

水道システムの CO₂ 削減ポテンシャルの推計と その手順の提案

令和 6（2024）年 3 月

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班

目次

第1章	目的および内容	1
1.1	目的	1
1.2	内容	1
1.3	検討フロー	2
第2章	水道事業体の現状把握	9
2.1	情報収集	9
2.2	水道施設の現状把握	10
2.2.1	水道事業の概要	10
2.2.2	設備諸元の把握	11
2.2.3	水位高低図の作成	15
2.3	電力使用量の現状把握	16
2.3.1	全体の電力使用量	16
2.3.2	設備・工程ごとの電力使用量	18
第3章	エネルギー効率の把握	27
3.1	設備・工程ごとの原単位	27
3.1.1	施設ごとの電力量原単位	27
3.1.2	配水池の運用状況を踏まえた電力量原単位の考察	30
3.2	ポンプ設備ごとの全体効率の把握	32
3.2.1	ポンプ全体効率の確認	32
3.2.2	ポンプ性能曲線を踏まえた削減余地の検討	41
第4章	エネルギー対策の方針検討(CO ₂ 削減ポテンシャルの推計)	45
4.1	有効と考えられる対策の抽出	45
4.2	電力使用量削減ポテンシャルの推計	47
4.2.1	管理強化・運用見直しによるCO ₂ 削減ポテンシャル	47
4.2.2	設備改善、設備付加によるCO ₂ 削減ポテンシャル	51
4.2.3	プロセスの変更、高効率機器の導入によるCO ₂ 削減ポテンシャル	57
4.2.4	再生可能エネルギーの導入によるCO ₂ 削減ポテンシャル	63
4.3	CO ₂ 削減ポテンシャルの推計	84
第5章	水道事業体におけるCO ₂ 削減ポテンシャル推計の方法	86
5.1	本検討から考えられるCO ₂ 削減ポテンシャル推計方法	86
5.2	検討に必要なデータの収集	87
5.3	現状把握(実績整理)と対策検討に向けた分析	88
5.3.1	収集データ(実績)の整理による現状把握	88
5.3.2	収集データを基にした分析と対策の抽出	94

5.4 対策の検討	99
5.4.1 管理強化・運用見直し	99
5.4.2 設備改善、設備付加	104
5.4.3 プロセスの変更、高効率機器の導入	106
5.4.4 再生可能エネルギーの導入	112
5.5 CO ₂ 削減ポテンシャルの推計	124
第6章 まとめ	125
謝辞	126
参考文献	127

第1章 目的および内容

1.1 目的

地球温暖化が一因と考えられる異常気象が世界各地で報告され、日本でも人々の生活や社会経済活動に大きな影響を及ぼしている。地球温暖化への対策として、2020年10月、政府は2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言し、それを踏まえて地球温暖化対策推進法が改正された¹⁾。さらに、2030年に温室効果ガスを2013年度比で46%削減することを目指すことを表明した²⁾。

水道事業は、人々の生活に必要な不可欠な重要インフラであり、国内総電力消費量の約0.8%（2016年度実績）を占めている³⁾。地球温暖化対策計画において、2030年度の水道事業の目標として、2013年度比で21.6万t-CO₂のCO₂排出削減見込量が示されている²⁾。これまで、水道事業における温室効果ガス排出量の削減について、「脱炭素水道システム構築へ向けた調査等一式」³⁾において各種対策によるCO₂削減ポテンシャル（全国値）が概算で示されているが、各水道事業体の個別の状況を踏まえたCO₂削減ポテンシャルの推計には至っていない。水道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。

本報告書では、モデル水道事業体を対象に、現状の電力使用量を把握し、消費電力分析等を通じて対策によるCO₂削減ポテンシャルの推計を行った。また、その結果を踏まえて、他の水道事業体の参考となるよう情報収集からCO₂削減ポテンシャルの推計に至る一連の手順を提案した。

1.2 内容

本報告書の内容を以下に示す。

(1) 水道事業体の情報収集・整理

F 水道事業を対象として、「脱炭素水道システム構築へ向けた調査等一式」³⁾で収集した水道事業体の資料およびアンケート調査結果のほか、CO₂削減ポテンシャルを推計するうえで必要となる情報について収集、整理した。

(2) CO₂削減ポテンシャルの推計

(1)で収集した情報を基に消費電力分析を行い、工程ごとの消費電力量の推計を行った。次にCO₂を削減するためのエネルギー対策の検討を行い、CO₂排出量の削減ポテンシャルを推計した。削減電力量は、上記(1)でデータ収集を行った年度を基準年とした。エネルギー対策は次の①～④の中から、当該水道事業において有効と考えられる対策を抽出して検討した。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">①管理強化・運用見直し②設備改善、設備付加③プロセスの変更、高効率機器の導入④再生可能エネルギーの導入 |
|--|

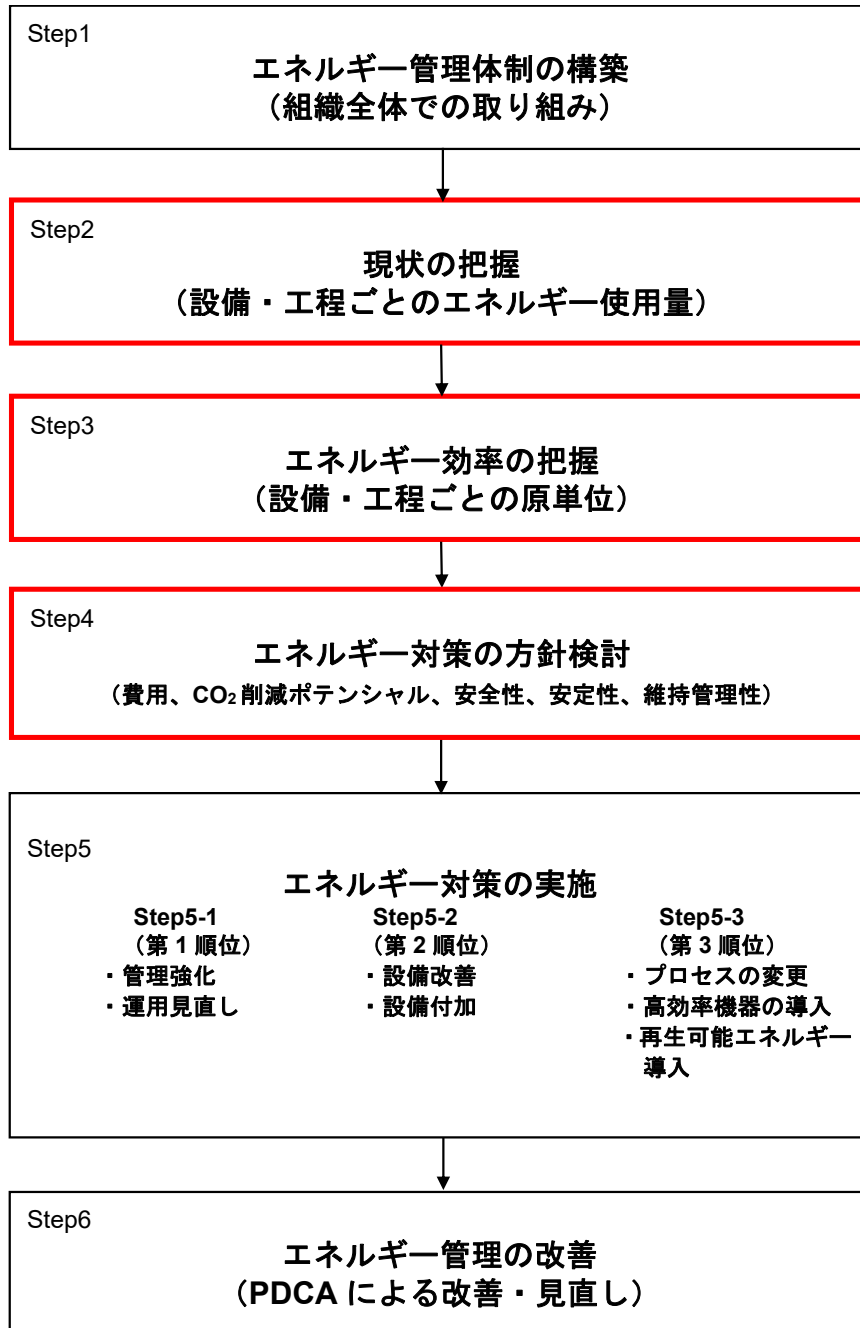
(3) CO₂削減ポテンシャルの推計方法の提案

上記(1)、(2)で実施した、情報収集からCO₂削減ポテンシャルの推計方法の一連の手順について、他の事業体の参考となるよう整理した。

1.3 検討フロー

水道事業体におけるエネルギー対策に当たっての基本的なフロー・手順を図 1-1 に示す⁴⁾。本報告書では図中 Step2～Step4 の具体的な手順について整理を行う。

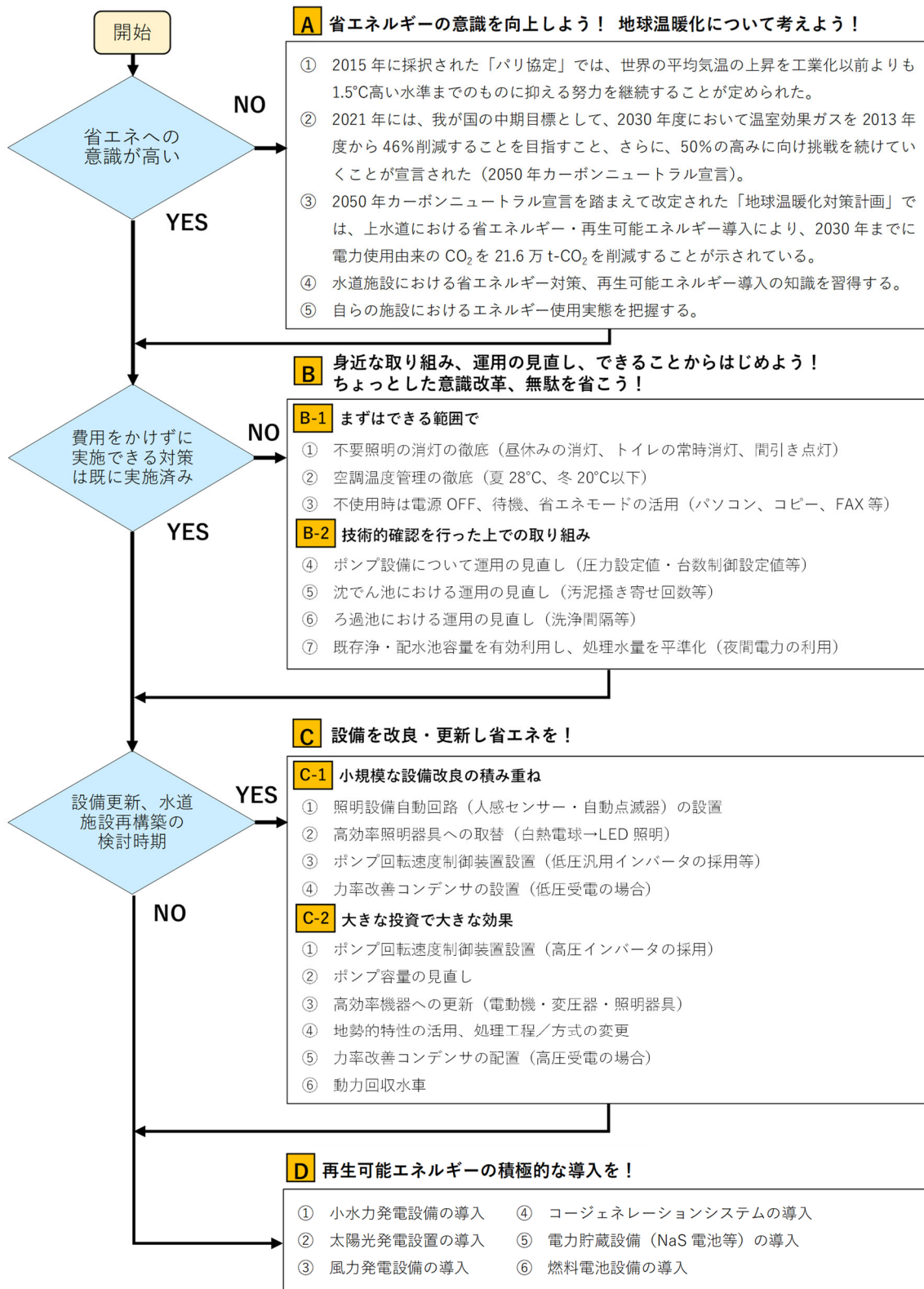
最初に、水道事業体における現状の把握を行い、設備・工程ごとのエネルギー使用量を整理する。次に、エネルギー効率の把握を行い、改善の余地がある設備、工程を抽出したうえで、エネルギー対策の方針について検討を行う。エネルギー対策の方針検討に当たっては、CO₂削減ポテンシャルのほか、費用、安全性、安定性、維持管理性についても考慮されるのが通常であるが、本報告書では CO₂削減ポテンシャルの推計方法についてのみ整理を行った。



出典：日本水道協会

図 1-1 エネルギー対策に当たっての基本的なフロー（文献 4 の図-2.1.2 を一部改変して掲載）

なお、エネルギー対策の具体的な検討手順は図 1-2 に示すとおりである⁴⁾。また、エネルギー対策の一覧を表 1-1～1-5 に示す。



出典：日本水道協会

図 1-1 水道施設におけるエネルギー対策の具体的な検討フロー（文献 4 の図-2.2.1 を一部改変して掲載）

表 1-1 対策の例 (1) (文献 3 の表 2-1 より掲載)

工程	設備区分	削減方針	方策内容	投資レベル			効果	マニュアルページ番号	出典元 (一例を挙げる)			
				1	2	3			文献*	ページ数等	事業体名	削減効果 (左記事例より)
				投資が伴わない方策 (運転管理方法の見直し等)	設備更新等に投資が伴う方策 (既存設備更新等)	水供給工程の見直し等に投資が伴う方策 (施設の統廃合等)						
1. 取水・導水工程												
1	ポンプ設備	・ポンプ吸込圧力の有効利用、流量の平準化に伴う管路抵抗の軽減による運転の効率化	送水流量が増えると管路抵抗が増大し、ポンプ必要動力が増加するため、流量を平均化し管路抵抗の低減を図ることが電力消費量の抑制につながる。	●			設備運転の効率化	p.S2-1	G	p.508-509	東京都	原単位：0.065kWh/m3 → 0.061kWh/m3 (6%減)
2	除塵機	・運転時間・運転間隔の調整による運転の効率化	除塵機は表流水に含まれているごみ、木片、藻等の浄水設備への流入を防止し、除去する設備である。除塵機を連続運転すると電力消費量は増加するので、運転時間、運転間隔の調整を行い、無駄な運転をなくすことで消費電力の低減を図る。	●			設備運転の効率化	p.S2-4	-	-	-	-
3	除塵機	・上下流の水位差による運転制御	除塵機のスクリーンで表流水に含まれているごみ、木片、藻等の浮遊夾雑物を捕捉する。除塵機が運転されて捕捉された夾雑物が装置外に排出される。夾雑物が捕捉されて上下流の水位差が生じた時のみ除塵機を運転することで、無駄な運転をなくすことができる。	●			位置エネルギーの有効活用	p.S2-5	-	-	-	-
4	ポンプ設備	・ポンプ設備における台数制御システム・可動羽根制御システム・インバーター等を利用した回転速度制御システム等の導入による運転制御方式の改善	上水道・工業用水部門におけるポンプ運転のエネルギー消費量は非常に大きい。ポンプに必要な水量や水圧で送水する制御方法としては、バルブ開度制御、台数制御、回転速度制御、可動羽根制御がある。バルブ開度制御は吐出側のバルブ開度を変化させて損失水頭を増減することで流量を制御するため、ポンプのエネルギー効率が低い。他の運転制御方式を採用することにより消費電力の削減を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-1	A	p.97-101	広島市	電力量： 58%削減 (1,200m3/h 取水) 33%削減 (2,400m3/h 取水) CO2：486t/年削減
5	ポンプ設備	・羽根車改造等によるポンプ容量の適正化	設置されているポンプの仕様が現状の使用条件に対して過剰である場合、吐出弁の開度調整等での流量調整は、無駄な電力消費を行っていることが多い。ポンプ設備を更新する場合に揚程、容量、台数を適正なものに見直し、電力消費量を削減する。ポンプ本体が十分に使用に耐えられる場合は、羽根車の加工・交換等により現状の運転条件に見合ったポンプ容量に改造することによって、電力消費量を削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-5	A	p.123-127	名古屋市	電力量： 55万kWh削減 (1億3千万m3取水) CO2：249t/年削減
6	ポンプ設備	・高効率ポンプ・エネルギー消費効率の高いモーターの導入	ポンプの新設・更新時にはポンプ特性に合わせた永久磁石同期モーター等の高効率モーター、トランジスタモーターを搭載したポンプとし、エネルギー効率の向上、消費電力の削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-7	A	p.168-171	広島市	電力量：9,600kWh削減 CO2：5.3t/年削減
2. 沈殿・ろ過工程												
7	沈殿設備	・原水の質に応じた運転時間・運転間隔の調整によるスラッジ掻き寄せ機の運転の効率化	沈殿池のスラッジ掻き寄せ機は連続的に運転されることがあるが、処理水量の減少や原水濁度の低下などにより沈殿池下部に堆積するスラッジ量が少ない場合がある。この場合、掻き寄せ時間や間隔を調整し、運転時間を必要最小限にすることにより、消費電力の削減を図る。	●			設備運転時間の削減	p.S2-6	A	p.269	気仙沼市	CO2：4.8t/年削減
8	ろ過設備	・洗浄の頻度・時間等の見直し及びろ抗 (ろ過抵抗) 到達洗浄等による洗浄の効率化	ポンプ洗浄方式のろ過池において、電力消費が大きいのは、洗浄工程である。定期洗浄をろ抗洗浄などに切り替えるなどして、逆流、表洗用ポンプの運転時間を減らすことにより電力消費量の削減を図る。	●			設備運転時間の削減	p.S2-7	A	p.274	札幌市	電力量：23,000kWh/年削減
9	ろ過設備	・洗浄速度・圧力の適正化	ろ過設備において水の粘性により洗浄強度が変わるため、同じ水量でも水温の低い (粘性の高い) 冬場は洗浄強度が高く洗浄水量は夏場に比べて少なくて済む。水温や膨張率に応じて洗浄速度・流量や圧力を適正にすることにより、洗浄時間の短縮、洗浄排水量の削減、洗浄ポンプや洗浄排水送水ポンプの運転時間の減少による電力消費量の削減を図る。	●			設備運転の効率化	p.S2-9	-	-	-	-
10	膜ろ過設備	・頻度・時間等の見直しによる膜洗浄の効率化	膜設備は定期的に物理洗浄 (ポンプによる逆流洗浄、ブローによる空気洗浄等) を行い、膜への付着物を除去し膜間差圧の上昇を抑える方法が取られる。物理洗浄の頻度は、膜供給水や膜モジュールの形状などにより異なるが、概ね 15 分～数時間に 1 回程度と頻度が高く、電力を消費する。洗浄の効率化を図り、時間の短縮、洗浄間隔を延ばし、電力消費量を低減する。	●			設備運転時間の削減	p.S2-10	D	p.260	-	-
11	凝集池設備	・急速攪拌かはん装置・緩速攪拌かはん装置の効率化のための低速モーター又はインバーター制御システムの導入等による駆動方式の見直し、駆動軸の改良、翼車の材質・構造等の改良	浄水処理において、急速攪拌・緩速攪拌を行う凝集池で利用される機械的攪拌装置は、一般的に連続運転であり、電力消費量が大きい。設備の新設、更新時には高効率モーターの採用やインバーターによる回転速度制御など駆動方式の見直しにより、消費電力の削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-10	H	p.494-495	東京都	電力量：7,300kWh/年削減 CO2：2.78t/年削減
12	凝集池設備	・迂流式凝集池の導入	凝集池は混和池とブロック形成池で構成され、混和池では主に機械攪拌を用い、ブロック形成池では機械攪拌と水流による迂流式攪拌が用いられる。迂流式は、水の持っている水頭 (流入部と流出部の水位差) を攪拌に利用するもので、機械的可動部がなく電力を必要としないため、省エネルギーである。但し、導入にあたっては処理流量の変動に対しても十分な攪拌力を確保できるようにする構造や対策が必要である。		●		高効率設備の導入	p.S1-11	A	p.262-263	札幌市	-
13	沈殿設備	・効率的な駆動方式の採用によるスラッジ掻き寄せ機の運転の効率化	スラッジ掻き寄せ機は連続運転されることがあるが、排泥装置などの機器との連動した運転をすることにより、電気使用量の削減を図る。既存設備の運転を効率化することで費用をかけないで省エネルギーが可能である。また、スラッジ掻き寄せ機の制御方式をインバーターによる回転速度制御などに更新することや、スラッジ掻き寄せ機本体を軽量化することでモーター出力が小さくて済み消費電力の削減を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-13	I	新技術・新工法部門：No.05	奈良県	電力量：19,500kWh/年 → 6,900kWh/年
14	沈殿設備	・排泥制御装置・圧力水噴射装置・界面計・濃度計の導入による排泥設備の運転の効率化	沈殿池からの排泥は、高濃度で少量排出することが後段の処理 (濃縮、脱水) のために有利であり、さらに排泥ポンプ等の運転時間が短縮されるため、電力消費量の削減を図ることができる。排泥ホッパー・堆積汚泥の界面検知、排泥濃度の測定、排泥制御装置により排泥間隔、排泥時間を制御、圧力水噴射での水みちの破壊による効果的な汚泥排出などを行い、排泥に係る電力消費量の低減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-15	F	p.490-491	岡県南広域水道企業	-
15	ろ過設備	・自己逆流洗浄型自然平衡形ろ過池の導入	自然平衡形ろ過池とはろ過流量の制御機構を持たず、ろ過池内外の水位差をろ過の駆動力としたものである。自己逆流洗浄型とは複数の池でユニットを構成し、洗浄には他の池のろ過水、位置エネルギーを利用して洗浄する方式である。サイフォン等を使用し、大型の逆流ポンプなど電力消費を使用する機器がないため消費電力が少ない。ろ過設備の新設・更新時に自然平衡形ろ過池 (自己逆流洗浄型) の導入により消費電力の削減を図る。但し、設置に必要な条件を充分検討する必要がある。		●		位置エネルギーの有効活用	p.S1-17	A	p.273	津軽広域水道企業 団	-
16	膜ろ過設備	・台数制御システム・可動羽根制御システム・インバーター等を利用した回転速度制御システム等の導入によるポンプ運転制御方式の改善	上水道・工業用水部門におけるポンプ運転のエネルギー消費量は非常に大きい。ポンプに必要な水量や水圧で送水する制御方法としては、バルブ開度制御、台数制御、回転速度制御、可動羽根制御がある。バルブ開度制御は吐出側のバルブ開度を変化させて損失水頭を増減することで流量を制御するため、ポンプのエネルギー効率が低い。他の運転制御方式を採用することにより消費電力の削減を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-19	C	p.17	-	電力量：157万kWh削減
17	膜ろ過設備	・流入落差を利用した膜ろ過システムの導入	膜ろ過設備はケーシング取納方式、槽浸漬方式に大別されるが、共に膜ろ過の駆動力にポンプ圧力 (供給、吸引) を使用するものが一般的である。取水地点から浄水場までの高低差 (流入落差) や浄水場内で利用できる水位差による位置エネルギーを膜ろ過の駆動力として活用することで、通常の膜ろ過に必要なポンプ動力を不要もしくは軽減し、電力消費量の削減を図る。		●		位置エネルギーの有効活用	p.S1-24	J	-	横浜市	-

表 1-2 対策の例 (2) (文献 3 の表 2-1 より掲載)

工程	設備区分	削減方策	方策内容	投資レベル			効果	マニュアルページ番号	出典元 (一例を挙げる)			
				1	2	3			文献 [※]	ページ数等	事業体名	削減効果 (左記事例より)
				投資が伴わない方策 (運転管理方法の見直し等)	設備更新等に投資が伴う方策 (既存設備更新等)	水供給工程の見直し等に投資が伴う方策 (施設の統廃合等)						
18	膜ろ過設備	・ PAC (ポリ塩化アルミニウム) の注入等の前処理設備の導入	原水水質によっては、凝集剤注入等の前処理を行うことで膜汚染が低減され、膜の物理的洗浄、薬品洗浄回数が減り、付帯ポンプ類の運転時間が短くなる場合があり、電力消費量削減につながる。		●		高効率設備の導入	p.S1-26	N	p.2-10	-	-
19	膜ろ過設備	・ RO 膜 (逆浸透膜) ろ過の排水圧力を利用した動力回収水車の導入	逆浸透法 (RO 法) の海水淡水化施設では、高圧ポンプによって逆浸透膜に高圧の海水を供給し生産水 (脱塩水) を取り出す。この際、膜を通過せずに排水される濃縮排水の圧力はほぼ供給海水圧力に等しい高圧を保っている。動力回収水車は、濃縮排水の圧力エネルギーを回転力の形の機械エネルギーに変換して回収する装置で、回収されたエネルギーは高圧ポンプを駆動するモーターの補助動力として利用される。動力回収タービンを設置することで高圧ポンプの電力消費量が低減する。		●		位置エネルギーの有効活用	p.S1-27	A	p.154-156	福岡地区水道企業団	CO2 : 約5,662 t /年削減
20	薬品注入設備	・ 薬品注入の効率化のための自然流下注入方式の導入・原水の質に応じた薬品注入制御の自動化	薬品注入方式はポンプ圧送、インジクタ圧送、自然流下方式がある。自然流下方式は高低差を利用し薬品を注入するもので、常時運転が必要な注入ポンプを必要としないため電力消費量の少ない薬注方式である。原水に応じた薬品注入制御の自動化を行い、適正な注入により薬品の使用量を抑えることで関連する設備の電力消費量の低減を図る。但し、原水水質及び浄水処理過程における水質監視の強化が必要となる。		●		位置エネルギーの有効活用	p.S1-29	A	新発田市	p.278	-
21	薬品注入設備	・ 高効率注入ポンプの導入	薬品注入ポンプは幅広い注入量範囲に対応するため、各種のモーター、注入制御が行われている。渦電流継手モーター等を使用の薬品注入ポンプは動力伝達効率が悪いので、インバーター制御の注入ポンプに更新することで、電力消費量の削減を図る。老朽化した注入ポンプを吐出量精度の高いポンプに更新することは、薬品の適正注入により薬品量、施設効率の改善につながる。		●		高効率設備の導入	p.S1-30	A	柏崎市	p.279-282	-
22	薬品注入設備	・ 水質計測の効率化のための高効率サンプリングポンプ・インライン型の水質計測設備の導入	採水点からの水質計測までの時間 (流速、滞留時間) を把握し、サンプリングポンプの小型化や、水質計測の設置場所を測定点近接へ変更するなどにより電力の削減を図る。また水質計測の応答性向上は薬注制御の適正管理につながる。		●		高効率設備の導入	p.S1-31	-	-	-	-
23	薬品注入設備	・ 大・小容量を組み合わせた注入機の導入	薬品注入機、薬品注入ポンプにて広範囲のレンジに対して低レンジで運転することは、無駄な動力を使うことになる場合がある。大・小容量注入機の組合せを採用し、適切な注入レンジで運転することにより電力消費量の削減を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-32	-	-	-	-
3. 高度処理工程												
24	オゾン処理設備	・ オゾン注入量の制御によるオゾン発生装置の運転の効率化	オゾン発生装置の運用は原単位 (電力/発生量) を用いてエネルギー管理をし、注入量に対する発生装置の運転台数など、消費電力が最適となるような運転パターンを設定を行う。また、溶存オゾン濃度計による処理水オゾン濃度の連続自動測定で、オゾン注入量自動制御を行い、使用電力量を削減する。	●			設備運転の効率化	p.S2-11	K	p.4, 9	阪神水道企業団	電力量 : 1,209,462kWh/年削減
25	粒状活性炭ろ過設備	・ 洗浄頻度・時間等の見直しによる洗浄の効率化	粒状活性炭ろ過池の洗浄は逆流洗浄、表面洗浄が空気洗浄、逆流洗浄で行われ、洗浄における洗浄ポンプ、ブロー等の電力消費量が大きい。洗浄頻度、洗浄時間等を見直し、ポンプ、ブロー類の運転時間を減らすことで電力消費量の削減を図る。	●			設備運転時間の削減	p.S2-13	E	p.168-169	東京都	CO2 : 31t/年削減
26	粒状活性炭ろ過設備	・ 洗浄速度・圧力の適正化	活性炭ろ過池の洗浄において適正な洗浄を行うには洗浄時の活性炭膨張率が重要である。活性炭の膨張率は水の粘性、水温によって大きく変化する。膨張率が適正な範囲になるように逆流速度・流量や圧力を制御することにより、ポンプの過剰運転を避け電力消費量を低減させる。	●			設備運転の効率化	p.S2-15	A	-	-	-
27	紫外線処理設備	・ 紫外線照射強度・照射時間の制御による紫外線処理の効率化	紫外線処理装置にランプ寿命を考慮した調光制御 (段階的に電圧を上げ紫外線照射強度を調整)、流量に比例した紫外線照射強度制御、紫外線照射強度の自動制御 (原水の紫外線透過率と流量に応じ紫外線照射量が一定になるよう自動制御) などの照射強度制御を組み込むことでエネルギー効率の向上を図る。	●			設備運転時間の削減	p.S2-16	-	-	-	-
28	オゾン処理設備	・ 高効率オゾン発生装置の導入	オゾン発生装置は誘電体 (ガラス) を介した電極間に交流高電圧を印加し、無声放電を生じさせ空気をオゾンに変化させる。そのため、非常に大きな電気エネルギーを消費する。高効率オゾン発生装置は消費電力が少なく、空気源ブローも小さくなり、従来ものものに比べて省電力を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-33	B	p.Ⅲ-9	千葉県	-
29	オゾン処理設備	・ 排オゾン処理設備における排熱回収	処理後に排気される高温ガスが保有している熱エネルギーを、熱回収器を用いヒーター加熱前の低温側のガスと熱交換することにより、ヒーターの加熱量、消費電力の削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-34	A	p.283-285	大阪府	年間熱回収量 : 21万kWh
30	オゾン処理設備	・ 空気源ブロー吐出熱の回収	オゾン発生装置の空気源として使用されるブローは連続運転であり、ブロー (吐出) 空気の温度が高い。この吐出熱を回収し、他の用途に転用することは電力消費量の削減につながる。		●		高効率設備の導入	p.S1-36	-	-	-	-
31	紫外線処理設備	・ 処理形態に応じた紫外線ランプの採用	紫外線ランプ型式により変換効率、寿命、出力が異なるので処理水量、間欠運転の有無、設置スペースに応じた紫外線ランプ型式を採用することで、電力消費量を抑える。		●		高効率設備の導入	p.S1-37	-	-	-	-
4. 排水処理工程												
32	排泥濃縮槽設備	・ 運転時間・運転間隔の調整による運転の効率化	排泥濃縮槽設備において、運転時間が長くエネルギー消費の多い送泥ポンプや汚泥掻き機等については、界面計により濃縮槽の沈降した排泥スラッジ層等を把握・監視し、運転間隔を最大限長とするなどの対策を行う。	●			設備運転時間の削減	p.S2-17	B	p.Ⅱ-142	-	-
33	排泥脱水設備	・ 運転時間・運転間隔の調整による脱水の効率化、天日乾燥及び脱水機の使用による脱水の効率化	電力消費量の多い機械脱水方式の省エネルギーを図るには、天日乾燥との併用、効率的な駆動方式の選定、運転時間・運転間隔の調整などがある。施設内の遊休地などを活用した電力消費の無い天日乾燥と組み合わせて、含水率等を考慮した運転時間等の調整により、電力削減を行う。	●			設備運転時間の削減	p.S2-18	M	p.12	千葉県	-
34	排泥脱水設備	・ 脱水機に連動した搬送設備の制御	ベルトコンベア等の脱水ケーキ搬送設備の運転を脱水機の運転工程に合わせて制御する。これにより搬送設備の無駄な運転時間をなし、電力消費量の削減を図ることができる。	●			設備運転時間の削減	p.S2-21	-	-	-	-

表 1-3 対策の例 (3) (文献 3 の表 2-1 より掲載)

工程	設備区分	削減方針	方策内容	投資レベル			効果	マニュアルページ番号	出典元 (一例を挙げる)			
				1	2	3			文献 [※]	ページ数等	事業体名	削減効果 (左記事例より)
				投資が伴わない方策 (運転管理方法の見直し等)	設備更新等に投資が伴う方策 (既存設備更新等)	水供給工程の見直し等に投資が伴う方策 (施設の統廃合等)						
35	排泥濃縮槽設備	・台数制御システム・可動羽根制御システム・インバーター等を利用した回転速度制御システム等の導入によるポンプ運転制御方式の改善	上水道・工業用水道部門におけるポンプ運転のエネルギー消費量は非常に大きい。ポンプに必要な水量や水圧で送水する制御方法としては、バルブ開度制御、台数制御、回転速度制御、可動羽根制御がある。バルブ開度制御は吐出側のバルブ開度を変化させて損失水頭を増減することで流量を制御するため、ポンプのエネルギー効率が低い。他の運転制御方式を採用することにより消費電力の削減を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-19	C	p.17	-	電力量：157万kWh削減
36	排泥濃縮槽設備	・エネルギー消費効率の高いモーターの導入	ポンプの新設・更新時にはポンプ特性に合わせた永久磁石同期モーター等の高効率モーター、トランナーモーターを搭載したポンプとし、エネルギー効率の向上、消費電力の削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-39	-	-	-	-
37	排泥脱水設備	・脱水の効率化に適した駆動方式の選定、脱水の効率化のための排熱利用による濃縮汚泥の加温	電力消費量の多い機械脱水方式の省エネルギーを図るには、効率的な駆動方式の選定、運転時間・運転間隔の調整などがある。コーンレーションシステムは2つ以上のものを同時に生じさせる装置という意味で、ガスタービンを使って発電機を稼働させて発電し、ガスタービンの排熱をボイラで回収して、蒸気(熱)を発生させる装置である。浄水場にコーンレーションシステムを導入し、システムから発生する排熱を利用することにより、濃縮汚泥を加温させて脱水性を良くし、脱水後に乾燥し脱水ケーキの減量を図ることで、脱水に必要な電力消費量を削減する。		●		高効率設備の導入	p.S1-40	A	p.408-410	大阪広域水道企業団	-
38	排泥脱水設備	・天日乾燥処理施設の導入	天日乾燥は、汚泥の脱水・乾燥を自然の作用を利用して行うもので、上澄水の排除と過剰汚泥の含水率を下げた後、太陽熱や風により水分を蒸発させ、乾燥させる。自然エネルギーを利用するため機械脱水に比べ大幅な電力削減となる。施設内の遊休地などを活用し、濃縮汚泥を天日乾燥し、排水処理で使用する電力を抑制することができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-43	M	-	千葉県	CO2：638t/年削減
5. 送水・配水工程												
39	ポンプ設備	・送水・配水施設における末端圧制御・送水系統の流量制御等によるポンプ制御の適正化	送水系統の流量を極力一定にするよう制御することや、ポンプ効率を加味しポンプ原単位の一歩効率のよい運転パターンなどで電力消費量を軽減する。	●			設備運転の効率化	p.S2-22	C	p.27-32	-	電力費：21%削減、5~8%削減
40	ポンプ設備	・大・小容量ポンプの組合せによる幅広い需要量への対応	水需要量の変動が大きく、送水を1台のポンプで対応する場合、送水量が小さい時のバルブ開度制御での流量制御(バルブの損失水頭を増減)はポンプの電力が無駄に使用されることになる。容量の異なる大小のポンプを台数制御、または回転速度制御との組み合わせで効率的に運転し、幅広い需要量変化にて対応することで消費電力の削減を図る。	●			設備運転の効率化	p.S2-29	F	p.404-405	東京都	電力量：635kWh/日削減
41	ポンプ設備	・適正な配水池容量の確保による定量送水	需要ピークに備えて予め適正な配水池貯留を確保することは、浄水量や送水量をできるだけ均等化し、管路損失等を少なくすることで省エネルギー対策となる。配水池容量を増加させることにより、浄水施設における電力消費量の平準化(ピークカット)を図り、契約電力の減量(動力費削減)に資する。	●			設備運転の効率化	p.S2-30	C	p.51-53	-	-
42	ポンプ設備	・送水・配水施設における台数制御システム・可動羽根制御システム・インバーター等を利用した回転速度制御システム等の導入によるポンプ運転制御方式の改善	上水道・工業用水道部門におけるポンプ運転のエネルギー消費量は非常に大きい。ポンプに必要な水量や水圧で送水する制御方法としては、バルブ開度制御、台数制御、回転速度制御、可動羽根制御がある。バルブ開度制御は吐出側のバルブ開度を変化させて損失水頭を増減することで流量を制御するため、ポンプのエネルギー効率が低い。他の運転制御方式を採用することにより消費電力の削減を図ることができる。		●		高効率設備の導入	p.S1-45	A	p.109-113	大阪府	電力量：648万kWh/年削減 CO2：2,450t/年削減
43	ポンプ設備	・羽根車改造等による適正規模の設備容量のポンプの導入	設置されているポンプの仕様が現状の使用条件に対して過剰である場合、吐出弁の開度調整等での流量調整は、無駄な電力消費を行っていることが多い。ポンプ設備を更新する場合は揚程、容量、台数を適正なものに見直し、電力消費量を削減する。ポンプ本体が十分に使用に耐えられる場合は、羽根車の加工・交換等により現状の運転条件に見合ったポンプ容量に改造することによって、電力消費量を削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-49	A	p.248-250	札幌市	電力量：25万kWh/年削減 CO2：140t/年削減
44	ポンプ設備	・高効率ポンプ・エネルギー消費効率の高いモーターの導入	ポンプの新設・更新時にはポンプ特性に合わせた永久磁石同期モーター等の高効率モーター、トランナーモーターを搭載したポンプとし、エネルギー効率の向上、消費電力の削減を図る。		●		高効率設備の導入	p.S1-7	A	p.172-174	光市	電力量：69.2万kWh/年削減 CO2：384t/年削減
45	施設全体	・ブロック配水システムの導入	ブロック配水システムとは、配水地域を配水ブロックに分割し、ブロックごとに水量・水圧の管理をするシステムである。地形、地勢によってブロックを分割し、ブロックごとに流量監視などで配水圧を適正化、均一化を図り、水運用を高度化するとともに、工事、事故被害等の発生(リスクの低減など)を図る必要がある。配水ブロック化が直接的に環境負荷の低減に寄与するものではないが、水運用と組み合わせ、配水圧均一化によるエネルギー損失の低減及び漏水防止を図ることによってその効果が発揮される。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-51	A	p.242-244	仙台市	-
46	施設全体	・漏水防止対策の推進	漏水を防止することによって、水道システムとして管理すべき必要水量を総体的に減少させることができる。このため、取水・導水・送水・配水に係るポンプの電力消費量、浄水処理および排水処理などにかかるランニングエネルギーが節約できる。			●	施設の維持管理の合理化 (水圧管理、管路更新等)	p.S2-25	M	p.24-25	千葉県	CO2：191t/年削減
47	ポンプ設備	・送水・配水管路の分離による圧力管理の適正化	送水管は浄水場から配水池への管路であり、管路内は常に一定の水量を流すことがエネルギーの観点から必要になる。これに対して、給水区域内に布設された配水管は、配水池から水道水を分配する管路であり、水使用状況に合わせた水量を送るものである。送水管と配水管は、このように管路機能が異なるが、送水と配水を兼ねている(配水池へ送る途中で部分的に分岐して配水している)場合は、配水池への送水と配水を同時に行うことから、水量・水圧・水質管理が難しくなる。送・配水管を分離し、送水管を送水専用管とし、送水ポンプの運転を安定化させエネルギー節約を図る。			●	設備運転の効率化	p.S2-27	L	p.11-12, 17-18	東大阪市	-
6. 総合管理												
48	水運用管理	・取水・導水・送水・配水工程等における自然流下系統の有効利用	水の持つ位置エネルギーを利用して、極力ポンプ等の電力的なエネルギーを使用せずに水の輸送(取水・導水・送水・配水)を行う。取水点、浄水場や配水池などで自然エネルギーを活用できる条件から、電力量が大きいポンプ施設でのエネルギー消費を抑制させる施設設備を行う。起伏の多い地形などで配水池に送水する場合、受水槽で一旦浄水を受け入れ再度ポンプで加圧する方式から、元の配水池の水位を有効利用できる配水池直結型(インライン)ポンプを設置し、位置エネルギーを有効利用する。	●			位置エネルギーの有効活用	p.S2-31	A	p.233-235	名古屋市	CO2：23t/年削減
49	監視制御システム	・LCD(液晶表示装置)・LED(発光ダイオード)表示灯等省エネ型の監視制御装置の導入	LCD(液晶表示装置)、及びLED表示灯は通常のランプに比べて消費電力が少なく長寿命である。水処理制御設備の表示装置等に、省エネルギー型の監視制御装置を採用し、省エネルギー化を図る。一機あたりの省エネルギー効果は小さいが、対象数が多い場合、省電力及び長寿命という特徴から、省エネルギー・省資源の複合的な効果が得られる。	●			高効率設備の導入	p.S1-66	-	-	-	-

表 1-4 対策の例 (4) (文献 3 の表 2-1 より掲載)

工程	設備区分	削減方針	方策内容	投資レベル			効果	マニュアルページ番号	出典元 (一例を挙げる)				
				1	2	3			文献 [※]	ページ数等	事業体名	削減効果 (左記事例より)	
				投資に伴わない方策 (運転管理方法の見直し等)	設備更新等に投資に伴う方策 (既存設備更新等)	水供給工程の見直し等に投資に伴う方策 (施設の統廃合等)							
50	水運用管理	・位置エネルギーを利用した施設の整備	標高の低い位置に設置されている浄水場は、ポンプによる圧力を中心とした水の輸送を行っている。施設の建設、更新の際に位置エネルギーを活用できる場所に取水地点、浄水場及び配水池を建設または変更して、電力使用量が大きいポンプ設備のエネルギー消費を抑制させる施設整備が大きな省エネルギー対策となる。浄水場等からポンプ加圧または自然流下の送水を配水池で貯水し、ポンプ加圧により給水する施設においては、配水池で大気開放するため、浄水場等からの送水圧力を有効活用できないが、直結型の増圧ポンプ (インラインポンプ) またはバイパス管 (夜間等の小流量時においても給水圧力が確保できること) を設置することにより、残存圧力・位置エネルギーが有効利用される。			●	位置エネルギーの有効活用	p.S1-53	A	p.224-226	仙台市	原単位: 0.325kWh/m ³ →0.318kWh/m ³ へ減少	
51	水運用管理	・電力原単位及び管路損失等を考慮した水運用システムの導入	電力原単位とは単位水量当たりの電力消費量のことで、電力原単位が低いほどエネルギーの効率が良い。水道施設で消費される電力の多くはポンプ設備による使用電力で、水量による管路損失の変化はポンプの動力に大きく影響する。電力原単位及び管路損失等を考慮した水運用システムの導入することにより、省エネルギーを図る。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-57	G	p.68-69	神奈川県内広域水道企業団	電気料金: 2.3%削減	
52	水運用管理	・需要予測システムの導入	需要予測システムは過去の配水運用実績データを収集・分析するとともに、常時データ監視を行い、変化する気象条件等から各配水地区の配水需要量を予測するシステムである。このシステムを導入することにより、予測されたデータから総合的運転計画を立てることが可能になり、取水・送水・配水の水道施設の全体の省エネルギーに寄与する。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-60	G	p.68-69	神奈川県内広域水道企業団	電気料金: 2.3%削減	
53	監視制御システム	・エネルギー原単位の分析のための処理工程単位・主要設備単位・機器単位での電力計の設置	省エネルギー対策において、処理工程及び電力消費量の多いポンプ類等の主要機器の電力消費量を把握することは極めて有用である。処理工程及び主要設備、機器単位ごとの電力計を設置し、基礎データの収集、解析を行うことにより、どの処理工程、機器で省エネルギー化を図れば電力原単位を削減できるかを判断し、対策を立案、実施することが可能となる。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-62	G	p. 508-509	東京都	ポンプ原単位: 0.117kWh/m ³ →0.100kWh/m ³ (15%減)	
54	監視制御システム	・エネルギー管理システムの導入	取水から導水、浄水、送配水過程におけるエネルギー使用量が把握できるエネルギー管理システムを導入することにより、一元的に集約した水道施設の電力データを水運用計画に取り込み、計画配水量に対する各施設の使用電力量及びトータル電力量の表示及び予測することができる。これにより、エネルギー消費の少ないルートに水量配分をシフトするなど、安定給水とともに効率的な水運用を行い、消費エネルギーの削減を図ることができる。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-64	G	p.68-69	神奈川県内広域水道企業団	電気料金: 2.3%削減	
55	監視制御システム	・配水管網への水圧監視システムの導入	配水管網への水圧監視システムを導入することにより、配水ポンプの過剰な運転の減少や、弁の開閉操作により最適水圧で配水を行うことができ、電力消費量の削減を図ることができる。また配水管網の水圧を適正に調整することは漏水量の抑制にもつながる。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-67	C	p.27-32	-	電力費: 21%削減、5~8%削減	
56	監視制御システム	・設備管理の一元化・設備の集中監視等による広域的運用システムの導入	広域的運用システムは (複数の) 浄水場の設備運転状況や水質、配水池等の水位、配管網の流量、水圧などを水源から配水までの水のフロー全体の集中監視、一元管理を目指すものである。これにより水道水の生産・供給に要するコストやエネルギー消費の少ない浄水・配水方法等の判断が可能になる。また、一元管理による各種データを蓄積・分析することで水運用システムの構築や水道水の供給の安定性向上、漏水事故、設備事故、水質事故等発生時の迅速な復旧計画に対しても有用である。			●	施設の維持管理の合理化 (情報共有による削減要因、対策の立案等)	p.S1-69	B	p. 1-93	仙台市	-	
7. その他業務部門対策													
57	受変電・配電設備	・モールド変圧器・アモルファス変圧器・トリアンナー変圧器等エネルギー損失の少ない変圧器の導入	2003年4月の改正省エネ法以降、高圧受配電用変圧器等がトリアンナー方式の対象機器となった。このため、機器更新にあたっては、トリアンナー基準とその達成度を表示した省エネラベル (グリーンラベル、オレンジラベル) を目安とし、スーパー高効率タイプを選定する。 トリアンナー変圧器の規格 JIS C4304 標準仕様油入変圧器、JIS C4306 標準仕様モールド変圧器 JEM 1482 標準仕様油入変圧器、JEM 1483 標準仕様モールド変圧器			●	高効率設備の導入	業務部門対策	O		「エネルギー損失の少ない変圧器への更新」	-	電力量: 29,994kWh削減 CO2: 16.6t削減
58	受変電・配電設備	・適正規模の設備容量の変圧器の導入	更新にあたっては、各フィードの需要率や負荷率、不平等率を算出し、適正な負荷配置となるよう、配電盤の2次側配線を検討する。概ね50%程度の負荷率となるような容量を算出し、変圧器を選定する。			●	高効率設備の導入	業務部門対策	O		「エネルギー損失の少ない変圧器への更新」	-	電力量: 29,994kWh削減 CO2: 16.6t削減
59	受変電・配電設備	・変圧器統合による無負荷損の削減及び負荷率の向上	複数台設置している変圧器の中で変圧器容量の40%以下の負荷で運用している変圧器がある場合、当該変圧器の負荷を他の変圧器に分散して、負荷のなくなった変圧器の断路器を遮断停止する。 負荷の移設方法として、以下の2つの方法がある。 ①低圧配電盤 1 次側の幹線を他の変圧器に盛り替え、負荷側の幹線は変更しない。 ②低圧配電盤に遮断器を増設し、2次側の幹線を盛り替える。			●	高効率設備の導入	業務部門対策	O		「変圧器の統合」	-	電力量: 4,770kWh削減 CO2: 2.6t削減
60	受変電・配電設備	・高効率無停電電源装置の導入	従来の「常時インバータ給電方式」は、常に整流回路とインバータ回路が稼働しているため、電力ロスが大きい。高効率装置である「常時商用給電方式」の UPS は、常時インバータ運転を行わず変換ロスが低減できる。			●	高効率設備の導入	業務部門対策	O		-	-	-
61	受変電・配電設備	・自動力率改善装置の採用等による力率改善	自動力率調整装置を設置し、さらに調整装置からの信号を受け投入/遮断が自動的にできるように既存の高圧進相コンデンサ用開閉装置を高圧真空電磁接触器に変更する。 自動力率調整装置できめ細かい力率調整を行うには、容量の小さい進相コンデンサを複数台設置する			●	高効率設備の導入	業務部門対策	O		「力率改善制御システムの導入」	-	-

表 1-5 対策の例 (5) (文献 3 の表 2-1 より掲載)

工程	設備区分	削減方針	方策内容	投資レベル			効果	マニュアルページ番号	出典元 (一例を挙げる)			
				1	2	3			文献 [※]	ページ数等	事業体名	削減効果 (左記事例より)
				投資が伴わない 方策 (運転管理方法の 見直し等)	設備更新等に 投資が伴う方策 (既存設備更新 等)	水供給工程の 見直し等に 投資が伴う方策 (施設の統廃合 等)						
62	受変電・配電設備	・ デマンド制御の導入	デマンド監視装置及び制御装置により、自動的にデマンド制御できるシステムを導入する。 デマンド監視部は電力計から送られている計量パルスを受けて、デマンド制御演算を行い、演算結果によってデマンド制御部から負荷制限を実行する。制御方法には「瞬時計測法」「予測制御法」の2通りある。		●		高効率設備の導入	業務部門対策	0	「デマンド制御の導入」	-	-

※文献リスト

A：社団法人日本水道協会、水道施設におけるエネルギー対策の実際、2009。
 B：厚生労働省水道課、水道事業における環境対策の手引書（改訂版）、2009。
 C：公益財団法人水道技術研究センター、水道における省電力ハンドブック、2015。
 D：公益社団法人日本水道協会、水道施設設計指針2012版、2012。
 E：社団法人日本水道協会、第60回（平成21年度）全国水道研究発表会講演集、2009。
 F：公益社団法人日本水道協会、第63回（平成24年度）全国水道研究発表会講演集、2012。
 G：公益社団法人日本水道協会、平成25年度全国会議（水道研究発表会）講演集、2013。
 H：公益社団法人日本水道協会、平成26年度全国会議（水道研究発表会）講演集、2014。
 I：国土交通省、平成27年度近畿地方整備局研究発表会論文集、2015。
 J：横浜市水道局、発表資料【厚生労働大臣賞】第17回 日本水大賞 川井浄水場再整備による環境に配慮した水道システムの実現、
 K：阪神水道企業団、環境への取組（平成25年度版）、2015。
 L：東大阪市、水道ビジョン。
 M：千葉県水道局、平成26年度環境報告書、2015。
 N：社団法人日本水道協会、水道協会雑誌、845、2005。
 O：環境省、温室効果ガス排出抑制等指針業務部門。

出典：厚生労働省、日水コン

第2章 水道事業体の現状把握

2.1 情報収集

収集した資料を表 2-1 に示す⁵⁾。これらの資料により水道事業体の現状把握、エネルギー効率の把握、エネルギー対策の方針検討を行った。

表 2-1 収集資料⁵⁾

収集資料	資料収集の目的			資料の利用方法
	水道事業体の現状把握 (第2章)	エネルギー効率の把握 (第3章)	エネルギー対策の方針 検討 (第4章)	
水道事業年報	○			水道事業の概要、施設概要の把握
ポンプ、電動機一覧と諸元	○			ポンプ設備の諸元把握
省エネルギー対策の実施状況	○		○	水道事業体の現状把握、エネルギー対策の方針検討
浄水池、配水池の諸元（容量、標高）および浄水池、配水池の水位	○		○	水位高低図の作成、エネルギー対策の方針検討
年間の電力使用量	○	○		電力使用量の現状把握
運転日報（時別の水位、圧力、水量、電力使用量、電圧、電流値、ポンプ運転時間が把握できるもの）	○	○	○	設備・工程ごとの電力使用量の把握、ポンプ設備毎の全体効率の把握、CO ₂ 削減ポテンシャルの推計
単線結線図	○			電気負荷設備の把握、電力量計等の計測箇所の把握
ポンプの試験成績結果（特性曲線含む）	○	○	○	ポンプ諸元の把握、力率の把握、エネルギー効率の把握、運用見直しによるCO ₂ 削減ポテンシャルの推計
ポンプに接続する管路の諸元（口径、延長）			○	ポンプ更新時の管路損失計算

2.2 水道施設の現状把握

2.2.1 水道事業の概要

F 水道事業の主な水道施設は、F1 浄水場、F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所である。F 水道事業では、年間総配水量の 7 割は、水道用水供給事業より受水している。F 水道事業の平成 29 年度の実績の概要を以下に示す⁵⁾。

<F 水道事業（平成 29 年度実績）>

・計画給水人口	: 90,000 人
・行政区域人口	: 85,359 人
・給水人口	: 85,359 人
・1 日配水能力	: 57,400 m ³ /日
・年間総配水量	: 10,135,890 m ³ /年（内 7,155,810 m ³ /年は用水供給事業からの受水量）
・有効有収水量	: 9,450,811 m ³ /年
・有収率	: 93.24%
・1 日最大配水量	: 30,610 m ³ /日
・1 日平均配水量	: 27,770 m ³ /日

水道用水供給事業からの水（浄水）は F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所の配水池に送水される。F 水道事業では配水ポンプを使って給水区域に配水している。F1 浄水場は地下水（自己水）を水源とする浄水施設であり、給水区域にポンプで配水している。また、F2 送水所から F1 浄水場に水道用水供給事業の浄水が一部送水されている。

2.2.2 設備諸元の把握

F 水道事業の主要施設の概要を表 2-2～2-6 に示す⁵⁾。

表 2-2 水道施設の概要 (1)⁵⁾

	F1 浄水場	F2 送水所
施設能力	12,500 m ³ /日	20,200 m ³ /日 (内 5,700 m ³ /日は F1 浄水場への連絡送水)
用地面積	10,427.01 m ²	5,424 m ²
主な施設	<ul style="list-style-type: none"> ○取水施設 (6 井) 取水ポンプ: 22 kW 6 台 公称揚水量 8,640 m³/日 ○導水施設 ○送水施設 ○浄水施設 配水池: 2 池 (容量 9,000 m³) 配水ポンプ: 両吸込渦巻ポンプ 150 kW 4 台 揚水ポンプ: 両吸込渦巻ポンプ 55 kW 2 台 ○排水処理設備 	<ul style="list-style-type: none"> 配水池: 2 池 (容量 6,000 m³) 配水ポンプ: 両吸込渦巻ポンプ (可変速) 90 kW 3 台 モーターエンジン両がけポンプ (固定速) 90 kW 1 台
施設概要	自己水源 (地下水) を有する F 水道事業唯一の浄水場である。井戸は場内に 4 本、場外に 2 本の合計 6 本あり 150～200 m の深さより取水ポンプで汲み上げ、浄水処理を行い、総配水量の約 30% を給水している。	F2 送水所は、用水供給事業の水 (浄水) を一旦配水池に貯水して配水ポンプにて加圧送水を行うとともに、F1 浄水場および F3 送水所施設の配水量を調節する役目を果たしている。

表 2-3 水道施設の概要 (2)⁵⁾

	F3 送水所 (無人施設)	F4 送水所 (無人施設)
施設能力	24,800 m ³ /日	5,000 m ³ /日
用地面積	旧 F3 送水所 1,694.47 m ² 新 F3 送水所 5,278.00 m ²	1,154.12 m ²
主な施設	<ul style="list-style-type: none"> 配水池: 2 池 (容量 9,000 m³) 配水ポンプ: 両吸込渦巻ポンプ (可変速) 110 kW 4 台 モーターエンジン両がけポンプ (固定速) 110 kW 1 台 	<ul style="list-style-type: none"> 配水池: 1 池 (容量 2,400 m³) 配水ポンプ: ブースターポンプ (横置形) 75 kW 2 台 (固定速) 夜間用 45 kW 1 台 (固定速)
施設概要	F3 送水所は用水供給事業の水 (浄水) を一旦配水池に貯水して、配水ポンプにて加圧送水し給水している。 この施設では地震対策として、地震計と緊急遮断弁を併設し緊急時の飲料水を配水池で確保出来るようにしている。	F4 送水所は用水供給事業の水 (浄水) を一旦配水池に貯水して、配水ポンプにて加圧送水している。 この施設では地震対策として、地震計と緊急遮断弁を併設し、緊急時の飲料水を配水池で確保出来るようにしている。

表 2-4 配水池の諸元⁵⁾

施設番号	施設名	建設年月	構造	池寸法 横(m)×縦(m)	池数 (池)	TP/OP	GL(m)	HWL (m)	LWL (m)	1池容量 (m ³)	受水圧力 計高さ(m)	配水圧力 計高さ(m)	備考
1	F1浄水場第1配水池	平成9年	RC造	31.1×23.9	1	TP	5.700	5.800	0.800	3,000	無し	-1.900	
2	F1浄水場第2配水池	昭和44年	PC造	内径φ27.7	1	TP	5.700	15.800	5.800	6,000			F2からの送水を2号配水池で受水
3	F2送水所1配水池	昭和46年	PC造	内径φ19.58	1	OP	5.400	16.360	6.360	3,000	3.450	2.425	
4	F2送水所2配水池	昭和52年	PC造	内径φ19.58	1	OP	5.400	16.360	6.360	3,000			
5	F3送水所3号配水池	昭和53年	PC造	内径φ22.6	1	TP	3.160	13.820	3.820	4,000	1.510	3.760	
6	F3送水所4号配水池	平成元年	PC造	内径φ25.3	1	TP	3.160	13.820	3.820	5,000			
7	F4送水所配水池	昭和56年	SS製	内径φ20	1	OP	12.800	21.800	13.800	2,400	11.300	9.650	

表 2-5 ポンプ設備の概要 (1) ⁵⁾

	施設名	設備名	機器名	型式・方式	製造社名	製造番号	製造年	法定耐用年数	概要		
1	F1浄水場	取水設備	1号取水ポンプ (No.1)		a社		平成16年	15	φ100×22kW×4段、1.40m ³ /min×46.0m 22kW、2P 60Hz、3φ 200V、95A、3445rpm	固定速	
2			2号取水ポンプ (No.1)		a社		平成27年	15	φ100×22kW×4段、0.71m ³ /min×96.0m 22kW、2P 60Hz、3φ 200V、95A、3445rpm	固定速	
3			3号取水ポンプ (No.1)		a社		平成23年	15	φ125×30kW×2段、1.12m ³ /min×76.0m 30kW、2P 60Hz、3φ 200V、124A、3440rpm	固定速	
4			4号取水ポンプ (No.1)		a社		平成27年	15	φ125×30kW×2段、0.80m ³ /min×90.0m 30kW、2P 60Hz、3φ 200V、124A、3440rpm	固定速	
5			5号取水ポンプ (No.1)		a社		平成22年	15	φ100×30kW×5段、0.71m ³ /min×118.0m 30kW、2P 60Hz、3φ 200V、124A、3440rpm	固定速	
6			6号取水ポンプ (No.1)		a社		平成25年	15	φ100×18.5kW×3段、0.40m ³ /min×68.6m 18.5kW、2P 60Hz、3φ 200V、81A、3445rpm	固定速	
7	F1浄水場	送・配水設備	配水ポンプ	1号配水ポンプ	両吸込渦巻きポンプ	b社	RW41628-02 1/4	平成10年	15	10m ³ /min×60m×1180rpm	
8				1号配水ポンプ電動機	SB-LHN (特殊かご形)	c社	FHB1GAV0101	平成09年	17	150kW、6P 60Hz、3φ 440V、235A、1180rpm	可変速
9				2号配水ポンプ	両吸込渦巻きポンプ	b社	RW41628-02 2/4	平成10年	15	10m ³ /min×60m×1180rpm	
10				2号配水ポンプ電動機	SB-LHN (特殊かご形)	c社	FHB1G4V0102	平成09年	17	150kW、6P 60Hz、3φ 440V、235A、1180rpm	可変速
11			3号配水ポンプ	両吸込渦巻きポンプ	b社	RW41628-02 3/4	平成10年	15	10m ³ /min×60m×1180rpm		
12			3号配水ポンプ電動機	SB-LHN (特殊かご形)	c社	FHB1G4V0103	平成09年	17	150kW、6P 60Hz、3φ 440V、235A、1180rpm	可変速	
13			4号配水ポンプ	両吸込渦巻きポンプ	b社	RW41628-02 4/4	平成10年	15	10m ³ /min×60m×1180rpm		
14			4号配水ポンプ電動機	SB-LHN (特殊かご形)	c社	FHB1G4V0104	平成09年	17	150kW、6P 60Hz、3φ 440V、235A、1180rpm	可変速	
15		揚水ポンプ	1号揚水ポンプ	両吸込渦巻きポンプ	b社	RW41628-03 1/2	平成10年	15	7m ³ /min×30m×1180rpm		
16			1号揚水ポンプ電動機	SB-KH	c社	FHB1G4V0104	平成09年	17	55kW、6P 60Hz、3φ 440V、92A、1180rpm	固定速	
17	2号揚水ポンプ		両吸込渦巻きポンプ	b社	RW41628-03 2/2	平成10年	15	7m ³ /min×30m×1180rpm			
18	2号揚水ポンプ電動機		SB-KH	c社	H38881002	平成09年	17	55kW、6P 60Hz、3φ 440V、92A、1180rpm	固定速		

表 2-6 ポンプ設備の概要 (2) 5)

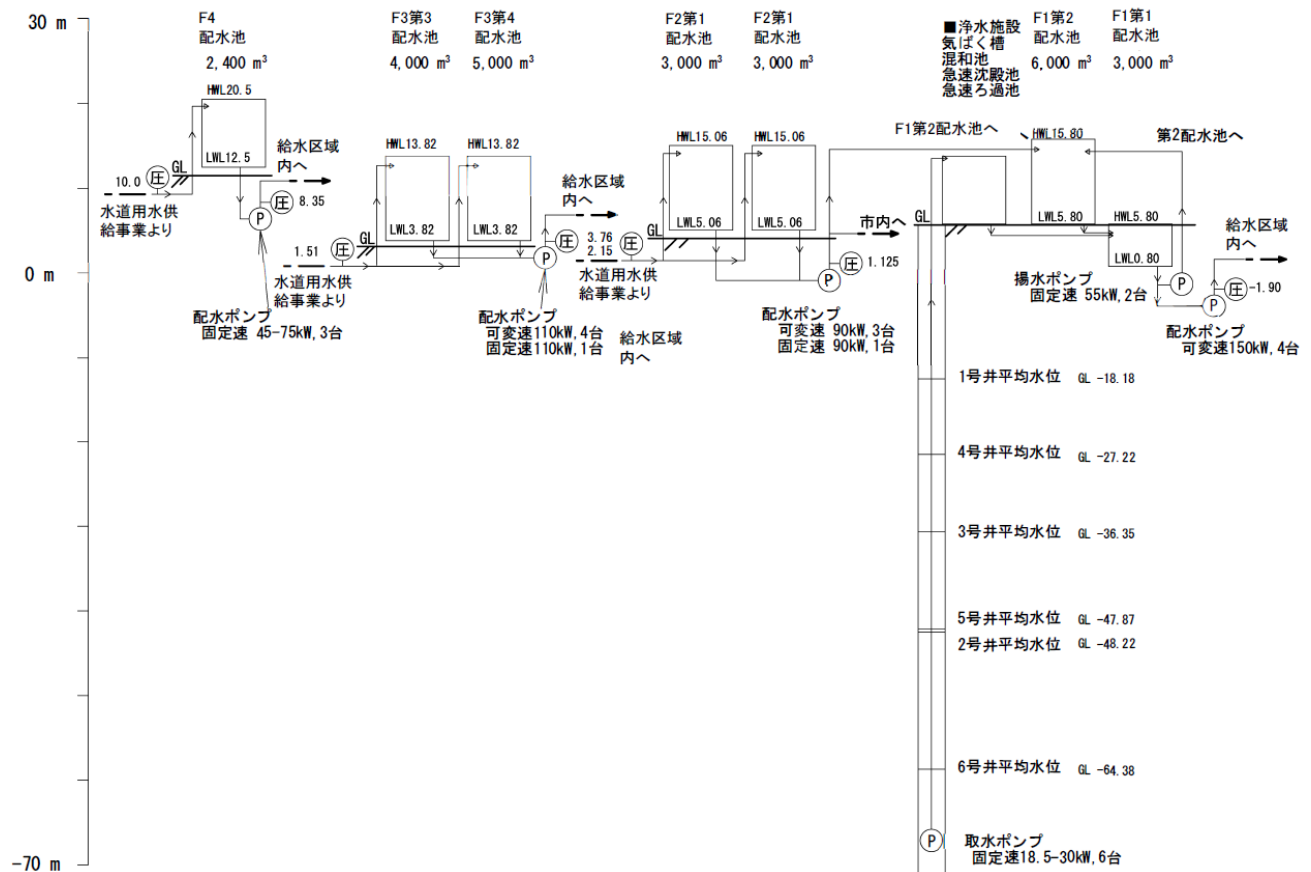
	施設名	設備名	機器名	型式・方式	製造社名	製造番号	製造年	法定耐用年数	概要	
19	F2送水所	送・配水設備	1号配水ポンプ	CDM250X200	e社	AP646032 No.3-1	平成25年	15	7.1m ³ /min × 50m × 90kW	
20			1号配水ポンプ電動機	EDM3141F-C2AB-H02	d社	121466	平成24年	17	3φ 440V 60Hz、166A 1800rpm、90kW 6P	可変速
21			2号配水ポンプ	CDM250X200	e社	AP646032 No.3-2	平成25年	15	7.1m ³ /min × 50m × 90kW	
22			2号配水ポンプ電動機	EDM3141F-C2AB-H02	d社	121467	平成24年	17	3φ 440V 60Hz、166A 1800rpm、90kW 6P	可変速
23			3号配水ポンプ	CDM250X200	e社	AP646032 No.3-3	平成25年	15	7.1m ³ /min × 50m × 90kW	
24			3号配水ポンプ電動機	EDM3141F-C2AB-H02	d社	121468	平成24年	17	3φ 440V 60Hz、166A 1800rpm、90kW 6P	可変速
25			4号配水ポンプ	CDM250X200	e社	PU0013447 No.1-1	平成25年	15	7.1m ³ /min × 50m × 90kW	
26			4号配水ポンプ電動機	TKKH-FCK11	f社	L13Z860HM	平成25年	17	3φ 440V 60Hz、166A 1800rpm、90kW 6P	固定速
27	F3送水所	送・配水設備	1号配水ポンプ	300 × 250CGM	b社	R 842094-02	昭和58年	15	13.5m ³ /min × 35m × 110kW	
28			1号配水ポンプ電動機	XA6014S-B1AA-No 1	d社	CM-773035	昭和58年	17	3φ 3300V 1750~1100rpm、22.6~8.1A、110~28kW	可変速
29			2号配水ポンプ	300 × 250CGM	b社	RC40198-04	昭和58年	15	11.8m ³ /min × 35m × 110kW	
30			2号配水ポンプ電動機	UTV455M/BA	d社	M-533002	昭和53年	17	3φ 3300V 1750~1100rpm、22.6~8.1A、110~28kW	固定速
31			4号配水ポンプ	300 × 250CGM	b社	RC40198-07	昭和58年	15	13.5m ³ /min × 35m × 110kW	
32			4号配水ポンプ電動機	XA6014S-B1AA-No3	d社	CM-824259	昭和58年	17	3φ 3300V 1750~1050rpm、23~9A、110~25kW	可変速
33			5号配水ポンプ	300 × 250CGM	b社	RC40198-02	昭和58年	15	13.5m ³ /min × 35m × 110kW	
34			5号配水ポンプ電動機	XA6014S-B1AA-No2	d社	CM-824258	昭和58年	17	3φ 3300V 1750~1050rpm、23~9A、110~25kW	可変速
35	6号配水ポンプ	300 × 250CGM	b社	PK40148-02	昭和58年	15	13.5m ³ /min × 35m × 110kW			
36	6号配水ポンプ電動機	XA6015S-B1VA-N23	d社	M-893341	平成02年	17	3φ 3300V 1750~1050rpm、23~9A、110~25kW	可変速		
37	F4送水所	送・配水設備	1号配水ポンプ		g社	BP25752C	昭和58年	15	7.5m ³ /min × 35m × 75kW	
38			1号配水ポンプ電動機	VT11-KK	h社		昭和56年	17	75kW、4P 60Hz、3φ 440V、- A、- rpm	固定速
39			2号配水ポンプ		g社	BP25752C	昭和58年	15	7.5m ³ /min × 35m × 75kW	
40			2号配水ポンプ電動機	VT11-KK	h社		昭和56年	17	75kW、4P 60Hz、3φ 440V、131A、- rpm	固定速
41			3号配水ポンプ		g社	BP254520	昭和58年	15	5.5m ³ /min × 30m × 45kW	
42			3号配水ポンプ電動機	MT-SPP	a社		昭和56年	17	45kW、4P 60Hz、3φ 440V、78A、1740rpm	固定速

2.2.3 水位高低図の作成

収集した水道施設諸元の情報を基に水位高低図を作成した（図 2-1）⁵⁾。

F 水道事業では水道用水供給事業からの浄水を配水池に貯留し、配水ポンプを使って給水区域内に配水している。F1浄水場では自己水源（深井戸）から動力を使って取水し、浄水処理の後、F1浄水場第1配水池より配水ポンプで給水区域内に配水している。F1浄水場ではF2送水所経由で水道用水供給事業の水も受水しており、F1浄水場第2配水池に貯留している。F1浄水場第2配水池の浄水は同第1配水池に流入させた後に配水している。F1浄水場の浄水量が配水量よりも多い場合には、揚水ポンプによりF1浄水場第1配水池の浄水を同第2配水池へ揚水する場合がある。

F2送水所のモーターエンジン両がけポンプ（固定速）は非常用であり、通常時は可変速ポンプによる配水、固定速ポンプによるF1浄水場第2配水池への送水が行われている。F3送水所のモーターエンジン両がけポンプ（固定速）は非常用であり、通常時は可変速ポンプにより配水している。F4送水所では固定速ポンプにより配水している。



注：図中の数値は、圧力計の設置標高、配水池水位（HWL、LWL）、深井戸の平均水位を示している。標高と配水池水位は東京湾平均海面（TP）からの高さあり、深井戸の平均水位は地盤高からの深さを表している。

図 2-1 F 水道事業の水道システムの水位高低図 ⁵⁾

2.3 電力使用量の現状把握

2.3.1 全体の電力使用量

F 水道事業の水道施設における平成 30 年度の電力使用量は、表 2-7 に示すとおり 491 万 kWh である⁵⁾。その内訳を図 2-2 に示す⁵⁾。図 2-2 より F1 浄水場での電力使用量が全体の 50% を占め、F1 浄水場の場外にある深井戸（4 号、6 号）の取水のための動力が全体の 10% を占めていることがわかる。F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所の占める割合はそれぞれ 15%、12%、13% である。

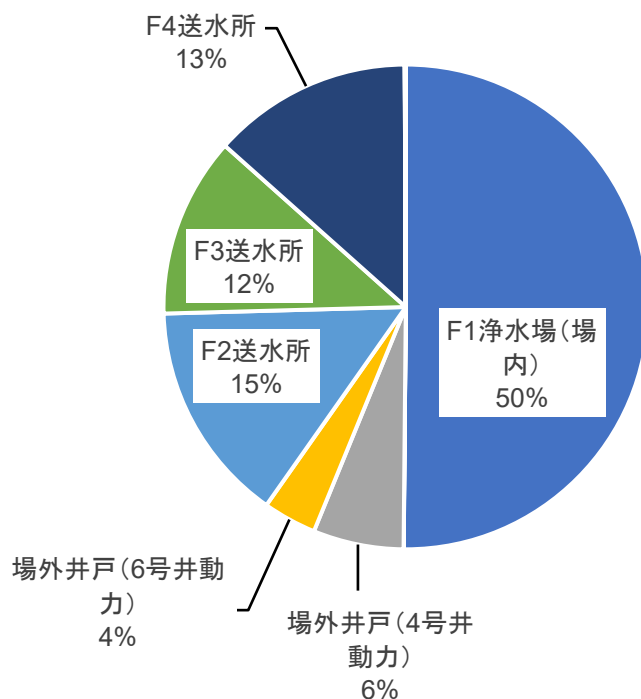


図 2-2 電力使用量の内訳（平成 30 年度実績）⁵⁾

表 2-7 電力使用量の内訳（平成 30 年度実績）⁵⁾

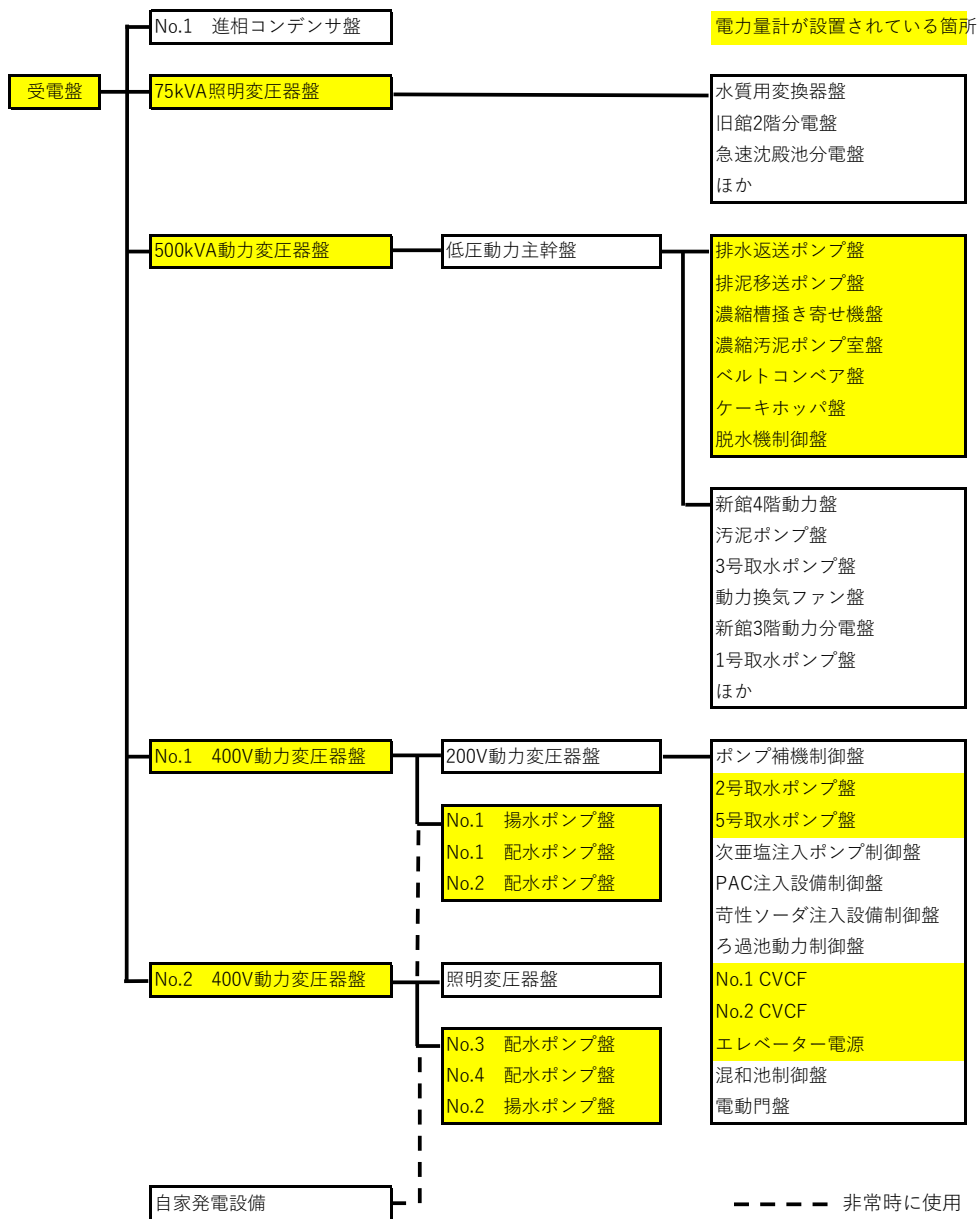
施設名	合計	
	料金(円)	使用量(kWh)
F1浄水場(場内)	45,365,028	2,460,437
場外井戸(4号井電灯)	19,336	819
場外井戸(4号井動力)	5,452,913	296,351
場外井戸(6号井動力)	3,519,746	174,749
F1浄水場 計	54,357,023	2,932,356
F2送水所	15,145,351	726,593
F3送水所	11,903,819	590,258
F4送水所	12,317,042	654,227
送水所 計	39,366,212	1,971,078
Faモニター	13,271	557
Fbモニター	13,908	585
Fcモニター	14,105	593
Fdモニター	15,127	636
Feモニター	19,041	796
Ffモニター	13,946	586
モニター 計	89,398	3,753
合計	93,812,633	4,907,187

2.3.2 設備・工程ごとの電力使用量

① 単線結線図と日報データの収集

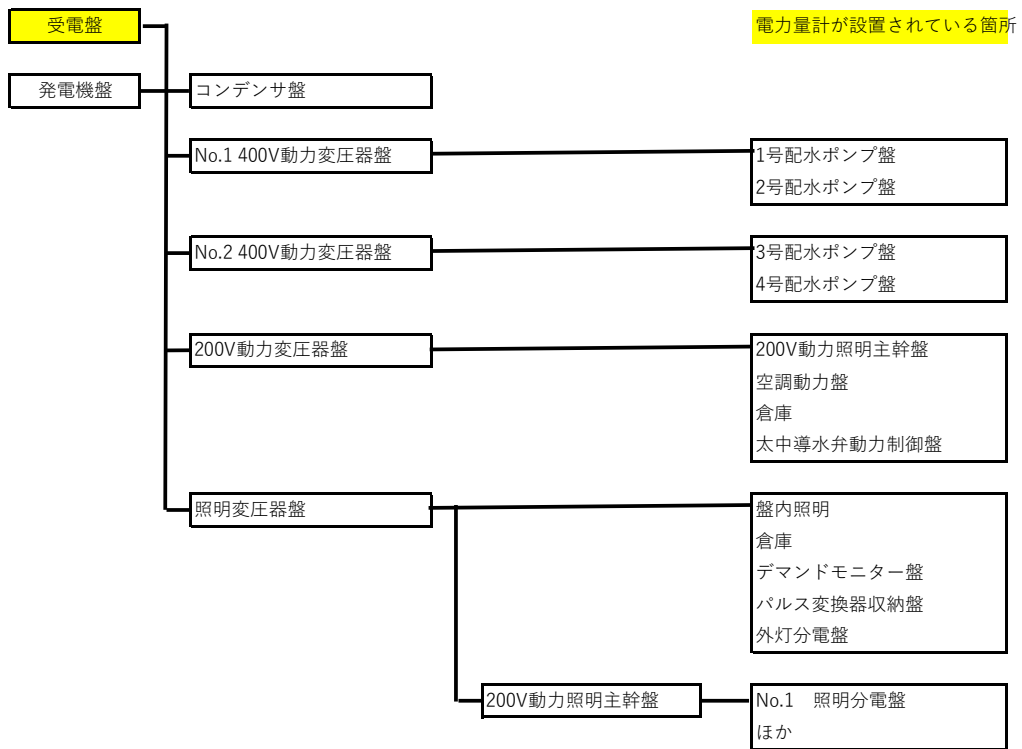
設備・工程ごとの電力使用量を把握するため、各水道施設の単線結線図と日報データを収集した。単線結線図には、電圧計、電流計、力率計、電力計、電力量計の設置場所が記載されており、日報データと合わせて確認することで、どの設備の電力量等が計測されているかを把握した。各水道施設の電力設備と電力量計により電力量が把握されている箇所を図 2-3～2-6 に示す⁵⁾。

ポンプ設備のうち電力量計が設置されているのは、F1 浄水場の配水ポンプ（150 kW、4 台）と揚水ポンプ（55 kW、2 台）、2 号取水ポンプ（22 kW）、5 号取水ポンプ（30 kW）のみである。F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所の配水ポンプについては、電流計による電流とポンプ運転時間が日報に記録されていた。



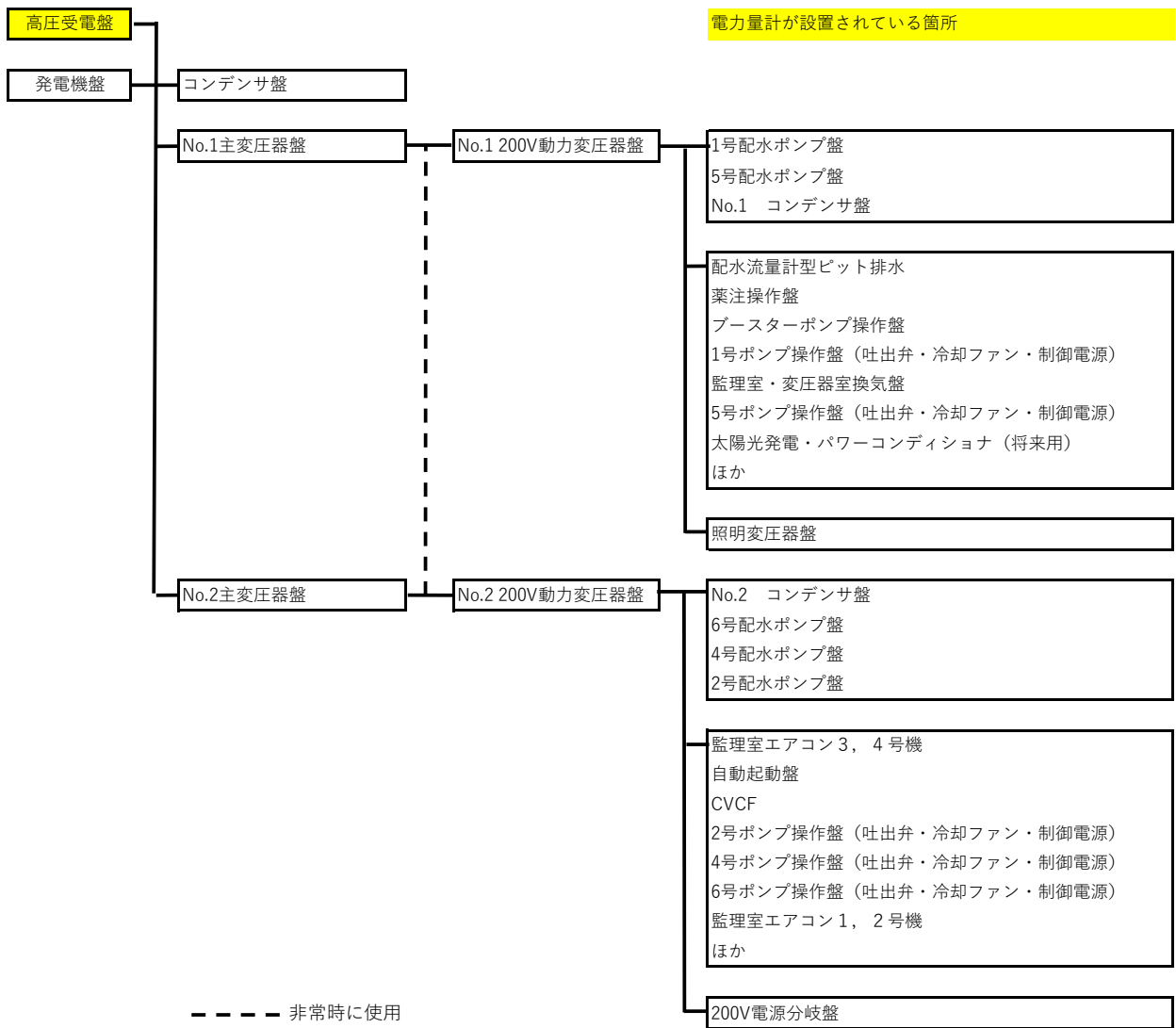
注：単線結線図より作成

図 2-3 F1 浄水場の電力設備（概略）⁵⁾



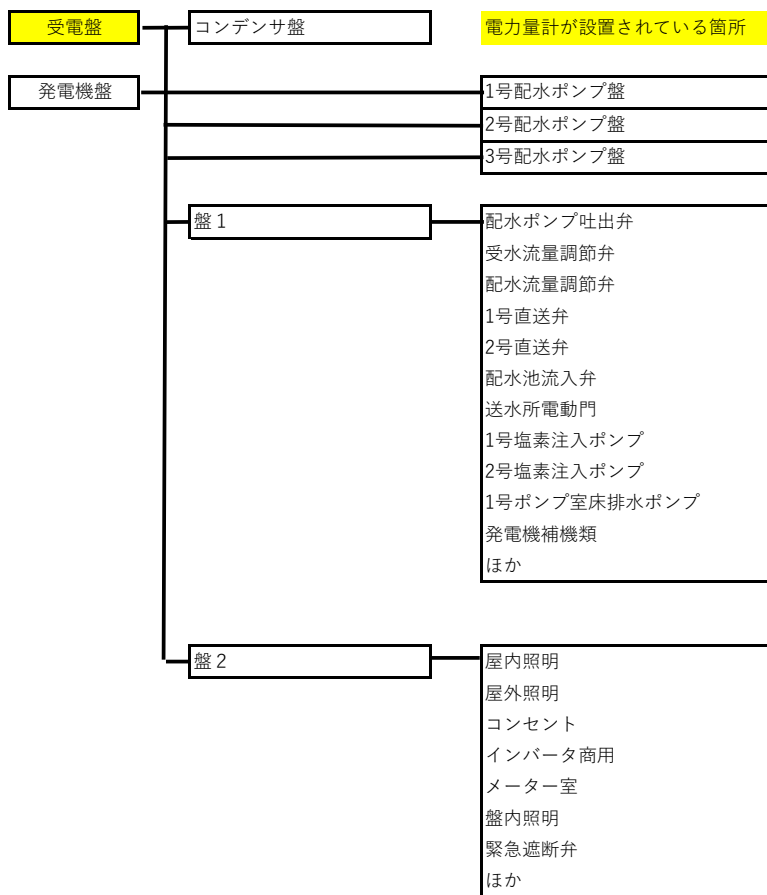
注：単線結線図より作成

図 2-4 F2 送水所の電力設備（概略）⁵⁾



注：単線結線図より作成

図 2-5 F3 送水所の電力設備（概略）⁵⁾



注：単線結線図より作成

図 2-6 F4 送水所の電力設備（概略）⁵⁾

② 電力使用量が計測されていない場合の推計

設備・工程ごとの電力使用量を把握する際、日報においてポンプ設備の電力使用量が計測されていない場合には、電流、電圧、力率、運転時間より各設備の電力使用量を推計した。

《整理のポイント》

- ①水道施設の受電量は、日報の受電欄の電力量を合計して求める。
- ②ポンプで実際に使用された電力量は、日報の電力量 (kWh) の欄の数値を使用する。
- ③日報 (時刻別数値が記載) に、各ポンプの電力量 (kWh) の記録がない場合には、以下の式から電力使用量 (kWh) を計算する⁶⁾。

$$\text{(三相) 電力量 (kWh)} = \sqrt{3} \times \text{電流値 (A)} \times \text{定格電圧 (V)} \div 1,000 \times \text{力率} \times \text{運転時間 (h)} \quad \text{式 2-1}$$

$$\text{(单相) 電力量 (kWh)} = \text{電流値 (A)} \times \text{定格電圧 (V)} \div 1,000 \times \text{力率} \times \text{運転時間 (h)} \quad \text{式 2-2}$$

瞬時値：計測時刻の表示値 → 電流 (A)、電圧 (V)、電力 (kWh)

積算値：計測時刻内の総和値 → 電力量 (kWh)

- ④日報に電流値 (A) が記録されていない場合には、簡易電力計を設置して電力量の測定を行うか、定格運転のポンプ設備であれば以下の式により電力使用量 (kWh) を推計する。

$$\text{電力量 (kWh)} = \text{電動機出力 (kW)} \times \text{運転時間 (h)} \times \frac{1}{1 + \text{余裕率}} \quad \text{式 2-3}$$

「水道施設設計指針」⁷⁾によれば、ポンプ軸動力 (kW) に 10～15%の余裕率を見込んで電動機出力 (kW) としていることから、 $\frac{1}{1 + \text{余裕率}}$ の値としては、0.87～0.91 が考えられる。

個々のポンプの電動機の力率は、ポンプの試験成績表から算定した。

《整理のポイント》

力率の関係するものの電流値は次の式で算出できる⁸⁾。

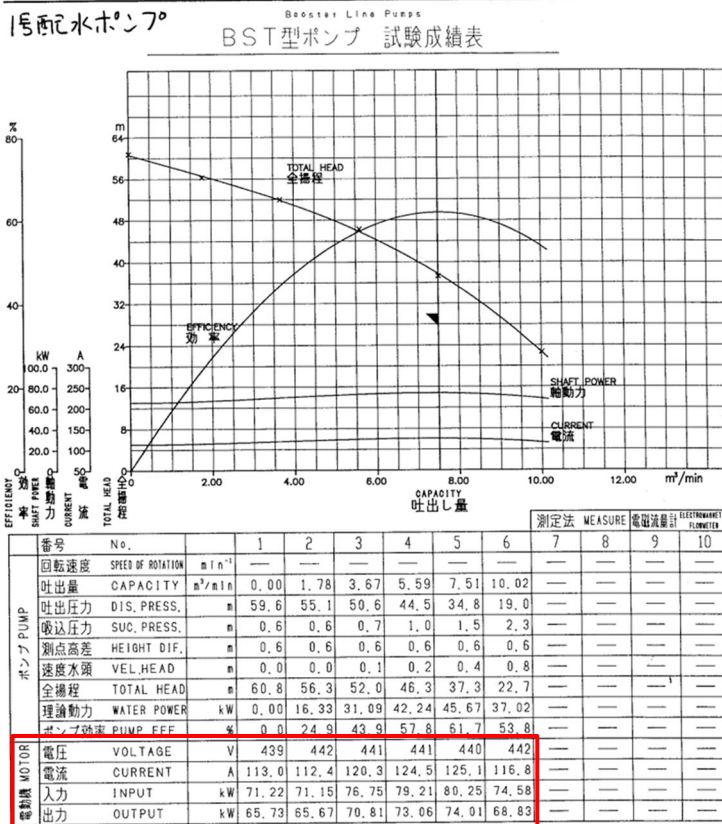
$$\text{電流 } I = \frac{\text{電力 } P}{\text{電圧 } E \times \text{力率}} \quad \text{式 2-4}$$

この式から三相交流の力率は、以下のように算出される。

$$\text{力率} = \frac{\text{電力 } P}{\sqrt{3} \text{電圧 } E \times \text{電流 } I} \quad \text{式 2-5}$$

F4 送水所 1 号ポンプの例では、試験成績表⁵⁾から力率は 6 回の測定記録の平均値の 0.83 とする。

測定データ番号		1	2	3	4	5	6	平均値
電圧 V	①	439	442	441	441	440	442	
電流 A	②	113	112.4	120.3	124.5	125.1	116.8	-
皮相電力 kVA	③= $\sqrt{3} \times ① \times ② / 1,000$	85.92	86.05	91.89	95.10	95.34	89.42	
力率	④=⑤÷③	0.83	0.83	0.84	0.83	0.84	0.83	0.83
入力電力 kW	⑤	71.22	71.15	76.75	79.21	80.25	74.58	-
出力電力 kW	⑥	65.73	65.67	70.81	73.06	74.01	68.83	



③ 設備・工程ごとの電力使用量の整理

F1 浄水場、F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所の設備・工程ごとの電力使用量を整理した（表 2-8、図 2-7）⁵⁾。設備ごとの詳細は表 2-9～2-12 に示す⁵⁾。

F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所では配水ポンプによる電力使用量がほとんどを占めるが、F1 浄水場では深井戸からの取水ポンプの電力使用量が配水ポンプの電力使用量と同程度であった。また、その他浄水施設による電力使用量も全体の 25%を占めていた。F1 浄水場では深井戸から取水した原水を気ばく槽に導き、エアレーションを実施していることが影響していると考えられる。

表 2-8 設備・工程ごとの電力使用量（令和 2 年度）⁵⁾

		F1浄水場 (場内)	F2送水所	F3送水所	F4送水所	計
電力使用量 (kWh/年)	取水ポンプ計	851,482				851,482
	揚水ポンプ計	19,493				19,493
	配水ポンプ計	868,059	716,677	524,544	584,052	2,693,332
	その他浄水施設等	579,906	71,832	106,586	78,454	836,778
	合計	2,318,940	788,509	631,130	662,506	4,401,085
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)		1,023	348	278	292	1,941

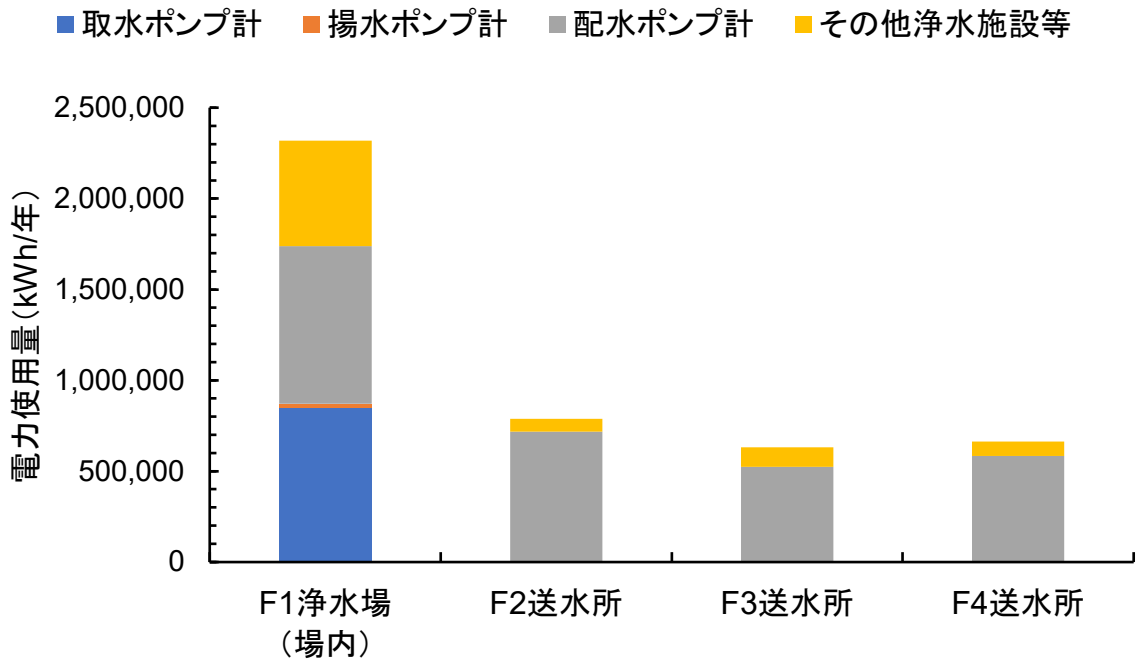


図 2-7 設備・工程ごとの電力使用量（令和 2 年度）⁵⁾

表 2-9 設備・工程ごとの電力使用量（F1 浄水場、令和 2 年度）⁵⁾

区分	負荷	電力量 kWh/年	構成比率 -	備考
受電、自家発電	受電	2,318,000	100%	令和2年度日報より
	自家発電	940	0%	令和2年度日報より
電力使用量	75kVA照明	22,211	1%	令和2年度日報より
	汚泥処理	82,350	4%	令和2年度日報より
	1号取水ポンプ	163,363	7%	定格出力(kW)×運転時間(h)×負荷率0.85として推定
	3号取水ポンプ	207,749	9%	定格出力(kW)×運転時間(h)×負荷率0.85として推定
	その他の低圧動力負荷	220,068	9%	差し引きで推定
	2号取水ポンプ	204,985	9%	令和2年度日報より
	5号取水ポンプ	275,385	12%	令和2年度日報より
	No.1 CVCF	11,166	0%	令和2年度日報より
	No.2 CVCF	20,768	1%	令和2年度日報より
	エレベーター電源	945	0%	令和2年度日報より
	その他の200V動力負荷	75,251	3%	差し引きで推定
	1号配水ポンプ	219,662	9%	令和2年度日報より
	2号配水ポンプ	218,323	9%	令和2年度日報より
	3号配水ポンプ	214,333	9%	令和2年度日報より
	4号配水ポンプ	215,741	9%	令和2年度日報より
	1号揚水ポンプ	9,873	0%	令和2年度日報より
	2号揚水ポンプ	9,620	0%	令和2年度日報より
上記以外の負荷	147,147	6%	受電量+自家発電量-電力使用量計で推定	

表 2-10 設備・工程ごとの電力使用量（F2 送水所、令和 2 年度）⁵⁾

区分	負荷	電力量 kWh/年	構成比率 -	備考
受電、自家発電	受電	788,509	100%	令和2年度日報より
	自家発電	0	0%	令和2年度日報より
電力使用量	1号配水ポンプ	188,777	24%	令和2年度日報より
	2号配水ポンプ	167,820	21%	令和2年度日報より
	3号配水ポンプ	152,737	19%	令和2年度日報より
	4号配水ポンプ	207,344	26%	令和2年度日報より
	上記以外の負荷	71,832	9%	受電量+自家発電量-電力使用量計で推定

表 2-11 設備・工程ごとの電力使用量（F3 送水所、令和 2 年度）⁵⁾

区分	負荷	電力量 kWh/年	構成比率 -	備考
受電、自家発電	受電	630,400	100%	令和2年度日報より
	自家発電	730	0%	令和2年度日報より
電力使用量	1号配水ポンプ	115,492	18%	令和2年度日報より
	2号配水ポンプ	0	0%	令和2年度日報より
	4号配水ポンプ	150,203	24%	令和2年度日報より
	5号配水ポンプ	143,480	23%	令和2年度日報より
	6号配水ポンプ	115,369	18%	令和2年度日報より
	その他	106,586	17%	受電量+自家発電量-電力使用量計で推定

表 2-12 設備・工程ごとの電力使用量（F4 送水所、令和 2 年度）⁵⁾

区分	負荷	電力量 kWh/年	構成比率 -	備考
受電、自家発電	受電	661,890	100%	令和2年度日報より
	自家発電	616	0%	令和2年度日報より
電力使用量	1号配水ポンプ	261,796	40%	令和2年度日報より
	2号配水ポンプ	242,041	37%	令和2年度日報より
	3号配水ポンプ	80,215	12%	令和2年度日報より
	その他	78,454	12%	受電量+自家発電量-電力使用量計で推定

第3章 エネルギー効率の把握

3.1 設備・工程ごとの原単位

3.1.1 施設ごとの電力量原単位

F1 浄水場、F2 送水所、F3 送水所および F4 送水所の 4 つの施設の配水量と電力量から、電力量原単位を算定した（表 3-1、図 3-1）⁵⁾。

《整理のポイント》

- ① 施設別の配水量、電力量は配水日報、電気料金請求等から集計したもので整理する。
- ② 電力量原単位が高い系統に着目し、低減方策の実施状況を整理する。

水道施設別の電力原単位の特徴は以下のとおりである。

- ・ F1 浄水場は地下水取水分の電力量が含まれるため、F2 送水所、F3 送水所よりも電力量原単位が 0.73 kWh/m^3 と大きくなっている。
- ・ F4 送水所は、F1 浄水場、F2 送水所、F3 送水所とは異なり、固定速ポンプによる配水を行っており、電力量原単位が 0.71 kWh/m^3 と大きくなっている。

表 3-1 施設別の配水量、電力量および電力量原単位（平成 30 年度）⁵⁾

平成30年度 月	F1浄水場 (井戸取水含む)	F2送水所 (F1送水含む)	F3送水所	F4送水所	合計
4月	327,530	280,680	214,270	79,440	574,390
5月	335,290	286,690	218,450	75,670	580,810
6月	338,030	290,400	220,250	75,540	586,190
7月	354,270	317,650	238,400	80,130	636,180
8月	345,580	311,160	232,760	78,000	621,920
9月	329,070	331,310	216,570	75,460	623,340
10月	342,760	315,580	223,320	80,650	619,550
11月	331,210	297,230	222,160	78,720	598,110
12月	344,660	308,630	226,900	81,290	616,820
1月	338,050	311,650	216,630	78,300	606,580
2月	308,540	282,070	196,540	65,860	544,470
3月	337,380	301,610	214,700	72,590	588,900
合計	4,032,370	3,634,660	2,640,950	921,650	7,197,260

平成30年度 月	F1浄水場 (井戸取水含む)	F2送水所 (F1送水含む)	F3送水所	F4送水所	合計
4月	236,925	59,531	49,090	55,089	163,710
5月	246,045	55,413	45,512	51,113	152,038
6月	245,924	58,286	48,345	55,024	161,655
7月	276,939	60,005	49,249	53,969	163,223
8月	279,414	70,993	57,947	57,274	186,214
9月	233,384	69,482	54,036	56,880	180,398
10月	241,494	66,831	48,003	54,253	169,087
11月	238,740	60,510	47,909	55,422	163,841
12月	244,857	59,656	46,736	53,606	159,998
1月	244,179	56,604	49,456	55,495	161,555
2月	216,671	60,377	50,327	55,846	166,550
3月	226,965	48,905	43,648	50,256	142,809
合計	2,931,537	726,593	590,258	654,227	1,971,078

平成30年度 月	F1浄水場 (井戸取水含む)	F2送水所 (F1送水含む)	F3送水所	F4送水所	合計
4月	0.72	0.21	0.23	0.69	0.29
5月	0.73	0.19	0.21	0.68	0.26
6月	0.73	0.20	0.22	0.73	0.28
7月	0.78	0.19	0.21	0.67	0.26
8月	0.81	0.23	0.25	0.73	0.30
9月	0.71	0.21	0.25	0.75	0.29
10月	0.70	0.21	0.21	0.67	0.27
11月	0.72	0.20	0.22	0.70	0.27
12月	0.71	0.19	0.21	0.66	0.26
1月	0.72	0.18	0.23	0.71	0.27
2月	0.70	0.21	0.26	0.85	0.31
3月	0.67	0.16	0.20	0.69	0.24
合計	0.73	0.20	0.22	0.71	0.27

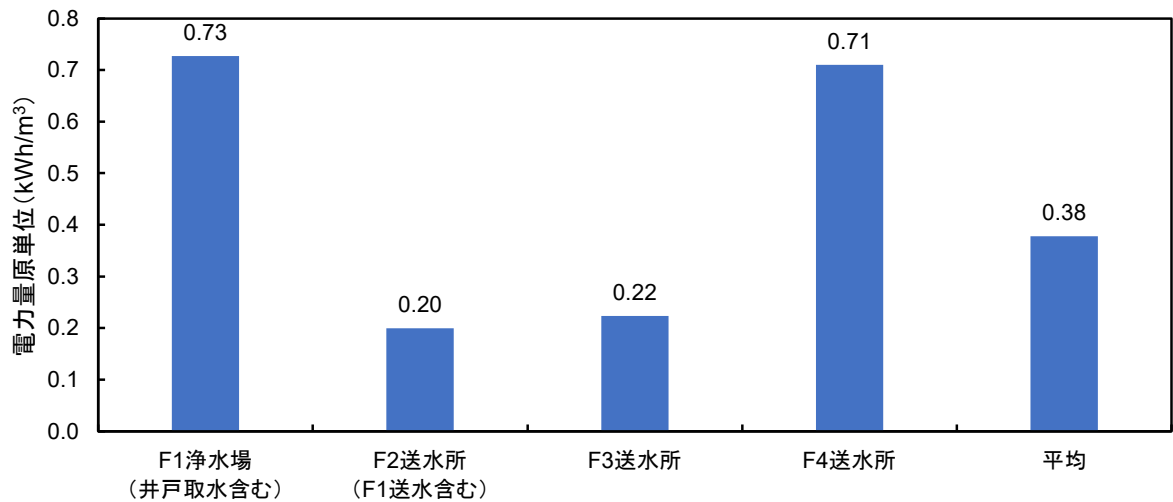
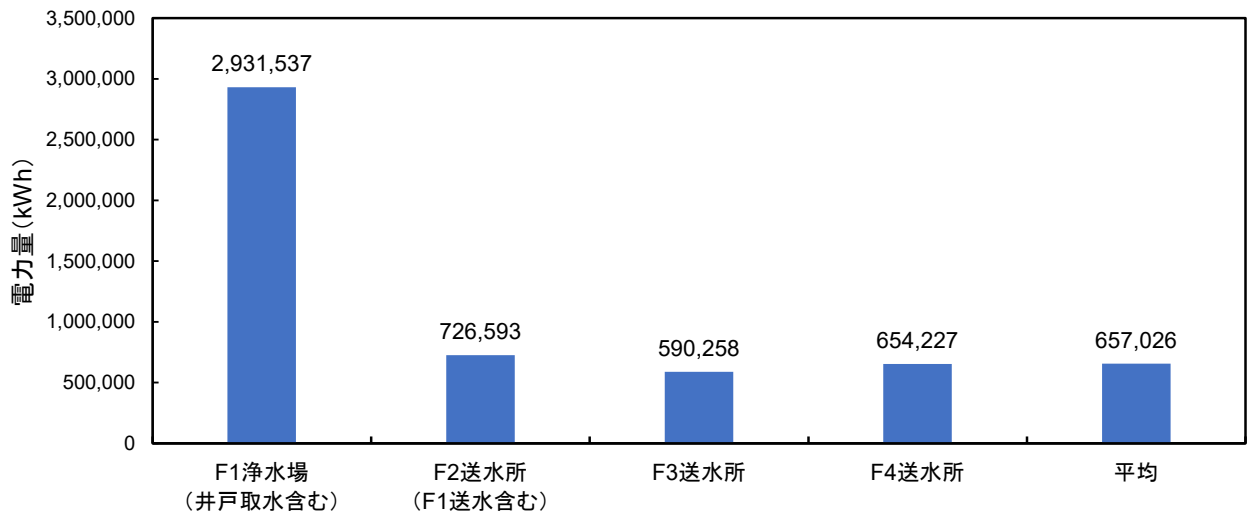
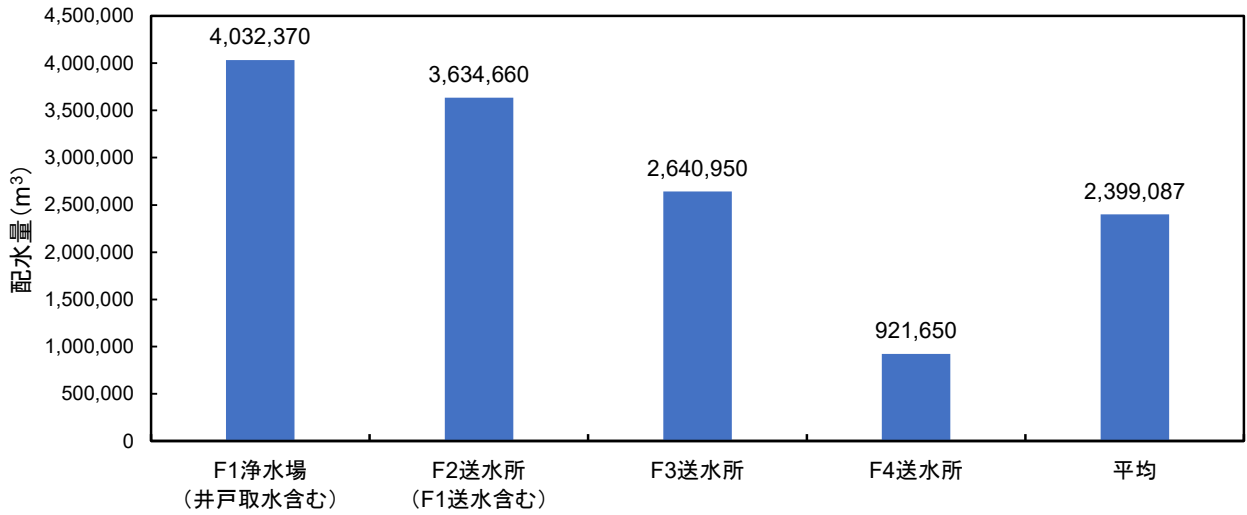


図 3-1 施設別の配水量、電力量および電力量原単位（平成 30 年度）⁵⁾

3.1.2 配水池の運用状況を踏まえた電力量原単位の考察

F1 浄水場、F2 送水所、F3 送水所および F4 送水所の受水圧、配水池水位、配水圧の実績を整理し、ポンプによるエネルギーの使用状況との関係を考察した。

《整理のポイント》

①施設諸元、配水日報から、施設の地盤高、配水池水位や受水圧、配水圧力等の実績を整理し、水位高低図を作成する。

※水位高低図には施設、配水圧等の地盤高 GL (m) と高低差を記載

配水圧力の水位への換算：配水圧力計設置地盤高 (m) + 配水圧 (MPa) ÷ 0.009807

受水圧力の水位への換算：受水圧力計設置地盤高 (m) + 受水圧 (MPa) ÷ 0.009807

(水圧が MPa 表示の場合は 0.009807 で除し m 換算する)⁹⁾

施設間の高低差による系統間の水融通の可能性や受水圧の活用の可能性を検討する。

水道施設の水位高低図は図 3-2 のとおりであり、以下の事項が把握される。

- ・ F1 浄水場の配水圧が他の 3 つの施設よりも高いが、4 つの配水系統には大きな配水圧の差はない（給水区域は平坦で高低差が小さく、配水圧に差はない）。
- ・ F4 送水所と F3 送水所は、受水圧の最大値が配水圧の最大値よりもわずかに大きいため、時間帯によっては受水圧で配水することが考えられる。
- ・ F2 送水所と F3 送水所は、高低差も配水圧もほぼ同じであり、図 3-1 の電力量原単位が同程度となっていることの裏付けとなっている。

施設名称	GL (m)	F1浄水場	F2送水所	F3送水所	F4送水所
配水圧 (m) ポンプ吐出側 上から最大、平均、最小	60 55 50				
受水圧 (m) 上から最大、平均、最小	45 40 35 30				
配水圧差 (m) (最大-最小)		17.6	11.5	11.3	21.0
※小さい順の3番目 (ゼロ値2つ除く)					
配水ポンプ諸元					
平均全揚程 (m) (配水圧の平均値-配水池水位の平均値)		52.9	33.9 F1送水	33.8	27.0
		1号 10m³/min×60m×150kW 2号 10m³/min×60m×150kW 3号 10m³/min×60m×150kW 4号 10m³/min×60m×150kW	1号 7.1m³/min×50m×90kW 2号 7.1m³/min×50m×90kW 3号 7.1m³/min×50m×90kW 4号 7.1m³/min×50m×90kW	1号 13.5m³/min×35m×110kW 2号 11.8m³/min×35m×110kW 4号 13.5m³/min×35m×110kW 5号 13.5m³/min×35m×110kW 6号 13.5m³/min×35m×110kW	1号 7.5m³/min×35m×75kW 2号 7.5m³/min×35m×75kW 3号 5.5m³/min×30m×45kW
配水池名称		F1第1 F1第2	F2第1 F2第2	F3第3 F3第4	F4
配水池の高低諸元 (m)	20				
※黒字上から以下を表記	19				
最高水位HWL (m)	18				
最低水位LWL (m)	17				
配水池底面 (m)	16				
配水池水位 (m) ポンプ吸込側 ※赤字上から以下を表記	15				
最大	14				
平均	13				
最小	12				
	11				
	10				
	9				
▷ 配水圧力計GL基準 (配水圧の基準点)	8				
	7				
	6				
	5				
	4				
	3				
	2				
	1				
	0				
		5.8 5.7 5.3 4.5 3.4 0.8	15.06 14.7 14.9 10.8 9.0 5.3 5.06 4.1	13.82 13.0 10.1 4.0 3.82 3.16	20.5 20.1 18.6 16.4 12.5 11.5
		配水圧力計GL基準 ▷ -1.9	2.15 受水圧力計 ▷ 1.125 配水圧力計GL基準	配水圧力計GL基準 1.51 受水圧力計	10 受水圧力計 ▷ 8.35 配水圧力計GL基準
配水池容量(m³)		3,000 6,000	3,000 3,000	4,000 5,000	2,400
配水量 (m³/h)	最大	1,090	540	630	280
赤字単位 (m³/日)	平均	11,272 470	6,150 256	7,720 322	2,718 113
	最小	90	40	60	0

注1: 地盤高 GL、配水池水位は東京湾平均海面 (TP) を基準としている (TP=OP-1.3 m)

注2: 配水圧 (m): (F4 送水所の例)、配水圧力計 GL=8.35 m+配水日報記載配水圧 (m)

注3: 受水圧 (m): (F4 送水所の例)、受水圧力計 GL=10 m+配水日報記載受水圧 (m)

図 3-2 配水施設と給水区域の施設高低図

3.2 ポンプ設備ごとの全体効率の把握

3.2.1 ポンプ全体効率の確認

各水道施設のポンプについて、日報等の運転管理情報からポンプの全体効率（＝ポンプ効率×電動機効率）を把握した。ポンプ全体効率の確認手順を図 3-3 に示す。なお、F1 浄水場の取水ポンプは定格での一定運転であることから、ポンプ全体効率の確認を行わなかった。

《整理のポイント》

配水日報毎時記録では以下のようにポンプ全体効率（電力量に対する仕事量の割合）を算定する¹⁰⁾。なお、ポンプ全体効率はポンプ効率 η_p と電動機効率 η_m の積である。

$$\begin{aligned} \text{ポンプ全体効率 (\%)} &= \text{仕事量 (kWh)} \div \text{電力量 (kWh)} \times 100 (\%) \\ &= \text{ポンプ効率 } \eta_p (-) \times \text{電動機効率 } \eta_m (-) \times 100 (\%) \end{aligned} \quad \text{式 3-1}$$

$$\begin{aligned} \text{仕事量 (kWh)} &= \text{液体の単位当たりの質量 (kg/L)} \times \text{配水量 (m}^3\text{)} \\ &\quad \times \text{重力加速度 } 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \times \text{実揚程 (m)} \div 3,600 \text{ (kJ/kWh)} \end{aligned} \quad \text{式 3-2}$$

$$\begin{aligned} \text{実揚程 (m)} &= \text{ポンプ吐出圧 (m)} - \text{ポンプ吸込圧 (m)} \\ &\quad (\text{水圧が MPa 表示の場合は } 0.009807 \text{ で除し m 換算する)}^9 \end{aligned} \quad \text{式 3-3}$$

$$\text{ポンプ吐出圧 (m)} = \text{配水圧力 (m)} + \text{配水圧力計設置地盤高 (m)} \quad \text{式 3-4}$$

$$\text{ポンプ吸込圧 (m)} = \text{配水池水位 (m)} + \text{配水池最低水位 LWL の地盤高 (m)} \quad \text{式 3-5}$$

$$\begin{aligned} \text{ポンプ全体効率の加重平均値} &= \Sigma (\text{時間ごとのポンプ全体効率 (\%)} \times \text{配水量 (m}^3\text{)}) \\ &\quad \div \text{配水量の総和 (m}^3\text{)} \end{aligned} \quad \text{式 3-6}$$

※配水量を重みとした時間ごとのポンプ全体効率の加重平均

※加重平均を求めることにより、流量少ない時間帯の効率の低下が把握できる

※これにより時間帯小容量ポンプへの切り替えの効果を把握できる

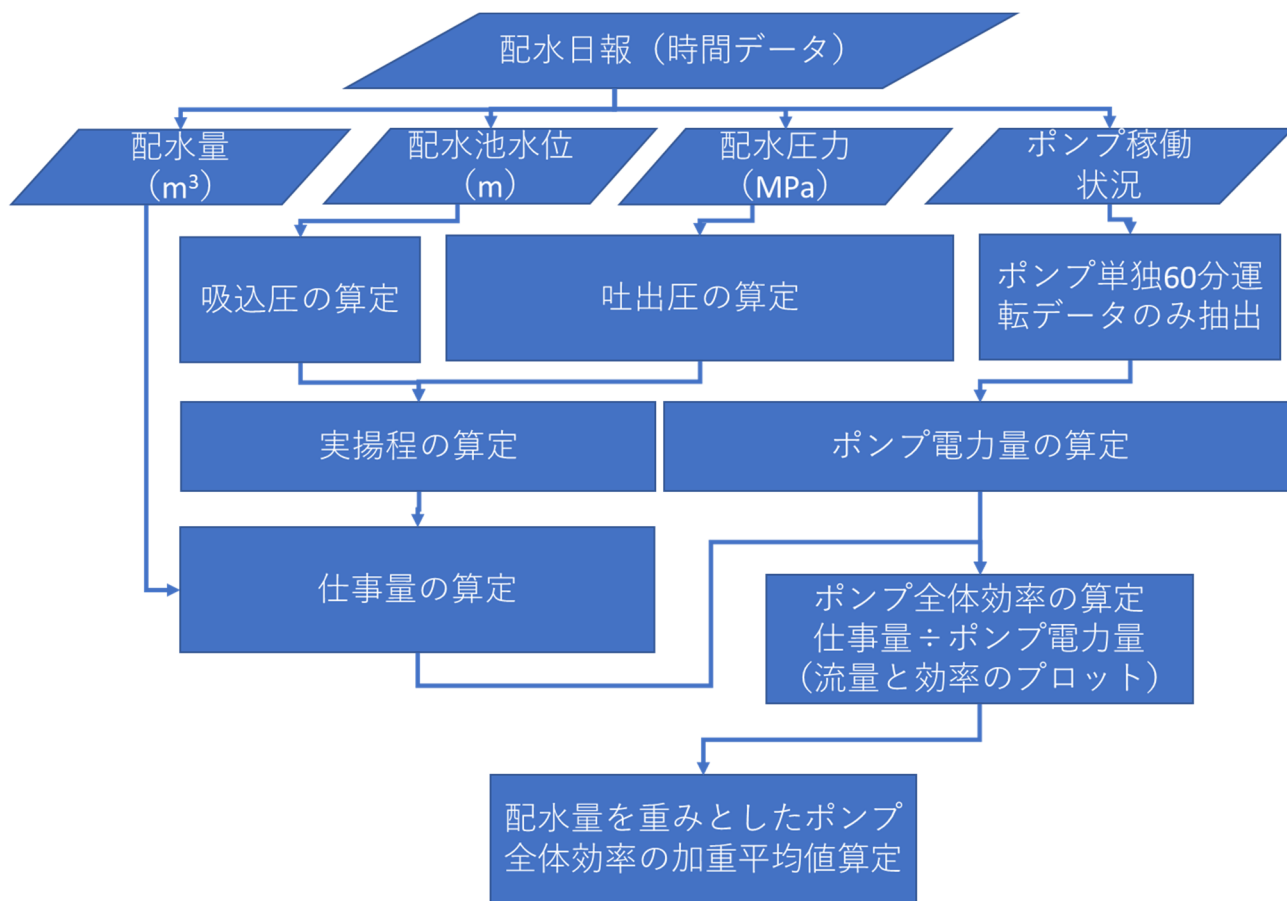


図 3-3 ポンプ全体効率の確認の手順

配水日報の読み取り箇所を表3-2に示す⁵⁾。F3送水所の例では「配水・配水量」を配水量 (m³)、「配水・配水圧力」を配水圧力 (MPa)、「3号PCタンク水位」を配水池水位 (m)として仕事量 (kWh)を算定し、ポンプ全体効率を求めた。なお、電力量 (kWh) が計測されていないポンプについては、表3-2に示す日報⁵⁾より「配水ポンプ電流・1号から6号」を電流値 (A)、「配水ポンプ・1号から6号」を運転時間 (min)として読み取り、さらに、ポンプ試験成績表から23頁に示す方法で力率を把握した上で電力量 (kWh) を算定した。

表 3-2 配水日報の読み取り箇所 (例) ⁵⁾

帳票日報 F3送水所

令和2年4月1日(水)

項目	受 水		配 水		3号 PCタンク 水位	配水ポンプ電流						配水ポンプ					
	用供 受水量	F水道 受水量	圧力	配水量		圧力	1号	2号	3号	4号	5号	6号	1号	2号	4号	5号	6号
単位	m ³	m ³	MPa	m ³	MPa	m	A	A	A	A	A	A	min	min	min	min	min
1時	280	290	0.248	130	0.339	6.81	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
2時	280	290	0.250	110	0.336	6.99	7	0		0	0	0	0	0	0	0	0
3時	280	280	0.252	80	0.335	7.21	7	0		0	0	0	0	0	0	0	0
4時	280	280	0.251	240	0.409	7.11	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
5時	280	280	0.252	240	0.409	7.19	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
6時	280	280	0.255	270	0.409	7.79	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
7時	280	280	0.254	340	0.411	7.69	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
8時	280	280	0.254	340	0.411	7.69	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
9時	280	290	0.255	360	0.409	7.59	12	0		0	0	0	60	0	0	0	0

配水量
(積算値)

配水圧力
(瞬時値)

配水池水位
(瞬時値)

電流値
(瞬時値)

運転時間
(積算値)

配水ポンプの全体効率と流量について、表 3-3、3-4、図 3-4～3-7 に示す⁵⁾。同じ仕様の配水ポンプでは、全体効率に大きな差はないことが確認できた。現在の運転状況では、同じ稼働状況で特定のポンプの性能が低下しているポンプがないことが確認できた。

また、F4 送水所の固定速ポンプの流量は、バルブ開度で流量を調整していることから、ポンプ全体効率も低い値となっている。さらに、定格流量に対する平均流量の割合が約 30%以下であることから、ポンプ容量を現在のものから小さいものへ交換することも考えられる。なお、取水ポンプは、定格運転であることから分析の対象外とした。

表 3-3 単独運転時のポンプ全体効率

施設名称	設備名称	ポンプ諸元	ポンプ製造年	電動機定格電圧 (V)	力率 (%)	ポンプ全体効率 (算術平均)	ポンプ全体効率 (最大)	ポンプ全体効率 (最小)	ポンプ全体効率 (流量加重平均)
F1浄水場 (可変速)	1号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	54.3%	144.4%	21.2%	61.1%
	2号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	52.0%	71.9%	20.4%	58.8%
	3号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	52.7%	73.3%	21.0%	59.5%
	4号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	51.6%	71.4%	20.6%	58.2%
F2送水所 (4号固定速)	1号	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	98	40.2%	81.6%	7.6%	44.5%
	2号	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	96	39.5%	90.3%	10.7%	43.9%
	3号	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	96	39.5%	85.3%	10.9%	43.9%
	4号 (送水)	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	84	48.4%	57.2%	-5.7%	48.4%
F3送水所 (1、4、5、6号可変速) (2号固定速)	1号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	91	49.3%	102.4%	14.2%	55.0%
	2号	11.8m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	---	休止	休止	休止	休止
	4号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	99	43.8%	104.0%	12.7%	49.1%
	5号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	97	47.3%	108.6%	10.9%	53.1%
	6号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	99	45.3%	102.3%	13.1%	51.0%
F4送水所 (固定速)	1号	7.5m ³ /min×35m×75kW 三相	昭和58年	440	83	14.5%	28.8%	3.1%	16.5%
	2号	7.5m ³ /min×35m×75kW 三相	昭和58年	440	82	14.6%	30.3%	3.9%	16.5%
	3号	5.5m ³ /min×30m×45kW 三相	昭和58年	440	86	3.5%	14.4%	0.0%	4.6%

注：ポンプ全体効率の値が100%を越えているのは、電力量の計算で電流値の瞬時値を用いていることによるものと考えられる。全体効率が負の値になっているのは、ポンプの配水圧、配水池水位の瞬時値を用いていることによるものと考えられる。F3 送水所の 2 号配水ポンプは非常用のため運転データがない。

表 3-4 単独運転時の流量⁵⁾

施設名称	設備名称	ポンプ諸元	ポンプ 製造年	電動機定格 電圧 (V)	力率 (%)	定格流量 (m ³ /min)	平均流量 (算術平均) (m ³ /min)	最大流量 (m ³ /min)	定格流量割合 平均流量 (算術平均) (%)	定格流量割合 最大流量 (%)
F1浄水場 (可変速)	1号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	10.0	4.64	8.00	46.4%	80.0%
	2号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	10.0	4.61	8.00	46.1%	80.0%
	3号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	10.0	4.59	7.83	45.9%	78.3%
	4号	10m ³ /min×60m×150kW 三相	平成10年	440	76	10.0	4.57	8.00	45.7%	80.0%
F2送水所 (1、2、3号可変速) (4号固定速)	1号	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	98	7.1	4.13	7.50	58.1%	105.6%
	2号	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	96	7.1	4.09	7.50	57.7%	105.6%
	3号	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	96	7.1	4.11	7.67	57.9%	108.0%
	4号(送水)	7.1m ³ /min×50m×90kW 三相	平成25年	440	84	7.1	7.49	7.83	105.5%	110.3%
F3送水所 (1、4、5、6号可変速) (2号固定速)	1号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	91	13.5	5.14	9.17	38.1%	67.9%
	2号	11.8m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	---	11.8	休止	休止	休止	休止
	4号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	99	13.5	5.03	9.33	37.2%	69.1%
	5号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	97	13.5	5.07	9.17	37.5%	67.9%
	6号	13.5m ³ /min×35m×110kW 三相	昭和58年	3,300	99	13.5	5.07	9.00	37.6%	66.7%
F4送水所 (固定速)	1号	7.5m ³ /min×35m×75kW 三相	昭和58年	440	83	7.5	2.29	4.67	30.5%	62.2%
	2号	7.5m ³ /min×35m×75kW 三相	昭和58年	440	82	7.5	2.28	4.50	30.5%	60.0%
	3号	5.5m ³ /min×30m×45kW 三相	昭和58年	440	86	5.5	0.53	2.00	9.6%	36.4%

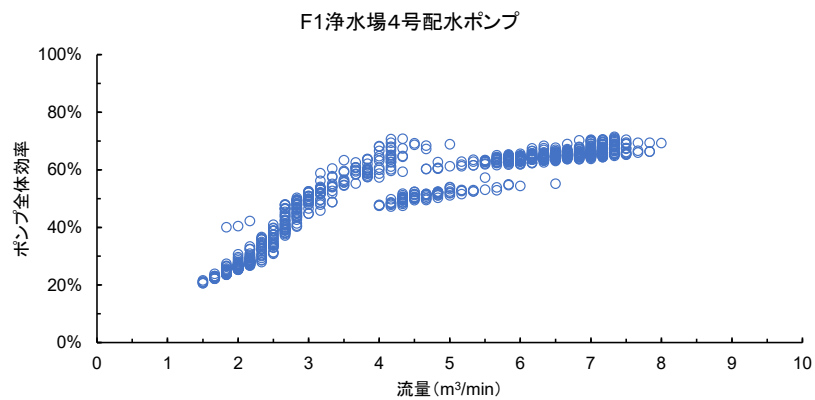
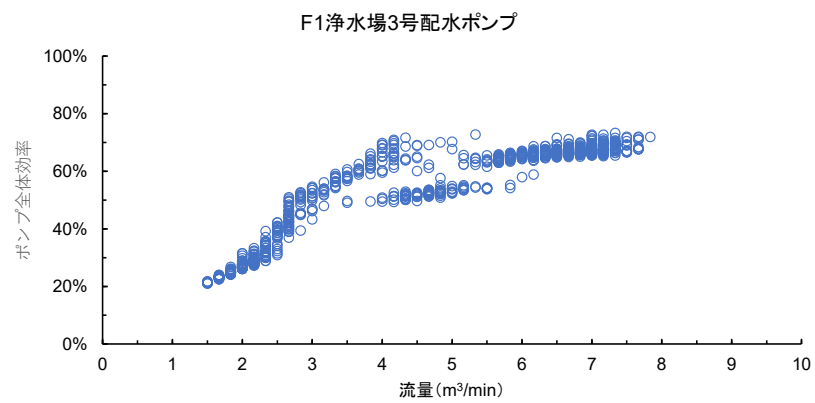
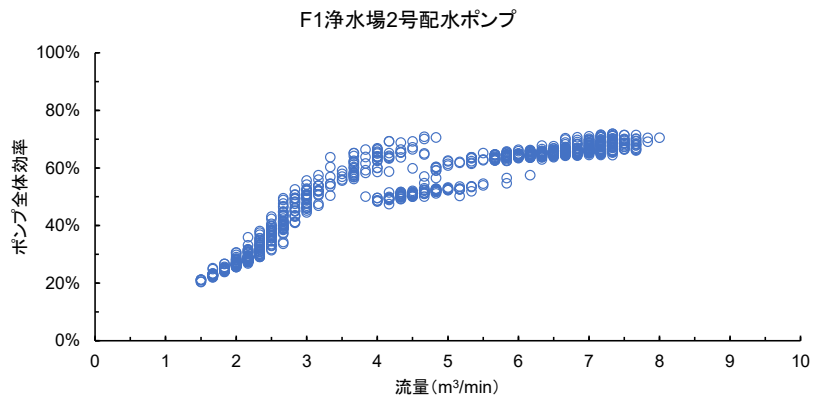
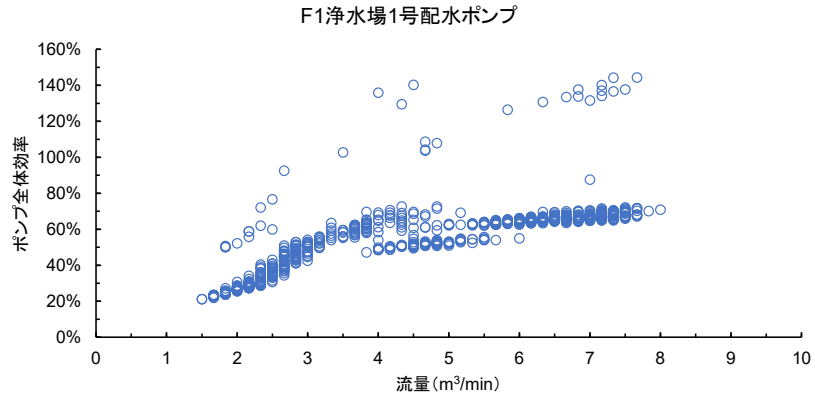
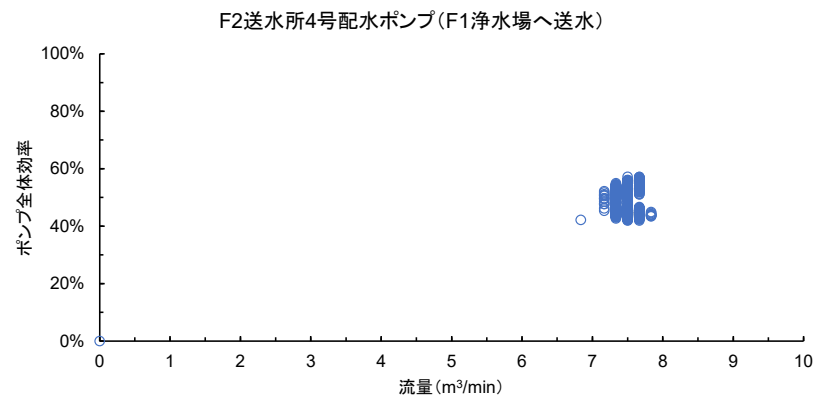
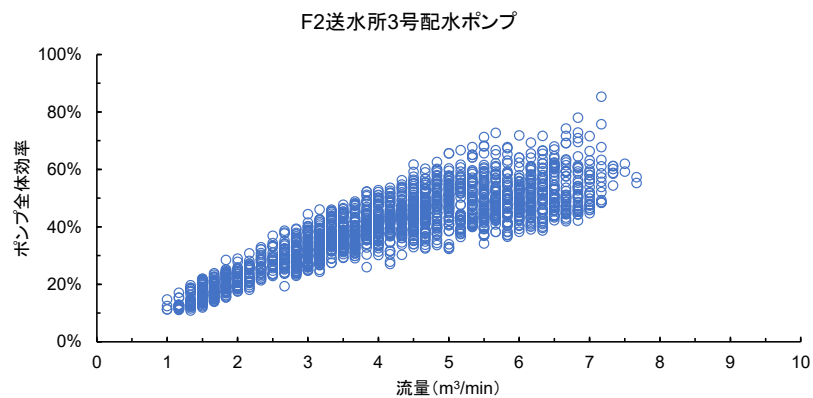
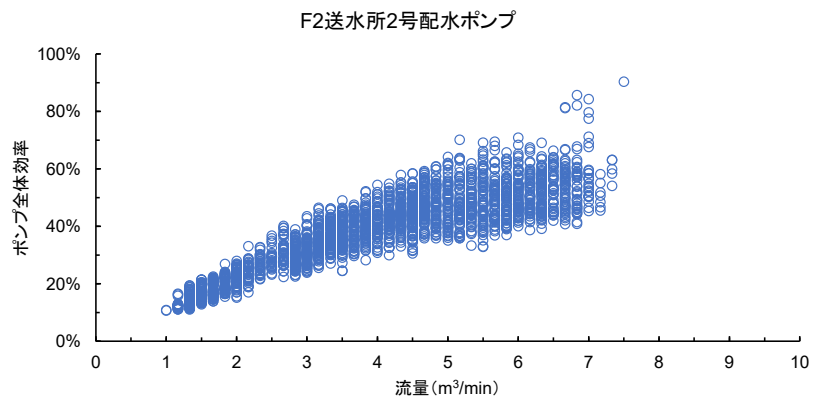
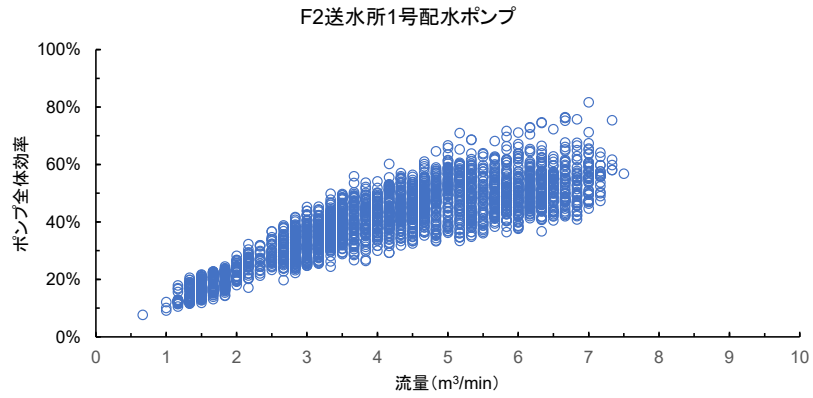
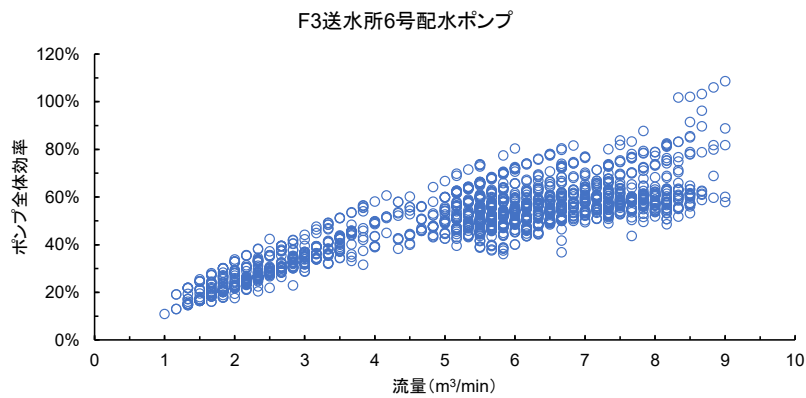
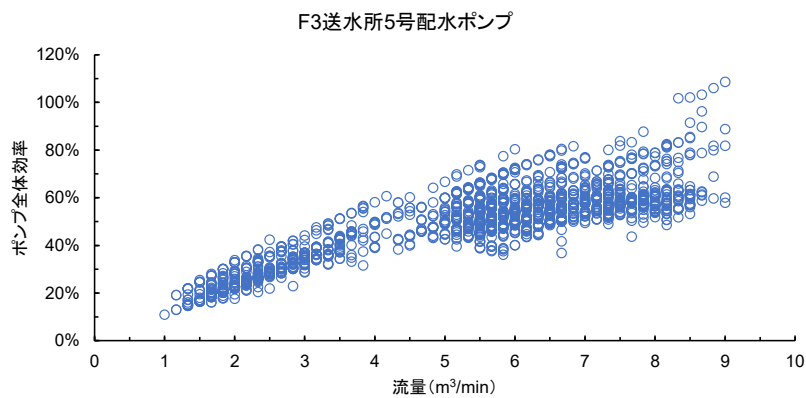
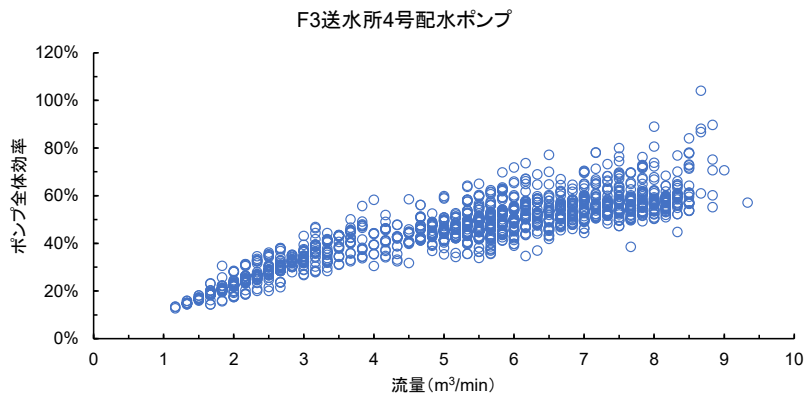
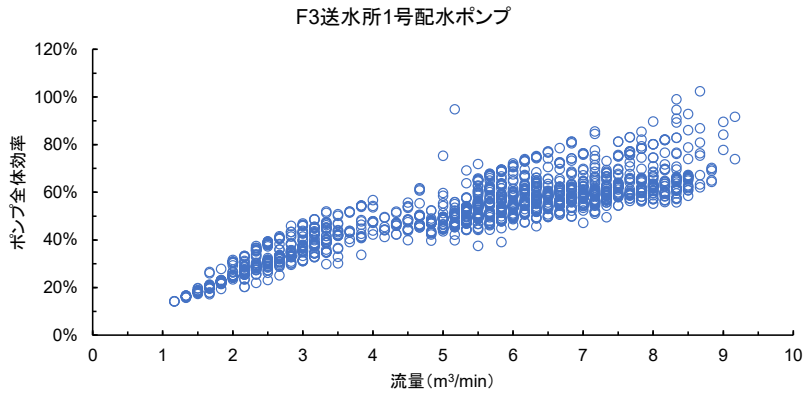


図 3-4 各ポンプの流量とポンプ全体効率の関係 (F1 浄水場)



注：4号配水ポンプ（固定速）はF1浄水場第2配水池への送水に利用されている。

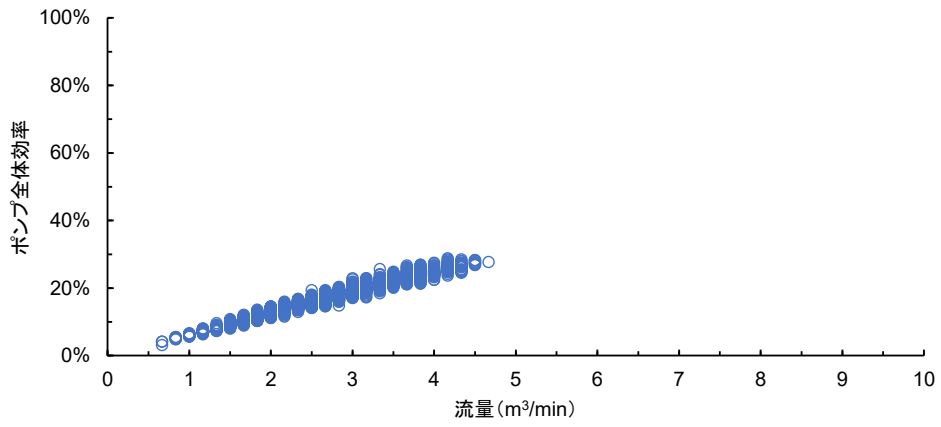
図 3-5 各ポンプの流量とポンプ全体効率の関係（F2送水所）



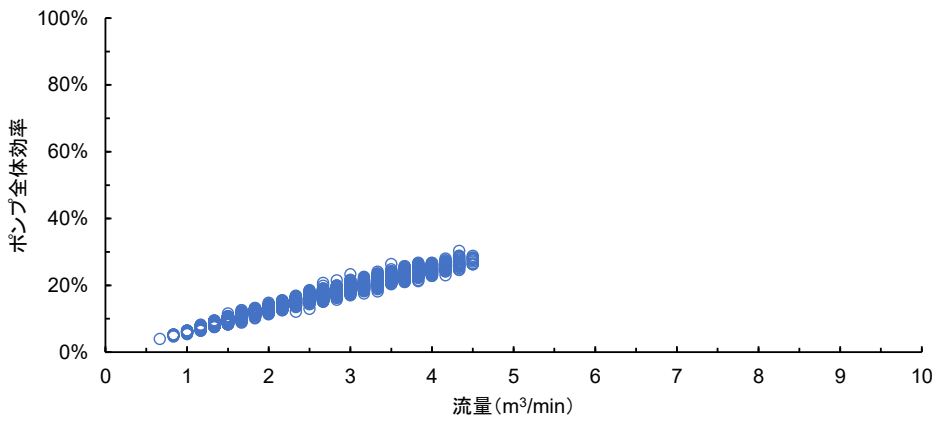
注：2号配水ポンプ（固定速）は非常用のためデータなし。

図 3-6 各ポンプの流量とポンプ全体効率の関係（F3 送水所）

F4送水所1号配水ポンプ



F4送水所2号配水ポンプ



F4送水所3号配水ポンプ

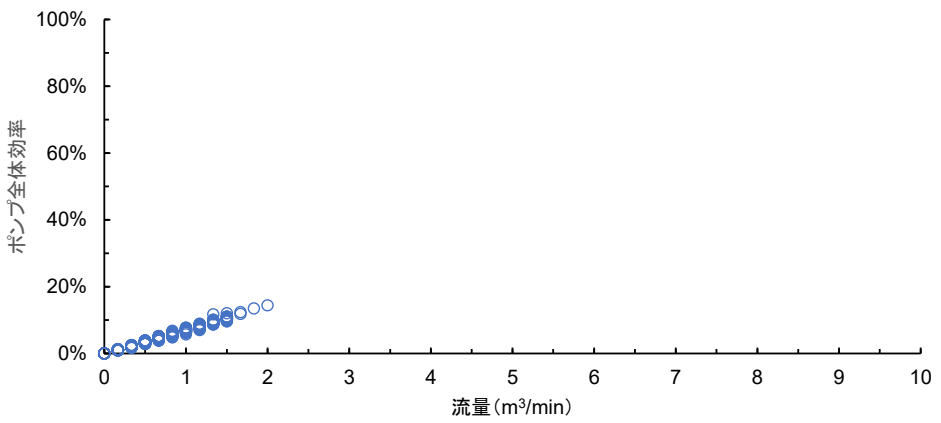


図 3-7 各ポンプの流量とポンプ全体効率の関係 (F4 送水所)

3.2.2 ポンプ性能曲線を踏まえた削減余地の検討

各水道施設の配水量（流量）ごとに運転時間、全揚程、運転台数、電力量、水動力およびポンプ全体効率を算定した（表 3-5～3-8）。

F4 送水所についてはポンプの全体効率が低くなっており、インバータによる回転速度制御を導入することがエネルギー対策として考えられた。他の送水所では、夜間の流量が少ない時間帯にポンプ全体効率が低くなっており、夜間は受水圧の活用や他系統接続によるポンプ停止（高い効率の送水所の優先運転）を検討することがエネルギー対策として考えられた。なお、全体効率が 100%を越えている数値は、電流値、実揚程（配水圧、配水池水位）が瞬時値であることで生じるバラツキにより生じているものである。

表 3-5 配水量ごとのポンプ全体効率の算定（F1 浄水場）

流量 m ³ /min	時間数 h	全揚程 (m)				運転台数 (台)				電力量 (kWh)				水動力 (kWh)				全体効率			
		最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均
1.5~2	386	32.7	～	34.3	33.5	1	～	2	1.1	21.0	～	45.0	41.0	8.1	～	10.3	9.6	19%	～	48%	24%
2~3	979	32.7	～	48.1	34.2	1	～	2	1.1	17.0	～	56.0	40.1	10.7	～	22.3	13.1	24%	～	87%	33%
3~4	311	33.1	～	48.6	42.4	1	～	2	1.0	21.0	～	61.0	43.0	16.5	～	30.2	23.6	42%	～	93%	55%
4~5	437	33.5	～	48.5	39.3	1	～	2	1.0	23.0	～	68.0	50.6	22.1	～	38.3	28.3	46%	～	136%	56%
5~6	342	33.5	～	49.0	44.4	1	～	2	1.0	37.0	～	76.0	66.3	27.5	～	46.7	40.4	49%	～	123%	61%
6~7	1,018	34.2	～	49.3	48.1	1	～	2	1.2	8.0	～	89.0	78.5	33.6	～	55.1	50.7	52%	～	653%	65%
7~8	1,293	34.0	～	50.6	48.3	1	～	4	1.8	43.0	～	105.0	91.0	39.3	～	63.8	58.3	52%	～	135%	64%
8~9	676	46.5	～	50.4	48.4	2	～	3	2.0	71.0	～	119.0	107.4	61.2	～	71.2	66.3	58%	～	94%	62%
9~10	633	47.2	～	49.8	48.4	2	～	4	2.0	79.0	～	132.0	121.5	70.4	～	79.2	74.7	58%	～	93%	62%
10~11	620	47.1	～	49.5	48.5	2	～	4	2.0	90.0	～	141.0	131.9	77.8	～	87.4	82.4	60%	～	89%	63%
11~12	612	47.7	～	49.5	48.5	2	～	4	2.0	103.0	～	151.0	142.0	85.8	～	95.1	90.2	61%	～	86%	64%
12~13	501	47.7	～	49.4	48.6	2	～	4	2.0	112.0	～	161.0	152.4	93.6	～	103.4	98.7	62%	～	87%	65%
13~14	489	48.0	～	49.6	48.8	2	～	4	2.0	118.0	～	172.0	163.1	101.9	～	112.1	106.7	63%	～	89%	66%
14~15	325	48.1	～	49.5	48.9	2	～	4	2.1	126.0	～	186.0	174.6	110.7	～	119.5	114.6	64%	～	90%	66%
15~16	110	47.6	～	49.6	48.9	2	～	3	2.3	180.0	～	197.0	186.8	116.6	～	127.0	122.0	64%	～	67%	65%
16~17	28	47.8	～	49.5	49.0	2	～	3	3.0	193.0	～	229.0	205.5	125.1	～	146.2	132.9	63%	～	66%	65%
合計	8,760											868,059				531,532					61%

表 3-6 配水量ごとのポンプ全体効率の算定（F2 送水所）

流量 m ³ /min	時間数 h	全揚程 (m)				運転台数 (台)				電動機入力 (kW)				水動力 (kWh)				全体効率			
		最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均
0~1	1	23.5	～	23.5	23.5	1	～	1	1.0	19.8	～	19.8	19.8	2.6	～	2.6	2.6	13%	～	13%	13%
1~2	1,134	21.5	～	38.3	26.7	1	～	2	1.2	18.9	～	76.1	24.6	3.5	～	11.5	6.8	8%	～	47%	28%
2~3	920	22.5	～	38.7	31.4	0	～	2	1.1	0.0	～	81.0	29.2	7.4	～	17.9	12.8	---	～	---	---
3~4	1,776	25.0	～	38.8	33.0	1	～	2	1.1	0.0	～	86.2	31.9	12.3	～	24.3	18.3	---	～	---	---
4~5	1,773	28.5	～	39.4	34.3	1	～	3	1.1	22.9	～	86.2	34.9	18.9	～	30.8	24.8	25%	～	110%	74%
5~6	1,288	27.8	～	39.8	34.4	1	～	3	1.1	26.8	～	88.4	38.5	23.3	～	37.7	30.4	33%	～	122%	81%
6~7	1,261	28.2	～	39.0	34.6	1	～	3	1.3	31.2	～	93.7	43.7	28.5	～	43.5	36.1	42%	～	121%	85%
7~8	558	29.3	～	39.6	35.2	1	～	3	1.9	37.0	～	110.0	52.5	33.5	～	49.7	42.0	41%	～	122%	83%
8~9	48	37.5	～	38.5	38.2	2	～	3	2.3	46.6	～	115.3	73.9	49.5	～	55.3	51.3	45%	～	115%	75%
合計	8,759											310,887				206,751					67%

表 3-7 配水量ごとのポンプ全体効率の算定 (F3 送水所)

流量 m ³ /min	時間数 h	全揚程 (m)				運転台数 (台)				電動機入力 (kW)				水動力 (kWh)				全体効率			
		最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均
1~2	707	25.7	～	41.1	28.1	1	～	2	1.0	19.8	～	29.7	23.2	4.3	～	12.3	7.6	19%	～	52%	33%
2~3	1,265	25.9	～	41.6	29.5	1	～	3	1.0	19.8	～	46.2	24.3	8.5	～	19.2	11.4	23%	～	73%	47%
3~4	567	26.9	～	41.8	33.5	1	～	2	1.0	23.1	～	42.9	28.1	13.3	～	26.2	18.3	38%	～	97%	66%
4~5	370	27.5	～	42.1	34.8	1	～	2	1.1	26.4	～	66.0	33.6	18.3	～	32.8	25.8	41%	～	111%	77%
5~6	2,049	32.0	～	42.2	35.3	1	～	4	1.1	19.8	～	79.2	37.3	26.7	～	39.9	31.6	41%	～	149%	86%
6~7	1,427	32.3	～	42.4	35.2	1	～	4	1.2	29.7	～	79.2	40.2	31.7	～	46.7	36.6	46%	～	140%	92%
7~8	1,204	32.3	～	42.4	35.3	1	～	4	1.3	33.0	～	89.1	44.5	37.4	～	53.9	42.9	49%	～	143%	98%
8~9	919	32.2	～	42.3	35.6	1	～	3	1.6	36.3	～	89.1	49.7	43.6	～	60.5	48.5	57%	～	153%	100%
9~10	242	33.6	～	42.1	36.7	1	～	3	2.0	42.9	～	85.8	61.2	49.7	～	67.0	55.8	65%	～	143%	94%
合計	8,750											323,852				267,023					82%

表 3-8 配水量ごとのポンプ全体効率の算定 (F4 送水所)

流量 m ³ /min	時間数 h	全揚程 (m)				運転台数 (台)				電動機入力 (kW)				水動力 (kWh)				全体効率			
		最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均
0~0.5	615	12.7	～	29.8	20.6	0	～	2	1.0	0.0	～	53.2	34.9	0.0	～	1.6	1.0	---	～	---	---
0.5~1	1,091	12.7	～	30.5	23.1	0	～	2	1.3	0.0	～	55.4	39.5	1.0	～	4.1	2.4	---	～	---	---
1~1.5	1,212	18.8	～	32.8	26.4	1	～	2	1.2	30.8	～	96.4	47.2	3.1	～	7.1	5.3	6%	～	18%	11%
1.5~2	1,966	12.3	～	33.1	28.0	1	～	2	1.1	0.0	～	95.9	50.1	3.7	～	9.4	7.5	---	～	---	---
2~2.5	1,269	20.0	～	32.1	28.5	1	～	2	1.0	31.2	～	57.2	50.2	6.5	～	11.9	10.0	16%	～	29%	20%
2.5~3	1,077	22.2	～	33.3	28.8	1	～	2	1.0	33.9	～	57.6	51.0	9.1	～	15.3	12.5	18%	～	31%	24%
3~3.5	738	25.3	～	34.1	28.8	1	～	1	1.0	47.1	～	58.1	51.6	13.1	～	17.8	14.9	24%	～	37%	29%
3.5~4	506	25.9	～	32.9	28.9	1	～	1	1.0	48.0	～	56.8	52.4	15.3	～	19.4	17.3	29%	～	39%	33%
4~4.5	266	26.0	～	32.1	29.0	1	～	1	1.0	49.3	～	57.6	53.5	17.4	～	22.8	19.6	32%	～	43%	37%
合計	8,740											418,813				75,934					18%

また、流量によっては複数台運転となっている F1 浄水場配水ポンプについて、ポンプ特性曲線に実際の運転点をプロットした (図 3-8、3-9)。

図 3-9 より、流量が 7~8 m³/min となる時間数の割合が最も大きい、3 m³/min 未満となる時間数の割合も 15%程度あることがわかる。また、ポンプ吐出し量が 8~12 m³/min の運転区間においては、ポンプの全体効率が性能試験の結果よりもやや低い値となっている。表 3-5 に示したように、ポンプ吐出し量が 8~12 m³/min の運転区間においてはポンプの運転台数が 2 台以上となっており、並列運転のために全体効率が低下している可能性が考えられる。

F1浄水場配水ポンプ

ポンプ 規定要目

項目	単位	値
吐出し量	m ³ /min	10
全揚程	m	60
回転速度	min ⁻¹	1180
原動機出力	kW	150
口径	mm	300×150
台数	台	4

使用電動機

項目	単位	値
電圧	V	440
電流	A	235
回転数	min ⁻¹	1,180
出力	kW	150
固定・可変	—	可変速

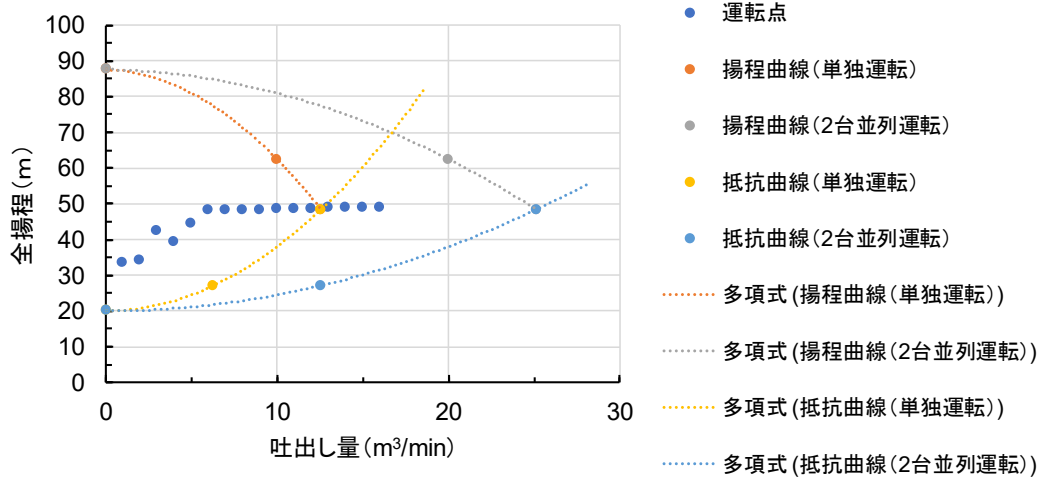
ポンプ性能曲線

		1	2	3	4	5	6	7	8
吐出し量	m ³ /min	0	10.01	12.57	0	20.02	25.14		
全揚程	m	87.55	62.42	48.38	87.55	62.42	48.38		
理論動力	kW	0	101.8	99.13					
軸動力	kW	47.25	123.7	137.6					
電動機入力	kW	51.36	129.84	144.24					
ポンプ効率	%	0.0%	82.3%	72.0%					
電動機効率	%	92.0%	95.3%	95.4%					
全体効率	%	0.0%	78.4%	68.7%					

管路抵抗

		1	2	3	4	5	6	7	8
吐出し量	m ³ /min	0	12.57	6.285	0	25.14	12.57		
全揚程	m	20	48.38	27.095	20	48.38	27.095		

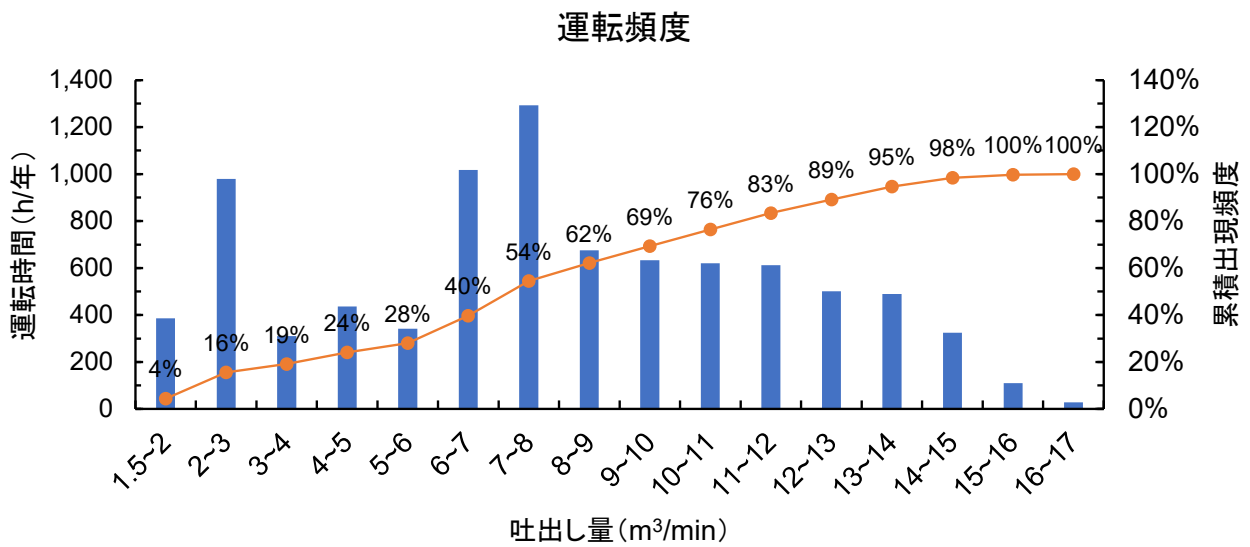
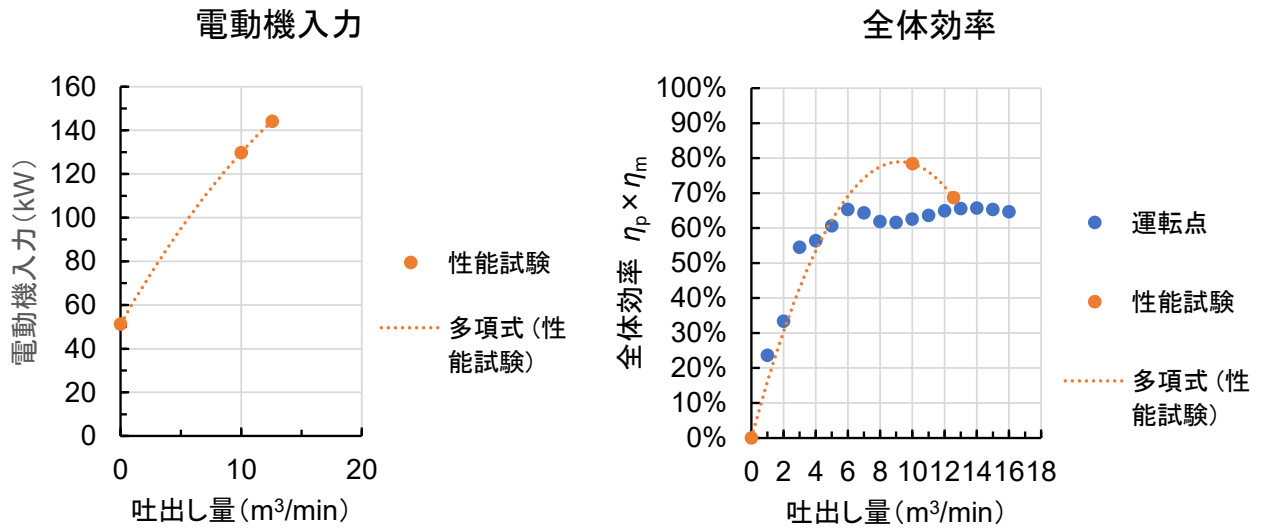
H-Q曲線



注 1：運転点は表 3-5 に示した各区間の流量の平均値と全揚程をプロットしている。

注 2：揚程曲線はポンプの試験成績結果（上表）より吐出し量と全揚程の結果をプロットし、二次式による近似曲線を作成した。抵抗曲線はポンプの実揚程を 20 m として、定格運転時の全揚程（48.38 m）を通過するように二次曲線として与えたものである。

図 3-8 ポンプ揚程曲線と抵抗曲線



注：運転点は表 3-5 に示した各区間の流量の平均値と電力量、全体効率をプロットしている。

図 3-9 電動機入力、ポンプ全体効率と運転頻度（表 3-5 より作成）

第4章 エネルギー対策の方針検討（CO₂削減ポテンシャルの推計）

4.1 有効と考えられる対策の抽出

電力使用量の現状（第2章）、エネルギー効率の把握（第3章）の結果をまとめると以下のとおりである。

- ・ F1 浄水場では、深井戸からの取水、浄水処理によって、他の送水所よりも多くの電力を使用しており、電力量原単位も高くなっている（図 2-7、3-1）。
- ・ F1 浄水場では、第2配水池の位置エネルギーを配水ポンプの押し込み圧として利用できていない（図 2-1）。
- ・ F4 送水所の配水ポンプは固定速でバルブ制御を行っており、電力原単位が他の送水所と比べて高い（図 3-1）。
- ・ F1 浄水場で水道用水供給事業からの水（浄水）を直接受水すれば、F2 送水所から F1 浄水場第2配水池への送水ポンプが不要となる（図 2-1）。
- ・ F1 浄水場の配水ポンプについては、全体効率が最も高くなる吐出し量の付近で運転台数が複数台となっており、全体効率も試験成績と比較して低くなっている（図 3-9）。
- ・ 水道用水供給事業から受水した浄水には圧力が残っており、小水力発電など有効活用できる可能性がある（図 3-2）。
- ・ 水道施設の敷地に太陽光発電を設置できる可能性がある。

F 水道事業の水道施設におけるエネルギー対策による電力使用量の改善余地は、上記の特徴を踏まえて検討することとした。図 1-2 に示したエネルギー対策の具体的な検討フローに従い、電力使用量を削減できると考えられる対策を抽出した（表 4-1）。なお、エネルギー対策の方針検討に当たっては、CO₂削減ポテンシャルのほか、改善費用、安全性、安定性、維持管理性についても考慮されるのが通常であるが、本報告書ではCO₂削減ポテンシャルの推計方法についてのみ整理を行った。

表 4-1 CO₂削減ポテンシャルを推計した対策メニュー

区分	対策メニュー	対策の内容
管理強化・運用見直し	ポンプ吸込圧力を活用した配水	F4 送水所では、現在は水道用水供給事業からポンプにより受水した浄水を配水池で圧力開放し、その後配水ポンプにより配水をしているが、ポンプ吸込圧力を活用して配水を行うことにより、電力使用量を削減する。
	ポンプ運転台数の見直し	F1 浄水場の配水ポンプは、全体効率が最も高くなる吐出量の時に運転台数が 1 台から複数台へとになっており、全体効率が低下している。運転台数を 1 台とすることにより効率の高い状態で運転する。
設備改善、設備付加	可変速ポンプの導入	バルブ制御を行っている F4 送水所の固定速ポンプを、インバータによる回転速度制御を行う可変速ポンプとすることにより、電力使用量を削減する。
プロセスの変更、高効率機器の導入	自己水源の廃止、F1 直接受水および F1 第 2 配水池の位置エネルギー活用	深井戸からの取水ポンプと F2 送水所から F1 浄水場への送水ポンプを廃止し、F1 浄水場において水道用水供給事業の水（浄水）を直接受水する。 F1 第 2 配水池の水位を送水ポンプの一次側として、位置エネルギーを活用し、ポンプの全揚程を低下させることで電力使用量を削減する。
再生可能エネルギーの導入	太陽光発電の導入	F1 浄水場の敷地に太陽光発電を導入する。
	小水力発電の導入	受水地点に小水力発電を導入する。

4.2 電力使用量削減ポテンシャルの推計

4.2.1 管理強化・運用見直しによる CO₂削減ポテンシャル

本項では、「ポンプ吸込圧力を活用した配水」と「ポンプ運転台数の見直し」について CO₂削減ポテンシャルの推計を行った。

① ポンプ吸込圧力を活用した配水

F4 送水所において、夜間はポンプ吸込圧力（受水圧）で直接配水し、配水ポンプを停止して、電力使用量を削減することを検討した。

図 4-1 に示すように、配水池水位の実績最低が 31 m であることから、受水圧が 31 m 以上かつ夜間の 3 号ポンプのみ稼働している時間帯を停止することとして、削減量を算定した。

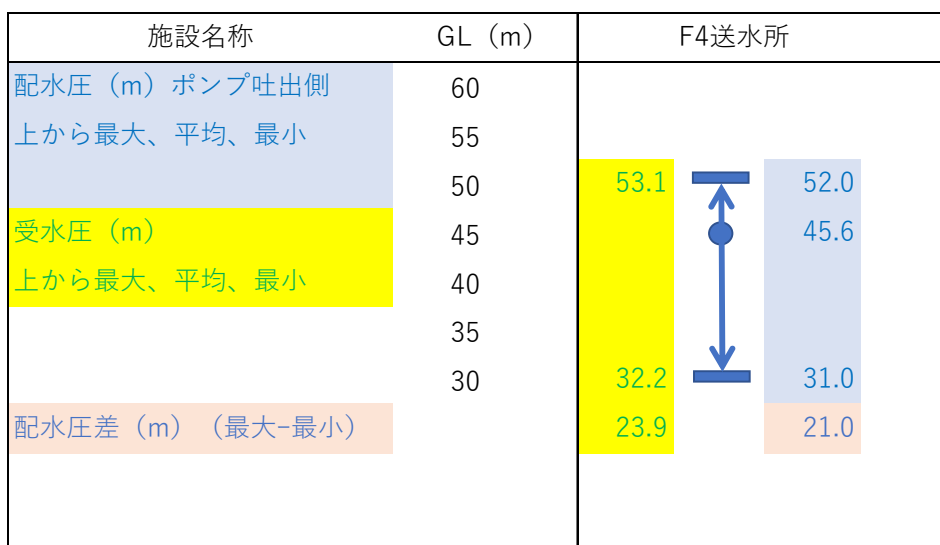


図 4-1 F4 送水所の受水圧と配水圧との関係

表 4-2 に示すように 3 号ポンプのみ稼働している夜間の電力使用量の 74,334 kWh/年の内、受水圧が 31 m 以上となっている時間帯の電力使用量の 32,332 kWh/年が削減可能となる。なお、後述するインバータ導入により電力使用量が削減されている場合は、20,660 kWh/年が削減可能となる。

表 4-2 F4 送水所の 3 号ポンプの運転時間

3号ポンプ運転と受水圧	電力使用量 (kWh/年)	総運転時間 (h/年) 年間全体：8,760 h
3号ポンプ単独運転時間帯	74,334	1,455
内、受水圧31 m以上の時間帯（受水圧活用による削減）	32,332	635
上記、インバータ導入後（36.1%減）	20,660	

② ポンプの運転台数の見直し

1) ポンプにおける省エネルギー対策の考え方

ポンプ制御の目的は、需要量の変動に応じて必要な水量と水圧を確保することであり、制御の目標別には水圧制御、水位制御および流量制御等がある⁷⁾。

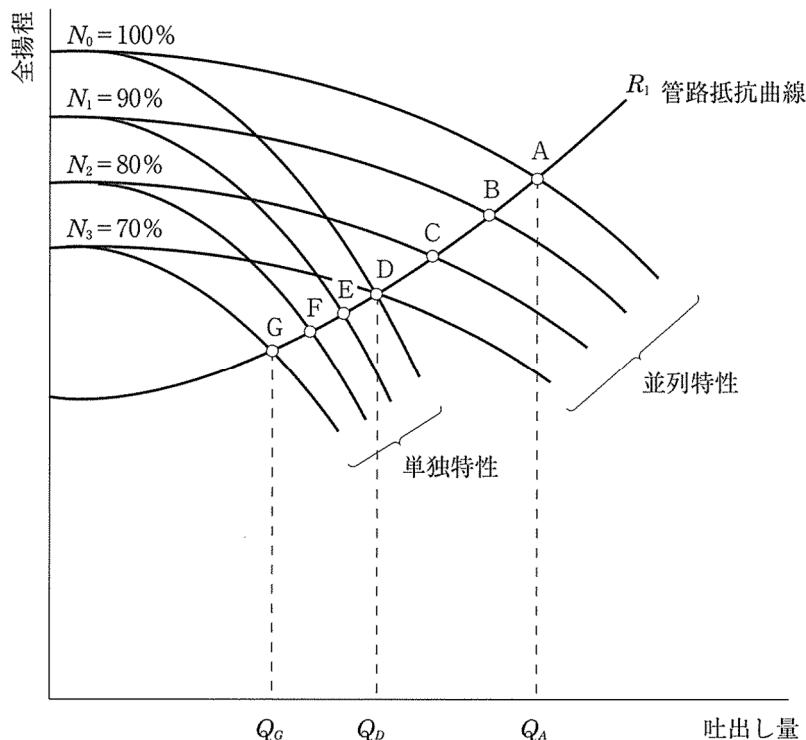
現在配置されているポンプ設備の制御目標、および制御方法を踏まえたうえで、ポンプに係る省エネルギー対策（管理強化・運用見直し、設備改善、設備付加、高効率機器の導入）についての検討を行う。ポンプに係る省エネルギー対策の考え方を表 4-3 にまとめた⁷⁾。

2) 配水ポンプの運転台数の見直し

ここでは、吐出し圧力一定制御となっている配水ポンプを対象として、配水ポンプ運転台数の見直しによる効果について検討を行った。

F1 浄水場、F2 送水所、F3 送水所の配水ポンプは可変速ポンプが複数台設置されており（表 2-5、2-6 参照）、回転速度制御と台数制御の組み合わせとなっている。

「水道施設設計指針」⁷⁾によれば、図 4-2 のように、吐出し量が Q_A から Q_D の間は 2 台並列運転で回転速度 70~100%、吐出し量が Q_D ~ Q_G の間は 1 台単独運転で回転速度 70~100%制御で対応できる。図中の Q_D はポンプの定格吐出し量に相当する。



出典：日本水道協会

図 4-2 回転速度制御と台数制御の組み合わせ（文献 7 の参考図-8.4.3 より掲載）

表 4-3 ポンプに係る省エネルギー対策の考え方（文献 7 の表 8.12.1 を基に作成）

制御目標	適用系	取水	送水	配水	制御方法		省エネルギー対策の考え方			
					台数制御+回転速度制御	台数制御+弁開度制御	①運転条件の見直し	②回転速度制御（インバータ等）の導入	③電動機（モーター）の更新	④ポンプ（電動機含む）の更新
水圧制御	吐出し圧一定制御	●			<p>回転速度制御回路 吐出し圧設定 吐出し圧 R: 目標値設定器 H₀: 吐出し圧目標値</p>	<p>吐出し圧設定 吐出し圧 Q: 流量 H₀: 吐出し圧目標値 H: 吐出し圧</p>	○ 制御目標とする吐出し圧を変更することは難しいと考えられるが、運転台数の見直しにより電力使用量を削減できる可能性もある。	◎ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
	末端圧一定制御	●			<p>回転速度制御回路 吐出し圧 吐出し圧 演算器 P: ポンプ M: 電動機 V: 吐出し弁 VT: ベンチュリ管 H₀ = aQ² + b Q: 流量 H: 吐出し圧</p>	<p>吐出し圧 吐出し圧 演算器 H₀ = aQ² + b</p>	○ 制御目標とする末端圧を変更することは難しいと考えられるが、運転台数の見直しにより電力使用量を削減できる可能性もある。	◎ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
水位制御	吐出し水槽水位一定制御	●	●		<p>回転速度制御回路 水位設定 水位 L: 水位目標値 L₀: 水位目標値 T: 水箱</p>	<p>吐出し水位設定 吐出し水位 L: 水位目標値 L₀: 吐出水位目標値 T: 水箱</p>	○ 吐出し水槽（送り側配水池）の設定水位を下げられる場合には、設定水位を下げることで電力使用量を削減できる。運転台数の見直しにより削減できる可能性もある。	○ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
	吐出し水槽水位一定+配水流量力スケード制御	●	●		<p>回転速度制御回路 水位設定 水位 TG: 回転速度検出用電流（タコジェネレータ） N: ポンプ速度 N₀: Q の速度換算値</p>	<p>吐出し水位設定 吐出し水位 L: 水位目標値 T: 水箱</p>	○ 吐出し水槽（送り側配水池）の設定水位を下げられる場合には、設定水位を下げることで電力使用量を削減できる。運転台数の見直しにより削減できる可能性もある。	○ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
流量制御	吐出し流量一定制御	●	●		<p>回転速度制御回路 流量設定 流量 Q₀: 流量目標値</p>	<p>流量設定 流量 Q₀: 流量目標値</p>	—	○ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。

F1 浄水場の配水ポンプの諸元は、全揚程 60 m、吐出し量 10 m³/min であるが（表 2-5 参照）、ポンプの運転実績を整理したところ実際の運転では全揚程が 48 m 程度に抑えられているため（図 3-8）、現在の全揚程を前提とすれば配水ポンプ 1 台で吐出し量 12 m³/min まで対応できる可能性がある。

表 3-5 より実際の運転状況を確認すると、吐出し量 8~12 m³/min の範囲は並列運転となっており、その間のポンプ全体効率、図 4-3 に示すようにポンプ性能試験結果の全体効率よりも低くなっている。この運転範囲においてポンプを単独運転とすれば、図 4-2 に示すように回転速度 N が並列運転の時よりも上昇し、ポンプの全体効率が現状よりも高くなる（全体効率 70~75%程度になる）ことが期待される。

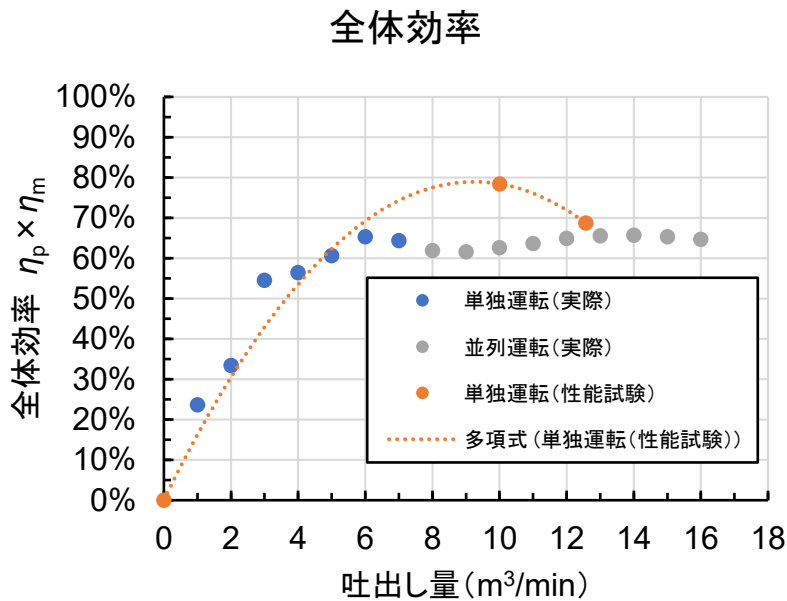


図 4-3 F1 浄水場配水ポンプの全体効率（性能試験結果と実際の運転点）

そこで、以下の式により配水ポンプを単独運転とした場合の電力使用量を推計し、運転台数の見直しによる電力使用量の削減効果を算定した（表 4-4）。

$$\text{単独運転とした場合のポンプ軸動力 (kW)} = \text{水動力 (kW)} \div \text{単独運転の場合の全体効率 (0.7~0.75)} \quad \text{式 4-1}$$

$$\text{電力使用量 (kWh)} = \text{ポンプ軸動力 (kW)} \times \text{運転時間 (h)} \quad \text{式 4-2}$$

吐出し量 8~12 m³/min の範囲ではポンプ単独運転とすることにより、49,315 kWh の電力使用量が削減できると期待される。

表 4-4 F1 浄水場の配水ポンプ運転台数見直しによる電力使用量削減効果

流量 m ³ /min	時間数 h	全揚程 (m)			運転台数 (台)		水動力 (kW)	全体効率 (平均)		電動機入力平均 (kW)		電力使用量 (kWh)							
		最小	~	最大	平均	現在		→ 対策後	現在	→ 対策後	現在	→ 対策後	削減量						
8~9	676	46.5	~	50.4	48.4	2.0	→	1.0	66.3	62%	→	70%	107.4	→	94.7	72,589	→	64,021	8,568
9~10	633	47.2	~	49.8	48.4	2.0	→	1.0	74.7	62%	→	75%	121.5	→	99.6	76,881	→	63,026	13,855
10~11	620	47.1	~	49.5	48.5	2.0	→	1.0	82.4	63%	→	75%	131.9	→	109.9	81,785	→	68,158	13,627
11~12	612	47.7	~	49.5	48.5	2.0	→	1.0	90.2	64%	→	75%	142.0	→	120.3	86,889	→	73,624	13,265
												計	49,315						

4.2.2 設備改善、設備付加によるCO₂削減ポテンシャル

① 回転速度制御（インバータ）の導入

ここでは、F4 送水所配水ポンプ（固定速）をインバータによる回転速度制御（可変速）とした場合の効果について検討を行った。

ポンプを固定速から可変速へと変更し、吐出し圧力一定制御で運転した場合の省エネルギーを計算する式としては、以下の式が公表されている¹¹⁾。

$$P_e = P_n \times \{(H_m - P_x) - (H_m - 1) \times Q_x^2\} \times Q_x \quad \text{式 4-3}$$

P_e ：軸動力の省エネルギー（kW）（インバータ導入前後の軸動力の差分）

P_n ：定格軸動力（kW）

P_x ：計測圧力比率（計測圧力÷ポンプの全揚程）

H_m ：締め切り圧力比（締め切り圧力÷ポンプの全揚程）

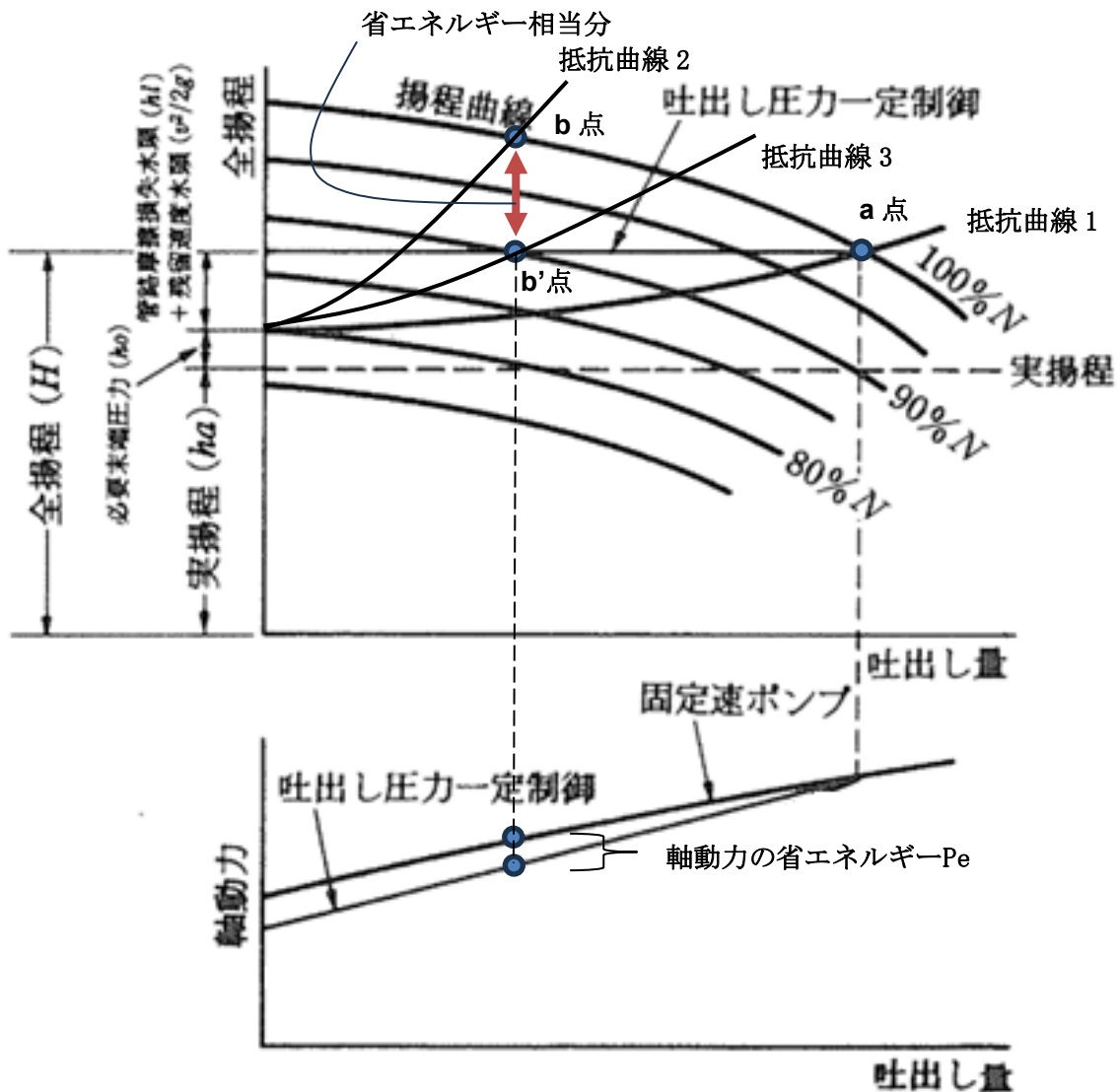
Q_x ：計測流量比率（計測流量÷ポンプの定格流量）

ここで、ポンプ性能曲線を用いてインバータによる回転速度制御（吐出し圧力一定制御）を行った場合の省エネルギー効果について図 4-4 を用いて説明する 7)。

固定速ポンプの場合には、流量変動（抵抗曲線 1 から抵抗曲線 2 への変化）に対して弁開度制御をかけ、吐出し圧力を一定に制御している。ポンプ動作点は抵抗曲線と Q-H 曲線（揚程曲線 100%N）の交点となり、図 4-4 中の a 点から b 点へと移動する 7)。

可変速ポンプで吐出し圧力一定制御の場合には、流量変動に対して回転速度制御をかけ、吐出し圧力を一定に制御している。図 4-4 中の Q-H 曲線（揚程曲線）は 100%N から x%N へ、抵抗曲線は抵抗曲線 1 から抵抗曲線 3 へと変化し、ポンプ動作点は抵抗曲線と Q-H 曲線（揚程曲線 x%N）の交点である b' 点へと移動する 7)。

吐出し圧力一定制御とした場合には、弁開度制御により増加した抵抗分の改善が省エネルギーとなり、ポンプ軸動力の差分が前述の軸動力の省エネルギー P_e となる。



出典：日本水道協会

図 4-4 弁開度制御と回転速度制御（吐出し圧力一定制御）の場合の運転点と省エネルギー
（文献 7 の図 8.2.22 を基に作成）

ここでは、日報から単独運転となっている配水ポンプの時間ごとの吐出し圧力（実績値）を整理し、弁開度制御となっている F4 送水所の配水ポンプ（固定速）を、インバータによる回転速度制御（可変速）とした場合の軸動力の省エネルギー P_e を前述の式により時間毎に算定することとした。

実際の運転時の計測流量、計測圧力は表 4-5 に示す日報より把握した⁵⁾。実際の吐出し圧力については時間により変動している。

表 4-5 配水日報の読み取り箇所（例）⁵⁾

帳票日報 F4 送水所

令和2年4月1日（水）

項目	配 水							配水タンク 水位	
	配水量	圧力	残塩	pH	濁度	色度	水温		
単位	m ³	MPa	mg/L		度	度	℃	m	
1時	60	0.297	0.85	7.1	0.01	0.1	15.2	5.39	
2時	40	0.300	0.85	7.1	0.01	0.1	15.2	5.62	
計測流量	30	計測圧力 (配水圧力÷0.009807+水圧計 GL) － (配水タンク水位+LWL)							86
	20								14
5時	20								42
6時	50								60
7時	130	0.403	0.85	7.1	0.01	0.1	15.2	6.52	

ここで、削減電力使用量の推計精度向上のため、定格流量時のポンプ全体効率 η_0 と、各計測流量におけるポンプ全体効率 η の比率 η_0/η を用いて、軸動力の省エネルギー P_e を補正することにより、電動機入力の省エネルギー P_e' (kW) を求めた。

$$P_e' = P_e \frac{\eta_0}{\eta} \quad \text{式 4-4}$$

P_e : インバータによる回転速度制御を導入した場合の軸動力の省エネルギー (kW)

P_e' : インバータによる回転速度制御を導入した場合の電動機入力の省エネルギー (kW)

なお、F4 送水所の配水ポンプについて、省エネルギー P_e (kW) を計算するための数値は表 4-6 に示すとおりである⁵⁾。表 4-6 中のポンプの締め切り圧力は図 4-5 に示す試験成績結果から読み取った⁵⁾。

図 4-6 にポンプの吐出し量とポンプ電力 (kW) の関係を示す。F4 配水ポンプ (1号、2号、3号) をインバータによる回転速度制御とした場合には、計測流量によっては電力使用量を削減できることが確認された。なお、図 4-6 は以下の式より回転速度制御とした場合の電力量を算定している。

$$EP_1 = EP_0 - P_e' \quad \text{式 4-5}$$

EP_1 : インバータ導入後の電動機入力 (kW)

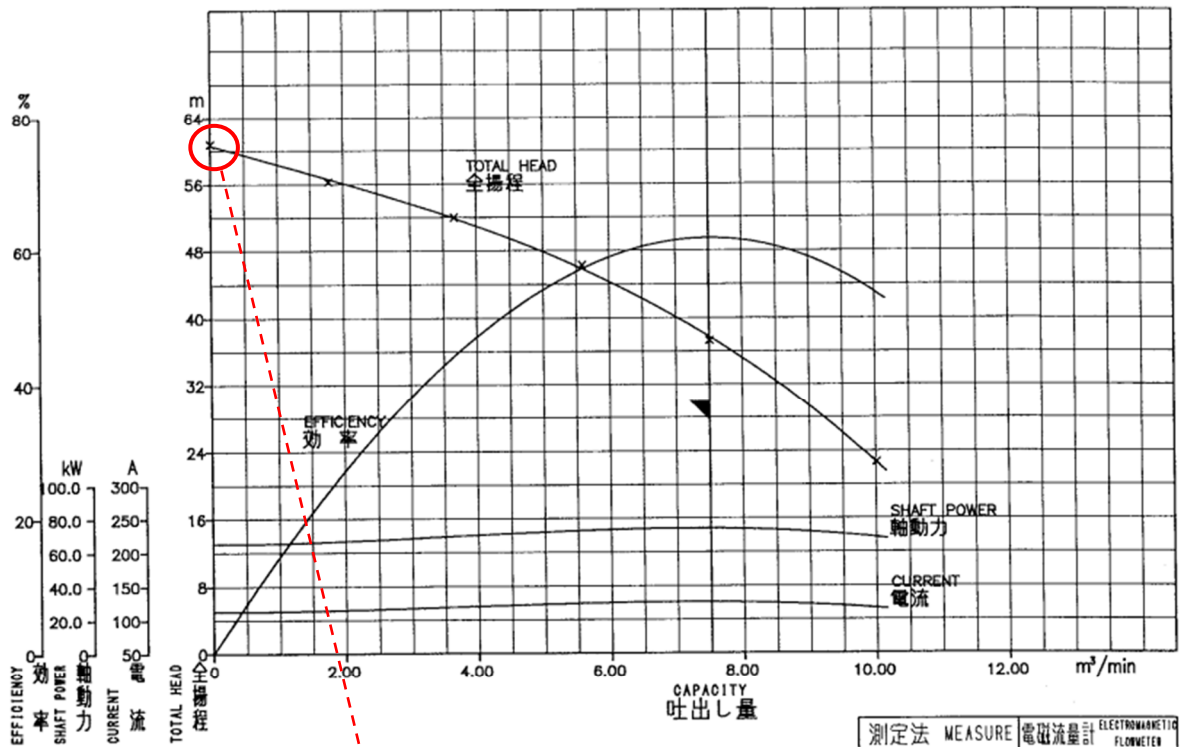
EP_0 : インバータ導入前の電動機入力 (kW)

表 4-6 ポンプ試験成績書から把握される数値（文献 5 の図○を基に作成）

	1号ポンプ	2号ポンプ	3号ポンプ
ポンプの定格軸動力 Pn (kW)	75	75	45
ポンプの全揚程 (m)	35	35	30
ポンプの締め切り圧力 (m)	60.8	56.9	50.5
ポンプの定格流量 (m ³ /min)	7.5	7.5	5.5

1号配水ポンプ

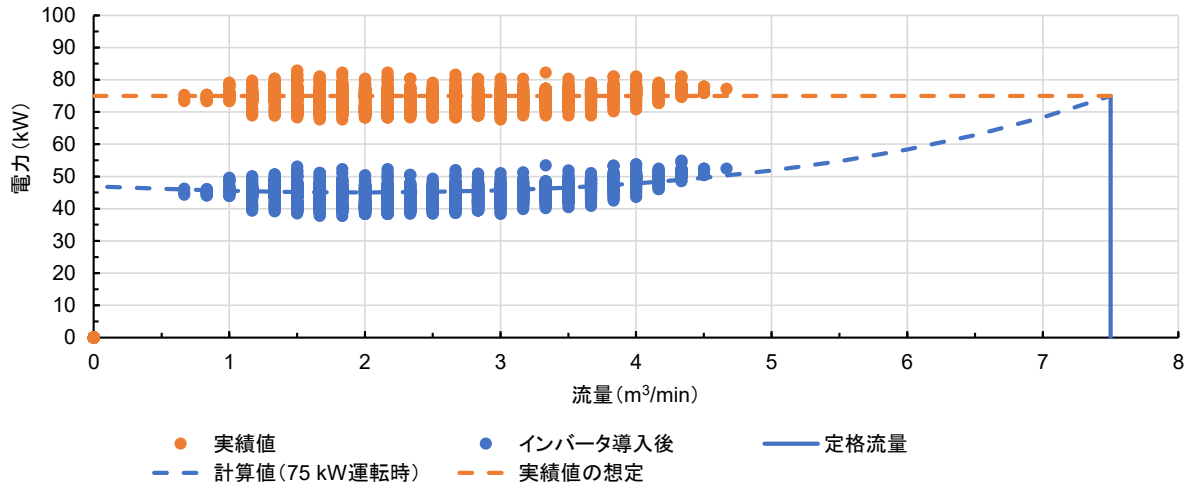
Booster Line Pumps
BST型ポンプ 試験成績表



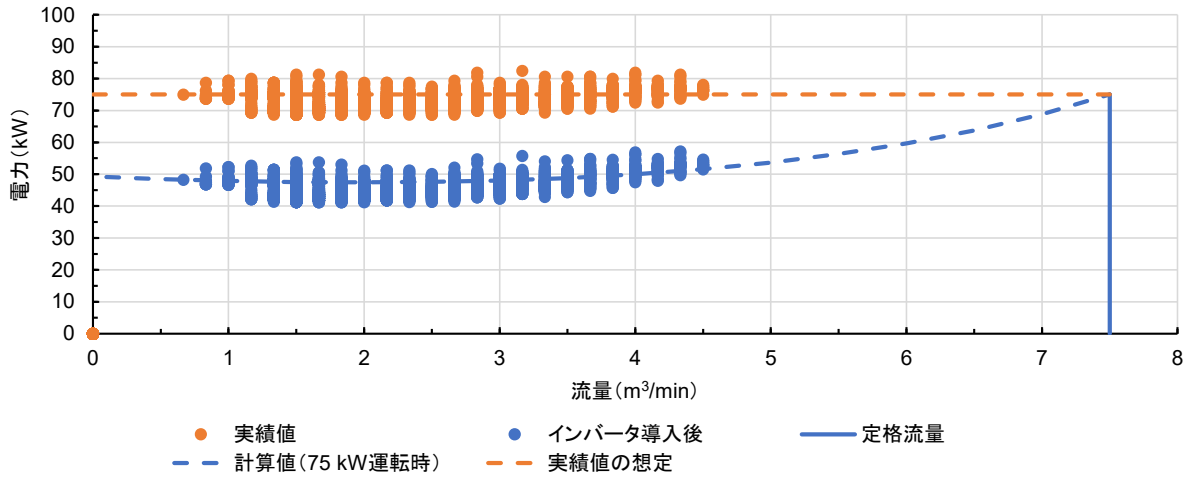
		測定法 MEASURE 電流量計 ELECTROMAGNETIC FLOWMETER										
		番号 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ポンプ PUMP	回転速度 SPEED OF ROTATION	m/min	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	吐出量 CAPACITY	m ³ /min	0.00	1.78	3.67	5.59	7.51	10.02	—	—	—	—
	吐出圧力 DIS. PRESS.	m	59.6	55.1	50.6	44.5	34.8	19.0	—	—	—	—
	吸込圧力 SUC. PRESS.	m	0.6	0.6	0.7	1.0	1.5	2.3	—	—	—	—
	測点高差 HEIGHT DIF.	m	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	—	—	—	—
	速度水頭 VEL. HEAD	m	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	—	—	—	—
	全揚程 TOTAL HEAD	m	60.8	56.3	52.0	46.3	37.3	22.7	—	—	—	—
	理論動力 WATER POWER	kW	0.00	16.33	31.09	42.24	45.67	37.02	—	—	—	—
ポンプ効率 PUMP EFF.	%	0.0	24.9	43.9	57.8	61.7	53.8	—	—	—	—	
電動機 MOTOR	電圧 VOLTAGE	V	439	442	441	441	440	442	—	—	—	—
	電流 CURRENT	A	113.0	112.4	120.3	124.5	125.1	116.8	—	—	—	—
	入力 INPUT	kW	71.22	71.15	76.75	79.21	80.25	74.58	—	—	—	—
	出力 OUTPUT	kW	65.73	65.67	70.81	73.06	74.01	68.83	—	—	—	—

図 4-5 試験成績表による締め切り圧力の例（F4 送水所 1号ポンプ）（赤丸の値）⁵⁾

1号 流量—電力



2号 流量—電力



3号 流量—電力

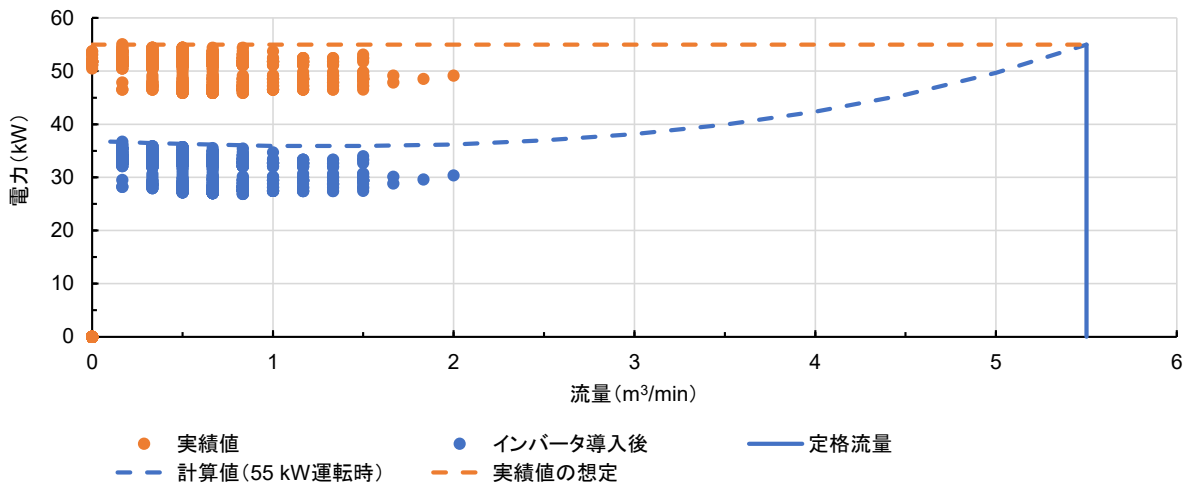


図 4-6 回転速度制御の導入効果の試算結果 (F4 送水所配水ポンプ)

図 4-6 の試算結果は本事例の場合であるが、実際のインバータによる回転速度制御の導入による使用電力量の削減効果は、使用するポンプの諸元や用途によってケース毎に異なることに注意が必要である。

表 4-7 に F4 送水所でインバータによる回転速度制御を行った場合の削減電力使用量をまとめた。時間帯によってはポンプ運転の切り替えが生じていることから、単独運転時での削減電力使用量の割合を算定し、全体の電力使用量に乗じることによって削減電力使用量を推計した。その結果、年間で 223,061 kWh の削減が可能と推計された。

表 4-7 F4 送水所のポンプのインバータ化による電力使用量の削減ポテンシャル

項目	計算式	1号ポンプ	2号ポンプ	3号ポンプ	合計
インバータ導入前、電力使用量 (kWh/年)、単独運転時	①	250,561	231,387	74,334	556,282
インバータ導入後、削減電力使用量 (kWh/年)、単独運転時	②	99,863	85,836	26,811	212,510
可変速 (インバータ) 制御導入後削減割合 (%)	③=②÷①	39.9%	37.1%	36.1%	38.2%
令和 2 年度電力使用量 (kWh/年)	④	261,796	242,041	80,215	584,052
令和 2 年度削減電力使用量 (kWh/年)	⑤=④×③	104,341	89,788	28,932	223,061

4.2.3 プロセスの変更、高効率機器の導入によるCO₂削減ポテンシャル

本項では、自己水源の廃止、F1浄水場直接受水およびF1第2配水池の位置エネルギー活用により、深井戸からの取水ポンプとF2送水所からF1浄水場への送水ポンプを廃止し、F1浄水場第2配水池の水位を送水ポンプの一次側として、位置エネルギーを活用して電力使用量を削減することについて検討した。

また、参考として、ポンプ設備の更新（容量の適正化、高効率化）によるCO₂削減ポテンシャルの推計方法について記載した。

① 自己水源の廃止、F1浄水場直接受水およびF1浄水場第2配水池の位置エネルギー活用

自己水源の廃止による取水ポンプの電力使用量およびF1浄水場直接受水によるF1浄水場への送水ポンプの電力使用量を削減した場合について検討した。なお、F1浄水場で水道用水供給事業の水（浄水）をF1浄水場第2号配水池で受水することから、F1浄水場第2配水池の水位を配水ポンプの一次圧とすることによりポンプの全揚程を低下させた場合（ポンプを更新した場合）の電力使用量の削減量を、表4-8に示す。

ポンプ更新した場合の電力使用量の削減量は、計画水量、ポンプ台数、1台当たり吐出し量は現状と同じとし、全揚程を8.9m低下させた場合として、以下の式により試算した。

$$\text{電力使用量の削減量 (kWh)} = 0.163 \times Q \text{ (m}^3\text{/min)} \times \Delta H \text{ (m)} \div \text{ポンプ全体効率 (-)} \times \text{運転時間 (h)}$$

式 4-6

Q：ポンプの吐出し流量 (m³/min)

ΔH：F1浄水場第2配水池の位置エネルギー活用による全揚程低下量 (m)

表 4-8 F1 浄水場のプロセス変更による電力使用量の削減ポテンシャル

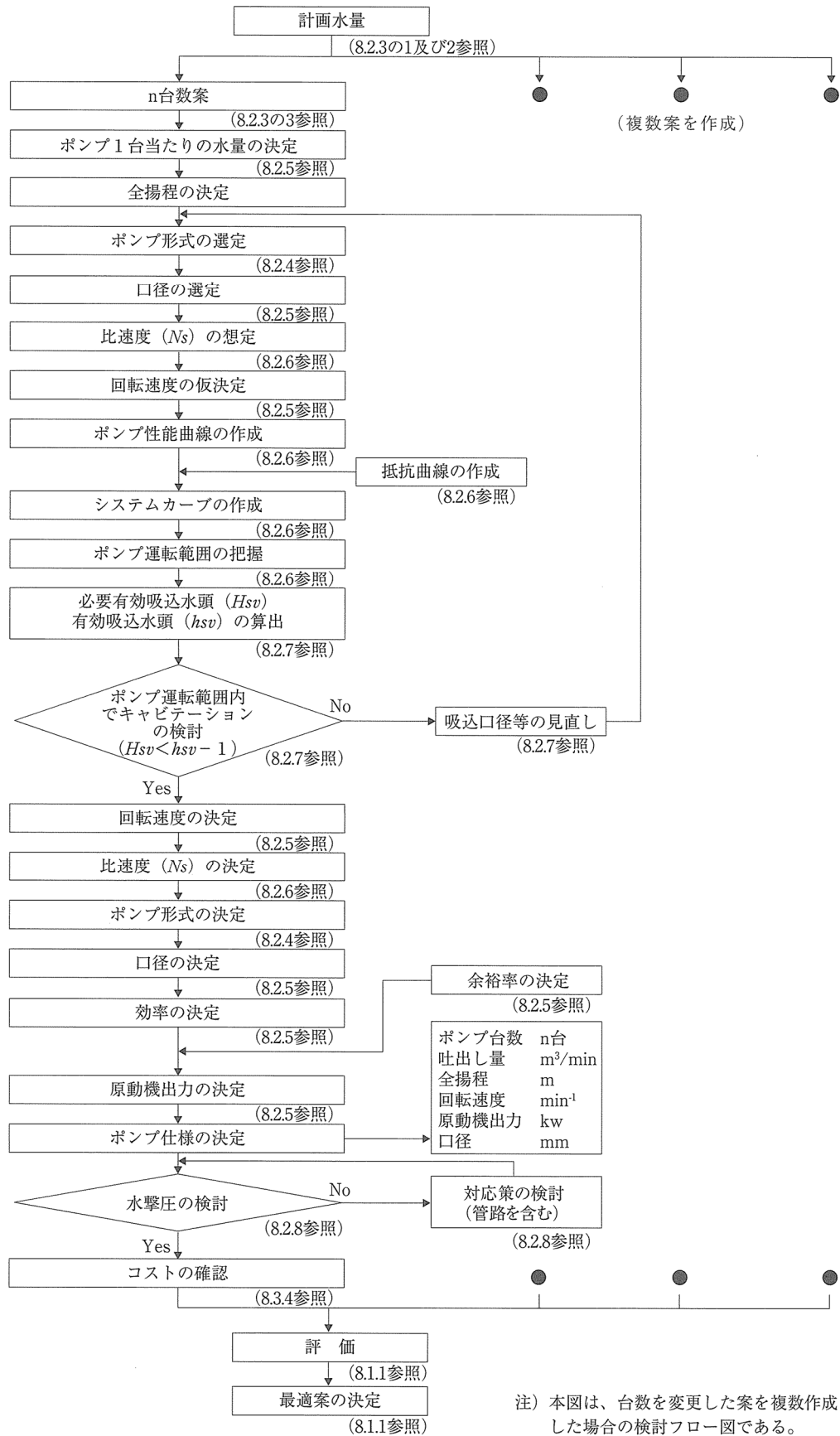
項目	廃止対象または削減対象施設	数値	単位	計算式
自己水源廃止	F1浄水場1号取水ポンプ	163,363	kWh/年	① 表2-9
	F1浄水場2号取水ポンプ	204,985	kWh/年	② 表2-9
	F1浄水場3号取水ポンプ	207,749	kWh/年	③ 表2-9
	F1浄水場5号取水ポンプ	275,385	kWh/年	④ 表2-9
	小計	851,482	kWh/年	⑤=①+②+③+④
F1浄水場送水廃止	F2送水所4号配水ポンプ（送水）	207,344	kWh/年	⑥ 表2-10
F1浄水場2号配水池活用	F1浄水場配水量（時間平均）	469.7	m ³ /h	⑦
	F1浄水場1号配水池年間平均水位	4.5	m	⑧ 図3-2
	F1浄水場2号配水池年間平均水位	13.4	m	⑨ 図3-2
	F1浄水場配水ポンプ全体効率	61%	%	⑩ 表3-5
	削減電力使用量=0.163×Q/60×ΔH/全体効率×年間運転時間	162,665	kWh/年	⑪=0.163×⑦/60×(⑨-⑧)/⑩×24×365
合計		1,221,491	kWh/年	⑫=⑤+⑥+⑪

② （参考）ポンプ設備の更新

1) ポンプ設備の設計

上記①の場合はポンプ台数、1台当たり吐出し量を現状と同じとし、揚程が8.9m低下したとしてポンプ更新による電力使用量の削減量を推計したが、ポンプ更新時に計画水量やポンプ台数、1台当たり吐出し量に変更となる場合も考えられる。

そのような場合には、「水道施設設計指針」のフロー（図4-7）⁷⁾に従ってポンプ設備の諸元について検討することが必要である。



出典：日本水道協会

図 4-7 ポンプ設備の最適案検討フロー（文献 7 の図 8.2.1 より掲載）

2) ポンプ更新後の電力使用量の推計

可変速ポンプ（回転速度制御）に更新する場合の使用電力 P_i (kWh) および電力使用量 (kWh) は以下の式により計算する⁷⁾。

$$P = \frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p} \quad \text{式 4-7}$$

$$N' = \frac{Q'}{Q} \quad \text{式 4-8}$$

$$P_0 = P \left(\frac{N'}{100} \right)^3 \quad \text{式 4-9}$$

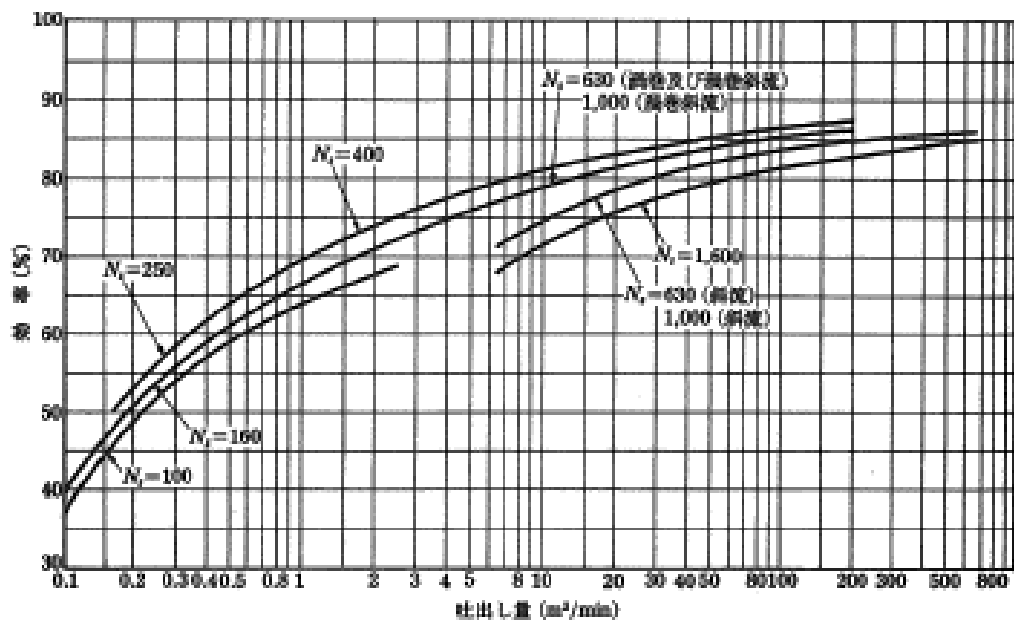
$$P_i = \frac{P_0 \times n}{\eta_m} \quad \text{式 4-10}$$

- P : ポンプの定格軸動力 (kWh)
- γ : 流体の単位当たりの質量 (kg/L)
- Q : ポンプの吐出し量 (m³/min)
- Q' : ポンプの時間当たりの水量 (m³/min)
- H : ポンプの全揚程 (m)
- η_p : ポンプ効率 (-)
- α : 余裕率 0.1~0.15 (電動機の場合)
- N' : 時間給水に必要なポンプの回転速度 (%)
- P_0 : 電動機 (出力) 1 台当たりの使用電力 (kWh)
- P_i : 電動機 (入力) の総使用電力 (kW)
- η_m : 電動機の効率 (-)
- n : 電動機の台数

まず、ポンプの吐出し量 Q 、全揚程 H 、ポンプ効率 η_p より、ポンプの定格軸動力 P を計算する。次に時間給水量 Q' の時の回転速度 N' を算出し、電動機 (出力) 1 台当たりの使用電力 P_0 を計算する。 P_0 が電動機の定格出力の何%に当たるかを計算し、その時の電動機効率 η_m を電動機の性能曲線から求め、式 4-10 より運転台数分の総使用電力 P_i を求める。これに運転時間を乗じて合計することにより年間の電力使用量が推計できる。

ポンプ効率 η_p はポンプの吐出し量 Q とポンプ効率 η_p の関係 (図 4-8) より設定する⁷⁾。電動機の性能曲線がない場合には、表 4-9 を基に電動機の効率を設定する¹²⁾。

更新するポンプ形式が決まっている場合には、図 4-9 に示すようなメーカーカタログより、ポンプの吐出し量 Q と全揚程 H から、電動機出力 (kW) を求める方法もある¹³⁾。電動機出力はポンプの定格軸動力に余裕率を見込んだ値であり、 $P (1 + \alpha)$ (kW) に相当する値となる。



注：比速度 (N_s) とはポンプ羽根車の形状を表す値であり、値が小さいほど吐出し量が少なく、高揚程のポンプとなる。

出典：日本水道協会

図 4-8 吐出し量とポンプ効率 (文献 7 の図 8.2.15 より掲載)

表 4-9 電動機の効率（文献 12 より掲載）

トップランナーモータ基準値とIEコードとの対比表

出力 (kW)	IE1 (%)	IE2 (%)	IE3 (%)	トップランナー基準 (%)	区分 (No.)	定格出力	定格周波数又は基底周波数
0.75	78.0	82.5	85.5	85.5	1	0.75kW以上0.925kW未満	60Hz
1.1	79.0	84.0	86.5	86.5	2	0.925kW以上1.85kW未満	
1.5	81.5	84.0	86.5				
2.2	83.0	87.5	89.5	89.5	3	1.85kW以上4.6kW未満	
3.7	85.0	87.5	89.5				
5.5	87.0	89.5	91.7				
7.5	87.5	89.5	91.7	91.7	4	4.6kW以上9.25kW未満	
11.0	88.5	91.0	92.4				
15.0	89.5	91.0	93.0	93.0	6	13kW以上16.75kW未満	
18.5	90.5	92.4	93.6				
22	91.0	92.4	93.6	93.6	7	16.75kW以上26kW未満	
30	91.7	93.0	94.1				
37	92.4	93.0	94.5				
45	93.0	93.6	95.0	95.0	10	41kW以上50kW未満	
55	93.0	94.1	95.4				
75	93.2	94.5	95.4	95.4	11	50kW以上100kW未満	
90	93.2	94.5	95.4				
110	93.5	95.0	95.8				
132				96.2	13	130kW以上375kW以下	
150	94.5	95.0	96.2				
160							
185	94.5	95.4	96.2				
200							
375	94.5	95.4	96.2				
0.75	72.1	79.6	82.5	82.5	14	0.75kW	50Hz
1.1	75.0	81.4	84.1	84.1	15	1.1kW	
1.5	77.2	82.8	85.3	85.3	16	1.5kW	
2.2	79.7	84.3	86.7	86.7	17	2.2kW	
3.0	81.5	85.5	87.7	87.7	18	3kW	
3.7							
4.0	83.1	86.6	88.6	88.6	19	4kW	
5.5	84.7	87.7	89.6	89.6	20	5.5kW	
7.5	86.0	88.7	90.4	90.4	21	7.5kW	
11	87.6	89.8	91.4	91.4	22	11kW	
15	88.7	90.6	92.1	92.1	23	15kW	
18.5	89.3	91.2	92.6	92.6	24	18.5kW	
22	89.9	91.6	93.0	93.0	25	22kW	
30	90.7	92.3	93.6	93.6	26	30kW	
37	91.2	92.7	93.9	93.9	27	37kW	
45	91.7	93.1	94.2	94.2	28	45kW	
55	92.1	93.5	94.6	94.6	29	55kW	
75	92.7	94.0	95.0	95.0	30	75kW	
90	93.0	94.2	95.2	95.2	31	90kW	
110	93.3	94.5	95.4	95.4	32	110kW	
132	93.5	94.7	95.6	95.6	33	132kW	
160	93.8	94.9	95.8	95.8	34	160kW	
200	94.0	95.1	96.0	96.0	35	200~375kW	
375	94.0	95.1	96.0				
その他				計算式	36	その他	

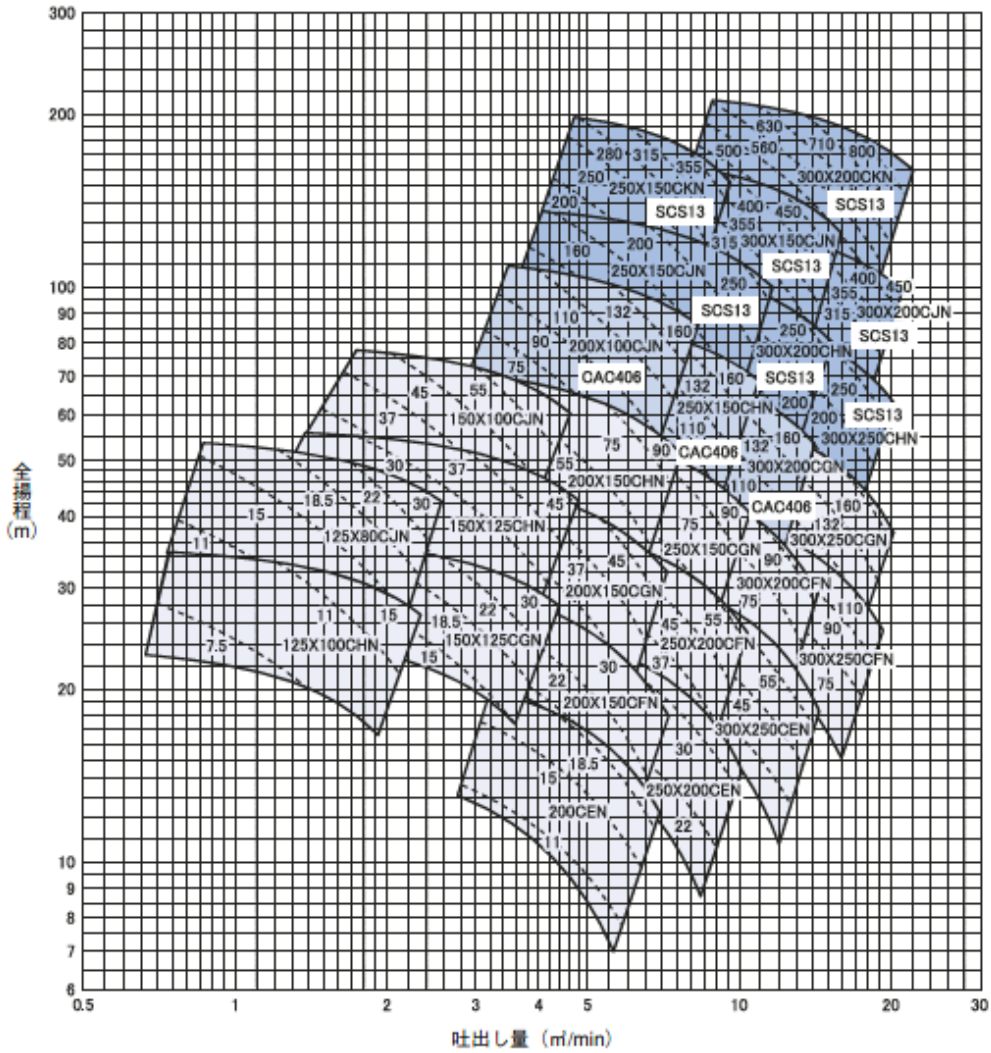
IE1～IE3の効率値は、4種の値。効率値が空欄は、IEC/JISに規定なし。

IE1：標準効率クラスのエネルギー効率（%）、IE2：高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（%）

出典：日本電機工業会（JEMA）

■選定図 60Hz 4極

- : 羽根車材料SCS13の機種
- : 羽根車材料CAC406の機種
- : 羽根車材料FC200の機種



- 注) 1. 線図内の数字-英字は呼び径(mm)-機種を、破線図内の数字は密度1.0kg/Lの場合の電動機出力(kW)を示します。
 2. 6極の場合、選定図が変わりますので当営業所へご照会ください。

出典：荏原製作所

図 4-9 ポンプ選定図の例 (文献 13 より掲載)

4.2.4 再生可能エネルギーの導入による CO₂削減ポテンシャル

① 太陽光発電

太陽光発電のポテンシャルを推計する。

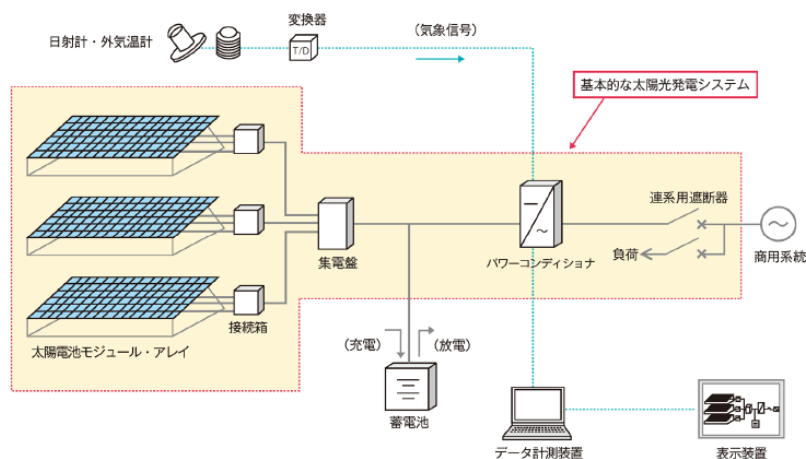
《検討のポイント》

浄水場の池上部、建物屋根上部、造成法面など、太陽光発電システムが設置可能と考えられる面積から、太陽光発電年間発電電力量を推計する。以下の条件により発電電力量は変化する。

- ・太陽光発電システムの形態（電力会社の配電線と連系する系統連系形と自家消費のみとなる独立形）
- ・使用する太陽電池セルの種類や設置角度

1) 太陽光発電システムの構成

太陽光発電の基本的なシステムは、図 4-10 に示すように太陽電池モジュール・アレイ、接続箱・集電盤、パワーコンディショナなどで構成される¹⁴⁾。ピークカットや防災用を目的とする際には、発電した電力をいったん蓄えて他の時間に使用する必要があるため、充放電用の蓄電池を設置する。発電管理を目的として発電した電力や日射量などを計測・記録する場合は、日射計・外気温計、データ計測装置、表示装置などを設置する。電力会社の配電線と連系する系統連系形と自家消費のみとなる独立形に大別される。



出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

図 4-10 太陽光発電のシステム構成（文献 14 の図 2-3 より掲載）

太陽電池セルとは、光起電力効果を利用し、光エネルギーを直接、電力に変換する電力機器で、太陽電池の最小単位である¹⁴⁾。複数の太陽電池セルを所定の出力が得られるように電氣的に接続したものを長期間の使用に耐えられるようガラスや樹脂を用いて封止し、機械的強度を確保するとともに、固定設置するための枠を取り付けたものを太陽電池モジュールと、電圧を高めるため、太陽電池モジュールを複数枚、直列に接続したものを太陽電池ストリングと、太陽電池ストリングをさらに複数、並列に接続し、所定の電力が得られるように構成し、架台などに固定したものを太陽電池アレイと呼ぶ¹⁴⁾。太陽電池モジュールの種類としては、表 4-10 に示すものがある¹⁵⁾。米国の国立再生可能エネルギー研究所（National Renewable Energy Laboratory (NREL)）は、太陽電池セル、太陽電池モジュールの変換効率の変遷を公表している（図 4-11、4-12）^{16,17)}。

表 4-10 実用化されている太陽電池モジュールの種類と特徴（文献 15 の図表 7 より掲載）

種類		特徴
シリコン系	結晶系	単結晶 160~200 μm 程度の薄い単結晶シリコンの基板を用いる。シリコンの原子が規則正しく配列した構造で、変換効率が高い。製品の歴史が長く、豊富な実績を持っている。 モジュール変換効率：15~19% 特長：性能・信頼性 課題：低コスト化
		多結晶 単結晶シリコンが多数集まってできている。単結晶シリコンに比べて、変換効率は若干低いが安価に製造ができる。 モジュール変換効率：13~15% 特長：単結晶より安価 課題：単結晶より効率が低い
		ヘテロ結合 結晶系基板にアモルファスシリコン層を形成した高効率な太陽電池である。変換効率が高く、特に住宅等の限られたスペースへの設置に優れている。
	薄膜系	アモルファス シリコン原子が不規則に集まった太陽電池であり、結晶系の約 1/100 の薄さで発電できる。また、ガラスやフィルム基板上に製造が可能となっている。波長感度は、短波長側にある。 モジュール変換効率：6~7%（アモルファス） 特長：大面積で量産可能 課題：効率が低い
		多接合 異なる波長感度特性を有する2つ以上の発電層を重ね合わせた太陽電池である。このため、単接合より発電効率が向上している。アモルファスと微結晶（薄膜多結晶）を組み合わせたタンデム構造が主流である。 モジュール変換効率：8~10%（多接合）
化合物系	CIS/CIGS 系 銅（Cu）・インジウム（In）・セレン（Se）の3つの元素を主成分とした太陽電池である。なお、CIGS はガリウム（Ga）を加えている。従来型のシリコン結晶系太陽電池とは全く異なる構造である。 モジュール変換効率：11~12% 特長：省資源・量産可能・高性能の可能性 課題：インジウムの資源量	
	CdTe 系 カドミウム・テルルを原料とする化合物系モジュール モジュール変換効率：11~12% 特長：省資源・量産可能・低コスト 課題：カドミウムの毒性	

出典：環境省

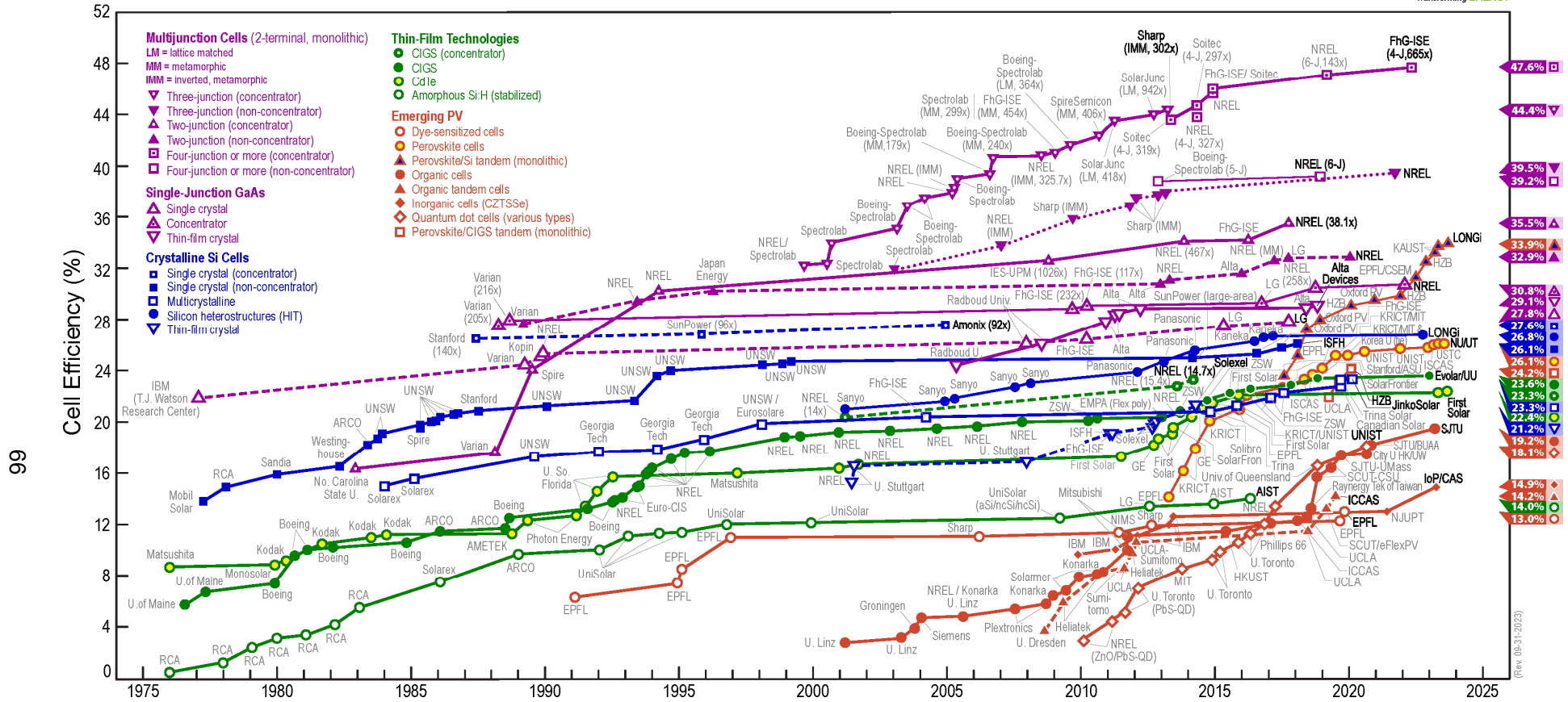
太陽光発電システムの現在の主な設置の種類は、表 4-11 に示すように屋根置き型、地上設置型、建物一体型であり、それぞれについて使用される太陽電池の種類や用いられる基板に特徴がある¹⁴⁾。

表 4-11 太陽光発電システムの用途と特徴（文献 14 の表 2-2 より掲載）

設置種類	特徴	主に使用される太陽電池	基板
屋根置き型	<ul style="list-style-type: none"> 住宅やビル等の屋根に設置されるタイプ。 架台に固定するため、モジュールにはガラス基板が用いられる。 設置面積に限られるため、発電効率の高い太陽電池を使用し、設置面積当たりの発電量を大きくすることが求められる。 	結晶シリコン系化合物系	ガラス基板
地上設置型	<ul style="list-style-type: none"> 平地に固定されるタイプ。メガソーラーが代表的。 架台に固定するため、モジュールにはガラス基板が用いられる。 広い土地に設置されるため、発電効率の中泥土であっても、トータルの発電コストが安くなる太陽電池が用いられる傾向にある。 	結晶シリコン系 薄膜シリコン系 化合物系	ガラス基板
建物一体型	<ul style="list-style-type: none"> 住宅やビル等の屋根材や外壁材等と太陽電池モジュールが一体化したタイプ。 デザイン性に優れていることや、屋根材とモジュール部材の共有による設備費の削減などのメリットがある。 シースルータイプのガラス基板を用いることで、発電と採光／遮光が両立できるガラス建材としても活用が可能。 フレキシブル基板を用いることにより、建物の曲面に沿った設置も可能。 	薄膜シリコン系化合物系	ガラス基板 フレキシブル基板
集光型	<ul style="list-style-type: none"> 小面積の高効率な多接続太陽光電池等にレンズや鏡で集光することにより、高い発電効率を実現可能となる。 特に、サンベルトなど豊富な日射量を得られる地域において有効 	III-V 族系	Ga、GaAs 等 (発電素子の基板)

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

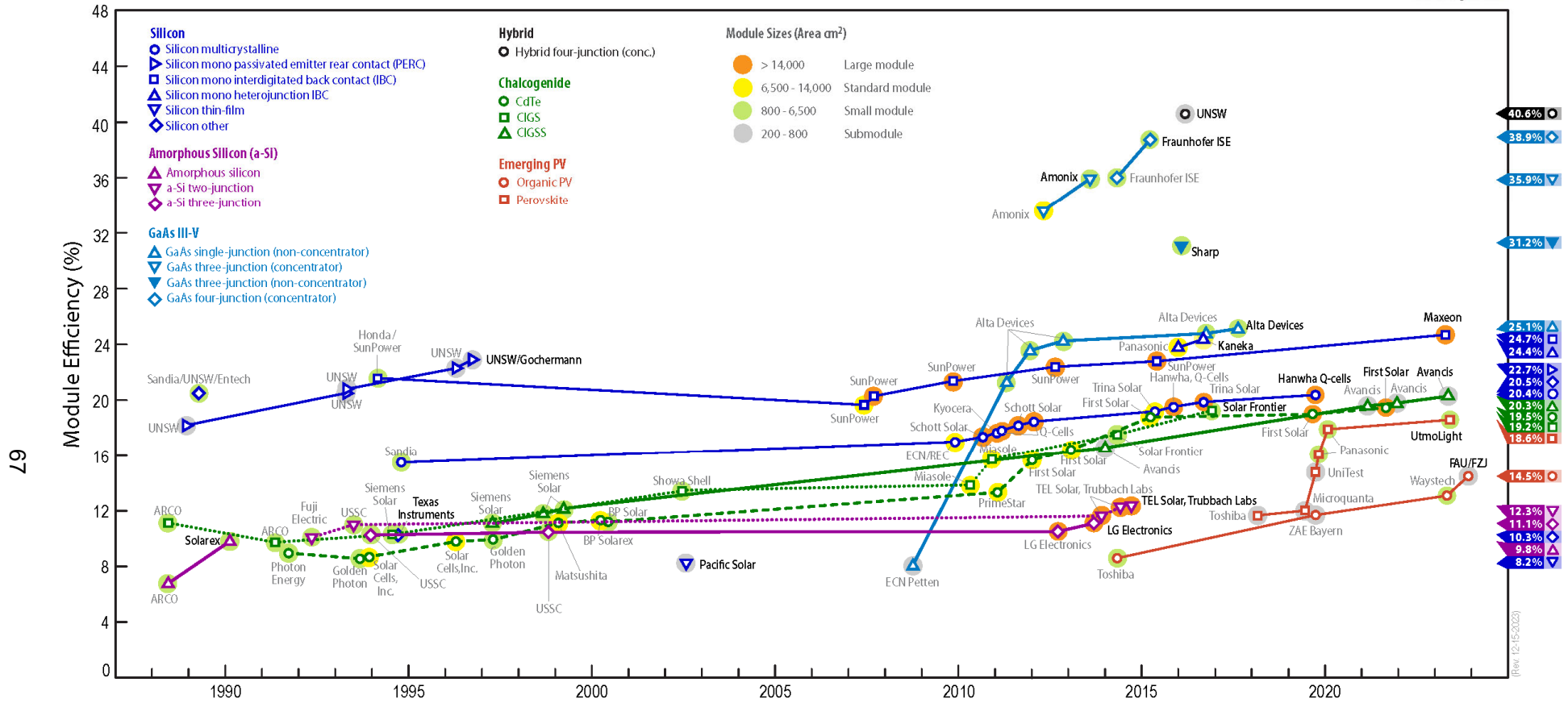
Best Research-Cell Efficiencies



出典：National Renewable Energy Laboratory (NREL)

図 4-11 試験研究用の太陽電池セルの変換効率の最高値の変遷 (文献 16 より掲載)

Champion Module Efficiencies



出典 : National Renewable Energy Laboratory (NREL)

図 4-12 太陽電池モジュールの変換効率の最高値の変遷 (文献 17 より掲載)

2) 年間発電電力量の推計方法

太陽光発電システムの年間システム発電電力量の推計方法は、日本産業規格（JIS）の「C8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法」（以下、JIS C8907）に規定されている¹⁸⁾。本規定の対象となる太陽光発電システムは以下のとおりである。

- ・ 系統連系形太陽光発電システムおよび独立形太陽光発電システムでシステム出力 1 kW 以上
- ・ 標準太陽電池アレイ開放電圧 750 V 以下

JIS C8907 では月間発電電力量を以下の式により算定し¹⁷⁾、各月の発電電力量を合計することで年間発電電力量を推計することとなっている。各月の発電電力量の計算表を表 4-12 に、発電電力量を計算するための補正係数値と基本設計係数 K' を表 4-13、4-14 に示す¹⁸⁾。

$$EP_m = HA_m / G_s \times P_{AS} \times K \quad \text{式 4-11}$$

$$K = K' \times KPT \quad \text{式 4-12}$$

$$KPT = 1 + \alpha P_{\max} \frac{TCR - 25}{100} \quad \text{式 4-13}$$

$$TCR = TAV + \Delta T \quad \text{式 4-14}$$

EP_m	: 月間発電電力量 (kWh/月)
HA_m	: 月積算傾斜面日射量 (kWh/m ² 月)
G_s	: 標準試験条件における日射強度 (kW/m ²) (=1.0kW/m ²)
P_{AS}	: アレイ出力 (kW)
K	: 月別総合設計係数
K'	: 基本設計係数 (総合設計係数から温度補正係数を除いたもの)
KPT	: 温度補正係数 (-)
αP_{\max}	: 最大出力温度係数 (%/°C)
TAV	: 月平均気温
TCR	: 加重平均太陽電池モジュール温度 (°C)
ΔT	: 加重平均太陽電池モジュール温度上昇 (°C)

なお、基本設計係数 K' は JIS C8907 に示された補正係数 (表 4-13) を用いれば¹⁸⁾、表 4-14 のように計算できる。

月積算傾斜面日射量、月平均気温については、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の日射量データベース閲覧システムの値が利用できる¹⁹⁾。

表 4-12 年間システム発電電力量の推計（文献 18 の表 4 より掲載）

月	月平均日積算傾斜面 日射量 HS (kWh/m ² /d)	月積算傾斜面日射量 HAm (=d×HS) (kWh/m ² /month)	温度補正係数 KPT	月別総合設計係数 K=K'×KPT	月間システム発電電 力量推定値 EPm=K×PAS× HAm/GS (kWh/month)
1月					
2月					
3月					
4月					
5月					
6月					
7月					
8月					
9月					
10月					
11月					
12月					

年間システム発電電力量EPy(kWh/年)

出典：日本産業規格（JIS）

表 4-13 補正係数値（文献 18 の表 5 を基に作成）

補正係数名称	記号		補正係数値
日射量年変動補正係数	KHD		0.97
経時変化補正係数	KPD	結晶系	0.95
アレイ回路補正係数	KPA		0.97
アレイ負荷整合補正係数	KPM	連系形	0.94
		独立形	0.89
		日射に追従した負荷だけをもつ場合	0.91
蓄電池寄与率	γ BA		0.80
		日射に追従した負荷だけをもつ場合	0.37
蓄電池充放電効率	η BA		0.83
連系形インバータエネルギー効率	η INO		0.90
直流コンディショナエネルギー効率	η DDO		0.90
加重平均太陽電池モジュール温度上昇（℃）	Δ T	裏面開放形（架台設置形）	18.4
		屋根置き形	21.5
		屋根一体形	25.4
		裏面密閉形（建材一体形）	28.0
最大出力温度係数	α Pmax	結晶系	-0.40～-0.50（%・℃-1）

出典：日本産業規格（JIS）

表 4-14 基本設計係数 K' の計算例

補正係数項目	負荷の形態		
	系統連系形	独立形（直流負荷）	独立形（交流負荷）
日射量年変動補正係数 KHD	0.97	0.97	0.97
経時変化補正係数 KPD	0.95	0.95	0.95
アレイ回路補正係数 KPA	0.97	0.97	0.97
アレイ負荷整合補正係数 KPM	0.94	0.89	0.89
蓄電池寄与率 γ BA	—	0.8	0.8
蓄電池充放電効率 η BA	—	0.83	0.83
コンバータ実効効率 η DDO	—	0.9	—
インバータ実効効率 η INO	0.9	—	0.9
基本設計係数 K'	0.76	0.62	0.62
基本設計係数 K' 計算式	$K' = KHD \times KPD \times KPM \times KPA \times \eta$ INO	$K' = KHD \times KPD \times KPM \times KPA \times (1 - \gamma$ BA + γ BA $\times \eta$ BA) $\times \eta$ DDO	$K' = KHD \times KPD \times KPM \times KPA \times (1 - \gamma$ BA + γ BA $\times \eta$ BA) $\times \eta$ INO

表 4-13 に示した補正係数値¹⁸⁾より、系統連系形（蓄電池なし）、独立形（蓄電池あり、直流負荷）、独立系（蓄電池あり、交流負荷）の場合について試算した。

なお、アレイ出力 P_{AS} は、太陽光発電設備の設置可能面積が分かれば、以下の式により算定できる。

$$P_{AS} = G_s \times EF \times f \times A \quad \text{式 4-15}$$

- P_{AS} : 標準太陽電池アレイ出力 (kW)
- G_s : 標準試験条件における日射強度 (kW/m²) (= 1.0 kW/m²)
- EF : 太陽電池モジュールの変換効率 (-)
- f : 太陽光発電設備設置可能面積に対する太陽光発電パネル面積の割合 (-)
- A : 太陽光発電設備を設置できる面積 (m²)

太陽電池モジュールの変換効率 EF は設置する太陽電池セルの種類によって異なる（表 4-10）が、環境省地球温暖化対策課の「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル概要資料導入編」²⁰⁾によれば、戸建て住宅以外については、以下の式で表される。これは、太陽電池モジュールの変換効率 EF が 0.15、 f が 0.56 の場合に相当する。

$$P_{AS} = 0.0833 \times A \quad \text{式 4-16}$$

3) 年間発電電力量の推計

図 4-13 より²¹⁾、太陽光発電システムの設置可能面積 A を 870 m^2 とした場合の発電電力量について検討した。ここでは、構造上満たすべき条件については考慮せずに設置可能面積を算定している。



Google 社「Google マップ」²¹⁾に太陽光発電システム設置想定区域を記載

図 4-13 太陽光発電システムの設置可能面積の設定

以下の条件で、発電電力量を推計した結果を表 4-15 に示す。年間 $81,235 \text{ kWh}$ の発電電力量が得られると考えられた。

太陽光発電設備を設置できる面積 $A=870 \text{ m}^2$

太陽光発電の出力 $P_{As}=870 \times 0.0833=72 \text{ kW}$

基本設計係数 $K'=0.76$ (表 4-14 より系統連系形の場合を想定)

太陽光パネルの方位角 0° (南向き)

太陽光パネルの傾斜角：年間最適傾斜角 (年間発電電力量が最大となる傾斜角)

表 4-15 F 水道事業 F1 浄水場における太陽光発電システム年間発電電力量の推計結果

$$K' = 0.76$$

$$\text{標準太陽電池アレイ出力PAS(kW)} = 72 \text{ kW}$$

月	月平均日積算傾斜面 日射量 HS (kWh/m ² /d)	月積算傾斜面日射量 HAm (= d × HS) (kWh/m ² /month)	温度補正係数 KPT	月別総合設計係数 K = K' × KPT	月間システム発電電 力量推定値 EPm = K × PAS × HAm/GS (kWh/month)
1月	3.62	112.22	1.00	0.76	6,141
2月	3.93	110.04	0.99	0.75	5,942
3月	4.55	141.05	0.98	0.74	7,515
4月	4.86	145.80	0.96	0.73	7,663
5月	5.20	161.20	0.94	0.71	8,241
6月	4.29	128.70	0.92	0.70	6,486
7月	4.74	146.94	0.90	0.68	7,194
8月	5.23	162.13	0.90	0.68	7,938
9月	4.23	126.90	0.92	0.70	6,396
10月	4.07	126.17	0.94	0.71	6,450
11月	3.58	107.40	0.96	0.73	5,645
12月	3.36	104.16	0.99	0.75	5,625

年間システム発電電力量Epy(kWh/年) 81,235

月平均日積算傾斜面日射量および温度補正係数を求めるための月平均気温は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の日射量データベース閲覧システム¹⁹⁾より、MONSOLA20（3次メッシュ: 52351415；地点: F1 浄水場の緯度、経度、標高（5 m））の値を用いた。

② 小水力発電

《整理のポイント》

水道施設における未利用エネルギーで最も大きなものと考えられるのが、導・送・配水の残存水頭である。従来は、減圧弁などにより送・配水圧力を調整しているが、この減圧弁の代わりに水車による発電設備を設置して電気エネルギーに変換し、その残存水頭の有効利用を図ることができる。

「水道施設設計指針」⁷⁾によれば、検討内容は以下のとおりである。

1. 利用可能な流量・有効水頭（落差）、発電電力を消費する施設、設置場所の立地条件等、総合的に検討を行う。
2. 導入効果について検討し、目的の明確化と経済性の確認を行う。
3. 効率的に発電できる機器を選定する。

ここでは、温室効果ガス排出量を削減することを目的として小水力発電を導入した場合の年間発電電力量ポテンシャルの推計を行った。経済性の確認については本業務では行わないこととする。

小水力発電の発電機出力は以下の式で求める⁷⁾。

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

式 4-17

P ：発電出力（kW）

Q ：使用水量（ m^3/s ）

H ：有効水頭（落差）（m）

η_t ：水車効率（0.75～0.9）

η_g ：発電効率（0.82～0.93）

1) 有効水頭（落差）

有効水頭（落差）は図 4-14 に示す取水位と放水位の水位差から導水管路の損失水頭を差し引いて算出する。また、減圧バルブの代替に小水力発電設備を導入する場合は減圧バルブの前後の圧力差を有効水頭（落差）とすることができる。それ以外の場合は、直管、曲がり、漸縮等の局所損失、管路粗度係数等を考慮して計算する。

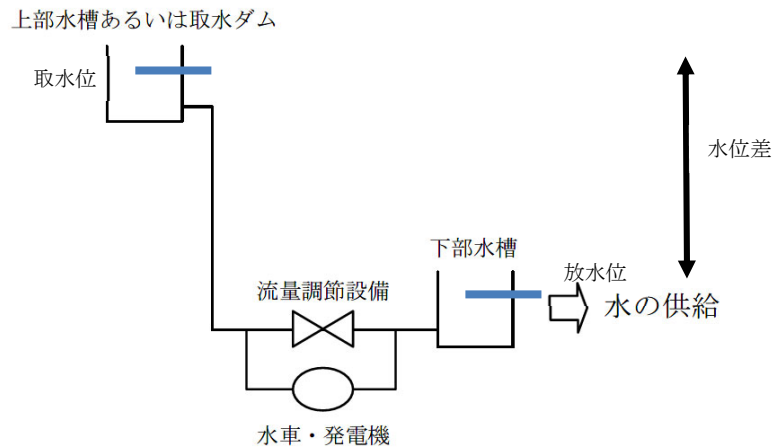


図 4-14 上下水道・工場内水利用のシステム

減圧バルブ前後の圧力から有効水頭（落差）を計算する場合、以下の式を用いる。

$$H = \{ \text{入口側圧力 (MPa)} - \text{出口側圧力 (MPa)} \} \div 0.0098 \quad \text{式 4-18}$$

2) 発電可能箇所の抽出と出力の概算

上記 1) で算定した有効落差 H 、水量（受水量日平均）より発電機出力の概算値を算出し、表 4-16 に示した。

表 4-16 発電機の概算出力

番号	施設名	池数	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
			容量計 (m^3)	HWL (m)	LWL (m)	送水元	受水圧力 (MPa)	受水圧力 計高さ (m)	有効落差 (m)	受水量 日平均 ($\text{m}^3/\text{日}$)	発電機出力(想 定) (kW)	稼働率
1	F2送水所 配水池	2	6,000	16.20	6.36	用水供給	0.205	3.45	8.2	10,680	6.23	178
2	F3送水所 配水池	2	9,000	12.97	3.82	用水供給	0.248	1.51	13.8	7,985	7.90	89
3	F4送水所 配水池	1	2,400	21.43	13.80	用水供給	0.218	11.30	12.1	2,629	2.28	110

②：配水池のHWL（標高）の実績値

⑦：エネルギー回収可能な有効落差 = ⑤/0.0098 - (②-⑥)

⑨：発電機出力 = $9.8 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g = 9.8 \times \text{⑧} / 86400 \times \text{⑦} \times 0.7 \times 0.9$ ($\eta_t=0.7$ 、 $\eta_g=0.9$ と仮定して計算)

⑩ = ①/⑧ × 100

3) 使用水量

使用水量については、流量観測を少なくとも 1 年以上実施して、他地点の流量資料との相関により計画地点での流量資料を整理する必要がある。流量資料を基に流況曲線（表 4-17）を作成し、最大使用水量の設定等、発電規模の検討を行う。

最大使用水量は発電所で使用する最大の水量であり、想定する電力需要に対して、自家発電設備として電力供給する場合の需給バランスを検討する中で決定される。なお、減圧用バルブ等で流量調整を行っていた設備に変わって、併設して設置する水車によってエネルギーを回収する場合は、発電の取水量は水需給から一意的に決められ、最大使用水量は設備の最大流量となる。表 4-17 の事例では、最大使用

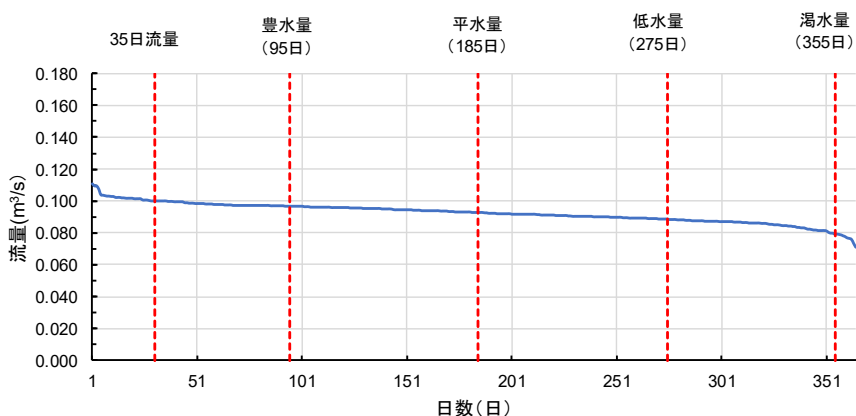
水量を最大流量 (0.111 m³/s) とした場合でも年間を通じて流量が安定しているため、設備利用率は 83%となる。

表 4-17 流況曲線と最大使用水量設定の例

(単位: m³/s)

最大流量	35日流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量	平均流量
0.111	0.100	0.097	0.093	0.089	0.079	0.071	0.092

流況図



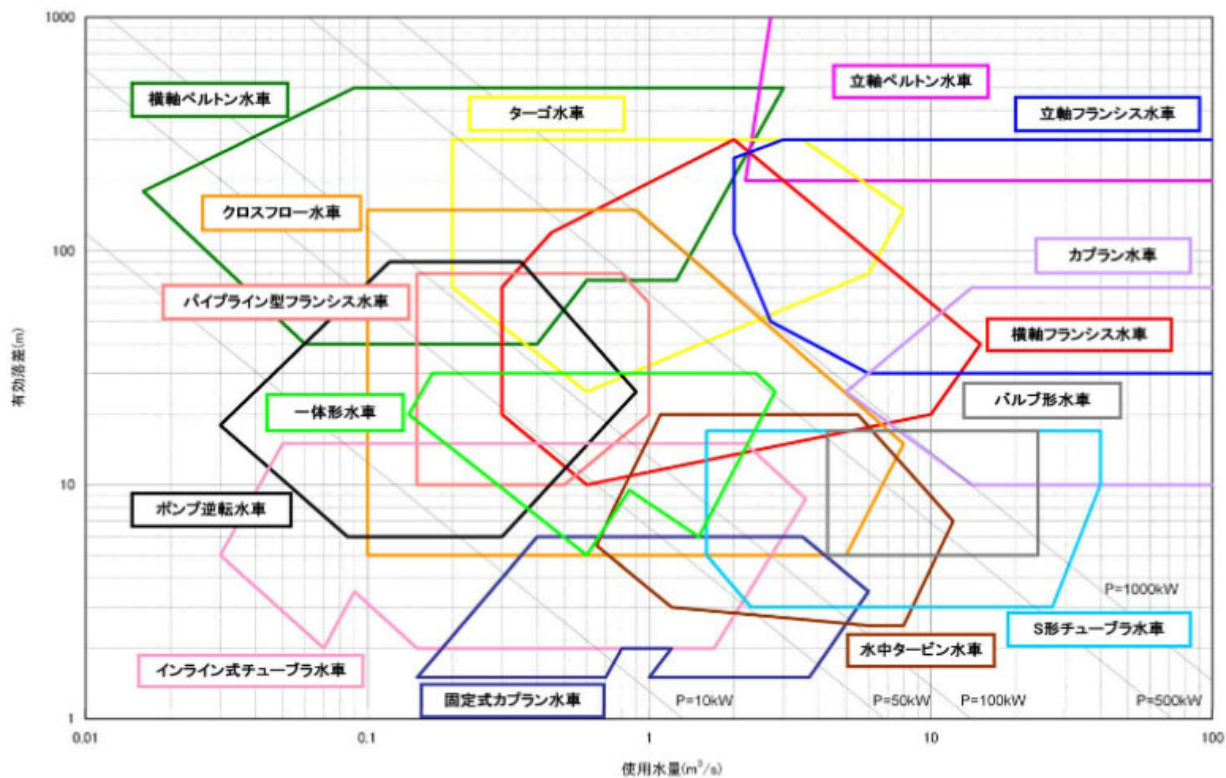
i	流況値		日数		使用可能量		流量設備利用率
	A	B	C	D	E	G	H
	A _i (m ³ /s)	A _i -A _{i-1} (m ³ /s)	(A _i +A _{i-1})/2 (日)	B×C (m ³ /s・day)	Σ Di (m ³ /s)	A _i ×365 (m ³ /s)	E/G %
1	Q365 0.071	0.071	365	25.85	25.85	25.85	100%
2	Q355 0.079	0.008	360	3.00	28.85	28.90	100%
3	Q275 0.089	0.009	315	2.98	31.83	32.34	98%
4	Q185 0.093	0.004	230	0.96	32.79	33.86	97%
5	Q95 0.097	0.004	140	0.54	33.33	35.28	94%
6	Q35 0.100	0.003	65	0.22	33.55	36.50	92%
7	Q1 0.111	0.011	18	0.20	33.74	40.45	83%

最大使用水量: 0.111 m³/s

常時使用水量: 0.079 m³/s

4) 水車の選定

水車効率、発電効率については規模により異なるため、設計条件（最大使用水量、有効落差）を図 4-15 にあてはめ、水車の方式を選定したうえで設定する。F2 送水所、F3 送水所、F4 送水所にあてはめた例を表 4-18 に示す。



出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 4-15 水車型式選定図（文献 22 の図 4.1 より掲載）

表 4-18 小水力発電の形式選定

番号	施設名	最大使用水量 (m^3/s)	常時使用水量 (m^3/s)	有効落差 (m)	選定可能な水車形式
1	F2送水所 配水池	0.153	0.106	8.2	クロスフロー水車、ポンプ逆転水車、インライン式チューブラ水車
2	F3送水所 配水池	0.111	0.079	13.8	クロスフロー水車、ポンプ逆転水車、インライン式チューブラ水車
3	F4送水所 配水池	0.036	0.027	12.1	該当なし

4) 発電電力量の算定

選定した水車方式を踏まえ、使用流量比（負荷率）に応じた水車効率 η_t 、発電効率 η_g を設定し、合成効率（ $\eta_t \times \eta_g$ ）を求めた。

水車効率（ η_t ）の設定手順を以下に示す。

(1) 有効落差 H_e から選定したポンプ型における限界比速度 Ns_{limit} を求める（以下は、チューブラ水車の場合の式）。

$$Ns_{limit} \leq \frac{21,000}{H_e + 16} + 50 \quad \text{式 4-19}$$

(2) 式 4-20 は水車の回転速度 N から、比速度 Ns を求める式である。この式 4-20 を用いて、限界比速度 Ns_{limit} から限界回転速度 N_e を算出する。

$$Ns = N \frac{P^{1/2}}{H_e^{5/4}} \quad \text{式 4-20}$$

(3) N_e を超えない範囲かつ、表 4-19 の標準回転速度²²⁾に近い値を水車の回転速度 N として採用する。

表 4-19 標準回転速度（文献 22 の表 4.2 より掲載）

極数	50 Hz	60 Hz	極数	50 Hz	60 Hz
4	1,500	1,800	14	429	514
6	1,000	1,200	16	375	450
8	750	900	18	333	400
10	600	720	20	300	360
12	500	600	24	250	300

単位 (min⁻¹)

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

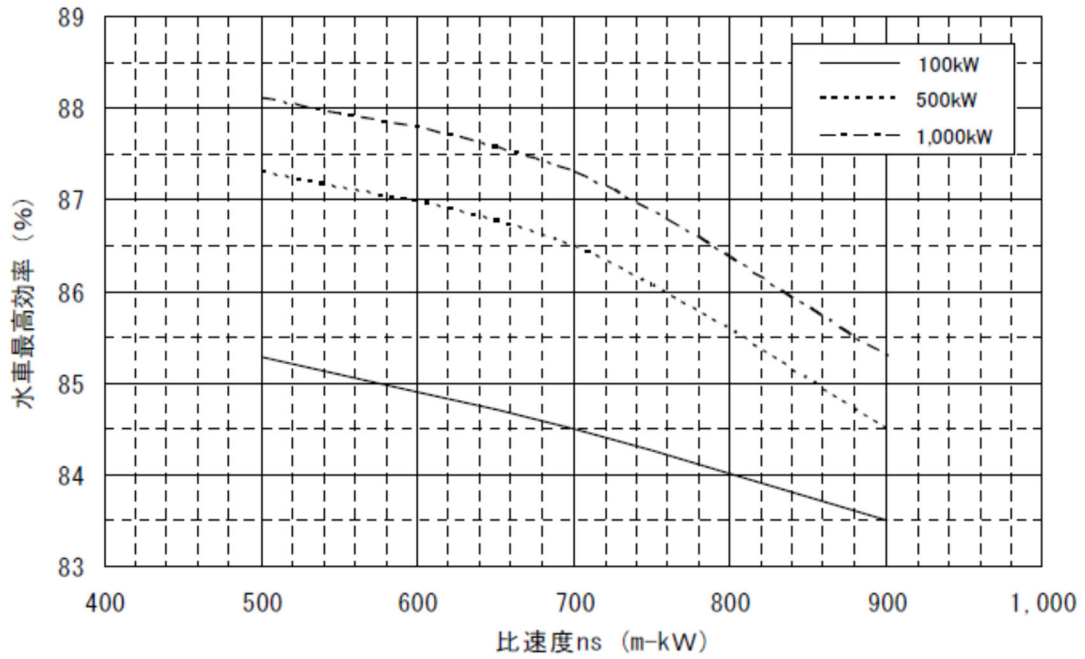
(4) N を再び式 4-20 に適用して定格回転速度時の比速度 Ns を決定する。

(5) 設定した比速度 Ns に対応する最高効率、使用流量比ごとの相対効率を図 4-16、4-17 から読み取ることにより、使用流量別の水車効率（ η_t ）を設定する²²⁾。

(6) 電動機の効率は図 4-18、4-19 より設定する²²⁾。

チューブラ水車の最高効率 (%)

比速度 ns (m-kW)	500	700	900
水車出力 (kW)			
100	85.3	84.5	83.5
500	87.3	86.5	84.5
1,000	88.1	87.3	85.3



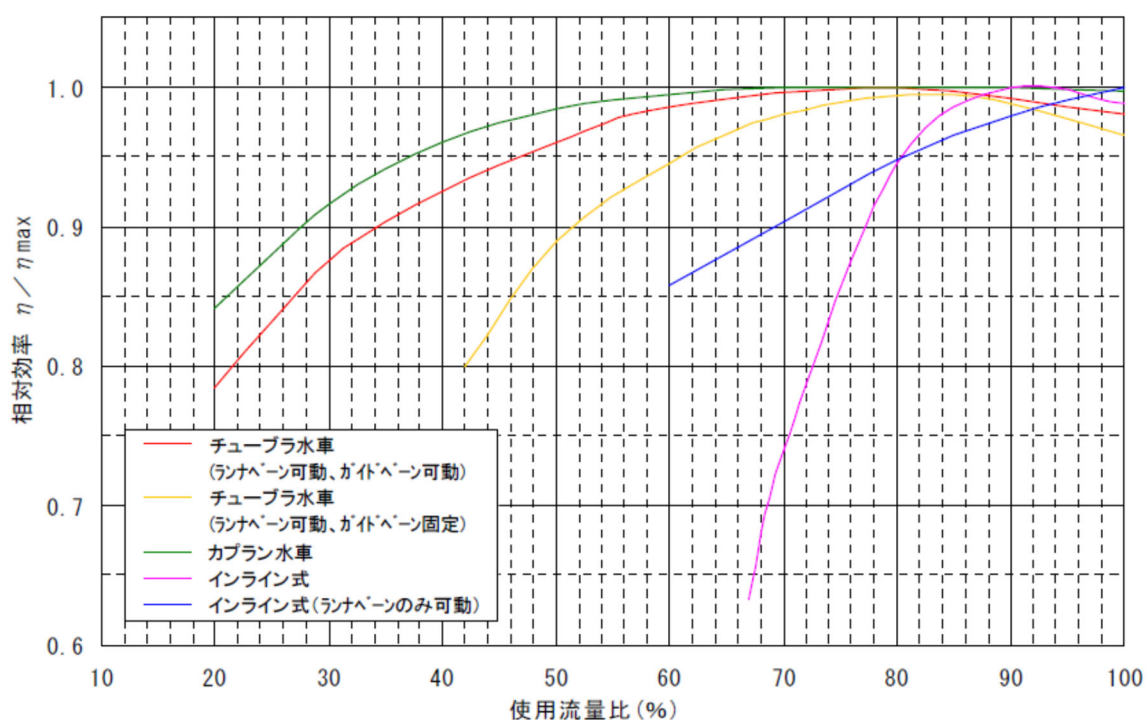
出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 4-16 チューブラ水車の最高効率 (文献 22 の図 4.7 より掲載)

上段：使用流量比（％）

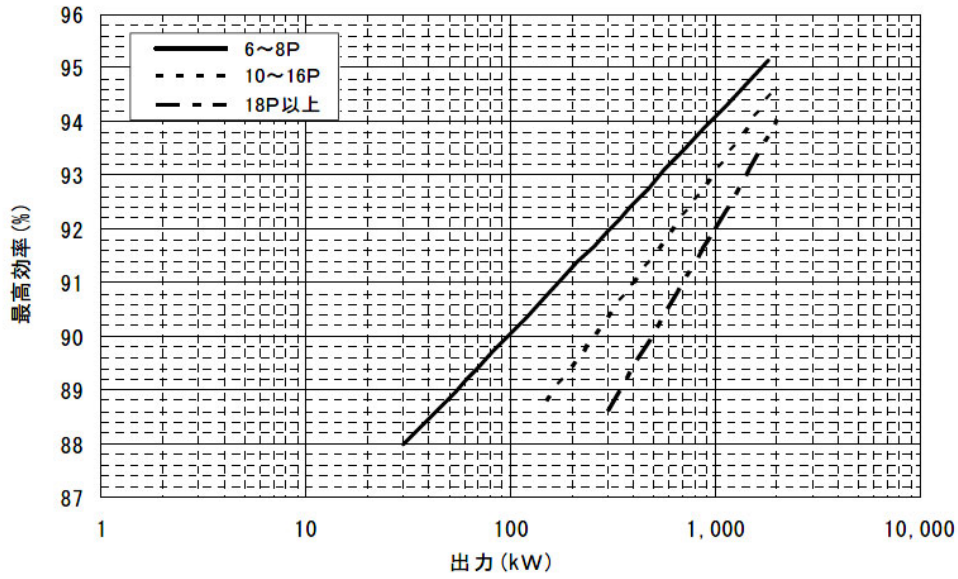
下段：相対効率

チューブラ水車	100	80	60	50	40	30	20	ランナベーン、ガイドベーン可動
	0.98	1	0.985	0.96	0.925	0.875	0.785	
	100	85	70	60	50	42	—	ランナベーンのみ可動
	0.965	0.995	0.98	0.945	0.89	0.8	—	
カプラン水車	100	80	60	50	40	30	20	
	0.997	1	0.995	0.984	0.96	0.916	0.841	
インライン水車	100	90	80	70	67	—	—	ランナベーン、ガイドベーン可動
	0.988	1	0.945	0.74	0.633	—	—	
	100	90	80	70	60	—	—	ランナベーンのみ可動
	1	0.979	0.947	0.904	0.858	—	—	



出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

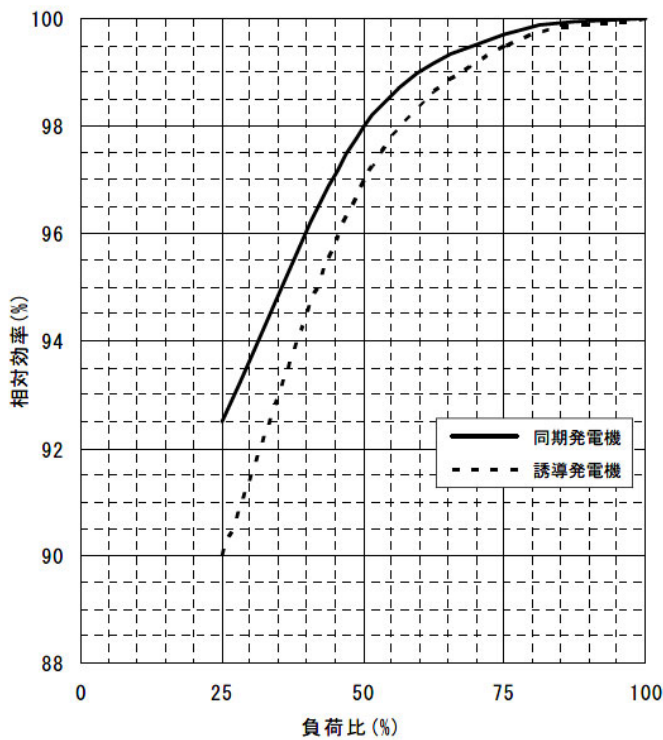
図 4-17 チューブラ水車の相対効率（文献 22 の図 4.8 より掲載）



※同期発電機の場合は定格力率 95%時の効率
 自立運転を考慮して、力率 80%の場合は 1.5~2%効率は低下する

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 4-18 発電機定格出力時の最高効率（目安値）（文献 22 の図 5.1 より掲載）



負荷比 (%)	相対効率 (%)	
	同期発電機	誘導発電機
100	100	100
75	99.7	99.5
50	98.0	97.0
25	92.5	90.0

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 4-19 電動機部分負荷効率（目安値）（文献 22 の図 5.2 より掲載）

以下に、インライン式チューブラポンプの比速度 N_s について検討した例を表 4-20 に示す。設定した比速度 N_s 、出力 P と図 4-16 より²²⁾、比速度 190 m-kW、出力 8 kW の場合の水車最高効率を読み取ることになるが、関数式の範囲外となっているため、ここでは水車最高効率を 80% と仮定した。次に、使用流量別の相対効率を図 4-17 より設定し、最高効率に乗じることにより使用流量別の水車効率を設定した²²⁾。さらに、図 4-18、4-19 より使用流量別に電動機効率を設定し、水車効率と電動機効率を乗じることで合成効率を算定した²²⁾。なお、電動機効率についても関数式の範囲外となっているため、ここでは電動機最高効率を 85% と仮定した。

表 4-20 設置する水車の比速度 N_s の設定例 (F3 送水所)

項目	単位	値
水車形式	—	インライン式チューブラ水車
最大使用水量	m ³ /s	0.111
H_e	m	13.8
周波数	Hz	60
P	kW	7.9
$N_{s\text{limit}}$	m-kW	755
回転速度 N_e	min ⁻¹	7,142
回転速度 N	min ⁻¹	1,800
極数	—	4
比速度 N_s	m-kW	190

表 4-21 使用流量別の水車効率、電動機効率の設定 (水車最高効率を 80% と仮定)

使用流量比	%	100	87	84	80	71	64
使用流量	m ³ /s	0.111	0.097	0.093	0.089	0.079	0.071
相対効率	%	0.988	1	0.973	0.945	0.74	0.633
水車効率	%	79.04	80	77.8	75.6	59.2	50.64
電動機効率	%	85.0	85.0	85.0	85.0	84.6	83.3
合成効率	%	67	68	66	64	50	42

表 4-21 に示した合成効率を用いて発電電力量を算定した。表 4-22 に結果を示す。

F3 送水所における発電電力量は、71 千 kWh と算定され、表 2-7 に示した F3 送水所における電力使用量 (590 千 kWh) の 12% となった。

表 4-22 発電電力量の算定結果 (F3 送水所)

F3送水所

①最大使用水量： 0.111 m³/s 有効落差： 13.8 m

② 日順	③ 日数 (日)	④ 使用水量 (m ³ /s)	⑤ 負荷率 (%)	⑥ 合成効率 (%)	⑦ 発電出力 (kW)	⑧ 平均発電出力 (kW)	⑨ 発電電力量 (kWh)
最大頭切 日数	1	0.111	100	67	10.1	10.1	242
豊水 95日	95 ~ 1 94	0.097	87	68	8.9	9.5	21,458
平水 185日	185 ~ 95 90	0.093	84	66	8.3	8.6	18,624
低水 275日	275 ~ 185 90	0.089	80	64	7.7	8.0	17,336
渇水 355日	355 ~ 275 80	0.079	71	50	5.4	6.6	12,581
365日	365 ~ 355 10	0.071	64	42	4.1	4.7	1,132
計	365					⑩	71,374

④：水力発電における使用水量。流況曲線より、当該日数の使用水量を入力

⑤：最大使用水量に対する割合 = ④/①

⑦：発電出力 = $9.8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g = 9.8 \times ④ \times \text{有効落差} \times ⑥ / 100$

⑧：当該区間の平均発電出力

⑨：発電電力量 = 平均発電出力 × ③ × 24

⑩：発電電力量の年間合計値

$$\text{年間電力発電量} = 71,374 \text{ [kWh]}$$

5) 経済性の検討

予測される年間発電電力量を基に経済性の検討を行う必要がある。詳細は経済産業省資源エネルギー庁の「水力発電計画工事費積算の手引き」²²⁾によるが、検討方法として以下の式により発電原価を算出し、電力会社から購入している買電単価と比較することで、発電計画の経済性をおおよそ判断することができる。

$$\text{発電原価 (円/kWh)} = \frac{\text{総工事費} \times \text{年経費率} + \text{運転保守費}}{\text{有効電力量}} \quad \text{式 4-21}$$

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \quad \text{式 4-22}$$

r ：金利

n ：耐用年数

ここでは、他の事例として表 4-23 のように工事費が算出された場合を考える（実際には現場の状況を踏まえて工事ごとの費用を積算、合計する必要がある）²³⁾。

金利 r が 2%、耐用年数 n が 22 年と仮定すると年経費率は 5.66% になる。運転保守費を年間 2 百万円と仮定して表 4-23 よりケース 1 の発電原価を算定してみると、以下のようになる。

$$\text{発電原価} = (62.2 \times 10^6 \times 0.0566 + 2 \times 10^6) \div 62,019 \text{ kWh} = 89 \text{ 円/kWh}$$

この単価は買電単価よりも高いと考えられることから、ケース 1（有効落差 11.08 m、最大使用水量 0.1 m³/s、年間発電電力量 62,019 kWh）の場合は、経済性としては難しいことがわかる。

表 4-23 開発規模の比較検討事例（文献 23 の表 13.4.6 より掲載）

項 目		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	
流域面積 (km ²)		708.5						
発電計画	総 落 差 (m)	13.80						
	最 大 出 力 (kW)	8	32	56	80	104	130	
	最 大 使 用 水 量 (m ³ /s)	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	
	有 効 落 差 (m)	11.08	11.51	11.58	11.65	11.67	11.69	
	年間可能発電電力量 (kWh)	62,019	257,810	453,905	652,377	849,132	1,046,691	
発電概要	水 路	取 水 口 (m)	既設取水設備を利用					
		排 砂 門 (m)	既設排砂設備を利用					
		開 水 路 (m)	既設開水路を利用					
		水圧管路 露出部 (m)	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
	材 質	鉄管	鉄管	鉄管	鉄管	鉄管	鉄管	
	内 径 (m)	0.250	0.500	0.650	0.800	0.900	1.000	
	放 水 口 形 式	開 渠						
	発 電 形 式	流 れ 込 み						
水 車 形 式	クロスフロー水車							
河川利用概要	河 水 利 用 率 (%)	0.2	0.8	1.4	2.0	2.6	3.2	
	流 量 設 備 利 用 率 (%)	100.0	99.0	98.2	97.8	96.9	95.1	
	設 備 利 用 率 (%)	88.5	92.0	92.5	93.0	93.2	93.3	
工 事 費 (百万円)	62.2	79.3	106.2	122.2	131.6	141.3		
経済性指標	kW 当り建設単価 (千円/kW)	7,775	2,478	1,896	1,528	1,265	1,087	
	kWh 当り建設単価 (円/kWh)	1,003	308	234	187	155	135	
経済性評価							◎	

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

4.3 CO₂削減ポテンシャルの推計

前項で整理した電力使用量削減ポテンシャルを基に CO₂ 削減ポテンシャルを算定し、表 4-24 に示した。なお、令和 2 年度の電力使用量、CO₂排出量は表 4-25 に示すとおりである。

表 4-24 削減電力量および CO₂ 削減ポテンシャルのまとめ

区分	対策メニュー	対策の内容	削減電力量 (kWh/年)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ / 年) ※	備考
管理強化・運用見直し	ポンプ吸込圧力を活用した配水	F4 送水所では、現在は水道用水供給事業からポンプにより受水した浄水を配水池で圧力開放し、その後配水ポンプにより配水をしているが、ポンプ吸込圧力を活用して配水を行うことにより、電力使用量を削減する。	32,332 (インバータ導入後の場合 20,660)	14.3 (9.1)	表 4-2
	ポンプ運転台数の見直し	F1 浄水場の配水ポンプは、全体効率が最も高くなる吐出量の時に運転台数が 1 台から複数台へとされており、全体効率が低下している。運転台数を 1 台とすることにより効率の高い状態で運転する。	49,315	21.7	表 4-4
設備改善、設備付加	可変速ポンプの導入	バルブ制御を行っている F4 送水所の固定速ポンプを、インバータによる回転速度制御を行う可変速ポンプとすることにより、電力使用量を削減する。	233,061	98.4	表 4-7
プロセスの変更、高効率機器の導入	自己水源の廃止、F1 直接受水および F1 第 2 配水池の位置エネルギー活用	深井戸からの取水ポンプと中央送水所から F1 浄水場への送水ポンプを廃止し、F1 浄水場において水道用水供給事業の水を直接受水する。 F1 第 2 配水池の水位を送水ポンプの一次側として、位置エネルギーを活用し、ポンプの全揚程を低下させることで電力使用量を削減する。	1,221,491	538.7	表 4-8
再生可能エネルギーの導入	太陽光発電の導入	F1 浄水場の敷地に太陽光発電を導入する。	81,235	35.8	表 4-15
	小水力発電の導入	受水地点に小水力発電を導入する。	71,374	31.5	表 4-22

注 1：F 水道事業が契約する事業者別 CO₂ 排出係数が不明であることから、環境省と経済産業省が公表した代替値 (0.000441 t-CO₂/kWh) ²⁴⁾ を用いた。

注 2：代替値は、総合エネルギー統計における事業用発電（揚水発電を除く）と自家用発電（自家発の自家消費および電気事業者への供給分）を合計した排出係数の直近 5 年平均を国が算出したものである。

表 4-25 令和 2 年度の電力使用量および CO₂ 排出量（令和 2 年度実績）

		F1浄水場 (場内)	F2送水所	F3送水所	F4送水所	計
電力使用量 (kWh/年)	取水ポンプ計	851,482				851,482
	揚水ポンプ計	19,493				19,493
	配水ポンプ計	868,059	716,677	524,544	584,052	2,693,332
	その他浄水施設等	579,906	71,832	106,586	78,454	836,778
	合計	2,318,940	788,509	631,130	662,506	4,401,085
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)		1,023	348	278	292	1,941

注：CO₂ 排出係数は、環境省と経済産業省が公表した代替値（0.000441 t-CO₂/kWh）²⁴⁾を用いた。

第5章 水道事業体における CO₂ 削減ポテンシャル推計の方法

5.1 本検討から考えられる CO₂ 削減ポテンシャル推計方法

第2～4章では、水道事業体の実績データを用いた検討を行った。この検討結果を踏まえ、他の水道事業体が自らの CO₂ 削減ポテンシャルを推計するための手順について、情報収集から削減ポテンシャルの推計方法までを整理した。

図 5-1 に、水道事業体における CO₂ 削減ポテンシャルを推計する際の検討フローを示す。

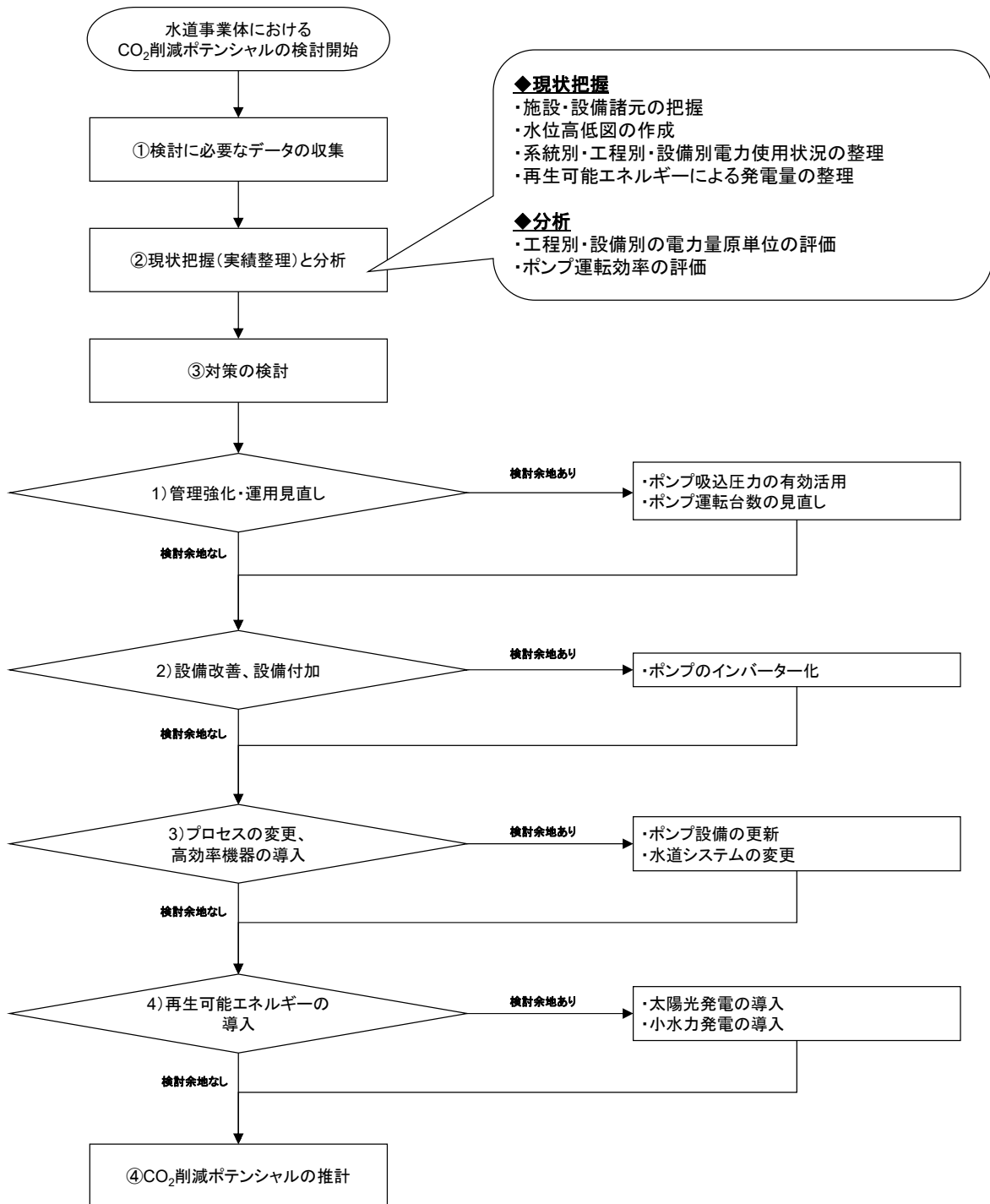


図 5-1 水道事業体における CO₂ 削減ポテンシャルの検討フロー

5.2 検討に必要なデータの収集

本検討を通して、CO₂削減ポテンシャルの推計に必要と考えられる情報は、表 5-1 に示すとおりである。

表 5-1 収集すべき情報一覧

No	資料名	収集目的
1	水位高低図	対策検討（位置エネルギーの活用）
2	電力使用量	現状把握（効率的な運転の実施有無）
3	対策の取組状況	対策検討（今後実施できる対策のリストアップ）
4	系統別の浄水量、送水量、配水量（時別）	現状把握（効率的な運転の実施有無）
5	工程別の電力使用量（時別）	現状把握（効率的な運転の実施有無）
6	再生可能エネルギーによる発電電力量（時別）	対策検討（再生可能エネルギーの活用）
7	ポンプ運転状況（日報レベル）	現状把握（効率的な運転の実施有無）
8	水道事業経営計画	対策検討
9	メーカー技術資料（ポンプの特性曲線）	現状把握（効率的な運転の実施有無） 対策検討（ポンプ効率化等による削減ポテンシャルの推計）

5.3 現状把握（実績整理）と対策検討に向けた分析

5.3.1 収集データ（実績）の整理による現状把握

① 施設・設備諸元の整理

設置されている配水池等の施設に加え、ポンプや電動機等の設備諸元を系統ごとに整理する（表 5-2、5-3 参照）。この際、電動機が固定速であるか可変速であるか、電源が三相であるか単相であるかについても、併せて整理する。

表 5-2 データの整理イメージ（配水池の諸元）

No	系統	施設名称	構造	寸法（横×縦）(m)	数量	高さの基準	GL (m)	HWL (m)	LWL (m)	容量 (m ³)	圧力計設置位置	圧力計設置高さ (m)	備考
例1)	○浄水場系	●●配水池	RC	22.15 × 15.50	2	TP	40.120	50.120	45.120	3.00	無し		
例2)	◆◆浄水場系	△△配水池	SUS	φ 19.50	5	HP	32.820	42.820	37.820	6.00	二次側	35.000	

表 5-3 データの整理イメージ（ポンプの諸元）

No	系統	施設名称	設備名	機名	型式・方式	製造会社	製造年	法定耐用年数	定格 (kW)	電圧 (V)	電機 (mm ² /m)	揚程 (m)	固定速/可変速	三相式	備考
例1)	○浄水場系	●●配水池	取水設備	1号●●取水ポンプ	量産汎用ポンプ	○●●	平成**年	15	22		1.50	50.0			
例2)	◆◆浄水場系	△△配水池	送水・配水設備	1号◆◆取水ポンプ電動機	○●●	○●●	昭和**年	17	150	440			可変速	三相式	

② 水位高低図の作成

収集した配水池やポンプの諸元を踏まえ、図 5-2 のような水位高低図を作成する。

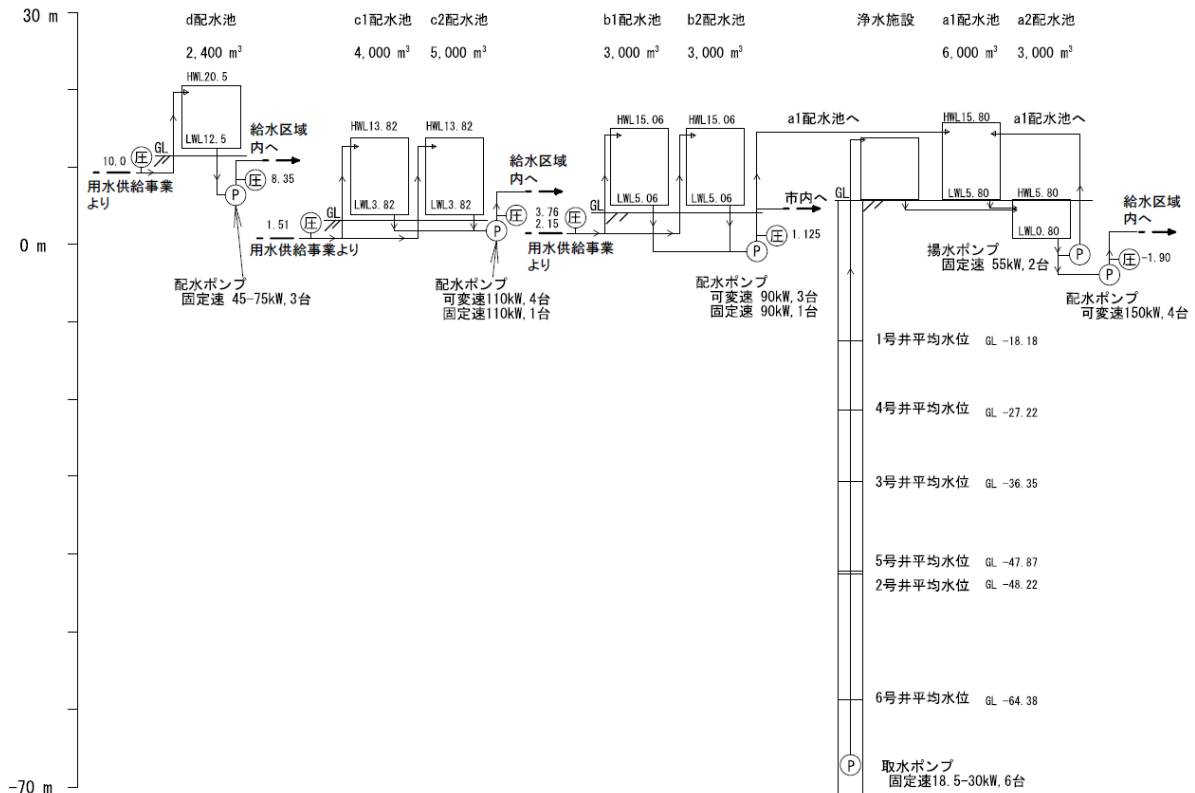


図 5-2 水位高低図のイメージ

③ 系統別・工程別・設備別電力使用状況の整理

水道事業者において CO₂ 削減ポテンシャルの検討を行う際には、現状把握を行うことが重要となる。当該自治体における対策の絞り込みにも用いるため、系統別・工程別・設備別の電力使用量を整理する（表 5-4～5-6、図 5-3、5-4 参照）。

また、施設別の電力使用量と配水量・送水量から、配水量・送水量当たりの電力使用原単位を整理する。この結果を踏まえて、電力使用原単位が大きく優先的に対策を取るべき施設の絞り込みを行う。なお、事業者の計画等において同様のデータ整理を済ませている場合には、そちらを参照することによい。

表 5-4 データの整理イメージ（系統別・工程別）

系統	工程	工程別電力使用量 (kWh/年)	水量 (m ³ /年)	電力使用原単位 (kWh/m ³)	備考
A系統	取水	700,000	600,000	1.17	
A系統	導水	60,000	600,000	0.10	
A系統	浄水	30,000	600,000	0.05	
A系統	送水	100,000	600,000	0.17	
A系統	配水	800,000	600,000	1.33	
B系統	送水	200,000	300,000	0.67	
B系統	配水	300,000	300,000	1.00	
C系統	送水	40,000	50,000	0.80	
C系統	配水	20,000	50,000	0.40	

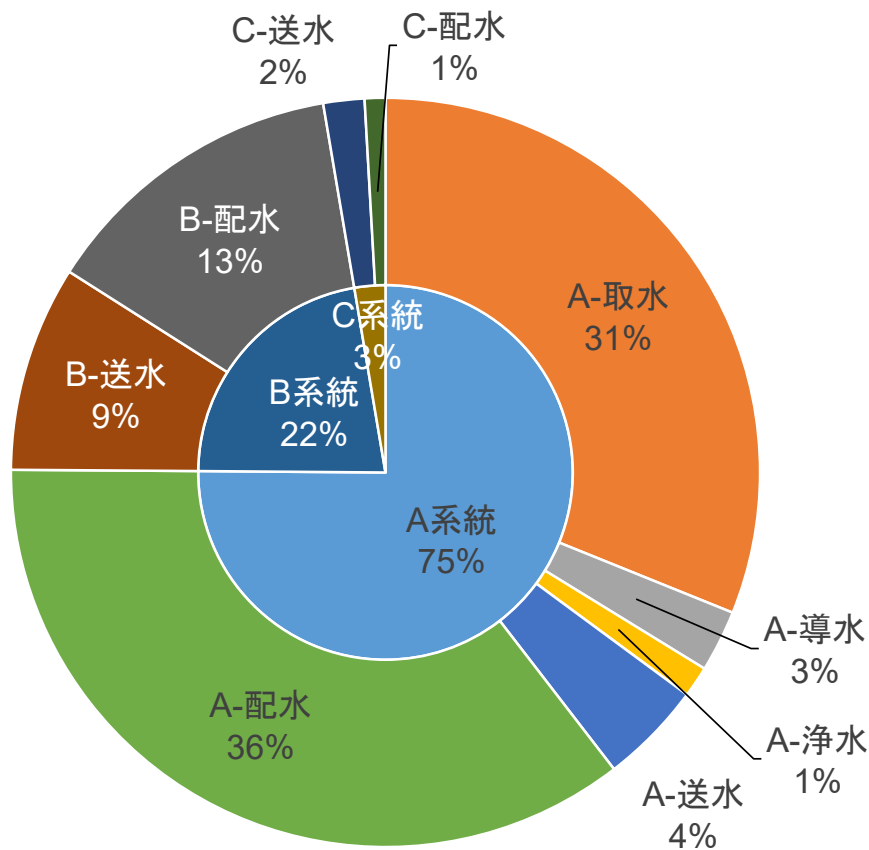


図 5-3 系統別・工程別電力使用量の見える化の例

表 5-5 日報等からのデータの整理イメージ（電力使用状況）

項目	受 水			配 水				受 電									配水ポンプ電流						配水ポンプ											
	受水量	受水量	圧力	配水量	圧力	3号 PCタンク 水位	4号 PCタンク 水位	受 電					主要変圧器一次		主要変圧器二次		200V動力一次		配水ポンプ電流															
								電圧	電流	電力	力率	電力量	No.1 電流	No.2 電流	No.1 電流	No.2 電流	No.1 電流	No.2 電流	1号	2号	3号	4号	5号	6号	1号	2号	4号	5号	6号					
単位	m ³	m ³	Mpa	m ³	MPa	m	m	V	A	kW	%PF	kWh	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	min	min	min	min	min		
1時	280	290	0.248	130	0.339	6.81	6.78	6.725	4	45	90	0	4	0	7	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2時	280	280	0.250	110	0.336	6.99	6.96	6.708	4	45	87	0	4	0	7	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3時	280	280	0.252	80	0.335	7.21	7.17	6.714	4	43	86	100	4	0	7	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4時	280	280	0.253	100	0.336	7.40	7.37	6.668	4	43	87	0	4	0	7	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5時	280	290	0.254	80	0.347	7.61	7.57	6.741	4	46	87	100	4	0	7	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6時	280	280	0.255	110	0.406	7.79	7.76	6.676	5	55	92	0	4	0	9	0	1	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7時	280	280	0.255	270	0.409	7.79	7.75	6.688	6	72	98	100	6	0	12	0	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8時	280	280	0.254	340	0.411	7.69	7.66	6.626	6	69	98	100	6	0	12	0	1	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9時	280	290	0.255	360	0.409	7.59	7.55	6.644	6	73	98	0	6	0	12	0	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10時	280	280	0.255	320	0.409	7.52	7.49	6.543	6	68	98	100	6	0	12	0	1	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11時	280	280	0.255	300	0.407	7.48	7.45	6.545	6	67	98	100	6	0	12	0	1	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12時	280	280	0.254	280	0.411	7.48	7.44	6.643	5	66	98	0	5	0	11	0	1	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注1：データ整理にあたっては、本様式にとられる必要はなく、検討事業体において整理されている日報等のフォーマットを活用し、検討作業の省力化を図る。

注2：詳細な検討を行う際には、可能な限り時別でのデータ整理が望ましい。

注3：ポンプ毎の電力使用/運転時間データが得られない場合には、得られるデータで最も細分化したカテゴリ（例：送水ポンプ全体、送水所全体、1日ごとなど）で検討を行う。

表 5-6 データの整理イメージ（設備別・工程別）

系統	A浄水場	B送水所	C送水所	D送水所
取水ポンプ計	900,000			
揚水ポンプ計	20,000			
送水ポンプ計	200,000	500,000	700,000	700,000
配水ポンプ計	850,000	200,000	100,000	200,000
その他浄水施設等	500,000	50,000	100,000	90,000
合計	2,470,000	750,000	900,000	990,000

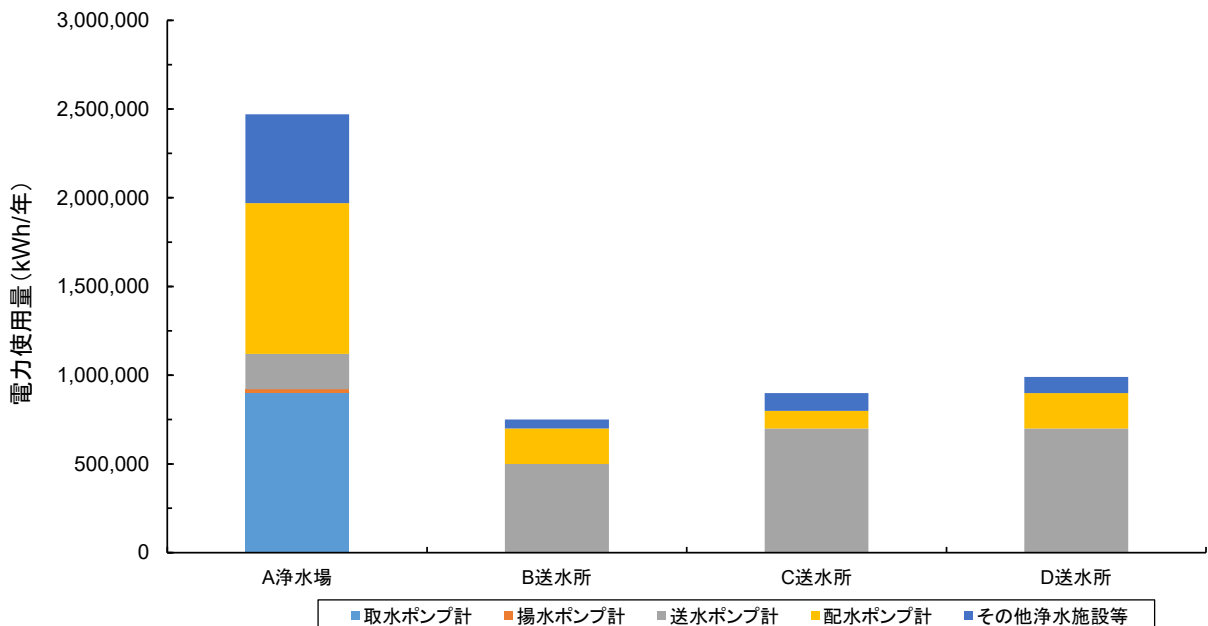


図 5-4 設備別・工程別電力使用量の見える化の例

なお、日報においてポンプ設備の電力使用量が計測されていない場合には、電流、電圧、力率、運転時間より電力量を推計し、各設備の電力使用量を推計する。

- ①水道施設の受電量は、日報の受電欄の電力量を合計して求める。
- ②ポンプで実際に使用された電力量は、日報の電力量 (kWh) の欄の数値を使用する。
- ③日報 (時刻別数値が記載) に、各ポンプの電力量 (kWh) の記録がない場合には、以下の式から電力使用量 (kWh) を計算する⁶⁾。

$$\text{(三相) 電力量 (kWh)} = \sqrt{3} \times \text{電流値 (A)} \times \text{定格電圧 (V)} \div 1,000 \times \text{力率} \times \text{運転時間 (h)} \quad \text{式 5-1}$$

$$\text{(单相) 電力量 (kWh)} = \text{電流値 (A)} \times \text{定格電圧 (V)} \div 1,000 \times \text{力率} \times \text{運転時間 (h)} \quad \text{式 5-2}$$

瞬時値：計測時刻の表示値 → 電流 (A)、電圧 (V)、電力 (kW)

積算値：計測時刻内の総和値 → 電力量 (kWh)

- ④日報に電流値 (A) が記録されていない場合には、簡易電力計を設置して電力量の測定を行うか、定格運転のポンプ設備であれば以下の式により電力使用量 (kWh) を推計する。

$$\text{電力量 (kWh)} = \text{電動機出力 (kW)} \times \text{運転時間 (h)} \times \frac{1}{1 + \text{余裕率}} \quad \text{式 5-3}$$

「水道施設設計指針」⁷⁾によれば、ポンプ軸動力 (kW) に 10～15%の余裕率を見込んで電動機出力 (kW) としていることから、 $\frac{1}{1 + \text{余裕率}}$ の値としては、0.87～0.91 が考えられる。

個々のポンプ電動機の力率は、ポンプの試験成績表から算定する。

《整理のポイント》

力率の関係するものの電流値は次の式で算出できる⁸⁾。

$$\text{電流 } I = \frac{\text{電力 } P}{\text{電圧 } E \times \text{力率}} \quad \text{式 5-4}$$

この式から三相交流の力率は、以下のように算出される。

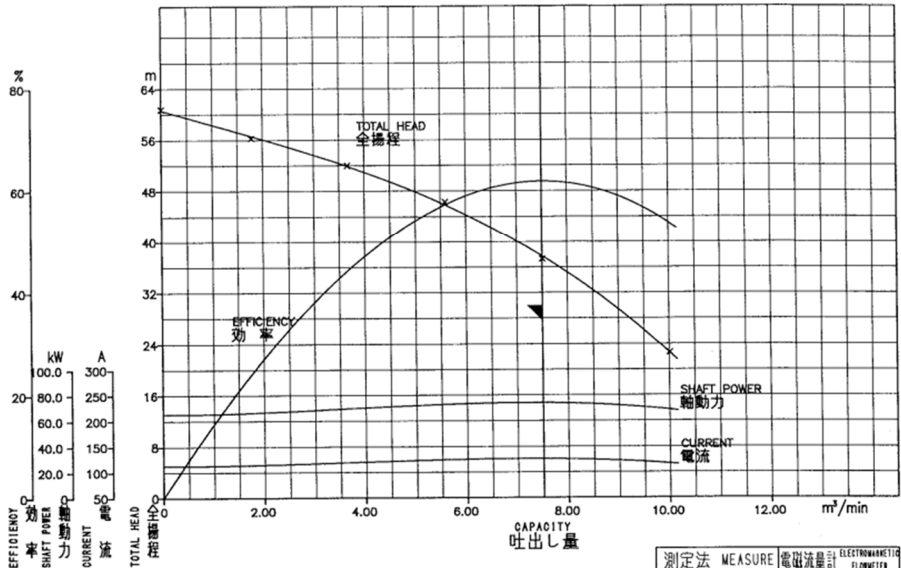
$$\text{力率} = \frac{\text{電力 } P}{\sqrt{3} \text{電圧 } E \times \text{電流 } I} \quad \text{式 5-5}$$

例) 試験成績表⁵⁾から力率は、6回の測定記録の平均値の0.83とする。

測定データ番号		1	2	3	4	5	6	平均値
電圧 V	①	439	442	441	441	440	442	
電流 A	②	113	112.4	120.3	124.5	125.1	116.8	-
皮相電力 kVA	③= $\sqrt{3} \times ① \times ② / 1,000$	85.92	86.05	91.89	95.10	95.34	89.42	
力率	④=⑤÷③	0.83	0.83	0.84	0.83	0.84	0.83	0.83
入力電力 kW	⑤	71.22	71.15	76.75	79.21	80.25	74.58	-
出力電力 kW	⑥	65.73	65.67	70.81	73.06	74.01	68.83	

1号配水ポンプ

Booster Line Pumps
BST型ポンプ 試験成績表



		番号	No.	1	2	3	4	5	6	測定法	MEASURE	電流量計	ELECTROMAGNETIC FLOWMETER
ポンプ	回転速度	SPEED OF ROTATION	min ⁻¹	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	吐出量	CAPACITY	m ³ /min	0.00	1.78	3.67	5.59	7.51	10.02	—	—	—	—
	吐出圧力	DIS. PRESS.	m	59.6	55.1	50.6	44.5	34.8	19.0	—	—	—	—
	吸込圧力	SUC. PRESS.	m	0.6	0.6	0.7	1.0	1.5	2.3	—	—	—	—
	測点高差	HEIGHT DIF.	m	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	—	—	—	—
	速度水頭	VEL. HEAD	m	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	—	—	—	—
	全揚程	TOTAL HEAD	m	60.8	56.3	52.0	46.3	37.3	22.7	—	—	—	—
	理論動力	WATER POWER	kW	0.00	16.33	31.09	42.24	45.67	37.02	—	—	—	—
電動機	ポンプ効率	PUMP EFF.	%	0.0	24.9	43.9	57.8	61.7	53.8	—	—	—	—
	電圧	VOLTAGE	V	439	442	441	441	440	442	—	—	—	—
	電流	CURRENT	A	113.0	112.4	120.3	124.5	125.1	116.8	—	—	—	—
	出力	OUTPUT	kW	65.73	65.67	70.81	73.06	74.01	68.83	—	—	—	—

④ 再生可能エネルギーによる発電電力量の整理

既に再生可能エネルギーによる発電を実施している事業者については、表 5-7 に示すような実績データの整理を行う。

表 5-7 データの整理イメージ（再生可能エネルギーによる発電電力量）

No	種類	設置場所	設置年	年間発電電力量 (kWh)	備考
例1)	太陽光発電	●●浄水場	2011	60,000	自家消費
例2)	風力発電	●●浄水場	2019		故障中
例3)	小水力発電	△△配水池	2003	120,000	

5.3.2 収集データを基にした分析と対策の抽出

① 工程別・設備別の電力量原単位の評価

1) 電力量原単位の整理

工程別・設備別に電力量原単位を算定し、比較する（図 5-5 に例示）。

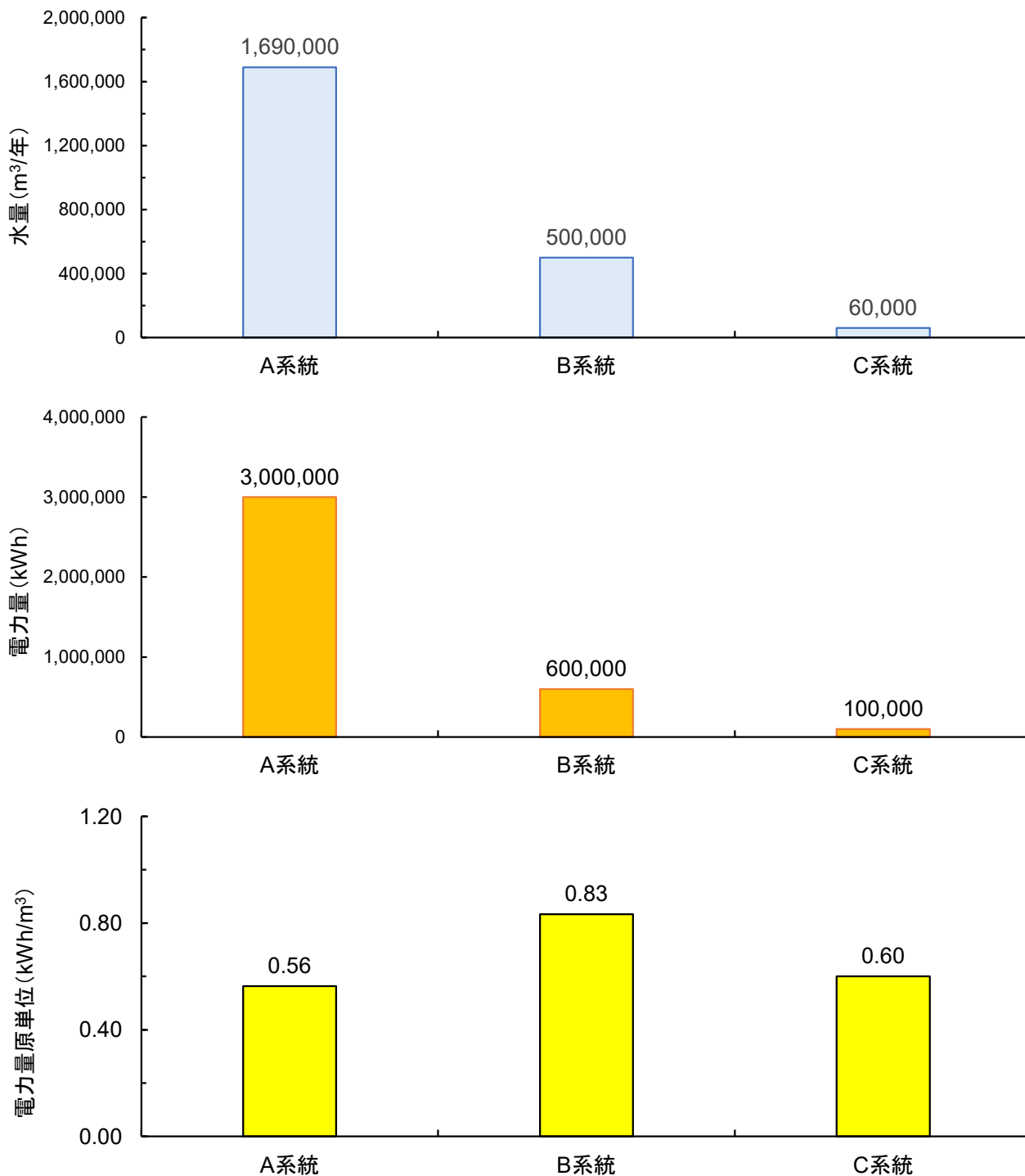


図 5-5 システム別等の水量、電力量、電力量原単位の比較（例）

2) 実際の運用状況を踏まえた電力量原単位に関する考察の実施

図 5-6 のような当該事業体の施設に関する水位高低図を作成し、電力量原単位の違いへの追加情報、施設間の高低差を整理し、ポンプによる揚水エネルギーの使用状況との関係を考察する。この際、圧力値 (Mpa) は全て水位に換算して整理する必要があり、圧力を 0.009807 で除し m 換算するとともに、圧力計設置箇所の地盤高も考慮する。

施設名称	GL (m)	A浄水場	B送水所	C送水所	D送水所	
配水圧 (m) ポンプ吐出側	60	62.8				
上から最大、平均、最小	55	57.4				
50						
受水圧 (m)	45	45.2				
上から最大、平均、最小	40		47.0	47.8	52.0	
35			42.8	43.9	45.6	
30			35.5	36.5*	31.0	
配水圧差 (m) (最大-最小)		17.6	22.1	29.1	32.2	
			1.1	15.3	23.9	
				※小さい順の3番目(ゼロ値2つ除く)		
配水ポンプ諸元						
平均全揚程 (m)		52.9	33.9	33.8	27.0	
(配水圧の平均値-配水池水位の平均値)			a2配水池 へ送水			
	1号	10m³/min × 60m × 150kW	1号	7.1m³/min × 50m × 90kW	1号	7.5m³/min × 35m × 75kW
	2号	10m³/min × 60m × 150kW	2号	7.1m³/min × 50m × 90kW	2号	11.8m³/min × 35m × 110kW
	3号	10m³/min × 60m × 150kW	3号	7.1m³/min × 50m × 90kW	4号	7.5m³/min × 35m × 75kW
	4号	10m³/min × 60m × 150kW	4号	7.1m³/min × 50m × 90kW	5号	5.5m³/min × 30m × 45kW
				6号		
配水池名称		a1配水池 a2配水池	b1配水池 b2配水池	c3配水池 c4配水池	d配水池	
配水池の高低諸元 (m)	20				20.5	
※黒字上から以下を表記	19				20.1	
最高水位HWL (m)	18	15.8	15.06	15.06	18.6	
最低水位LWL (m)	17	13.4	14.7	14.9	16.4	
配水池底面 (m)	16	10.0	9.0	10.8	12.5	
配水池水位 (m) ポンプ吸込側	15	5.8	5.3	5.2	11.5	
※赤字上から以下を表記	14	5.7	5.06	5.06		
最大	13	5.3	4.1	4.1		
平均	12	4.5	4.1	4.0		
最小	11	3.4	3.16	3.16		
	10	0.8	2.15 受水圧力計	3.82		
	9		1.125 配水圧力計GL基準	3.16		
▷ 配水圧力計GL基準	8			3.76		
(配水圧の基準点)	7			1.51 受水圧力計		
	6					
	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
	0					
配水池容量(m³)		3,000 6,000	3,000 3,000	4,000 5,000	2,400	
配水量 (m³/h)	最大	1,090	540	630	280	
赤字単位 (m³/日)	平均	11,272 470	6,150 256	7,720 322	2,718 113	
	最小	90	40	60	0	

注 1：地盤高 GL、配水池水位は東京湾平均海面 (TP) を基準としている (TP=OP-1.3 m)

注 2：配水圧 (m)：(D 送水所の例)、配水圧力計 GL=8.35 m+配水日報記載配水圧 (m)

注 3：受水圧 (m)：(D 送水所の例)、受水圧力計 GL=10 m+配水日報記載受水圧 (m)

図 5-6 配水施設と給水区域の施設工程図 (例)

② ポンプ運転効率の評価

先に整理したポンプについて、日報等の運転管理情報からポンプの全体効率（＝ポンプ効率×電動機効率）を把握した。ポンプ全体効率の確認手順は図 5-7 に示すとおりである。

配水日報毎時記録では、以下のようにポンプ全体効率（電力量に対する仕事量の割合）を算定する¹⁰⁾。なお、ポンプ全体効率はポンプ効率 η_p と電動機効率 η_m の積である。

$$\begin{aligned} \text{ポンプ全体効率 (\%)} &= \text{仕事量 (kWh)} \div \text{電力量 (kWh)} \times 100 (\%) \\ &= \text{ポンプ効率 } \eta_p (-) \times \text{電動機効率 } \eta_m (-) \times 100 (\%) \end{aligned} \quad \text{式 5-6}$$

$$\begin{aligned} \text{仕事量 (kWh)} &= \text{液体の単位当たりの質量 (kg/L)} \times \text{配水量 (m}^3\text{)} \\ &\quad \times \text{重力加速度 } 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \times \text{実揚程 (m)} \div 3,600 \text{ (kJ/kWh)} \end{aligned} \quad \text{式 5-7}$$

$$\begin{aligned} \text{実揚程 (m)} &= \text{ポンプ吐出圧 (m)} - \text{ポンプ吸込圧 (m)} \\ &\quad (\text{水圧が MPa 表示の場合は } 0.009807 \text{ で除し m 換算する}) \quad \text{式 5-8} \end{aligned}$$

$$\text{ポンプ吐出圧 (m)} = \text{配水圧力 (m)} + \text{配水圧力計設置地盤高 (m)} \quad \text{式 5-9}$$

$$\text{ポンプ吸込圧 (m)} = \text{配水池水位 (m)} + \text{配水池最低水位 LWL の地盤高 (m)} \quad \text{式 5-10}$$

$$\begin{aligned} \text{ポンプ全体効率の加重平均値} &= \Sigma (\text{時間毎のポンプ全体効率 (\%)} \times \text{配水量 (m}^3\text{)}) \\ &\quad \div \text{配水量の総和 (m}^3\text{)} \end{aligned} \quad \text{式 5-11}$$

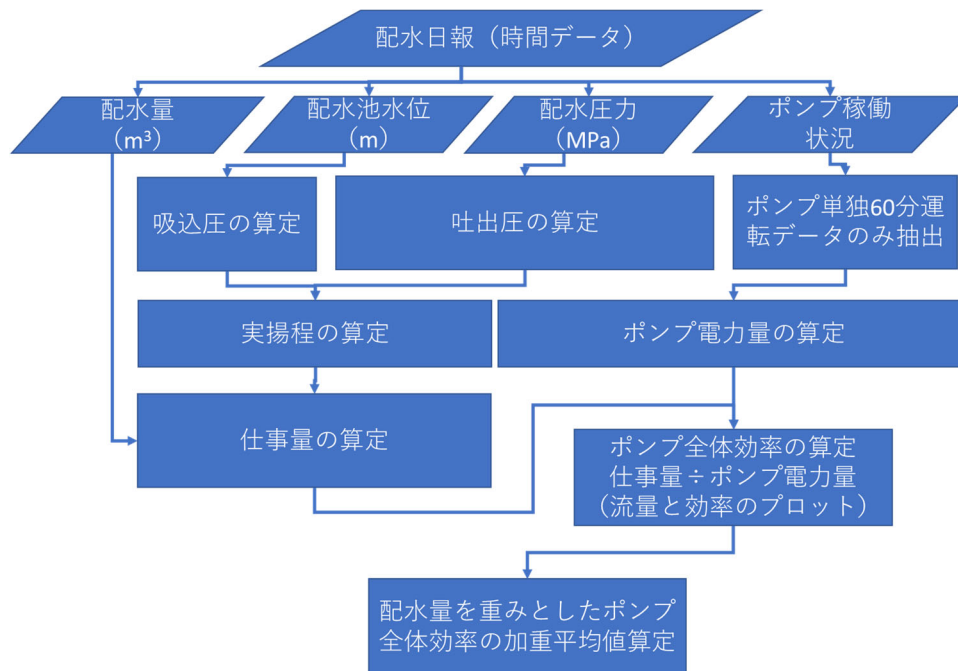


図 5-7 ポンプ全体効率の確認の手順

表 5-5 に示したような日報の毎時記録を基に、ポンプが単独運転している時間帯を抽出の上、ポンプの全体効率を明らかにする。算出したポンプ全体効率と、ポンプの吐出し量 (m³/min) の関係をグラフにプロットして整理すると図 5-8 のようになる。このグラフをポンプごとに作成し、エネルギー効率の改善に向けた検討を行う。

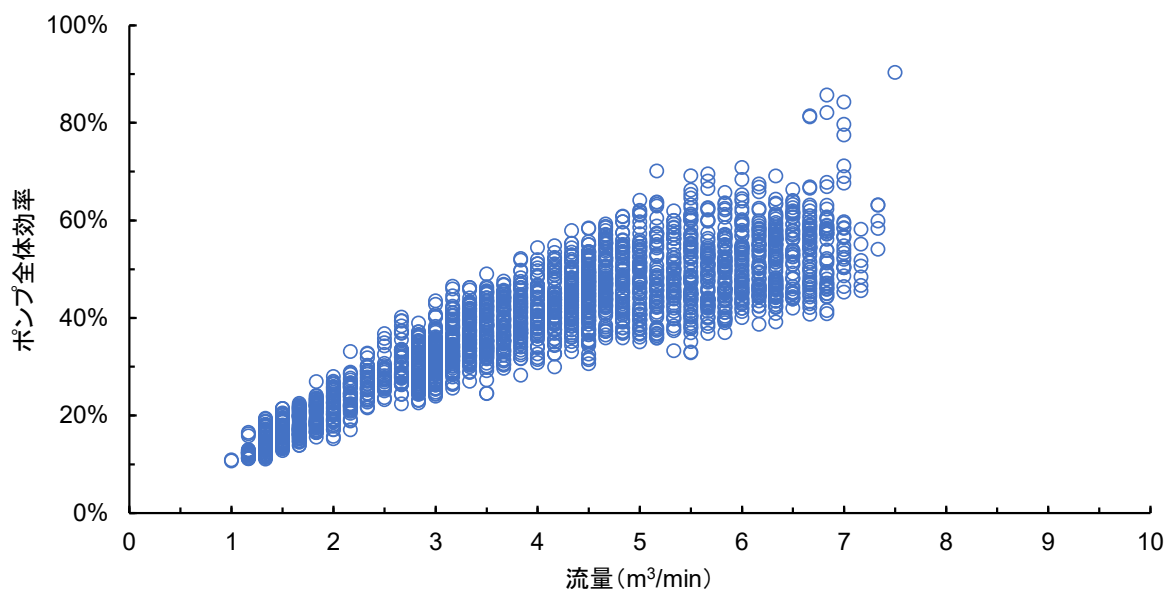


図 5-8 ポンプ全体効率の整理例

配水量ごとにポンプ全体効率を整理したのが表 5-8、性能試験時のポンプ全体効率と実際のポンプ全体効率を比較した事例が図 5-9 である。このような比較により、ポンプが規定通りの性能を発揮しているかを把握することができる。

表 5-8 配水量ごとのポンプ全体効率整理の事例

流量 m ³ /min	時間数 h	全揚程 (m)				運転台数 (台)				電力量 (kWh)				水動力 (kWh)				全体効率			
		最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均	最小	～	最大	平均
1.5~2	386	32.7	～	34.3	33.5	1	～	2	1.1	21.0	～	45.0	41.0	8.1	～	10.3	9.6	19%	～	48%	24%
2~3	979	32.7	～	48.1	34.2	1	～	2	1.1	17.0	～	56.0	40.1	10.7	～	22.3	13.1	24%	～	87%	33%
3~4	311	33.1	～	48.6	42.4	1	～	2	1.0	21.0	～	61.0	43.0	16.5	～	30.2	23.6	42%	～	93%	55%
4~5	437	33.5	～	48.5	39.3	1	～	2	1.0	23.0	～	68.0	50.6	22.1	～	38.3	28.3	46%	～	136%	56%
5~6	342	33.5	～	49.0	44.4	1	～	2	1.0	37.0	～	76.0	66.3	27.5	～	46.7	40.4	49%	～	123%	61%
6~7	1,018	34.2	～	49.3	48.1	1	～	2	1.2	8.0	～	89.0	78.5	33.6	～	55.1	50.7	52%	～	653%	65%
7~8	1,293	34.0	～	50.6	48.3	1	～	4	1.8	43.0	～	105.0	91.0	39.3	～	63.8	58.3	52%	～	135%	64%
8~9	676	46.5	～	50.4	48.4	2	～	3	2.0	71.0	～	119.0	107.4	61.2	～	71.2	66.3	58%	～	94%	62%
9~10	633	47.2	～	49.8	48.4	2	～	4	2.0	79.0	～	132.0	121.5	70.4	～	79.2	74.7	58%	～	93%	62%
10~11	620	47.1	～	49.5	48.5	2	～	4	2.0	90.0	～	141.0	131.9	77.8	～	87.4	82.4	60%	～	89%	63%
11~12	612	47.7	～	49.5	48.5	2	～	4	2.0	103.0	～	151.0	142.0	85.8	～	95.1	90.2	61%	～	86%	64%
12~13	501	47.7	～	49.4	48.6	2	～	4	2.0	112.0	～	161.0	152.4	93.6	～	103.4	98.7	62%	～	87%	65%
13~14	489	48.0	～	49.6	48.8	2	～	4	2.0	118.0	～	172.0	163.1	101.9	～	112.1	106.7	63%	～	89%	66%
14~15	325	48.1	～	49.5	48.9	2	～	4	2.1	126.0	～	186.0	174.6	110.7	～	119.5	114.6	64%	～	90%	66%
15~16	110	47.6	～	49.6	48.9	2	～	3	2.3	180.0	～	197.0	186.8	116.6	～	127.0	122.0	64%	～	67%	65%
16~17	28	47.8	～	49.5	49.0	2	～	3	3.0	193.0	～	229.0	205.5	125.1	～	146.2	132.9	63%	～	66%	65%
合計	8,760											868,059				531,532					61%

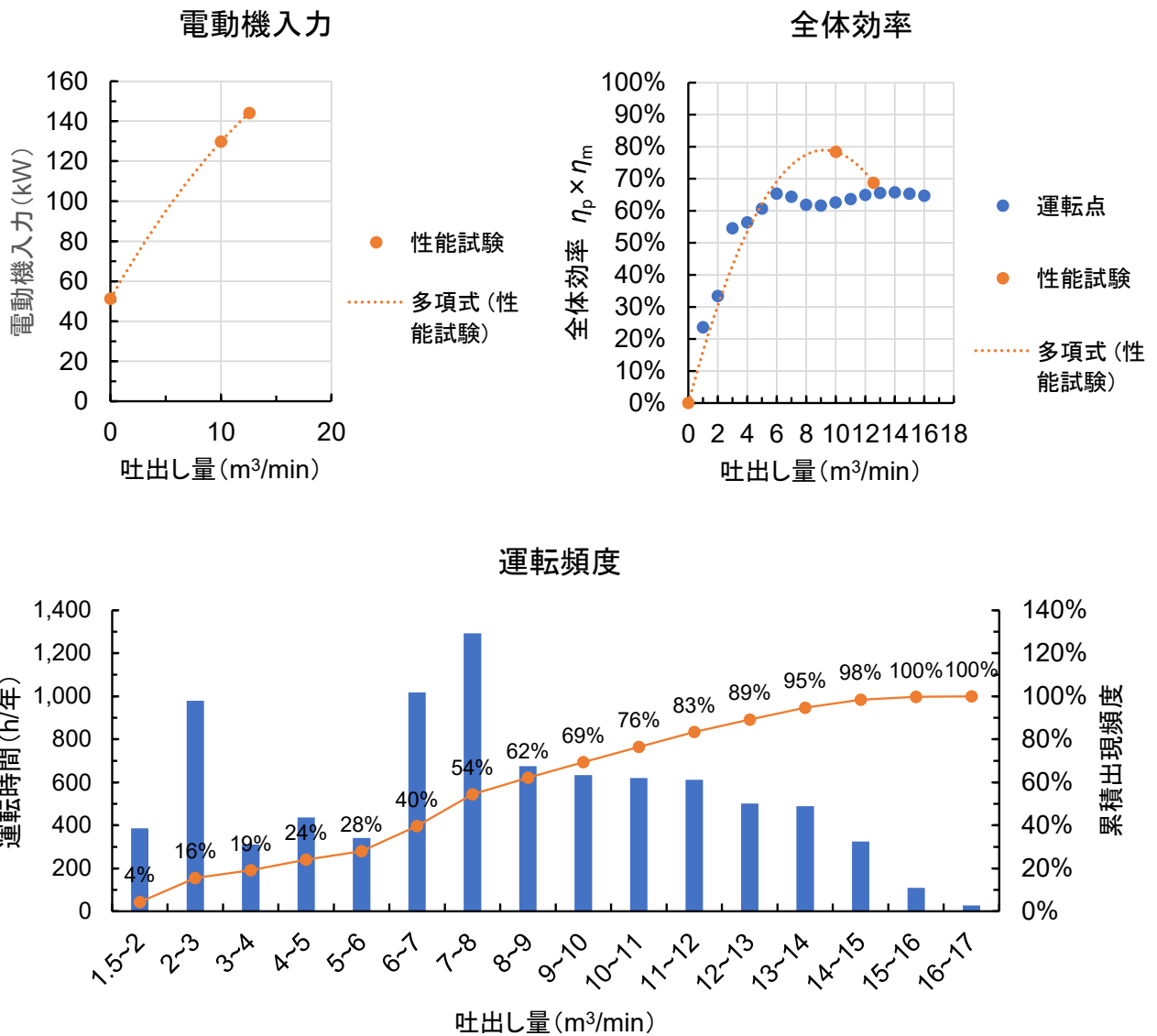


図 5-9 ポンプ性能試験時の電動機入力、ポンプ全体効率と実際の運転状況の整理例

5.4 対策の検討

5.4.1 管理強化・運用見直し

① ポンプ吸込圧力の有効活用

1) 検討余地の把握

ポンプ吸込圧力の活用による消費電力量の削減については、図 5-10 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

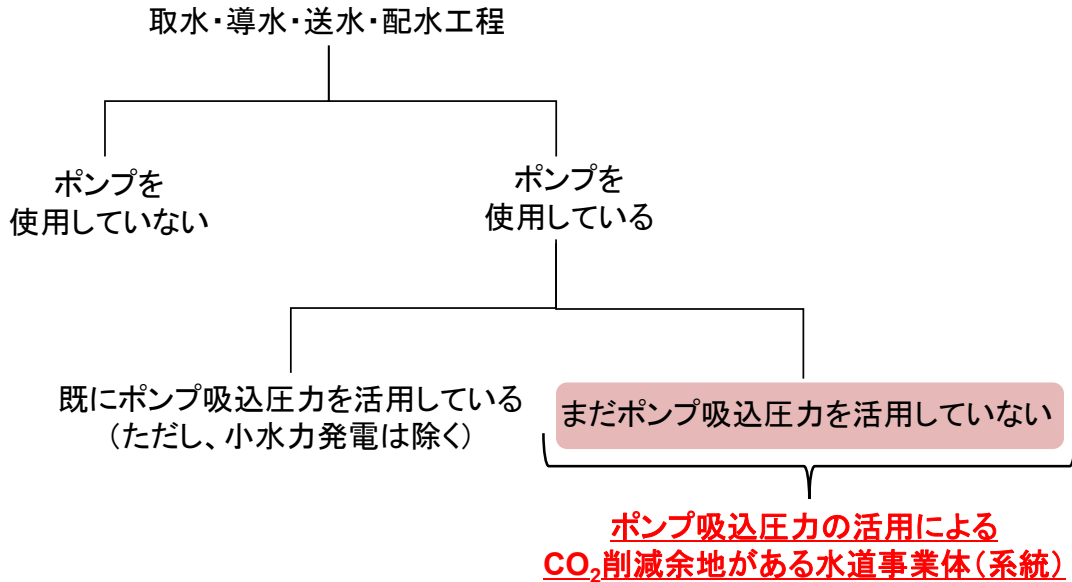


図 5-10 ポンプ吸込圧力活用の検討余地

2) 削減ポテンシャルの定量化

水道事業体がポンプ吸込圧力を活用した場合の削減ポテンシャルは、図 5-11 に示す考えにより定量化する。

受水池等で圧力開放していたことにより、送水ポンプは図 5-11 の実揚程 2 を送水する必要があったが、圧力開放をしないことでポンプ吸込圧力分を削減できる (図 5-11 の実揚程 1 と実揚程 2 の差分)。

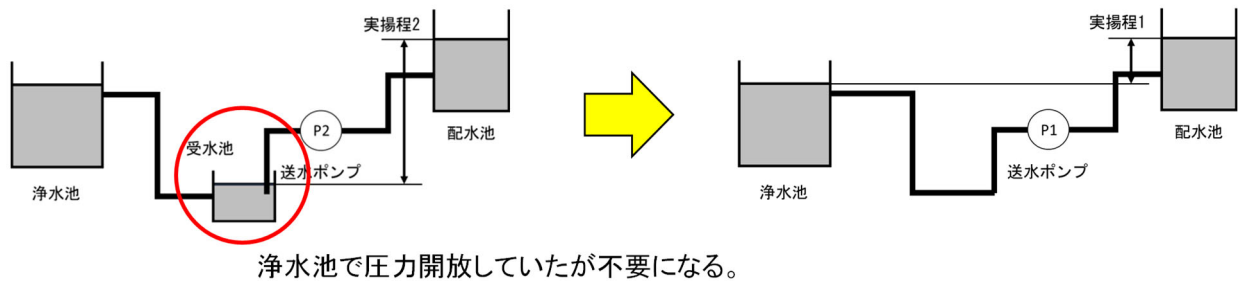


図 5-11 ポンプ吸込圧力の活用イメージ

例えば、夜間にポンプ吸込圧力で送水や配水が賄える場合には、当該時間帯の電力使用量を削減し、削減ポテンシャルとして計上する。

② ポンプ運転台数の見直し

1) 検討余地の把握

ポンプに係るエネルギー対策を検討するにあたっては、現在配置されているポンプ設備の制御目標、および制御方法を踏まえたうえで検討する。ポンプに係る省エネルギー対策の考え方を表 5-9 にまとめた。

ポンプ運転台数の見直しについては、ポンプを複数台設置して台数制御運転を実施している場合に検討の余地があると考えられる。

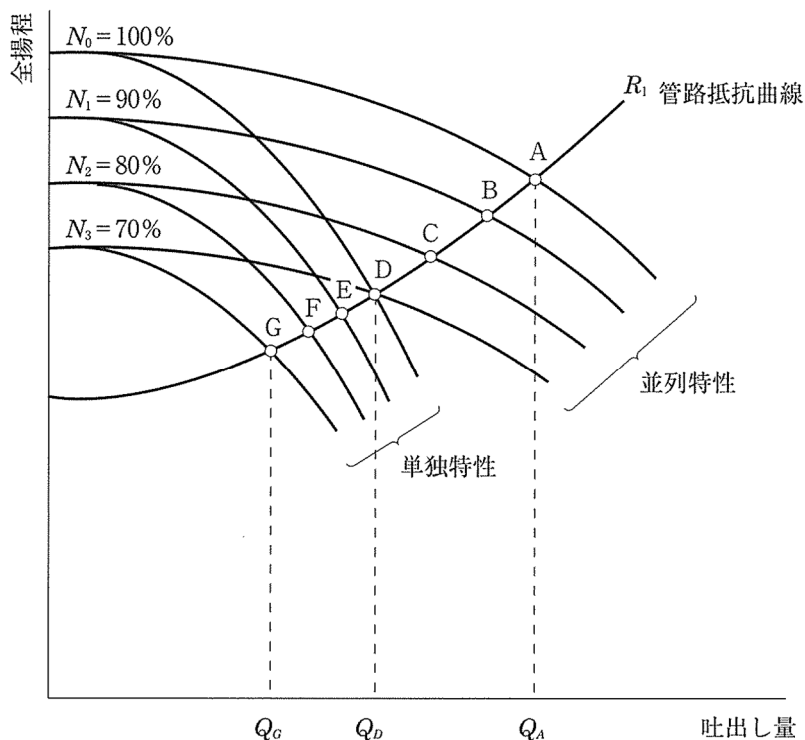
表 5-9 ポンプ設備の対策方法（文献 7 の表 8.12.1 を基に作成）

制御目標	適用系	制御方法			省エネルギー対策の考え方					
		取水	送水	配水	① 運転条件の見直し	② 回転速度制御（インバータ等）の導入	③ 電動機（モーター）の更新	④ ポンプの更新（電動機含む）		
水圧制御	吐出し圧一定制御	●	●	●	<p>回転速度制御回路 吐出し圧設定 H_0: 吐出し圧目標値 R: 目標値設定器 H: 吐出し圧</p>	<p>吐出し圧設定 H_0: 吐出し圧目標値 Q: 流量 H: 吐出し圧</p>	○ 制御目標とする吐出し圧を変更することは難しいと考えられるが、運転台数の見直しにより電力使用量を削減できる可能性もある。	◎ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
	末端圧一定制御	●	●	●	<p>回転速度制御回路 $H_0 = aQ^2 + b$ H: 吐出し圧 Q: 流量 P: ボンプ M: 電動機 V: 吐出し弁 VT: ベンチュリ管</p>	<p>吐出し圧設定 $H_0 = aQ^2 + b$ H: 吐出し圧 Q: 流量</p>	○ 制御目標とする末端圧を変更することは難しいと考えられるが、運転台数の見直しにより電力使用量を削減できる可能性もある。	◎ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
水位制御	吐出し水槽水位一定制御	●	●	●	<p>回転速度制御回路 水位設定 L_0: 水位目標値 L: 水位 T: 水槽</p>	<p>吐出し水位設定 L_0: 吐出水位目標値 L: 吐出水位 T: 水槽</p>	○ 吐出し水槽（送り側配水池）の設定水位を下げられる場合には、設定水位を下げることで電力使用量を削減できる。運転台数の見直しにより削減できる可能性もある。	○ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
	吐出し水槽水位一定 + 配水流量カスケード制御	●	●	●	<p>回転速度制御回路 水位設定 L_0: 水位目標値 L: 水位 Q: 流量 TG: 回転速度換算電圧（タコジェネレータ） N: ボンプ速度 N_0: Q の速度換算値</p>	<p>吐出し水位設定 L_0: 吐出水位目標値 L: 吐出水位 T: 水槽</p>	○ 吐出し水槽（送り側配水池）の設定水位を下げられる場合には、設定水位を下げることで電力使用量を削減できる。運転台数の見直しにより削減できる可能性もある。	○ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。
流量制御	吐出し流量一定制御	●	●	●	<p>回転速度制御回路 流量設定 Q_0: 流量目標値 Q: 流量 T: 水槽</p>	<p>流量設定 Q_0: 流量目標値 Q: 流量 T: 水槽</p>	—	○ 弁開度で流量を制御している場合には、回転速度制御とすることで電力使用量を削減できる。	◎ 電動機の設定年度が古い場合には、トップランナークラスの電動機に交換することで電力使用量を削減できる。	◎ 計画水量と実績水量に大きな乖離がみられる場合には、ポンプ諸元を見直すことにより電力使用量を削減できる。

出典：日本水道協会

2) 削減ポテンシャルの定量化

「水道施設設計指針」⁷⁾によれば、図 5-12 のように、吐出し量が Q_A から Q_D の間は 2 台並列運転で回転速度 70~100%、吐出し量が Q_D ~ Q_G の間は 1 台単独運転で回転速度 70~100%制御で対応できる。図中の Q_D はポンプの定格吐出し量に相当する。



出典：日本水道協会

図 5-12 回転速度制御と台数制御の組み合わせ（文献 7 の参考図-8.4.3 より掲載）

実際の運転状況を確認した時、並列運転となっている期間のポンプ全体効率がポンプ性能試験結果の全体効率よりも低くなっている場合には、ポンプを単独運転とすると、図 5-12 中の回転速度 N が並列運転の時よりも上昇し、ポンプの全体効率が現状よりも高くなることが期待される（図 5-13 参照）。

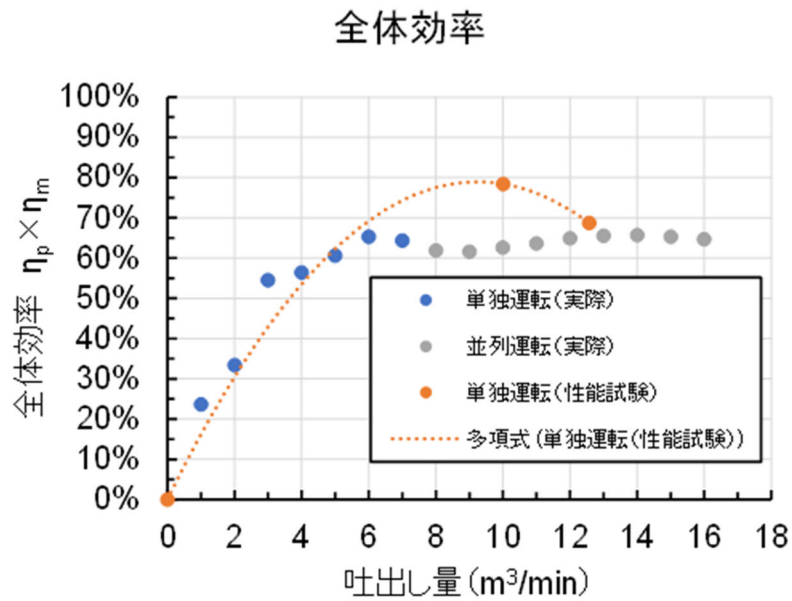


図 5-13 単独および並列運転時のポンプの全体効率の例（性能試験結果と実際の運転点）

このような場合には、以下の式によりポンプを単独運転とした場合の電力使用量を推計し、運転台数の見直しによる電力使用量の削減効果を算定する。

$$\text{単独運転とした場合の電動機入力 (kW)} = \text{水動力 (kW)} \div \text{単独運転の場合の全体効率 (0.7~0.75)} \quad \text{式 5-12}$$

$$\text{電力使用量 (kWh)} = \text{電動機入力 (kW)} \times \text{運転時間 (h)} \quad \text{式 5-13}$$

5.4.2 設備改善、設備付加

① 回転速度制御（インバータ）の導入

1) 検討余地の把握

インバータ導入による消費電力量の削減については、図 5-14 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

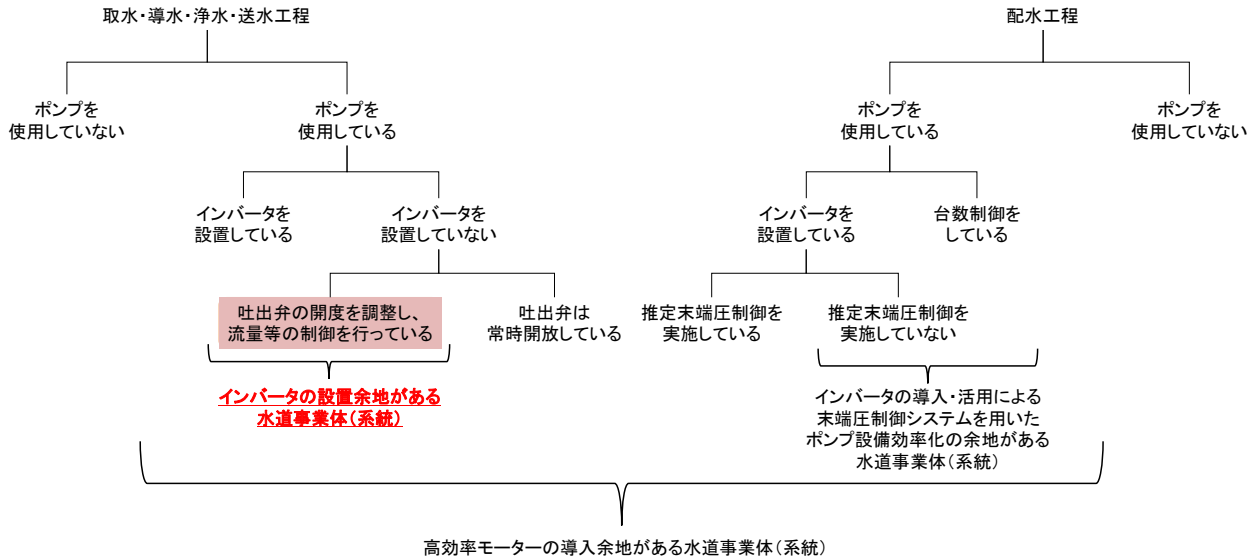


図 5-14 回転速度制御（インバータ）の導入の検討余地

2) 削減ポテンシャルの定量化

図 5-15 に示すポンプ性能曲線より、インバータによる回転速度制御（吐出し圧力一定制御）を行った場合の省エネルギー効果を把握することが可能である⁷⁾。

固定速ポンプの場合には、流量変動（抵抗曲線 1 から抵抗曲線 2 への変化）に対して弁開度制御をかけ、吐出し圧力を一定に制御している。ポンプ動作点は抵抗曲線と Q-H 曲線（揚程曲線 100%N）の交点となり、図 5-15 中の a 点から b 点へと移動する⁷⁾。

可変速ポンプで吐出し圧力一定制御の場合には、流量変動に対して回転速度制御をかけ、吐出し圧力を一定に制御している。図 5-15 中の Q-H 曲線（揚程曲線）は 100%N から x%N へ、抵抗曲線は抵抗曲線 1 から抵抗曲線 3 へと変化し、ポンプ動作点は抵抗曲線と Q-H 曲線（揚程曲線 x%N）の交点である b' 点へと移動する⁷⁾。吐出し圧力一定制御とした場合には、弁開度制御により増加した抵抗分の改善が省エネルギーとなり、ポンプ軸動力の差分が前述の軸動力の省エネルギー P_e となる。

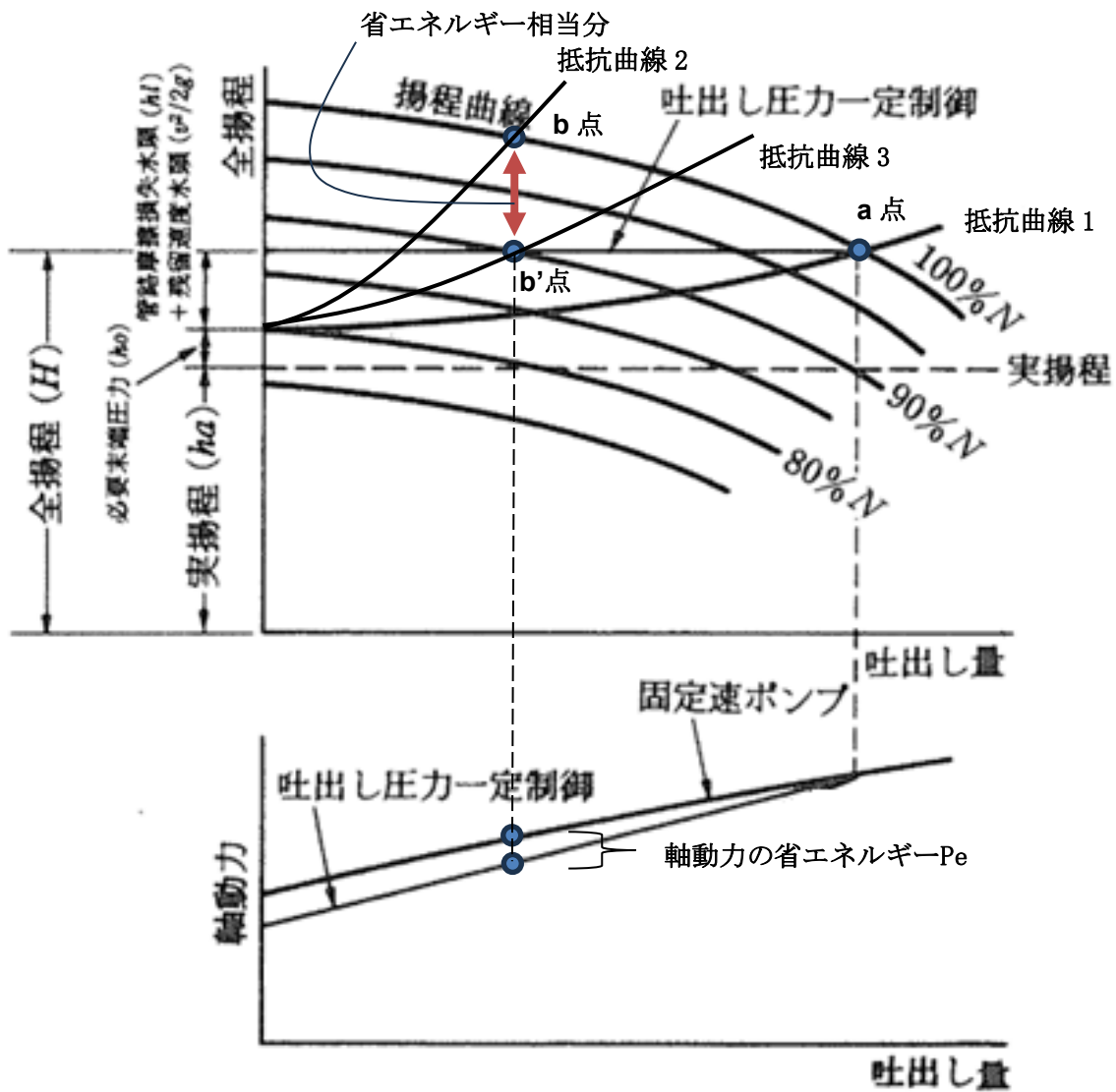
106 頁に後述するポンプ軸動力 P の計算式を用いて、省エネルギー P_e を算定することが可能である。

また、ポンプを固定速から可変速へと変更し、吐出し圧力一定制御で運転した場合の省エネルギー P_e を計算する式としては、以下の式も公表されている¹¹⁾。

$$P_e = P_n \times \{ (H_m - P_x) - (H_m - 1) \times Q_x^2 \} \times Q_x$$

式 5-14

- P_e : 省エネルギー量 (インバータ導入前後のエネルギー量の差分)
- P_n : 定格軸動力
- P_x : 計測圧力比率 (計測圧力 ÷ ポンプの全揚程)
- H_m : 締め切り圧力比 (締め切り圧力 ÷ ポンプの全揚程)
- Q_x : 計測流量比率 (計測流量 ÷ ポンプの定格流量)



出典：日本水道協会

図 5-15 弁開度制御と回転速度制御（吐出し圧力一定制御）の場合の運転点と省エネルギー（文献 7 の図 8.2.22 を基に作成）

5.4.3 プロセスの変更、高効率機器の導入

① ポンプ設備の更新

1) 検討余地の把握

電動機の更新による消費電力量の削減については、図 5-16 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

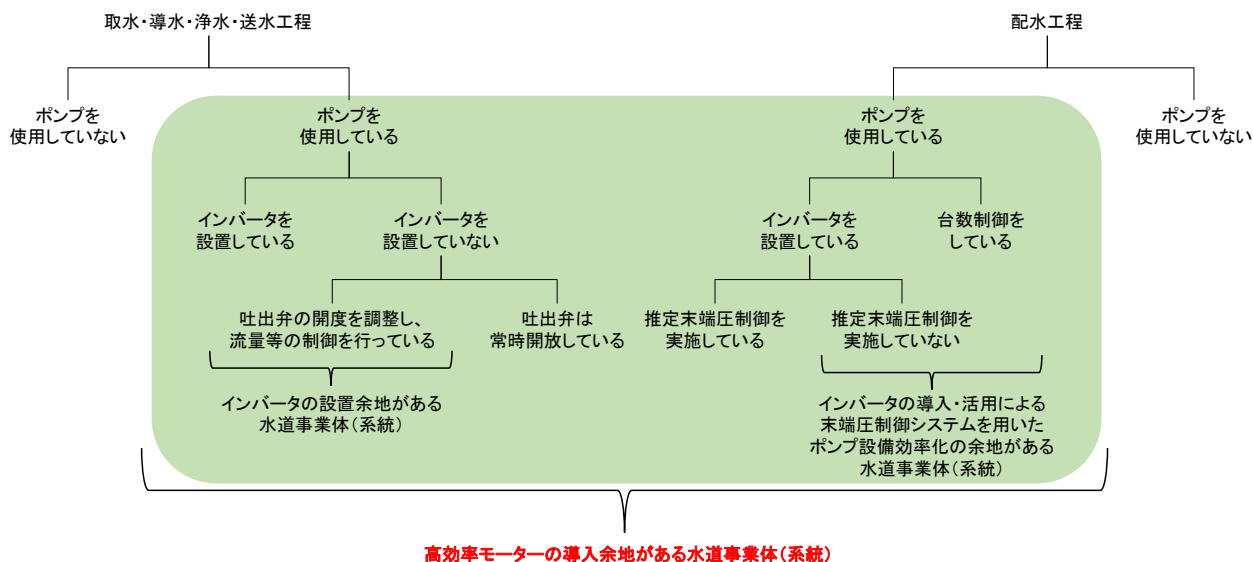


図 5-16 電動機更新の検討余地

2) 削減ポテンシャルの定量化

水道事業者がポンプ更新を行った場合の削減ポテンシャルは、以下の式により定量化する⁷⁾。電動機の効率については、表 5-10 に示すような対比表を用いて評価する¹²⁾。

$$P = \frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p} \quad \text{式 5-15}$$

$$N' = \frac{Q'}{Q} \quad \text{式 5-16}$$

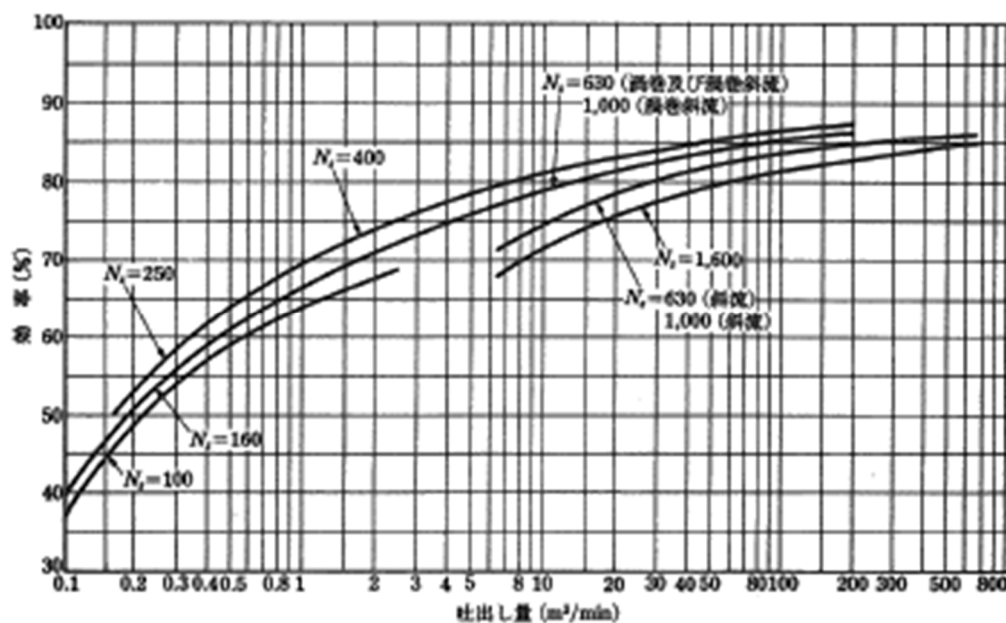
$$P_0 = P \left(\frac{N'}{100} \right)^3 \quad \text{式 5-17}$$

$$P_i = \frac{P_0 \times n}{\eta_m} \quad \text{式 5-18}$$

P	: ポンプの定格軸動力 (kW)	γ	: 流体の単位当たりの質量 (kg/L)
Q	: ポンプの吐出し量 (m ³ /min)	Q'	: ポンプの時間当たりの水量 (m ³ /min)
H	: ポンプの全揚程 (m)	η_p	: ポンプ効率 (-)
α	: 余裕率 0.1~0.15 (電動機の場合)	N'	: 時間給水に必要なポンプ回転速度 (%)
P_0	: 電動機 (出力) 1 台当たりの使用電力 (kW)		
P_i	: 電動機 (入力) の総使用電力 (kW)	η_m	: 電動機の効率 (-)
n	: 電動機の台数		

ポンプ効率 η_p はポンプの吐出し量 Q とポンプ効率の関係(図5-17)より設定する⁷⁾。電動機の性能曲線がない場合には、表5-10を基に電動機の効率を設定する¹²⁾。

更新するポンプ形式が決まっている場合には、図5-18に示すようなメーカーカタログより¹³⁾、ポンプの吐出し量 Q と全揚程 H から、電動機出力(kW)を求める方法もある。電動機出力とは、ポンプの定格軸動力に余裕率を見込んだ値であり、 $P(1+\alpha)$ (kW)に相当する値となる。



注：比速度(N_s)とはポンプ羽根車の形状を表す値であり、値が小さいほど吐出し量が少なく、高揚程のポンプとなる。

出典：日本水道協会

図5-17 吐出し量とポンプ効率(文献7の図8.2.15より掲載)

表 5-10 電動機の効率（文献 12 より掲載）

トップランナーモータ基準値とIEコードとの対比表

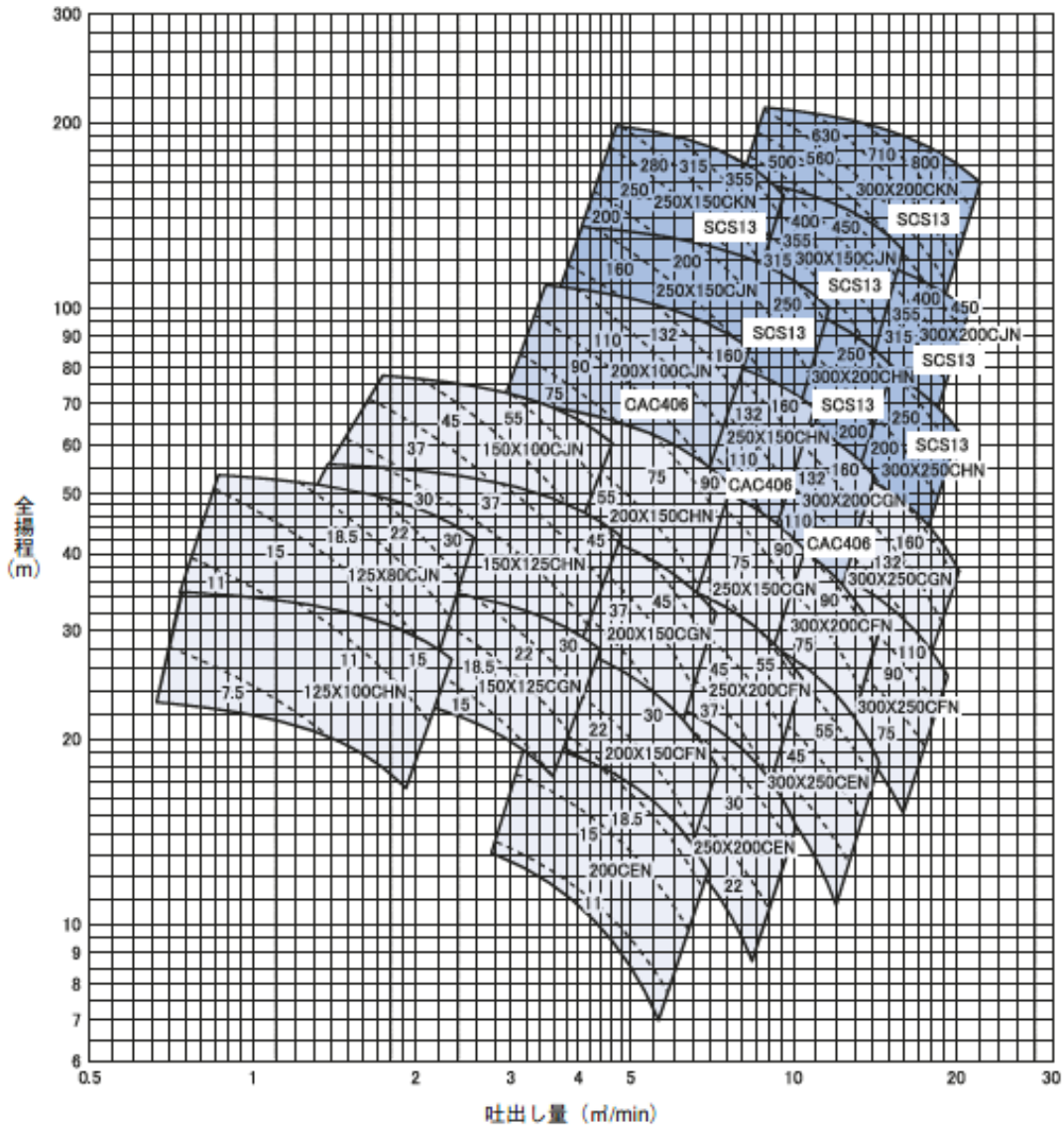
出力 (kW)	IE1 (%)	IE2 (%)	IE3 (%)	トップランナー基準 (%)	区分 (No.)	定格出力	定格周波数又は基底周波数
0.75	78.0	82.5	85.5	85.5	1	0.75kW以上0.925kW未満	60Hz
1.1	79.0	84.0	86.5	86.5	2	0.925kW以上1.85kW未満	
1.5	81.5	84.0	86.5				
2.2	83.0	87.5	89.5	89.5	3	1.85kW以上4.6kW未満	
3.7	85.0	87.5	89.5				
5.5	87.0	89.5	91.7	91.7	4	4.6kW以上9.25kW未満	
7.5	87.5	89.5	91.7				
11.0	88.5	91.0	92.4	92.4	5	9.25kW以上13kW未満	
15.0	89.5	91.0	93.0	93.0	6	13kW以上16.75kW未満	
18.5	90.5	92.4	93.6	93.6	7	16.75kW以上26kW未満	
22	91.0	92.4	93.6				
30	91.7	93.0	94.1	94.1	8	26kW以上33.5kW未満	
37	92.4	93.0	94.5	94.5	9	33.5kW以上41kW未満	
45	93.0	93.6	95.0	95.0	10	41kW以上50kW未満	
55	93.0	94.1	95.4	95.4	11	50kW以上100kW未満	
75	93.2	94.5	95.4				
90	93.2	94.5	95.4	95.8	12	100kW以上130kW未満	
110	93.5	95.0	95.8				
132				96.2	13	130kW以上375kW以下	
150	94.5	95.0	96.2				
160							
185	94.5	95.4	96.2				
200							
375	94.5	95.4	96.2				
0.75	72.1	79.6	82.5	82.5	14	0.75kW	50Hz
1.1	75.0	81.4	84.1	84.1	15	1.1kW	
1.5	77.2	82.8	85.3	85.3	16	1.5kW	
2.2	79.7	84.3	86.7	86.7	17	2.2kW	
3.0	81.5	85.5	87.7	87.7	18	3kW	
3.7							
4.0	83.1	86.6	88.6	88.6	19	4kW	
5.5	84.7	87.7	89.6	89.6	20	5.5kW	
7.5	86.0	88.7	90.4	90.4	21	7.5kW	
11	87.6	89.8	91.4	91.4	22	11kW	
15	88.7	90.6	92.1	92.1	23	15kW	
18.5	89.3	91.2	92.6	92.6	24	18.5kW	
22	89.9	91.6	93.0	93.0	25	22kW	
30	90.7	92.3	93.6	93.6	26	30kW	
37	91.2	92.7	93.9	93.9	27	37kW	
45	91.7	93.1	94.2	94.2	28	45kW	
55	92.1	93.5	94.6	94.6	29	55kW	
75	92.7	94.0	95.0	95.0	30	75kW	
90	93.0	94.2	95.2	95.2	31	90kW	
110	93.3	94.5	95.4	95.4	32	110kW	
132	93.5	94.7	95.6	95.6	33	132kW	
160	93.8	94.9	95.8	95.8	34	160kW	
200	94.0	95.1	96.0	96.0	35	200～375kW	
375	94.0	95.1	96.0				
その他				計算式	36	その他	

IE1～IE3の効率値は、4種の値。効率値が空欄は、IEC/JISに規定なし。

出典：日本電機工業会（JEMA）

■選定図 60Hz 4極

- : 羽根車材料SCS13の機種
- : 羽根車材料CAC406の機種
- : 羽根車材料FC200の機種



注) 1. 線図内の数字-英字は呼び径(mm)-機名を、破線図内の数字は密度1.0kg/Lの場合の電動機出力(kW)を示します。
 2. 6極の場合、選定図が変わりますので当営業所へご照会ください。

出典：荏原製作所

図 5-18 ポンプ選定図の例 (文献 13 より掲載)

② 水道システムの変更

1) 施設統廃合による消費電力の削減

a. 検討余地の把握

施設統廃合による消費電力量の削減については、図 5-19 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

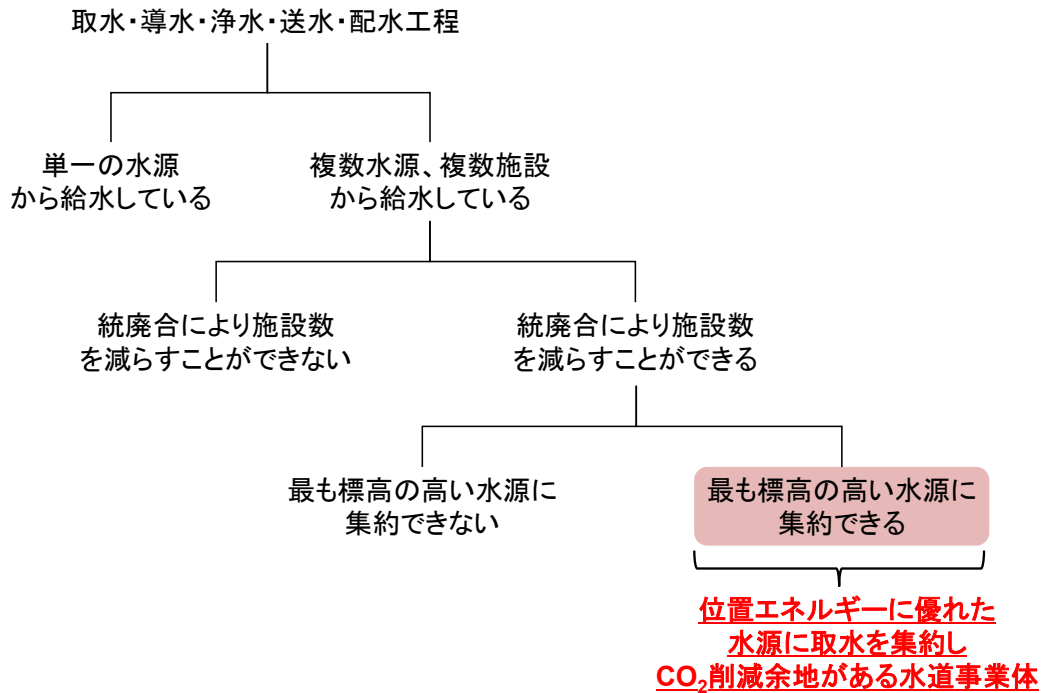


図 5-19 施設統廃合による削減の検討余地

b. 削減ポテンシャルの定量化

水道事業者が施設統廃合を行った場合の削減ポテンシャルは、単純な机上計算では算出できない。このため、既に計画を立案し検討を行っている事業者においてのみ、表 5-11 のように対策前後の電気使用量削減ポテンシャルを整理する。

表 5-11 施設統廃合による電力使用量削減ポテンシャル算定イメージ

	対策実施前 (kWh)		対策実施後 (kWh)
●●系統	50,000	→	-
××系統	300,000	→	330,000
		→	
		→	
合計	350,000	→	330,000

2) 配水ブロック見直しによる消費電力の削減

a. 検討余地の把握

配水ブロックの見直しによる消費電力量の削減については、図 5-20 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

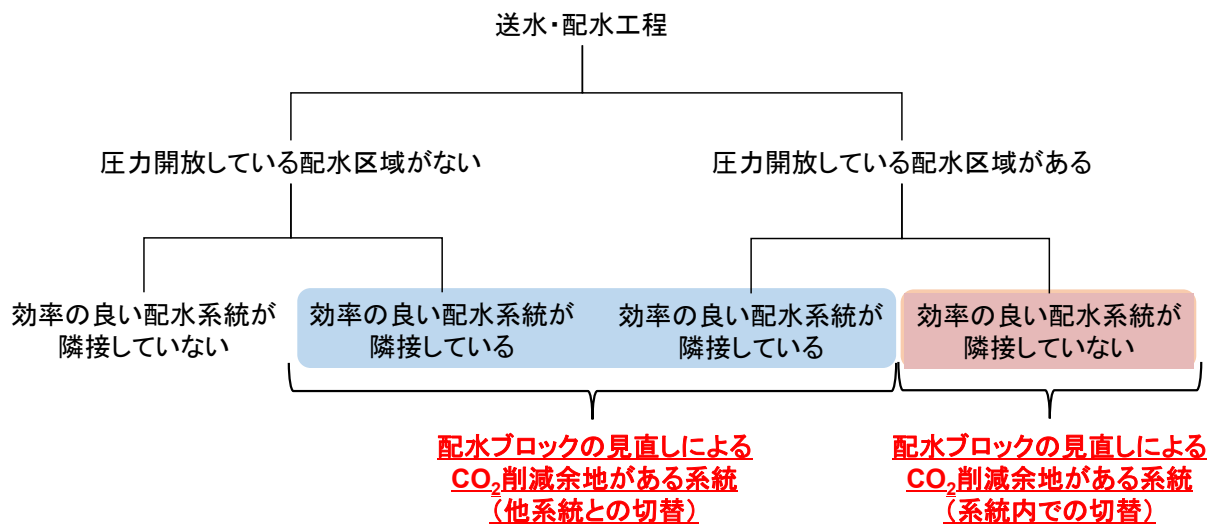


図 5-20 配水ブロック見直しによる削減の検討余地

b. 削減ポテンシャルの定量化

水道事業者が配水ブロックの見直しを行った場合の削減ポテンシャルは、単純な机上計算では算出できない。このため、既に計画を立案し検討を行っている事業者においては表 5-12 のように対策前後の電気使用量削減ポテンシャルを整理する。

表 5-12 配水ブロックの見直しによる電力使用量削減ポテンシャル算定イメージ

	対策実施前 (kWh)		対策実施後 (kWh)
●●配水区	50,000	→	2,000
××配水区	300,000	→	350,000
△△配水区	20,000	→	2,000
		→	
合計	370,000	→	354,000

5.4.4 再生可能エネルギーの導入

① 太陽光発電の導入

1) 検討余地の把握

太陽光発電の導入または拡充による使用電力量の相殺については、図 5-21 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

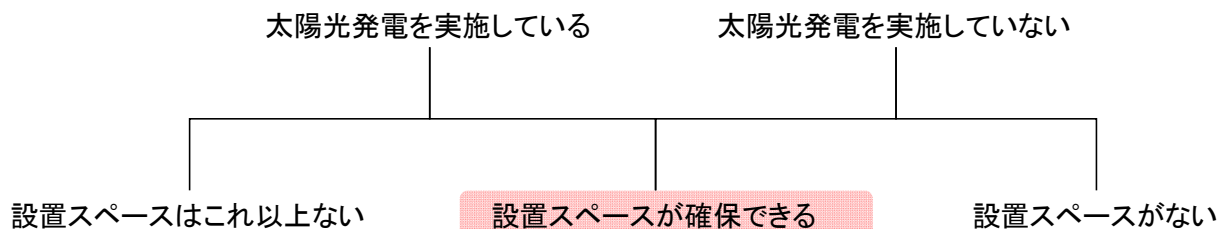


図 5-21 太陽光発電導入または拡充の検討余地

2) 削減ポテンシャルの定量化

水道事業者が太陽光発電の導入または拡充を行った場合の削減ポテンシャルは、以下の式¹⁰⁾により各月の発電電力量を定量化する。

なお、以下の式が適用できるのは「系統連系形太陽光発電システムおよび独立形太陽光発電システムでシステム出力 1 kW 以上」のものであり、「標準太陽電池アレイ開放電圧 750 V 以下」のものである。

$$EP_m = HA_m / G_s \times P_{AS} \times K \quad \text{式 5-19}$$

$$K = K' \times KPT \quad \text{式 5-20}$$

$$KPT = 1 + \alpha P_{\max} \frac{TCR - 25}{100} \quad \text{式 5-21}$$

$$TCR = TAV + \Delta T \quad \text{式 5-22}$$

EP_m : 月間発電電力量 (kWh/月) HA_m : 月積算傾斜面日射量 (kWh/m²/月)

G_s : 標準試験条件における日射強度 (kW/m²) (=1.0 kW/m²)

P_{AS} : アレイ出力 (kW) K : 月別総合設計係数

K' : 基本設計係数 (総合設計係数から温度補正係数を除いたもの)

KPT : 温度補正係数 (-) αP_{\max} : 最大出力温度係数 (%/°C)

TAV : 月平均気温 TCR : 加重平均太陽電池モジュール温度 (°C)

ΔT : 加重平均太陽電池モジュール温度上昇 (°C)

ここで、基本設計係数 K' は JIS C8907 に示された補正係数（表 5-13）を用いれば¹⁸⁾、表 5-14 のように計算できる。

表 5-13 補正係数値（文献 18 の表 5 を基に作成）

補正係数名称	記号	備考	補正係数値
日射量年変動補正係数	KHD		0.97
経時変化補正係数	KPD	結晶系	0.95
アレイ回路補正係数	KPA		0.97
アレイ負荷整合補正係数	KPM	連系形	0.94
		独立形	0.89
		日射に追従した負荷だけをもつ場合	0.91
蓄電池寄与率	γ BA		0.80
		日射に追従した負荷だけをもつ場合	0.37
蓄電池充放電効率	η BA		0.83
連系形インバータエネルギー効率	η INO		0.90
直流コンディショナエネルギー効率	η DDO		0.90
加重平均太陽電池モジュール温度上昇（°C）	ΔT	裏面開放形（架台設置形）	18.4
		屋根置き形	21.5
		屋根一体形	25.4
		裏面密閉形（建材一体形）	28.0
最大出力温度係数	α Pmax	結晶系	-0.40 ~ -0.50（%・°C ⁻¹ ）

出典：日本産業規格（JIS）

表 5-14 基本設計係数 K' の計算例

補正係数項目	負荷の形態		
	系統連系形	独立形（直流負荷）	独立形（交流負荷）
日射量年変動補正係数 KHD	0.97	0.97	0.97
経時変化補正係数 KPD	0.95	0.95	0.95
アレイ回路補正係数 KPA	0.97	0.97	0.97
アレイ負荷整合補正係数 KPM	0.94	0.89	0.89
蓄電池寄与率 γ BA	—	0.80	0.80
蓄電池充放電効率 η BA	—	0.83	0.83
コンバータ実効効率 η DDO	—	0.90	—
インバータ実効効率 η INO	0.90	—	0.90
基本設計係数 K'	0.76	0.62	0.62
基本設計係数 K' 計算式	$K' = KHD \times KPD \times KPM \times KPA \times \eta$ INO	$K' = KHD \times KPD \times KPM \times KPA \times (1 - \gamma BA + \gamma BA \times \eta BA) \times \eta$ DDO	$K' = KHD \times KPD \times KPM \times KPA \times (1 - \gamma BA + \gamma BA \times \eta BA) \times \eta$ INO

注：表 5-13 に示した補正係数値より¹⁸⁾、系統連系形（蓄電池なし）、独立形（蓄電池あり、直流負荷）、独立系（蓄電池あり、交流負荷）の場合について試算した。

なお、アレイ出力 P_{AS} は、太陽光発電設備の設置可能面積がわかれば、以下の式により算定できる。

$P_{AS} = G_s \times EF \times f \times A = 0.0833 \times A$ <p> P_{AS} : 標準太陽電池アレイ出力 (kW) G_s : 標準試験条件における日射強度 (kW/m²) (=1.0 kW/m²) EF : 太陽電池モジュールの変換効率 (-) f : 太陽光発電設備設置可能面積に対する太陽光発電パネル面積の割合 (-) A : 太陽光発電設備を設置できる面積 (m²) </p>	式 5-23
---	--------

太陽電池モジュールの変換効率 EF は設置する太陽電池セルの種類によって異なる (表 4-10)¹⁵⁾が、環境省地球温暖化対策課の「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル概要資料導入編」²⁰⁾によれば、戸建て住宅以外については、以下の式で表される。これは、太陽電池モジュールの変換効率 EF が 0.15、 f が 0.56 の場合に相当する。

$P_{AS} = 0.0833 \times A$ 式 5-24

定量化した各月の発電ポテンシャルは表 5-15 のように整理し¹⁸⁾、年間の発電ポテンシャルを試算する。試算に用いる月積算傾斜面日射量、月平均気温については、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の日射量データベース閲覧システム¹⁹⁾の値が利用できる。

表 5-15 太陽光発電による発電電力量 (文献 18 の表 4 より掲載)

月	月平均日積算 傾斜面日射量 HS (kWh/m ² /d)	月積算傾斜面日射量 HAm (=d×HS) (kWh/m ² /month)	温度補正係数 KPT	月別総合設計係数 K = K' × KPT	月間システム発電電力量 推定値 EPm = K × PAS × HAm/GS (kWh/month)
1月					
2月					
3月					
4月					
5月					
6月					
7月					
8月					
9月					
10月					
11月					
12月					
年間システム発電電力量EPy(kWh/year)					0

出典：日本産業規格 (JIS)

② 小水力発電の導入

1) 検討余地の把握

小水力発電の導入または拡充による再生可能エネルギーの利用については、図 5-22 に示す系統に対して検討の余地があると考えられる。

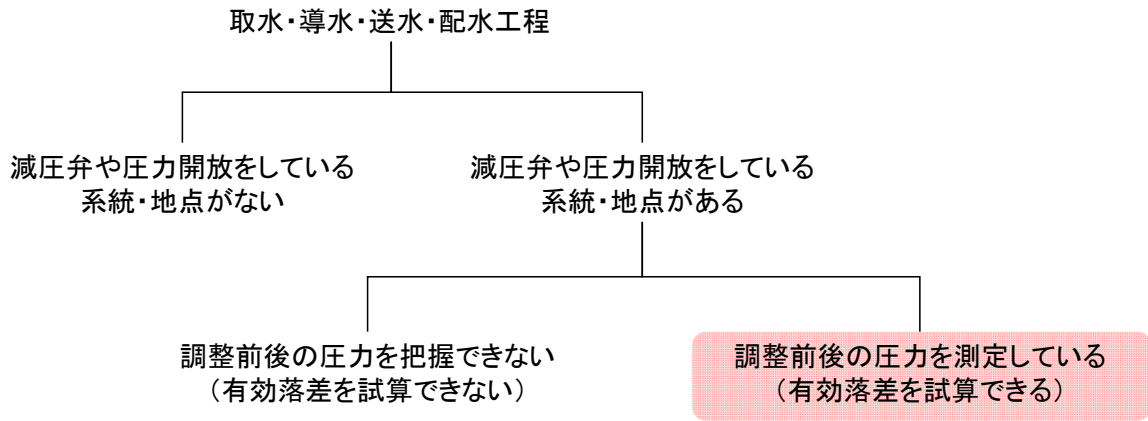


図 5-22 小水力発電導入または拡充の検討余地

2) 削減ポテンシャルの定量化

水道事業者が小水力発電の導入または拡充を行った場合の削減ポテンシャルは、以下の式²²⁾により定量化する。

●発電機の出力		
$P=9.8 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g$		式 5-25
P : 発電出力 (kW)	Q : 使用水量 (m^3/s)	H : 有効水頭 (落差) (m)
η_t : 水車効率 (0.75~0.9)	η_g : 発電効率 (0.82~0.93)	

◆H : 有効水頭 (落差)

有効水頭 (落差) は取水水位と放水水位の水位差から導水管路の損失水頭を差し引いて算出する (図 5-23 の上部水槽から下部水槽までの標高差)。また、減圧バルブの代替に小水力発電設備を導入する場合は減圧バルブの前後の圧力差を有効水頭 (落差) とすることができる (図 5-23 の水車・発電機前後の圧力差)。それ以外の場合は、直管、曲がり、漸縮等の局所損失、管路粗度係数等を考慮して計算する。

減圧バルブ前後の圧力から有効水頭 (落差) を計算する場合、 H は以下で求める。

$$H = \{ \text{入口側圧力 (MPa)} - \text{出口側圧力 (MPa)} \} \div 0.0098$$

式 5-26

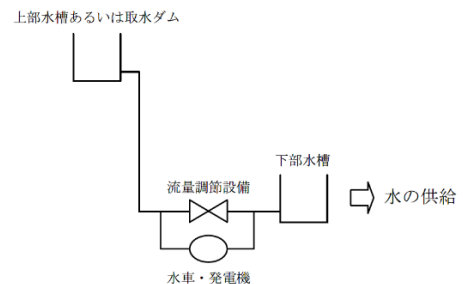


図 5-23 水道システムのイメージ

◆Q：使用水量

使用水量については、流量観測を少なくとも1年以上実施して、他地点の流量資料との相関により計画地点での流量資料を整理する（表 5-16、5-17 参照）。流量資料を基に流況曲線（図 5-24）を作成し、最大使用水量の設定等、発電規模の検討を行う。

最大使用水量は発電所で使用する最大の水量であり、想定する電力需要に対して、自家発電設備として電力供給する場合の需給バランスを検討する中で決定される。なお、減圧用バルブ等で流量調整を行っていた設備に変わって、併設して設置する水車によってエネルギーを回収する場合は、発電の取水量は水需給から一意的に決められ、最大使用水量は設備の最大流量となる。

表 5-16 流況の整理

(単位：m³/s)

最大流量	35日流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渴水量 (355日)	最小流量	平均流量
0.153	0.135	0.129	0.124	0.118	0.106	0.099	0.124

表 5-17 小水力発電の最大使用水量と設備利用率の設定例

i	流況値 A A _i (m ³ /s)	B A _i -A _{i-1} (m ³ /s)	日数 C (A _i +A _{i-1})/2 (日)	D B×C (m ³ /s・day)	使用可能量 E Σ Di (m ³ /s)	G A _i ×365 (m ³ /s)	流量設備利用率 H E/G %
1	Q365 0.099	0.099	365	35.99	35.99	35.99	100%
2	Q355 0.106	0.007	360	2.50	38.49	38.53	100%
3	Q275 0.118	0.012	315	3.85	42.34	42.99	98%
4	Q185 0.124	0.006	230	1.41	43.75	45.22	97%
5	Q95 0.129	0.006	140	0.78	44.53	47.25	94%
6	Q35 0.135	0.006	65	0.38	44.91	49.38	91%
7	Q1 0.153	0.018	18	0.32	45.22	55.76	81%

最大使用水量： 0.153 m³/s
 常時使用水量： 0.106 m³/s

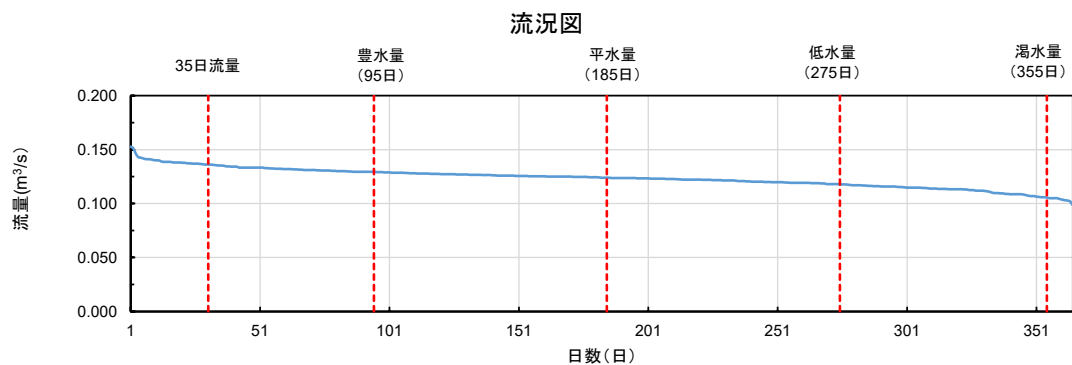
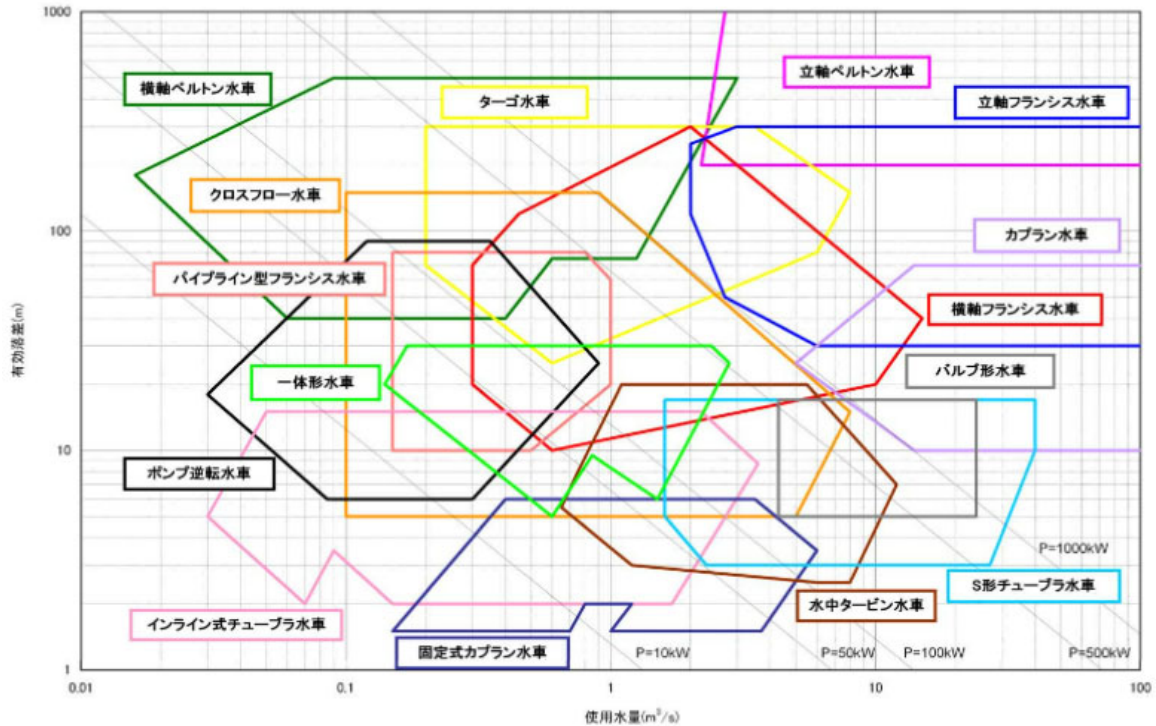


図 5-24 流況図作成のイメージ

◆ η_t : 水車効率、 η_g : 発電効率

水車効率、発電効率については規模により異なるため、設計条件（最大使用水量、有効落差）を図 5-25 にあてはめ、水車の方式を選定したうえで設定する²²⁾。

選定した水車方式を踏まえ、使用流量比（負荷率）に応じた水車効率 η_t 、発電効率 η_g を設定し、合成効率 ($\eta_t \times \eta_g$) を求める。ここでは概算値として合成効率を設定するが、実際には現地の状況に合わせた設計が必要となる。



出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 5-25 水車方式の選定（文献 22 の図 4.1 より掲載）

◆発電電力量の算定

選定した水車方式を踏まえ、使用流量比（負荷率）に応じた水車効率 η_t 、発電効率 η_g を設定し、合成効率（ $\eta_t \times \eta_g$ ）を求める。

水車効率（ η_t ）の設定手順を以下に示す。

(1) 有効落差 H_e から選定したポンプ型における限界比速度 $N_{s\text{limit}}$ を求める（以下は、チューブラ水車の場合の式）。

$$N_{s\text{limit}} \leq \frac{21,000}{H_e + 16} + 50 \quad \text{式 5-27}$$

(2) 式 5-28 は水車の回転速度 N から、比速度 N_s を求める式である。この式 5-28 を用いて、限界比速度 $N_{s\text{limit}}$ から限界回転速度 N_e を算出する。

$$N_s = N \frac{P^{1/2}}{H_e^{5/4}} \quad \text{式 5-28}$$

(3) N_e を超えない範囲かつ、表 5-18 の標準回転速度に近い値を水車の回転速度 N として採用する²²⁾。

表 5-28 標準回転速度（文献 22 の表 4.2 より掲載）

極数	50 Hz	60 Hz	極数	50 Hz	60 Hz
4	1,500	1,800	14	429	514
6	1,000	1,200	16	375	450
8	750	900	18	333	400
10	600	720	20	300	360
12	500	600	24	250	300

単位 (min⁻¹)

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

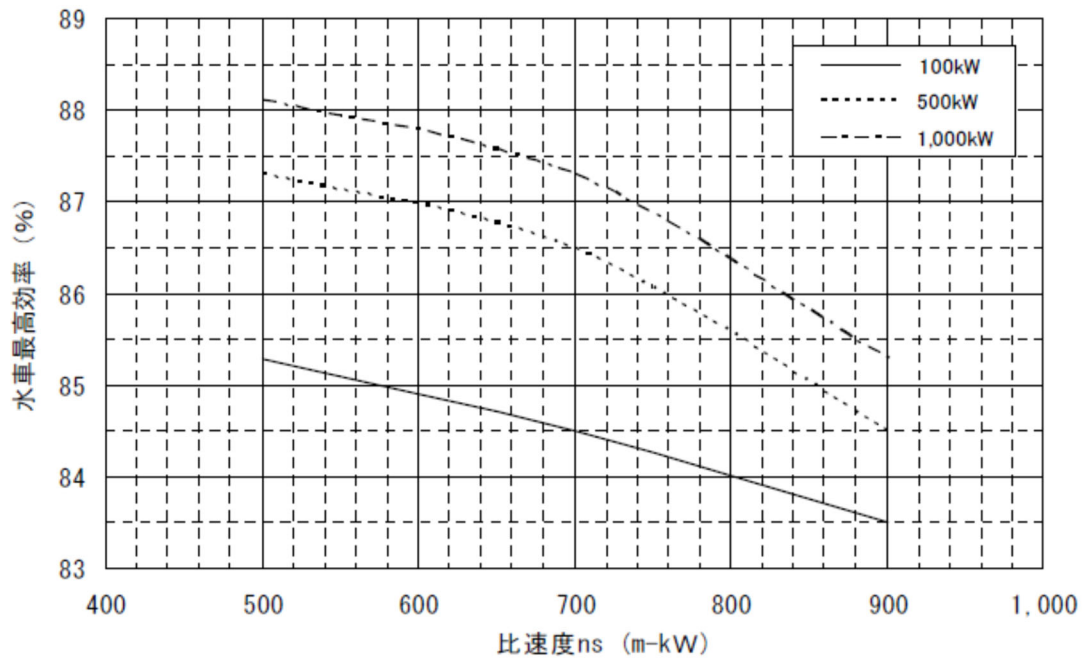
(3) N を再び式 5-28 に適用して定格回転速度時の比速度 N_s を決定する。

(4) 設定した比速度 N_s に対応する最高効率、使用流量比ごとの相対効率を図 5-26、5-27 から読み取ることにより、使用流量別の水車効率（ η_t ）を設定する²²⁾。

(6) 電動機の効率は図 5-28、5-29 より設定する²²⁾。

チューブラ水車の最高効率 (%)

比速度 ns (m-kW)	500	700	900
水車出力 (kW)			
100	85.3	84.5	83.5
500	87.3	86.5	84.5
1,000	88.1	87.3	85.3



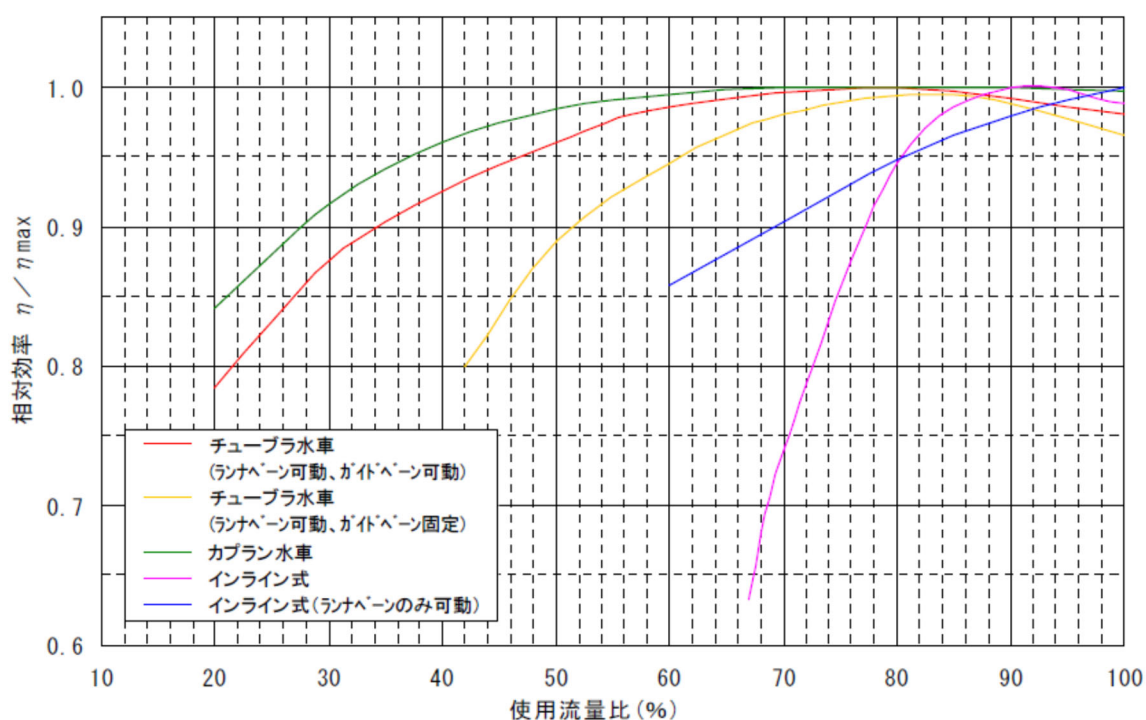
出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 5-26 水車の最高効率（チューブラ水車の場合）（文献 22 の図 4.7 より掲載）

上段；使用流量比（％）

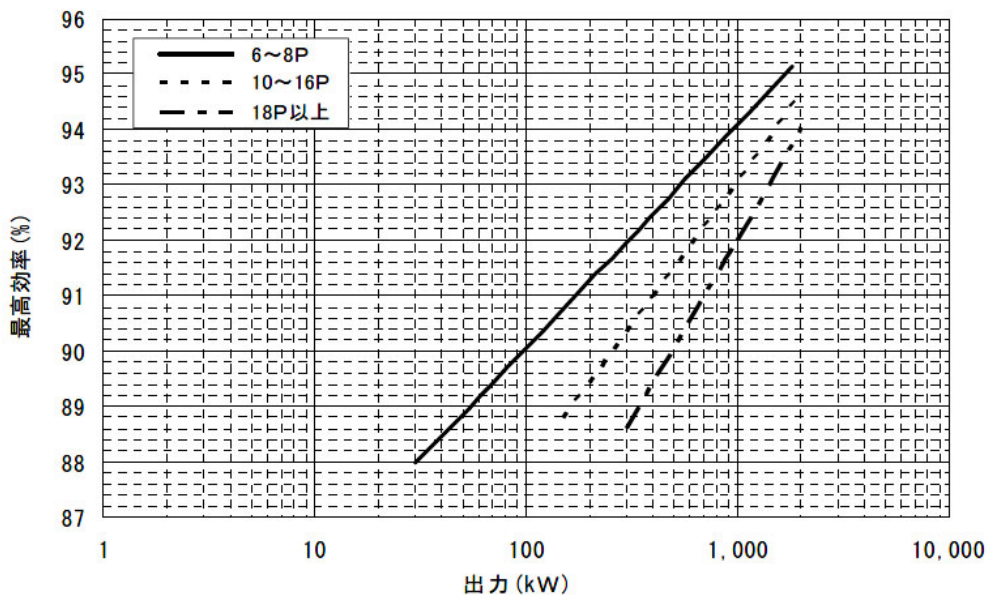
下段；相対効率

チューブラ水車	100	80	60	50	40	30	20	ランナベーン、ガイドベーン可動
	0.98	1	0.985	0.96	0.925	0.875	0.785	
	100	85	70	60	50	42	—	ランナベーンのみ可動
	0.965	0.995	0.98	0.945	0.89	0.8	—	
カプラン水車	100	80	60	50	40	30	20	
	0.997	1	0.995	0.984	0.96	0.916	0.841	
インライン水車	100	90	80	70	67	—	—	ランナベーン、ガイドベーン可動
	0.988	1	0.945	0.74	0.633	—	—	
	100	90	80	70	60	—	—	ランナベーンのみ可動
	1	0.979	0.947	0.904	0.858	—	—	



出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

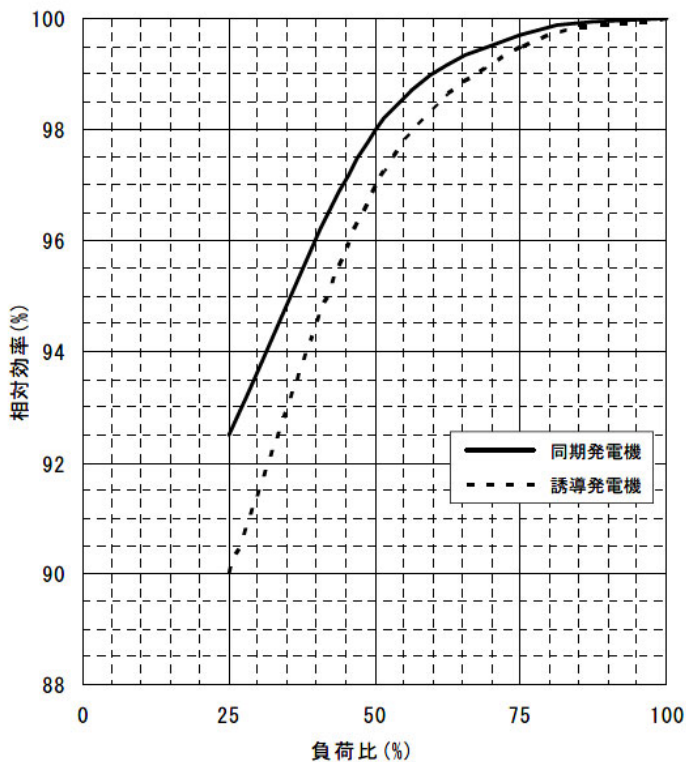
図 5-27 水車の相対効率（文献 22 の図 4.8 より掲載）



※同期発電機の場合は定格力率95%時の効率
 自立運転を考慮して、力率80%の場合は1.5~2%効率は低下する

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 5-28 発電機定格出力時の最高効率（目安値）（文献 22 の図 5.1 より掲載）



負荷比(%)	相対効率(%)	
	同期発電機	誘導発電機
100	100	100
75	99.7	99.5
50	98.0	97.0
25	92.5	90.0

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

図 5-29 電動機部分負荷効率（目安値）（文献 22 の図 5.2 より掲載）

上述の方法で合成効率 ($\eta_t \times \eta_g$) を設定し、使用水量と有効落差より表 5-19 のように発電電力を算定する。

表 5-19 小水力発電による電力消費量削減ポテンシャル

最大使用水量： 0.153 m³/s 有効落差： 8.2 m

② 日順	③ 日数 (日)	④ 使用水量 (m ³ /s)	⑤ 負荷率 (%)	⑥ 合成効率 (%)	⑦ 発電出力 (kW)	⑧ 平均発電出力 (kW)	⑨ 発電電力量 (kWh)
最大頭切 日数	1	0.153	100	67	8.2	8.2	197
豊水 95日	95 ~ 1 94	0.129	85	68	7.0	7.6	17,216
平水 185日	185 ~ 95 90	0.124	81	66	6.6	6.8	14,693
低水 275日	275 ~ 185 90	0.118	77	64	6.1	6.3	13,626
渇水 355日	355 ~ 275 80	0.106	69	50	4.2	5.1	9,878
365日	365 ~ 355 10	0.099	65	42	3.3	3.8	907
計	365					⑩	56,517

3) 経済性の検討

予測される年間発電電力量を基に経済性の検討を行う必要がある。詳細は経済産業省資源エネルギー庁の「水力発電計画工事費積算の手引き」²²⁾によるが、検討方法として以下の式により発電原価を算出し、電力会社から購入している買電単価と比較することにより、発電計画の経済性をおおよそ判断することができる。

表 5-20 のように工事費が算出された場合、以下の式により発電原価を算出して買電単価と比較することにより、経済性を評価することができる²³⁾。

$$\text{発電原価 (円/kWh)} = \frac{\text{総工事費} \times \text{年経費率} + \text{運転保守費}}{\text{有効電力量}} \quad \text{式 5-29}$$

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \quad \text{式 5-30}$$

r : 金利

n : 耐用年数

表 5-20 開発規模の比較検討事例（文献 23 の表 13.4.6 より掲載）

項 目		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
流域面積 (km ²)		708.5					
発電計画	総落差 (m)	13.80					
	最大出力 (kW)	8	32	56	80	104	130
	最大使用水量 (m ³ /s)	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6
	有効落差 (m)	11.08	11.51	11.58	11.65	11.67	11.69
	年間可能発電電力量 (kWh)	62,019	257,810	453,905	652,377	849,132	1,046,691
発電概要	取水口 (m)	既設取水設備を利用					
	排砂門 (m)	既設排砂設備を利用					
	開水路 (m)	既設開水路を利用					
	水圧管路 露出部 (m)	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
	材質	鉄管	鉄管	鉄管	鉄管	鉄管	鉄管
	内径 (m)	0.250	0.500	0.650	0.800	0.900	1.000
	放水口形式	開 渠					
発電形式	流 れ 込 み						
水車形式	クロスフロー水車						
河川利用概要	河水利用率 (%)	0.2	0.8	1.4	2.0	2.6	3.2
	流量設備利用率 (%)	100.0	99.0	98.2	97.8	96.9	95.1
	設備利用率 (%)	88.5	92.0	92.5	93.0	93.2	93.3
工事費 (百万円)	62.2	79.3	106.2	122.2	131.6	141.3	
経済性指標	kW 当り建設単価 (千円/kW)	7,775	2,478	1,896	1,528	1,265	1,087
	kWh 当り建設単価 (円/kWh)	1,003	308	234	187	155	135
経済性評価							◎

出典：経済産業省資源エネルギー庁，新エネルギー財団

5.5 CO₂削減ポテンシャルの推計

5.4 節で整理した各対策における削減電力使用量を用いて、当該水道事業体における CO₂ 削減ポテンシャルを算定する（表 5-21 参照）²⁵⁾。

電力使用量の削減ポテンシャルに、当該事業体が契約している電気事業者別排出係数を掛け合わせて算出する²⁵⁾。排出係数は、検討段階で公表されている最新値を用いる。なお、排出係数には、基礎排出係数と、再生可能エネルギー電力の調達等の取組みが反映された調整後排出係数の 2 種類がある。当該事業体の地球温暖化対策実行計画などの諸計画で用いられている排出係数を使用することを第一に検討する。

表 5-21 各対策による電力使用量と CO₂ 換算量の削減ポテンシャル（電気事業者別排出係数は文献 25 参照）

対策メニュー		電力使用量の削減ポテンシャル (kWh/年)	CO ₂ の削減ポテンシャル (t-CO ₂ /年)
省エネルギー対策	電動機の更新	→	
	インバータの導入	→	
	ポンプの更新	→	
再生可能エネルギーの活用	太陽光発電	→	
	小水力発電	→	
水道システムの再検討	受水圧力の活用	→	
	施設統廃合	→	
	配水ブロックの見直し	→	
	水道システムの再構築	→	
ポテンシャル計		0	0

電気事業者別排出係数

0.000441 (t-CO₂/kWh)

↑当該事業体が契約している電気事業者別排出係数を入力すること（当初入力値は一般送配電事業者の代替値（令和5年度））

第6章 まとめ

本報告書では、F 水道事業を対象として、現状の電力使用量を把握し、消費電力分析等を通じて①管理強化・運用見直し、②設備改善、設備付加、③プロセスの変更、高効率機器の導入、④再生可能エネルギーの導入の4つに分類した対策に基づいて、CO₂削減ポテンシャルの推計を行った。その結果を踏まえ、他の水道事業体の参考となるよう情報収集からCO₂削減ポテンシャルの推計に至る一連の手順をとりまとめた。

とりまとめた手順を活用し、各水道事業体においてCO₂削減ポテンシャルを把握し、設備更新、広域化などの機会をとらえて、水道システムにおける電力使用量の削減、温室効果ガス排出量の削減を進めていくことが期待される。

謝辞

本研究は、令和4年度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（22CA2007）（研究代表者：国立保健医療科学院 小坂浩司）」において実施した。

解析にあたり必要な情報は、対象水道事業体にご提供いただいた。調査実施にあたり、株式会社日水コンにご協力いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 環境省. 地球温暖化対策の推進に関する法律 (1998 年法律第 117 号, 最終改正: 2022 年法律第 46 号). 1998.
- 2) 閣議決定. 地球温暖化対策計画. 2021.
- 3) 厚生労働省, 株式会社日水コン. 脱炭素水道システム構築へ向けた調査等一式報告書. 2020.
- 4) 社団法人日本水道協会. 水道施設におけるエネルギー対策の実績. 日本水道協会, 東京, 2009.
- 5) F 水道事業より提供.
- 6) テラル株式会社. 三相誘導電動機の消費電力はどうやって計算しますか?
https://faq.teral.net/faq/show/10965?back=front%2Fcategory%3Ashow&category_id=198&page=1&site_domain=public&sort=sort_access&sort_order=desc
- 7) 公益社団法人日本水道協会. 水道施設設計指針 2012 年版. 日本水道協会, 東京, 2012.
- 8) パナソニック株式会社. 電気設備の基本: 力率.
<https://www2.panasonic.biz/jp/basics/electric/electricity/power-factor/>
- 9) テラル株式会社. 単位換算表.
https://faq.teral.net/attachment_file/faq?id=490.pdf&site_domain=public
- 10) 社団法人日本水道工業団体連合会. 「首都圏における低炭素化を目標とした水循環システム実証モデル事業」『首都圏水循環検討委員会』報告書. 2010.
- 11) 東芝シュネデール・インバータ株式会社. インバータアプリケーションマニュアル インバータ駆動による省エネ効果 (ファン・ポンプ制御).
- 12) 一般社団法人日本電機工業会 (JEMA). トップランナーモータ基準値と IE コードとの対比表.
https://www.jema-net.or.jp/Japanese/pis/top_runner/sansou_yudou.html
- 13) 株式会社荏原製作所. CN 型両吸込渦巻ポンプ.
<https://product-standard-pump.ebara.com/equipment/detail/CN>
- 14) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 編. NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版 - 再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋 -. NEDO, 川崎, 2014. https://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html
- 15) 環境省環境再生・資源循環局. 太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン (第二版). 2018.
- 16) National Renewable Energy Laboratory. Best Research-Cell Efficiency Chart.
<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- 17) National Renewable Energy Laboratory. Champion Photovoltaic Module Efficiency Chart.
<https://www.nrel.gov/pv/module-efficiency.html>
- 18) 日本産業規格 (JIS). C 8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法. 2005.
- 19) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO). 日射量データベース閲覧システム.
<https://appww2.infoc.nedo.go.jp/appww/index.html>
- 20) 環境省地球温暖化対策課. 我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル概要資料導入編. 2022.
- 21) Google 社. Google マップ.
- 22) 経済産業省資源エネルギー庁, 一般財団法人新エネルギー財団. 水力発電計画工事費積算の手引き. 2013.
- 23) 経済産業省資源エネルギー庁. 財団法人新エネルギー財団. ハイドロバレー計画ガイドブック. 2005.
- 24) 環境省, 経済産業省. 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 - R5.1.24. 2023.
- 25) 環境省. 算定方法・排出係数一覧. <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>

