

厚生労働行政推進調査事業（厚生労働科学特別研究事業）
「水道システムにおけるカーボンニュートラル実現に向けた緩和策と
気候変動影響に対する適応策の推進のための研究」
令和4年度分担研究報告書

事業体におけるCO₂削減ポテンシャルの推計

研究代表者 小坂浩司 国立保健医療科学院生活環境研究部
研究分担者 酒井宏治 東京都立大学都市環境学部

研究要旨

日本全国より選定した3事業体について、ポンプ運転状況に着目した電力消費量の整理及び運転状況の解析、さらに削減ポテンシャルの推計を行った。その結果、調査対象事業体では、既に効率よく運転されているところが多いこと、ポテンシャル量としては小水力発電が最も大きく、トップランナーモーターへの交換、太陽光発電、インバーターへの交換などがそれに続くポテンシャル量を持つことが分かった。

A. 研究目的

水道事業を対象としたCO₂削減ポテンシャルの概算は示されているが（厚生労働省令和2年度脱炭素水道システム構築へ向けた調査等一式報告書）（以下、「既報告」）、推計にあたり仮定も多く（エネルギー原単位分析等）、事業体が対策を行うには各水道システムに応じたCO₂削減方策の選定とCO₂削減ポテンシャルの精緻な推計が必要となるが、そのような研究は行われていない。

政府の地球温暖化対策計画に基づいて、今後CO₂排出削減は、全分野、全事業者に課されていくが、削減対策を一つ一つ探していくのではなく、どこに削減ポテンシャルがあるかを明らかとすることは、実情に応じて優先して取り組むCO₂削減対策を選択し、実施することができるため、今後のCO₂削減において有利となる。またそれを、水道事業体自ら実施可能とすることは、当該計画の大きな推進力となり得ると考えられる。

そこで本研究では、異なる性格を持つ複数の水道事業体のデータを対象に、各事業体における取水から配水までのシステムの電力消費量などの運転データを整理することで、CO₂削減ポテンシャルの推計を行うことを試みた。さらに、それぞれの対

策の持つポテンシャル量について事業体間で比較して整理を行った。

B. 研究方法

1. 対象事業体

A市、B企業局、C市の3事業体を対象とした。それぞれの事業体のうち、A市は系統が比較的明解なA1系統を、B企業局はB1浄水場のB2系統及びB3系統を、C市は全系統を対象とした。対象とした解析年度は2020年度である。

2. 対象資料

それぞれの事業体に以下の資料の提供を依頼して入手した。資料が得られない場合には得られたデータを基に推計を行うことで解析した。

- 水位高低図
- ポンプ諸元、性能曲線
- 水量(取水・送水・配水)、水位、圧力(受水・吐出)、ポンプ運転状況(吐出量、運転時間、電力使用量)の特別データ

3. 解析手法

(1) 概要の整理

事業年報などを基に、対象事業体のポンプ設備の概要を整理した。

(2) 対策の抽出

現状の事業内容を踏まえ、有効と考えられる対策について、事業体ごとに抽出した。

(3) 削減ポテンシャルの推計

① ポンプ設備の更新

現状のポンプ運転データを整理し、ポンプ性能曲線と比較することで運転状況について評価した。評価した結果、効率に改善の余地があると思われるものについては可変速ポンプへの更新を検討した。

② 電動機の更新

現状のポンプ諸元を整理した。その結果、導入年数が古いなど、電動機の更新によって削減が見込まれると判断したものについて、電動機の更新を検討した。

③ 太陽光発電による創エネルギー

場内の設置スペースを見繕い、削減ポテンシャルを算出した。

④ 小水力発電による創エネルギー

水圧データを基に導入可能箇所を検討し、削減ポテンシャルを算出した。

C. 結果およびD. 考察

1. A市

(1) 概要の整理

A市の水道事業のうち、対象としたA1系統において使用した電力量は19,442,015kWhであった。また、上記で算出した電力量に中部電力ミライズ(株)の調整後排出係数(0.00377[tCO₂/kWh])を乗じて、A1系統で使用した電力量から排出されるCO₂排出量は72474.54[tCO₂]であると算出された。

(2) 対策の抽出

次に、ポンプの稼働実績から、効率よく運転できているかを確認した。図1に、第一ポンプ所のポンプ効率及び水量当たり電力量と水量の関係について示す。これを見ると、全体の効率として60~80%程度と概ね効率的に運転できていると考えられる。

これを具体的に検証するため、ポンプの合成特性曲線と比較することで確認を行った。そのために

図2のように、得られたポンプの運転状況に基づいて並列運転における特定のポンプの組み合わせ(図2の場合、新設2台、既設1台)を抽出してその全揚程を図示した。その後、ポンプの並列運転曲線と比較することで揚程に対してどの程度余裕をもって運転しているかを確認し、効率化の余地があるかどうか検討した。なお、図2の場合では、並列運転曲線と比較したところ、ほぼ同様の揚程であったため、概ね最大効率で運転できているものと考えた。

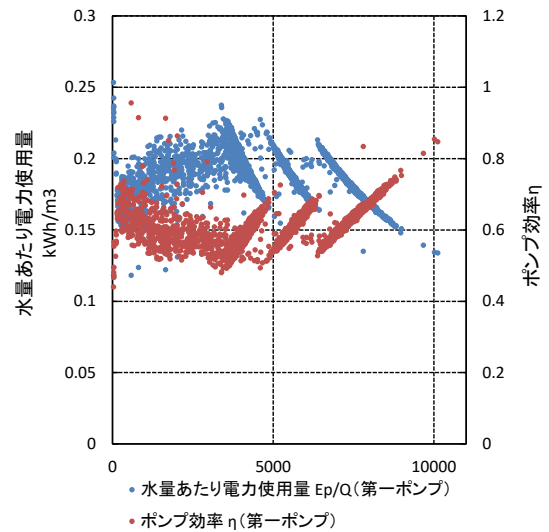


図1 第一ポンプ所運転状況

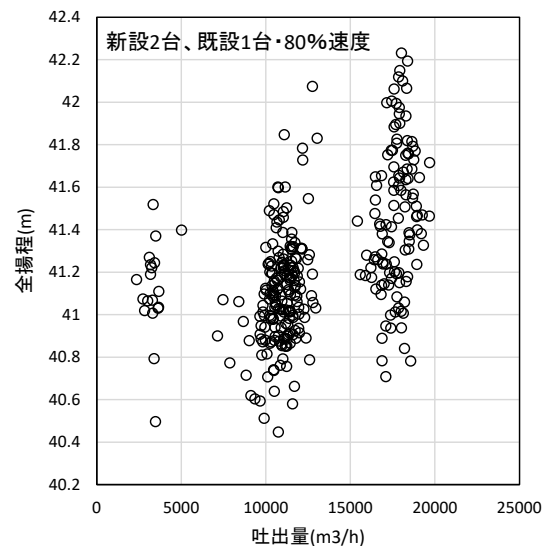


図2 第一ポンプ所運転状況

従って、削減ポテンシャルとしては、ポンプ設

備や電動機の更新といった対策ではなく、太陽光発電に着目することとした。

(3) 削減ポテンシャルの推計

以上の通り、A市ではA1浄水場への太陽光設置による削減ポテンシャルを推計することとした。

$$E_p = HA_m / G_s \cdot P_{AS} \cdot K$$

$$K = K' \cdot KPT$$

$$KPT = 1 + \alpha P_{max} \frac{TCR - 25}{100}$$

$$TCR = TAV + \Delta T$$

HA_m : 月積算傾斜面日射量 (kWh/m²月)

K' : 基本設計係数 (=0.76)

P_{AS} : 太陽光発電の出力 (kW)

A : 太陽光パネルの設置可能面積 (m²)

太陽光設置可能面積は、google map によって距離を測定し、面積を算出した結果、2662.82m²であった。これらの値をもとに、発電ポテンシャルを算出すると、288,220[kWh]となり、A1系統の1%強を代替できる可能性が示された。

2. B企業局

(1) 概要の整理

系統	ポンプ	電力量[kWh]
B1-1系	1号送水ポンプ	1,366,280
	2号送水ポンプ	1,274,730
	3号送水ポンプ	1,442,320
	4号送水ポンプ	1,120,570
B1-2系	1号送水ポンプ	1,366,730
	2号送水ポンプ	1,717,650
	3号送水ポンプ	2,157,490
	4号送水ポンプ	1,889,960
	5号送水ポンプ	1,575,880
B2系	1号送水ポンプ	478,610
	2号送水ポンプ	438,370
	4号送水ポンプ	328,480
合計		15,157,070

B企業局の中でB1浄水場で使用する電力のうち、B1系(B1-1系、B1-2系)とB2系で送水ポンプに使用された電力量は以下の通りであった。

従って、対象とした系統において使用した電力量は15,157,070kWhであった。また、上記で算出した電力量に東京電力エナジーパートナー(株)の調整後排出係数(0.00441[tCO₂/kWh])を乗じて、A1系統で使用した電力量から排出されるCO₂排出量は66842.68[tCO₂]であると算出された。

(2) 対策の抽出

次に、ポンプの稼働実績から、効率よく運転できているかを確認した。図3に、B1-1系の1号ポンプについて、電力使用量と水量の関係を表したものを示す。これを見ると、全体の効率として60~70%程度と概ね効率的に運転できていると考えられた。一方、配水量が少ない場合には、効率が低下する算出結果となっている。

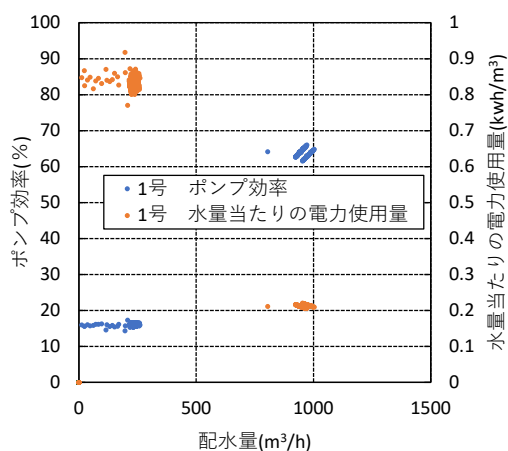


図3 B1-1系1号ポンプ運転状況

ただし、これは、配水量の算出を行う際に、毎正時に稼働しているポンプのポンプ電力にて排水量を割り振って算出していることが影響している可能性があると考えられる。すなわち、毎正時のポンプ電力はその瞬間の瞬時値であるが、その値を基に、そのポンプが続く1時間の間連続して稼働することを想定した計算となっているためである。このようなデータの不明点は現地調査

を行わずに確定することは困難であるため、本研究では上記の仮定に基づいて算出した。一方で、上記のような点は、事業体の現場職員であれば容易に把握できる事項であると思われるため、本研究のツールの考え方をを用いることで把握が可能であると考え。

なお、同様に、B1-2系1号ポンプについて整理した結果を図4に、B2系1号ポンプについて整理した結果を図5に示す。概ね60~70%程度の効率であることが示されている。

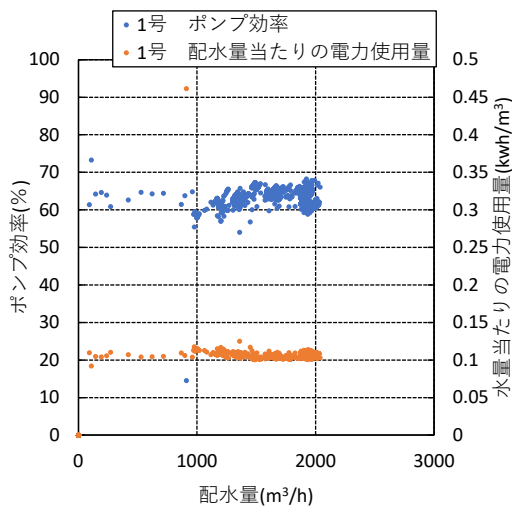


図4 B1-2系1号ポンプ運転状況

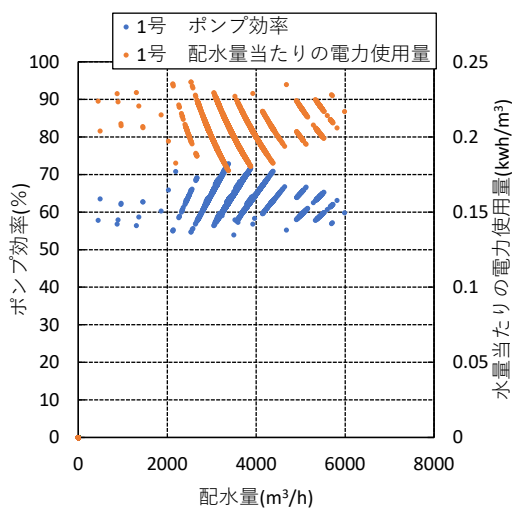


図5 B2系1号ポンプ運転状況

また、送水ポンプについてポンプ諸元を見たところ、対象としたB1-1系、2系、B2系は全て可変

速ポンプであった。従い、削減ポテンシャルとしては、電動機更新について検討することとした。ダウンスizingについても一応検討を行ったが、実績値と定格値を比較したところ、計算上で100%を下回ったのはB2系4号ポンプの91%のみであり、基本的にはほぼ定格値で効率よく送水している状況であると判断した。以上のことから、削減ポテンシャルとしては、電動機更新にのみ注目することとした。

(3) 削減ポテンシャルの推計

① 電動機更新

対象とした3系統のうち、ポンプ設置年の情報を見たところ、B1系は全て2017年、B2系が1976~1978年であった。従って、B2系の電動機更新による削減ポテンシャルを検討することとし、以下の式によって算出した。

$$EP_1 = \frac{9.81 \cdot Q / 3600 \cdot H}{\eta} \cdot \frac{IE1}{IE3}$$

Q : ポンプの吐出量 (m³/h)

H : ポンプの全揚程 (m)

EP : ポンプによる電力使用量 (kWh)

η : ポンプ+電動機更新時の全体ポンプ効率

IE1 : 標準効率クラスのエネルギー効率

IE3 : プレミアム効率クラスのエネルギー効率

表1 B2系電動機更新ポテンシャル

B2系統	1号	2号	4号
EP[kWh]	478,610	438,370	328,480
EP1[kWh]	468,512	429,237	321,500
削減量[kWh]	10,098	9,133	6,980
削減量[tCO ₂]	44.53	40.28	30.78

なお、B2系については、電動機出力は1700kWであり、トップランナーモーターを用いることによる一般的な効率向上の比較表の範囲(最大375kW)の外にある。従い、仮に375kWの場合と同様(IE1/IE3=94.0/96.0であるとして)ポテンシャル

ルを算出し、以下の結果を得た。すなわち、ポンプ3台合計で116[tCO₂]を削減する結果となった。

② 太陽光発電

B1 浄水場における太陽光設置可能面積について、同様に算出を行った。google map によって距離を測定し、面積を算出した結果、908,284m²であった。これらの値をもとに、発電ポテンシャルを算出すると、87,490[kWh]となり、対象システムの0.5%程度を代替できる可能性が示された。

3. C市水道局

(1) 概要の整理

C市水道局は、C1、C2、C3浄水場の3箇所の浄水場があり、それぞれに配水池が設置され配水されている。また、県水の受水を受けており、県水と自己水源の比率は8対2である。各ポンプの電力使用量について算出した。

なお、算出に当たっては、定格電圧等の情報がなかったため、C1システムは200V、C2システムは400V及び1~3号では電流値が表示値の10倍、C3システムでは600Vであるものと仮定して計算を行った。なお、これらの値を基に計算した消費電力量はそれぞれ、480,232[kWh](C1)、990,134[kWh](C2)、632,113[kWh](C3)であり、各系統の受電量(448,591[kWh](C1)、1,208,696[kWh](C2)、688,222[kWh](C3))と比較して大きく外れていないもの、特にC2システムでは2割程度の違いがあり、置いた仮定に関して検証が可能であればさらに望ましい。

表2 C市配水ポンプ電力使用量

	C1	C2	C3
1号	70,663	228,075	141475.8
2号	18,503	144,134	247531.8
3号	35,668	163,396	243105.6
4号	41,865	136,808	
5号		55,598	
計	166,698	728,011	632,113

また、各ポンプの配水量は、ポンプの受け持ち割合について、定格流量を回転数及び稼働時間によって重みづけした値を基に割り振りをを行い、それに応じて総配水量を割り振ることで算出した。

また、上記で算出した電力量に(株)エネットの調整後排出係数(0.00372[tCO₂/kWh])を乗じて、対象システムで使用した電力量から排出されるCO₂排出量は5679.78[tCO₂]であると算出された。

(2) 対策の抽出

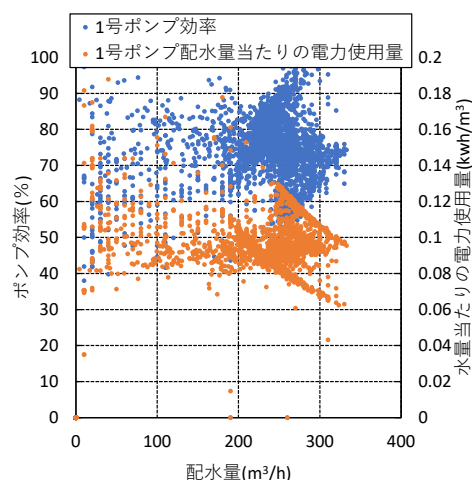


図6 C市C1-1号ポンプ運転状況

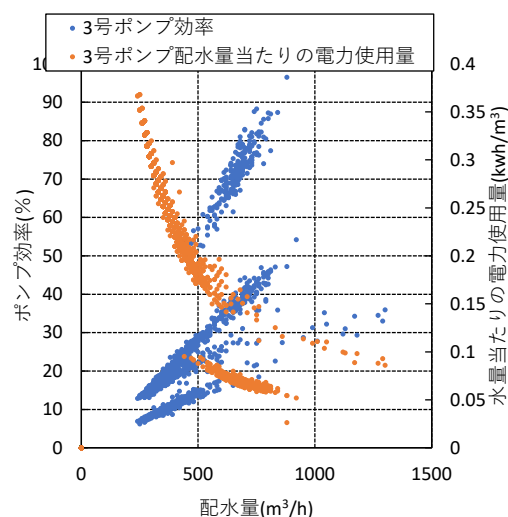


図7 C市C2-3号ポンプ運転状況

次に、ポンプの稼働実績から、効率よく運転できているかを確認した。図6に、C1系統の1号ポンプの運転状況を示す。同様に、図7にC2系統の3号ポンプの運転状況、図8に同じくC3系統の1号ポンプの運転状況を示す。C1系統においては、効率が70%程度と概ね良好な運転状況であった。C2は、3号系統のポンプは、低流量において効率が低い結果となっていたが、それ以外のポンプは側で概ねC2及びC3においても同様に、ポンプ効率は高い状況であった。

ここで、これらの効率を改善する方法として、インバーターの導入について検討した。C2系統の3号については、インバーターの導入について検討した。

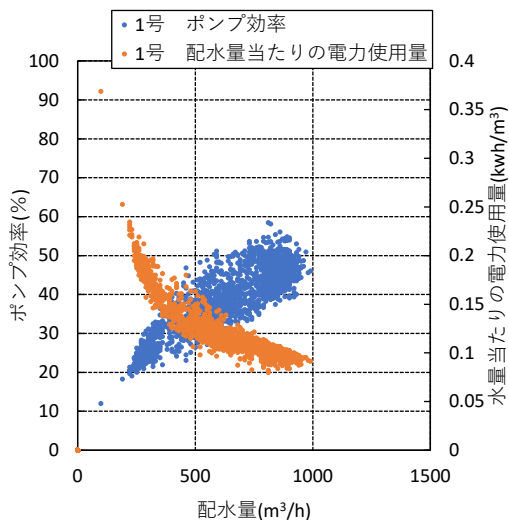


図8 C市C3-1号ポンプ運転状況

(3) 削減ポテンシャルの推計

① インバーターへの更新

対象とするポンプについて、インバーター導入を行う計算を行ったところ、図9のようになった。これを基に年間の削減量を算出すると、145,374[kWh]まで減少する計算となり、率でおよそ12%、電力量では18,021[kWh]、炭素量では67.04[tCO₂]削減されることとなった。

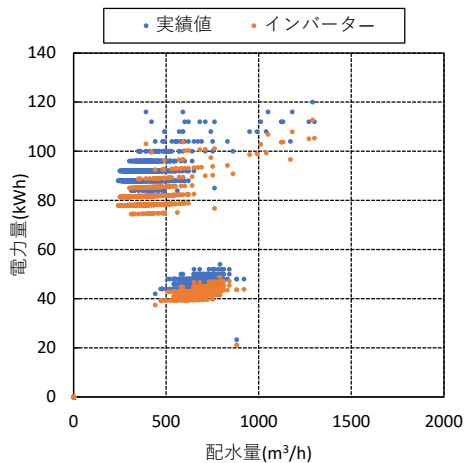


図9 インバーターと実績値の比較

② ポンプ・電動機の更新について

C市のポンプであるが、全て法定耐用年数を超過していた。そこで、先ほどと同様に以下の式で算出を行った。

$$EP_1 = \frac{9.81 \cdot Q / 3600 \cdot H}{\eta} \cdot \frac{IE1}{IE3}$$

Q：ポンプの吐出量 (m³/h)

H：ポンプの全揚程 (m)

E_P：ポンプによる電力使用量(kWh)

η：ポンプ+電動機更新時の全体ポンプ効率

IE1：標準効率クラスのエネルギー効率

IE3：プレミアム効率クラスのエネルギー効率

その結果、以下のような計算となり、全体で557.16[tCO₂]の削減ができることとなった。

C1系	E _p	E _{P1}	削減量 [kWh]	削減量 [tCO ₂]
1号	260,595	253,679	6,916	25.73
2号	66,767	64,995	1,772	6.59
3号	105,708	102,903	2,805	10.44
4号	122,147	118,906	3,242	12.06

C2系	Ep	EP1	削減量 [kWh]	削減量 [tCO ₂]
1号	1,810,700	1,772,977	37,723	140.33
2号	1,156,469	1,132,376	24,093	89.63
3号	934,004	914,545	19,458	72.39
4号	466,232	453,911	12,321	45.83
5号	175,260	170,628	4,632	17.23

C3系	Ep	EP1	削減量 [kWh]	削減量 [tCO ₂]
1号	369,737	361,598	8,139	30.28
2号	658,079	643,593	14,486	53.89
3号	644,539	630,351	14,188	52.78

② 太陽光発電

C市において、3浄水場における太陽光設置可能面積について、同様に算出を行った。google mapによって距離を測定し、面積を算出した結果、C1浄水場は、223.14m²、C2浄水場は、996.90m²、C3浄水場は、240.90m²であった。これらの値をもとに、発電ポテンシャルを算出すると、C1浄水場は、20,787[kWh]、C2浄水場は、92,869[kWh]、C3浄水場は、22,442[kWh]となり、対象系統の10%程度を代替できる可能性が示された。これを炭素量に換算すると、それぞれ77.32[tCO₂]、345.47[tCO₂]、83.49[tCO₂]となり、合計で506.29[tCO₂]の削減ができることが分かった。

③ 小水力発電

C市において、3浄水場における小水力発電の可能性について検討を行い、以下の方法で算出を行った。

$$P = 9.8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g$$

P：発電出力(kW)

Q：使用水量(m³/s)

H：有効水頭(m)

η_t ：水車効率

η_g ：発電効率

なお、算出にあたっては、流況ごとに発電量を算出し、その年間合計を用いた。その結果、C2浄水場では428,431kWh、C3浄水場では199,130kWhであった。なお、C1浄水場は、流量が少なく適切な水車がなかった。従って、算出を行うと33,000kWh程度の値は出てくるものの、仮に0として算出した。

以上の結果から、C2及びC3では、その系統の配水ポンプに要する電力のおよそ半分から3分の1程度を賄うことができると分かった。これを炭素量に換算すると、C2で1593.76[tCO₂]、C3で740.76[tCO₂]となり、合計で2334.53[tCO₂]の削減となることが分かった。

4. 調査を行って気づいた点

調査を行って気づいた点について整理した。データの解析について、得られるデータに限界があり、解析が難しかった箇所があった。

① ポンプを複数台運転する際のポンプ1台ごとの送水量について、どの事業体においても原データを得られなかった。対処方法として、A市では合成曲線と比較することで、B企業局及びC市では1台ごとの配水量を推定することで算出したが、この算出及び推定手法について共通化して示しておく必要があると考えられる。特に可変速と固定速ポンプが混在するような場合の検討が必要と思われる。

② 調査対象事業体では、既に効率よく運転されているところが多く、1か所のみインバーターの導入可能性が示唆されたが、大きな削減量ではなかった。それに対して、トップランナーモーターへの交換、太陽光発電は、ポテンシャル量としては少ないものの、一定の数値を計上した。さらに、小水力発電はポテンシャル量が最も大きく、導入実現にあたっての課題を整理した上で推奨される方策と考えられた。

E. 結論

- ・ポテンシャル量を整理したところ、受水団体における小水力発電が最も大きかった。

- ・トップランナーモーターへの交換及び太陽光発電がそれに続いた。
- ・対象事業体ではポンプ運転自体は既に効率的に運用されているところが多かった。
- ・大きなポテンシャル量を持つ小水力発電について導入の課題を整理する必要があると考えられた。

F. 参考文献

本研究の解析に必要な情報提供について、関係水道事業者の方々に多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

G. 参考文献

厚生労働省医薬・生活衛生局水道課, (株)日水コン.
脱炭素水道システム構築へ向けた調査等一式報告書(令和2年6月). 厚生労働省, 2020.
環境省. 電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用)－R3年度実績－. 環境省, 2023.
(公社)日本水道協会. 水道用ポンプマニュアル 2015年版. (公社)日本水道協会, 2016.
(公社)日本水道協会. 水道用バルブハンドブック 2015年版.

H. 健康危険情報

なし

I. 研究発表

1. 論文発表

なし