Benefit）、総費用（Cost）

5. 再生可能エネルギー設備の詳細導入検討

5-1 太陽光発電設備

(1) 太陽電池形式の選定

太陽電池の種類は、埋蔵量も多く製造コストも比較的安価であるシリコン系の中で、限られたスペースの中で高出力を得るために、発電効率の高い単結晶系の太陽電池を選定する。

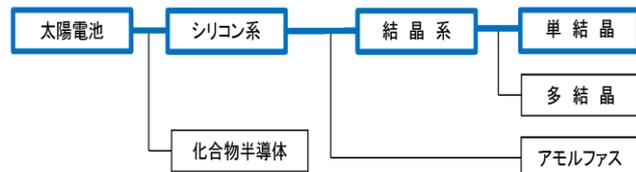


図 5-1 太陽電池の種類

(2) 各種条件の整理

I) 設置可能面積の設定

- ・施設の配置に合わせて効率的な方位（南向き）にパネルを設置。
- ・パネルの離隔は、パネル間の影を考慮し、1,300mm 以上の離隔を設ける。
- ・各施設の搬出入スペースや見学者案内スペースを 3,000mm 程度考慮する。

II) 傾斜角・方位角

- ・傾斜角は、一般的に選定される 5° 、 10° 、 30° にて検討を行う。
- ・傾斜角 0° は水捌け勾配がとれないことから検討から除外する。
- ・方位角は、各施設で極力真南に近い配置で設定する。

III) 太陽電池アレイ間の距離

太陽電池アレイを複数系列に配置するため、前方のアレイの影が後方の太陽電池にかからないように影の長さを考慮してアレイ間の距離を決定する。

(3) 配置検討

各候補地における導入効果を算出する際に必要となる、パネルの配置計画を前項までの条件に基づき行い、有効面積、発電出力について算出する。以下には代表として寺内配水場のパネル配置例を示す。

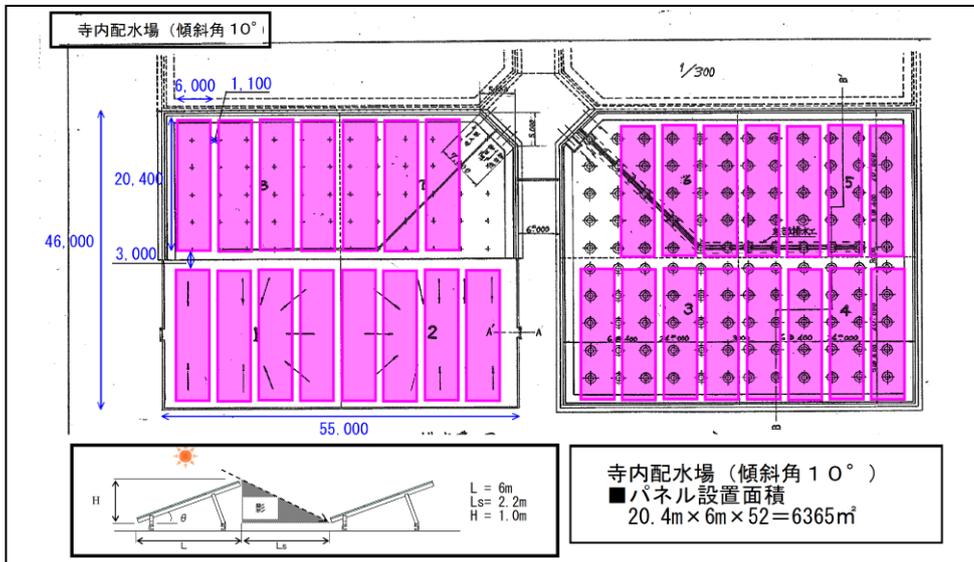


図 5-1 パネル配置計画 (寺内配水場)

(4) 太陽光発電設備 導入効果の検証

導入効果の検証は、各候補地に対して行ったが、ここでは、 B/C が 1.0 以上となった「寺内配水場」について一例を示す。

表 5-1 太陽光発電設備 導入効果

| | 寺内配水場 | | |
|-------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | 傾斜角 5° | 傾斜角 10° | 傾斜角 30° |
| パネル面積 (m ²) | 7,344 | 6,365 | 4,406 |
| 太陽電池出力 (kW) | 1,028 | 891 | 617 |
| 方位角 (°) | 0 | 0 | 0 |
| 年間発電量 (kWh) | 963,940 | 855,966 | 616,386 |
| システム構築費 (千円) | 732,680 | 641,960 | 452,720 |
| B/C(従来) | 0.36 | 0.27 | 0.27 |
| B/C(固定価格) | 1.00 | 1.01 | 1.03 |

5-2 小水力発電設備

(1) 発電規模の設定

水力発電は、その出力規模によって、大水力～マイクロ水力まで分類されるが、検討対象の施設の発電規模は、有効落差と流量条件から算定し、発電出力を求める。またいずれの施設も受水量が 0.25 m³/秒以下、有効落差が 30m 程度であり、発電出力が 100kW 以下であることから、マイクロ水力発電に分類される。

(2) 発電用水車の選定

発電用水車は、使用水量の大小によってその適用機種が異なるため、水車の形式は以下の水車選定図を用いて最大使用水量と有効落差の適用範囲によって設定する。

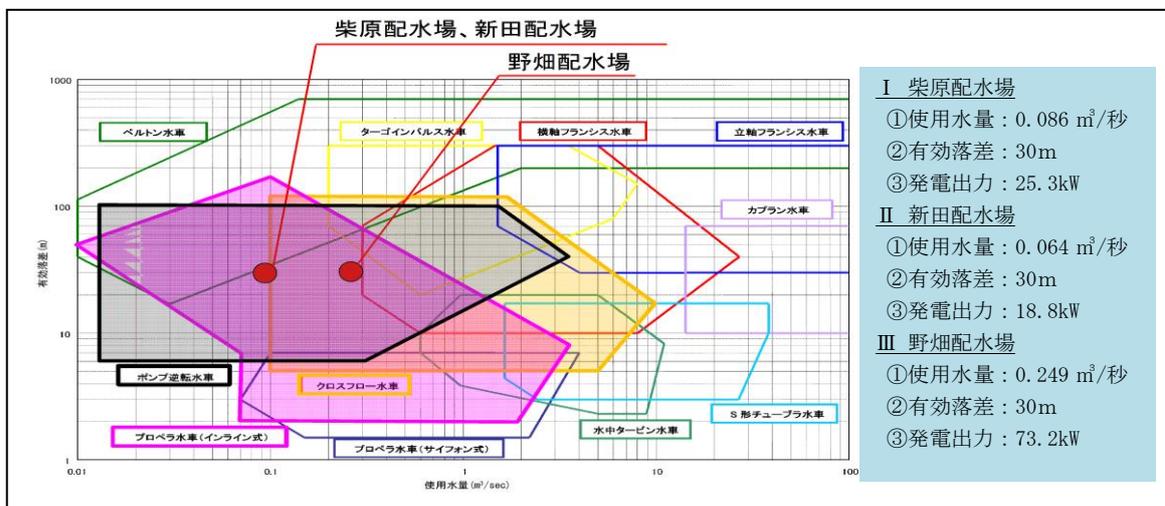


図 5-2 水車選定図

上記より、選定範囲に含まれる水車は、クロスフロー水車、プロペラ水車（インライン式）、ポンプ逆転水車であるが、実績、維持管理性、経済性の観点から、「ポンプ逆転水車」を選定した。

(3) 小水力発電設備 導入効果の検証

前項までの条件に基づき、導入効果の検証を行った。以下に結果一覧を示す。

表 5-2 小水力発電設備 導入効果

| | 柴原配水場 | 新田配水場 | 野畑配水場 |
|------------|---------|---------|---------|
| 総費用(千円) | 216,000 | 206,000 | 231,000 |
| 発電出力(kW) | 25.3 | 18.8 | 73.2 |
| 年間発電量(kWh) | 133,000 | 99,000 | 385,000 |
| B/C(従来) | 0.14 | 0.11 | 0.36 |
| B/C(固定価格) | 0.46 | 0.36 | 1.16 |

5-3 各施設の再生可能エネルギー設備における課題の整理

各施設において再生可能エネルギー設備を導入するに当たり、配慮が必要な事柄や制約を受ける条件について整理する。また制約条件を整理した導入効果の総括表を表 5-8 に示す。

(1) 事業着手時期の制約

地震時における機能確保のため、各配水場の耐震化工事を計画的に行う予定としているが、太陽光発電設備設置後の耐震化は施工の妨げになることや、小水力発電では工事期間中の発電用水量の確保が困難になるため、いずれも耐震化工事終了後に事業を着手することとする。

(2) 太陽光パネルの反射による周辺への影響

近年はパネル性能の向上により、低反射の製品が開発されているものの完全に反射を抑えるに至っていない。特に朝夕の太陽位置が低いときは、反射光が水平方向に近くなるため、パネル設置場所の東・西に位置する建物に影響が出やすい。

事業化の前に反射光軌跡シミュレーションを実施するなど、影響を事前に把握し対策を講じる準備をすることが肝要である。

(3) 不確定要素

1) 柿ノ木配水場

柿ノ木配水場は、府企業団が所有する近隣配水池との共有化に向けての検討が進められていることから、共有化の概要が明確になってから発電設備の事業化を見極める。

2) 庄内下水処理場

庄内下水処理場は、昭和 48 年の供用開始から 40 年が経過し、処理場の抜本的な処理機能の見直しなど将来的な処理場のあり方を模索する時期に来ている。

このため、処理場の将来計画が明確になってから事業化を見極める必要がある。

表 5-3 再生可能エネルギー導入効果 総括表

| | 新田配水場 | 野畑配水場 | | 寺内配水場 | 柿ノ木配水場 | 庄内下水処理場 | 備 考 |
|-------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|---|--|--------------------------------|
| | 太陽光発電 | 太陽光発電 | 小水力発電 | 太陽光発電 | 太陽光発電 | 太陽光発電 | |
| 設置箇所 | 池上部 | 池上部 | 場内 | 池上部 | 池上部 | 建屋屋上 | |
| 仕様(kw) | 209~140 | 386~231 | 73 | 1,028~617 | 188~120 | 110~73 | 傾斜角によるパネル配置の違い |
| 年間発電量(kw/年) | 195,442~139,145 | 361,946~230,770 | 385,000 | 963,940~616,386 | 175,324~117,734 | 102,573~71,660 | |
| 年間CO2削減量(t-CO2/年) | □ | △ | ○ | ◎ | | | 順位 ◎⇒○⇒△⇒□ |
| 事業費(百万円) | 161~117 | 287~177 | 210 | 733~453 | 147~103 | 100~75 | |
| 費用対効果 | □ | △ | ◎ | ○ | | | 順位 ◎⇒○⇒△⇒□ |
| 固定価格買取制度(42円/kw) | 0.90~0.87 | 0.97~0.94 | 1.16 | 1.03~1.00 | 0.88~0.82 | 0.73~0.66 | 水力は35.7円 |
| 従来型電力料金体系(11円/kw) | 0.24~0.23 ※ | 0.25~0.24 ※ | 0.36 ※ | 0.27~0.26 ※ | 0.23~0.21 | 0.19~0.17 | ※発電量に対し消費電力が少ないため全量消費できない |
| 施工条件 | ◎ | □ | □ | △ | | | 順位 ◎⇒○⇒△⇒□ |
| 事業実施可能時期 | H26年以降 | H32年以降 | H32年以降 | H30年以降 | 未定 | 未定 | |
| 関連工事(耐震化) | H25年 | H30~H31 | H30~H31 | H26~H29 | 完了 | 未定 | |
| 不確定要素 | — | — | — | — | 企業団千里浄水池整備計画 | 庄内処理場の将来計画 | |
| 付帯工事 | — | — | — | — | — | 屋上防水工事 | |
| 周辺環境への影響(パネルの反射) | △ | △ | — | □ | ◎ | ○ | 順位 ◎⇒○⇒△⇒□ |
| | 東側にマンション隣接 | 南・東側に戸建住宅隣接 | — | 周辺に住宅・マンション多数隣接 | 影響なし | 影響なし | 反射対策が必要(地元説明やシミュレーション、遮光板等の設置) |
| その他の特徴 | ・比較的早期に着手できるが買取価格の変動が費用対効果に影響するため注視する必要がある | ・着手可能となるH32年時点での買取制度の動向が不透明 | ・近年減少傾向にある給水量に伴い発電量も減少する見込み ・着手可能となるH32年時点での買取制度の動向が不透明 | ・着手可能となるH30年時点での買取制度の動向が不透明 | ・千里浄水池施設と共有化に向け企業団と検討を行っており、事業化には見極めが必要 | ・事業期間が20年程度と長期になるため庄内処理場の将来像を見極め事業化を判断する必要がある ・非常時の電源として利用することが可能 | |
| 総合評価 | ○ | 関連工事が完了前に事業化を判断 | 関連工事が完了前に事業化を判断 | 関連工事が完了前に事業化を判断 | △ | △ | |

6. 事業スキームの検討

新エネルギー活用事業は標準的な設備仕様や運営方法はないため、発電電力の利用も含めた民間事業者のノウハウを活用した事業手法を採用することも可能であることから、良質な公共サービス提供のため、民間の活力を導入可能な発注手法についても検討を行うことが考えられる。

ここでは、事業化方式の検討にあたり、従来型手法、民間活力導入手法について検討を行い、新エネルギー活用事業に適した設計・建設・維持管理・運営などの事業手法について整理する。

表 6-1 事業方式の比較

| 項目 | 公設公営 | | 公設民営 | 民設民営 | |
|---------|---|--|--|---|--|
| | 従来型手法 | 一括発注方式 | 一括発注方式 | サービス購入型 | 独立採算型 |
| 資金調達 | 公共 | 公共 | 公共 | 民間 | 民間 |
| 設計 | 公共 | 民間 | 民間 | 民間 | 民間 |
| 建設 | 公共 | 民間 | 民間 | 民間 | 民間 |
| 運営 | 公共 | 公共 | 民間 | 民間 | 民間 |
| 事例 | | 三田浄水場太陽光 | | 南部水みらいセンター太陽光(リース方式) | 寺内配水場小水力、土地・屋根の貸出(泉佐野市・埼玉県・福岡県) |
| 費用負担 | あり(初期投資大)起債可 | あり(初期投資大)起債可 | あり(初期投資大)起債可 | あり(サービスの提供に対する対価) | なし |
| 費用回収・収入 | 売電収入 | 売電収入 | 売電収入 | 売電収入 | — (施設使用料など) |
| メリット | ・財源を確保すれば着実に事業化が可能 | ・財源を確保すれば着実に事業化が可能 ・一貫的な設計思想に基づき品質の向上が図れる | ・財源を確保すれば着実に事業化が可能 ・民間事業者のノウハウを活用することにより品質向上やライフサイクルコストの最小化が図れる | ・民間事業者のノウハウを活用することにより品質向上やライフサイクルコストの最小化が図れる ・公共が売電することから一部非常電源等の自家消費が可能 | ・民間資金等を活用した事業のため、公共の費用負担が発生しないことから、リスクが少なく最大の効果が期待できる ・施設使用料等の収入が見込める |
| デメリット | ・施設の所有権及び責任は公共が保有 ・個別に民間事業者へ委託することで事業を進めるため、トータルコストが高くなる | ・施設の所有権及び責任は公共が保有 ・運営を公共が行うためDBOと比較して効率的でない | ・施設の所有権及び責任は公共が保有 ・初期投資が大きな負担となる | ・「独立採算型」と違い費用負担が発生する | ・独立採算のため、民間事業者にメリットがない場合、不参加により事業化ができないことがある |
| 評価 | | | △ | ○ | ◎ |

本事業における事業スキームについては、民間事業者のノウハウを活用し、施設運用に対して公共のリスクが少なく最大の効果が期待できると考えられる「民設民営方式 独立採算型」を推奨した。

7. おわりに

豊中市上下水道施設に対する太陽光発電、小水力発電設備の導入効果は、総合的に判断して「寺内配水場－太陽光発電設備」の導入が現実的であった。しかしながら、本検討は平成 24 年度の固定価格買取制度（FIT）を適用しており、平成 25 年度現在、買取単価が低下（42 円→37.8 円）している現状を踏まえたものではない。

今後事業化を進める際には、買取単価、設備の市場価格等を十分に考慮するとともに、事業スキームを検証の上、設備の導入を検討する必要がある。