

# 水道システムにおける CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計

国立保健医療科学院 生活環境研究部  
小坂浩司

- 緩和策の紹介
- 緩和策の導入事例の紹介
- 比較的に取り組みやすいと考えられる緩和策や効果が大きいのと思われる緩和策
- 水道事業者における緩和策の導入検討プロセスの紹介
  - 厚生労働行政推進調査事業「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」

# 気候変動への緩和策と適応策

3

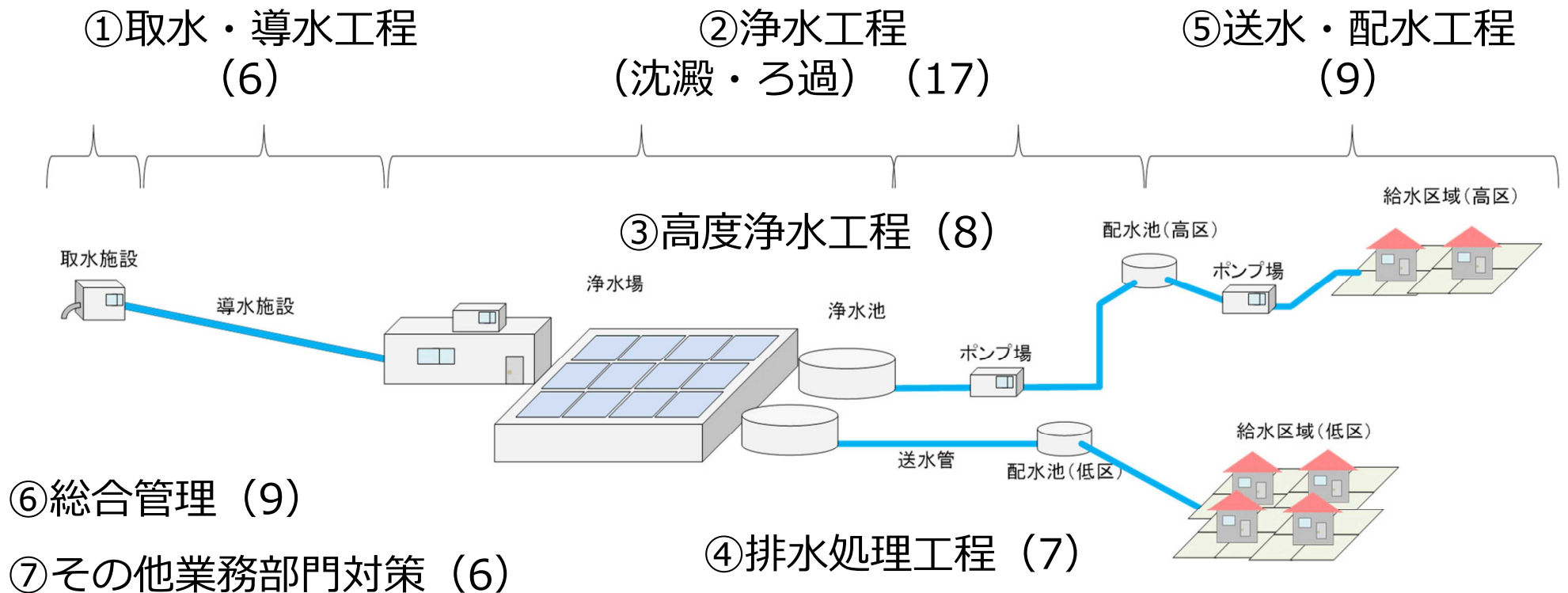
- 緩和策は、省エネルギーや再生可能エネルギー導入等による温室効果ガスの排出削減や森林等の吸収源の増加などで気候に対する人為的影響を抑制する対策。  
→地球温暖化対策推進法と地球温暖化対策計画
- 適応策は、気候変動がもたらす水資源、食料、生物多様性等への様々な影響に対して人や社会、経済のシステムを再構築することで影響を軽減しようという対策。  
→気候変動適応法と気候変動適応計画



出典：気候変動適応情報プラットフォーム

# 水道における緩和策（省エネ）

4



厚労省水道課、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.

## 各工程の対策の合計62

省エネ：社会的・経済的活動の質を落とさずに電力・石油・ガスなどのエネルギーの節約・効率的利用を図ること。

内閣官房、用語集－始めよう!グリーンエネルギーの社会。

# 水道における緩和策（省エネ）の例1 5

工程	設備	対応策
取水・導水工程	ポンプ設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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</li> <li>● 運転制御方式の改善（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）</li> <li>● ポンプ容量の適正化</li> <li>● 高効率ポンプ・エネルギー効率の高いモーターの導入</li> </ul>
沈澱・ろ過工程	凝集・沈澱	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 洗浄速度・圧力の適正化</li> <li>● 攪拌方式の変更（機械攪拌→上下迂流式）</li> </ul>
	薬品注入設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 薬品注入の効率化のための自然流下注入方式の導入</li> <li>● 高効率注入ポンプの導入</li> </ul>
高度処理工程	オゾン処理設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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</li> <li>● 排オゾン処理設備における排熱回収</li> </ul>
排水処理工程	排泥脱水設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 運転時間・運転間隔の調整による脱水の効率化</li> <li>● 天日乾燥処理施設の導入</li> </ul>

# 水道における緩和策（省エネ）の例2 6

工程	設備	対応策
送水・配水工程	ポンプ設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ポンプ制御の適正化（末端圧制御・送水系統の流量制御等）</li> <li>● 運転制御方式の改善（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）</li> <li>● 定量送水が可能な配水池容量の確保</li> <li>● 高効率ポンプ・エネルギー効率の高いモーターの導入</li> </ul>
	施設全体	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ブロック配水システムの導入</li> <li>● 送水・配水管路の分離による圧力管理の適正化</li> </ul>
総合管理	水運用管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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</li> <li>● 位置エネルギーを利用する施設の整備</li> <li>● 需要予測システムの導入</li> </ul>
	制御管理システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● エネルギー管理システムの導入</li> <li>● 配水管網への水圧監視システムの導入</li> </ul>
その他業務部門対策	受変電・配電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● エネルギー損失の少ない変圧器の導入（アモルファス変圧器・トップランナー変圧器等）</li> <li>● 適正規模の設備容量の変圧器の導入</li> <li>● デマンド制御の導入</li> </ul>

# 水道における緩和策（再エネ）

## 太陽光発電



## 小水力発電



浄水場の未利用地、ろ過池の蓋の上部、建物の屋根等に設置

水源から浄水場の落差、浄水場から配水池の落差等による位置エネルギーを利用

経済産業省. 水循環分野における再生可能エネルギー 設備の導入事例. 2023.

再生可能エネルギー：太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどのエネルギーとして永続的に利用することができると認められるもの

# 太陽光発電のオンサイトPPA

8



新潟スワンエナジー、満願寺浄水場太陽光 PPA事業の開始について。



- 浄水場への太陽光発電のオンサイトPPAの導入は国内初
- 新潟スワンエナジー  
新潟市、JFEエンジニアリング、第四北越銀行が連携して設立

新潟市、第三者保有モデル（PPAモデル）による太陽光発電設備の設置。

## オンサイトPPA（Power Purchase Agreement）

- 発電事業者が、需要家の敷地内に太陽光発電設備などを発電事業者の設備で設置し、所有・維持管理をした上で、発電設備から発電された電気を需要者に供給する仕組み。



- 緩和策の紹介
- 緩和策の導入事例の紹介
- 比較的に取り組みやすいと考えられる緩和策や効果が大いと思われる緩和策
- 水道事業者における緩和策の導入検討プロセスの紹介
  - 厚生労働行政推進調査事業「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」

## 配水区域の見直し

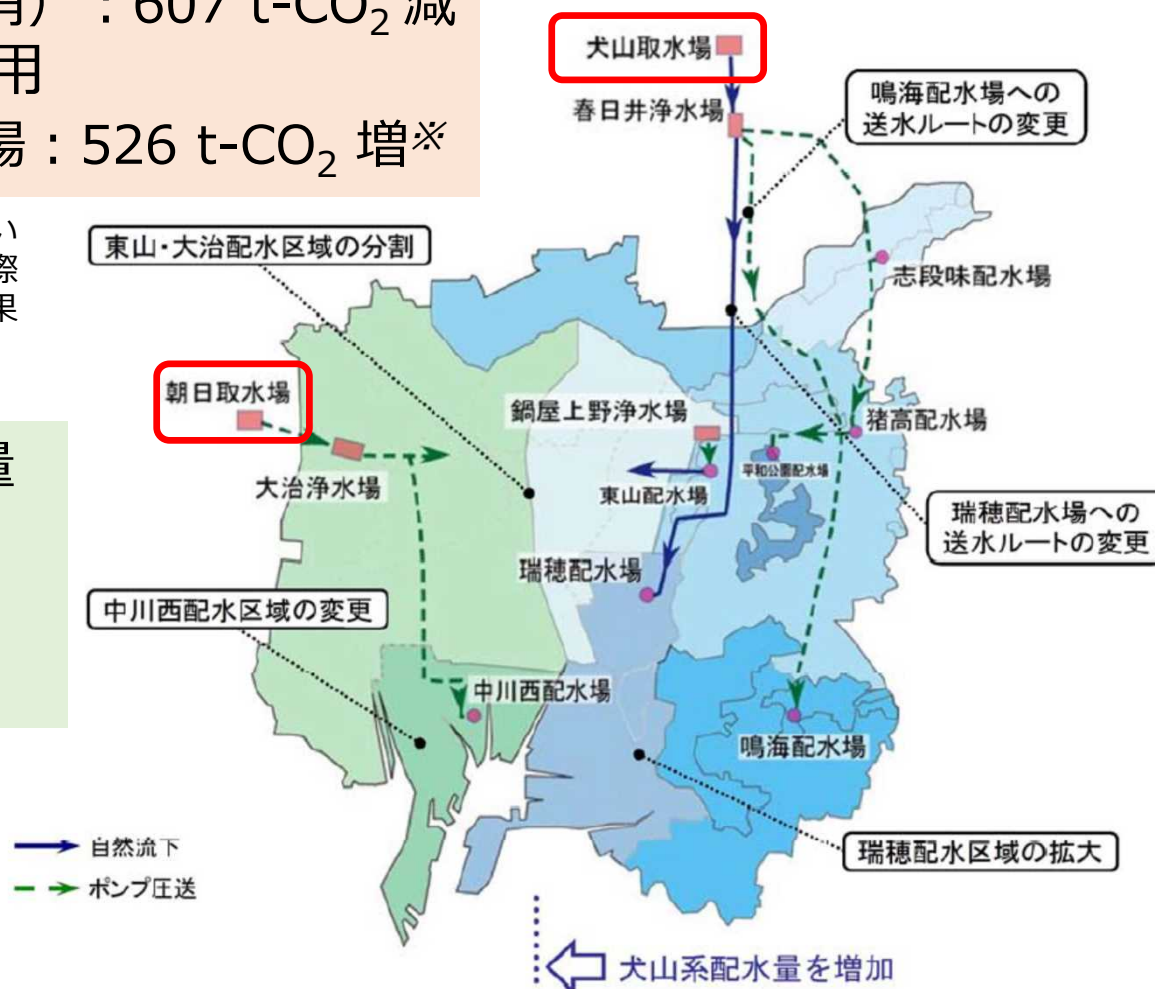
- 瑞穂区域拡大1 : 274 t-CO<sub>2</sub> 減
  - 中川西区域拡大1 : 280 t-CO<sub>2</sub> 増\*
  - 猪高 (島田減圧区域の解消) : 607 t-CO<sub>2</sub> 減
- ### 自然流下による送水幹線の運用
- 春日井浄水場→瑞穂配水場 : 526 t-CO<sub>2</sub> 増\*

※変更の過渡期にあたるため一時的にポンプ効率の悪い運転となっている。最終的な水運用の形態が確立した際には、効率的なポンプ運転が可能になるため、温室効果ガス排出量の削減効果が得られる。

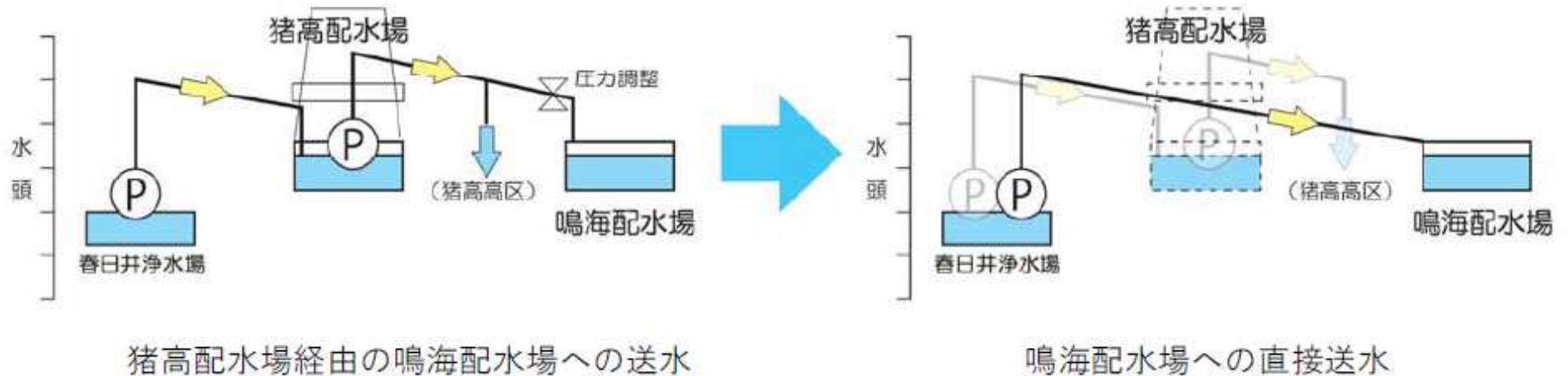
## 水道事業での温室効果ガス排出量の削減目標 (-35.7%)

- 2013年度 : 40,709 t-CO<sub>2</sub>
- 2030年度 : 26,176 t-CO<sub>2</sub>

犬山系施設は朝日系施設より  
標高が高い  
⇒高低差を利用



# 名古屋市上下水道局の取り組み（2） 11



- 鳴海配水場への直接送水

- 春日井浄水場→鳴海配水場：714 t-CO<sub>2</sub> 減

- 高効率設備、機器の導入

- 送水ポンプ能力の適正化
- 高効率の変圧器の導入

- LED照明の採用

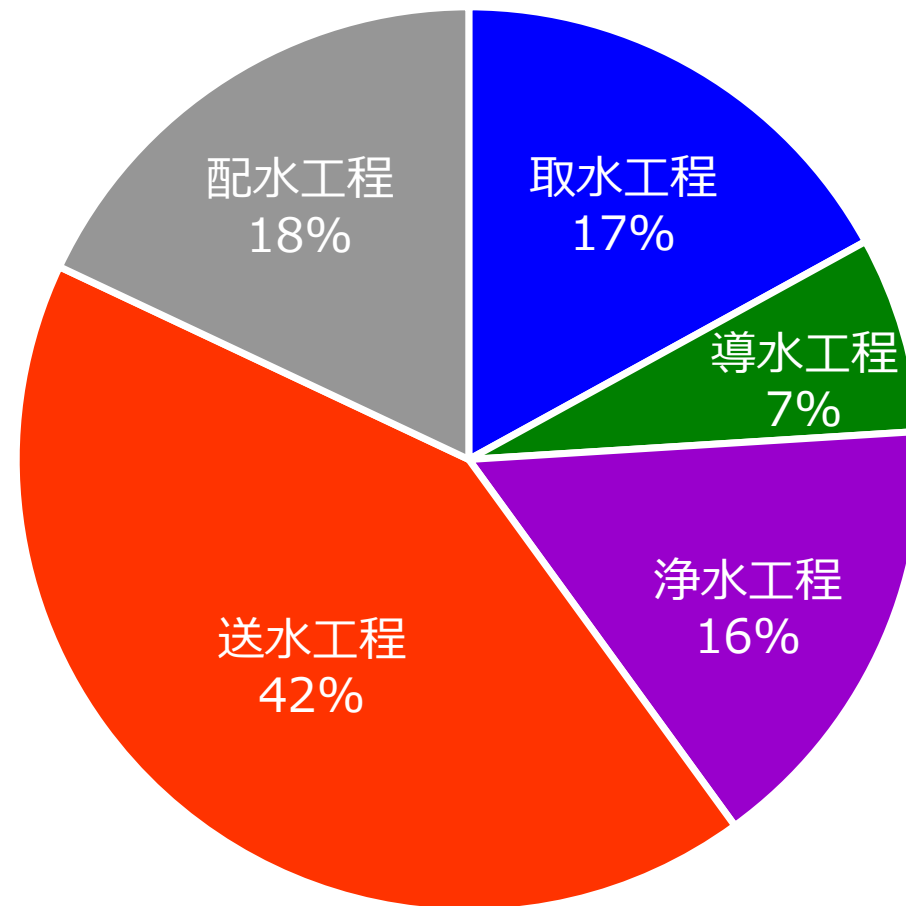
- 維持管理の工夫

- 各浄水場や水処理センター等の施設で、個別電力系の設置、有効率の確保、実践的検証等を実施

- 緩和策の紹介
- 緩和策の導入事例の紹介
- 比較的に取り組みやすいと考えられる緩和策や効果が大いと思われる緩和策
- 水道事業者における緩和策の導入検討プロセスの紹介
  - 厚生労働行政推進調査事業「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」

# 電力使用量に占める各工程の割合

13



- 356 の水道事業者、1,553 系統
- 水の輸送に関する工程の電力消費量が多い。

# 比較的に取り組みやすいと考えられる緩和策や 効果が大きいと思われる緩和策

分類	対応策
比較的に取り組みやすい対策	<ul style="list-style-type: none"><li>● 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</li><li>● 運転制御方式の改善（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）*</li><li>● ポンプ容量の適正化</li><li>● 高効率ポンプ・エネルギー効率の高いモーターの導入</li><li>● ブロック配水システムの導入</li><li>● 定量送水が可能な配水池容量の確保</li><li>● エネルギー損失の少ない変圧器の導入</li><li>● 再生可能エネルギーの導入（太陽光発電、小水力発電）</li></ul>
取り組みが困難な対策（時間と費用がかかる）	<ul style="list-style-type: none"><li>● 位置エネルギーを利用する施設の整備（施設統廃合、広域化）</li></ul>

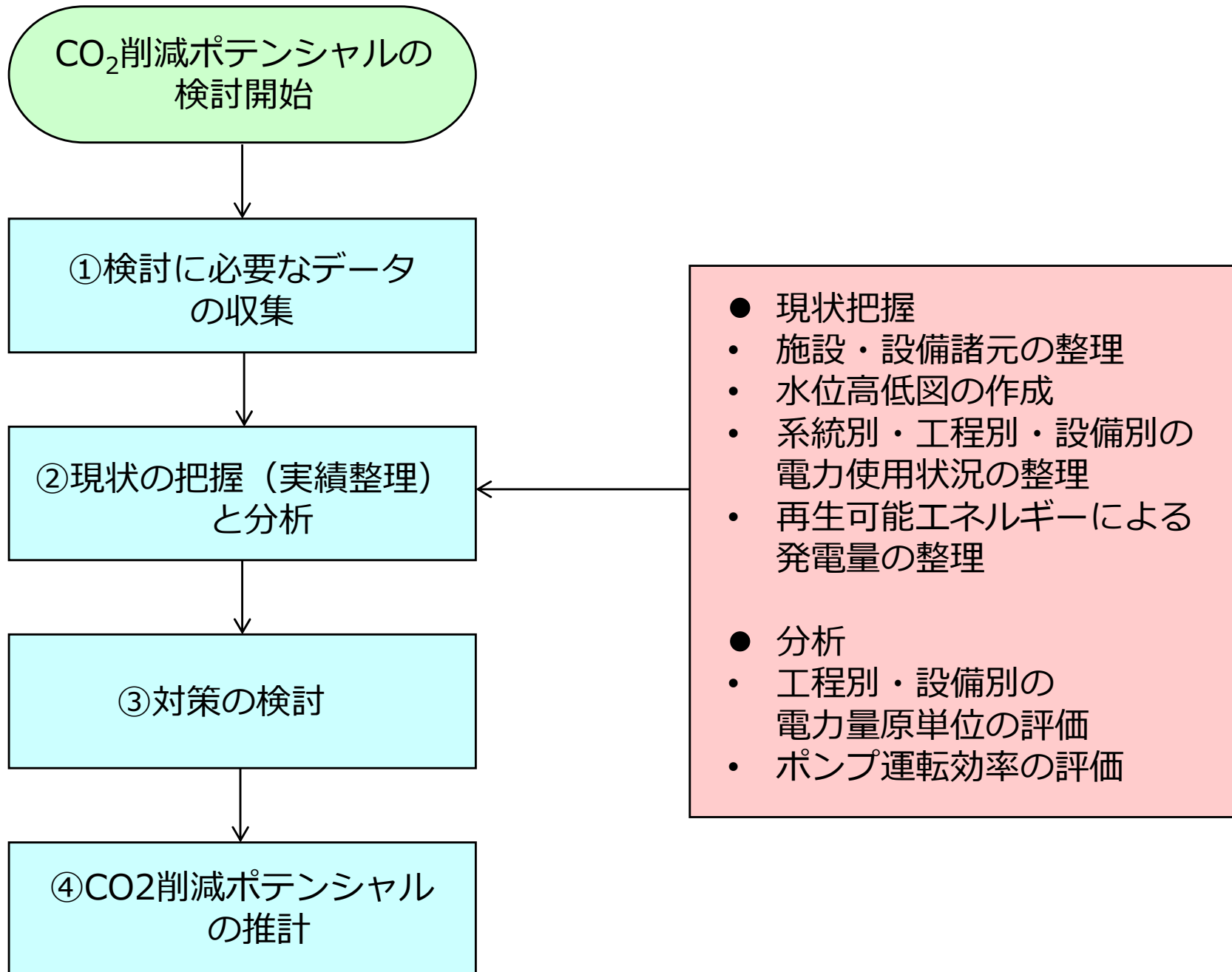
## 赤字：効果が大きいと思われる対策

\*効果の程度は水道事業者によって異なる

厚労省水道課、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.  
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.  
を参考

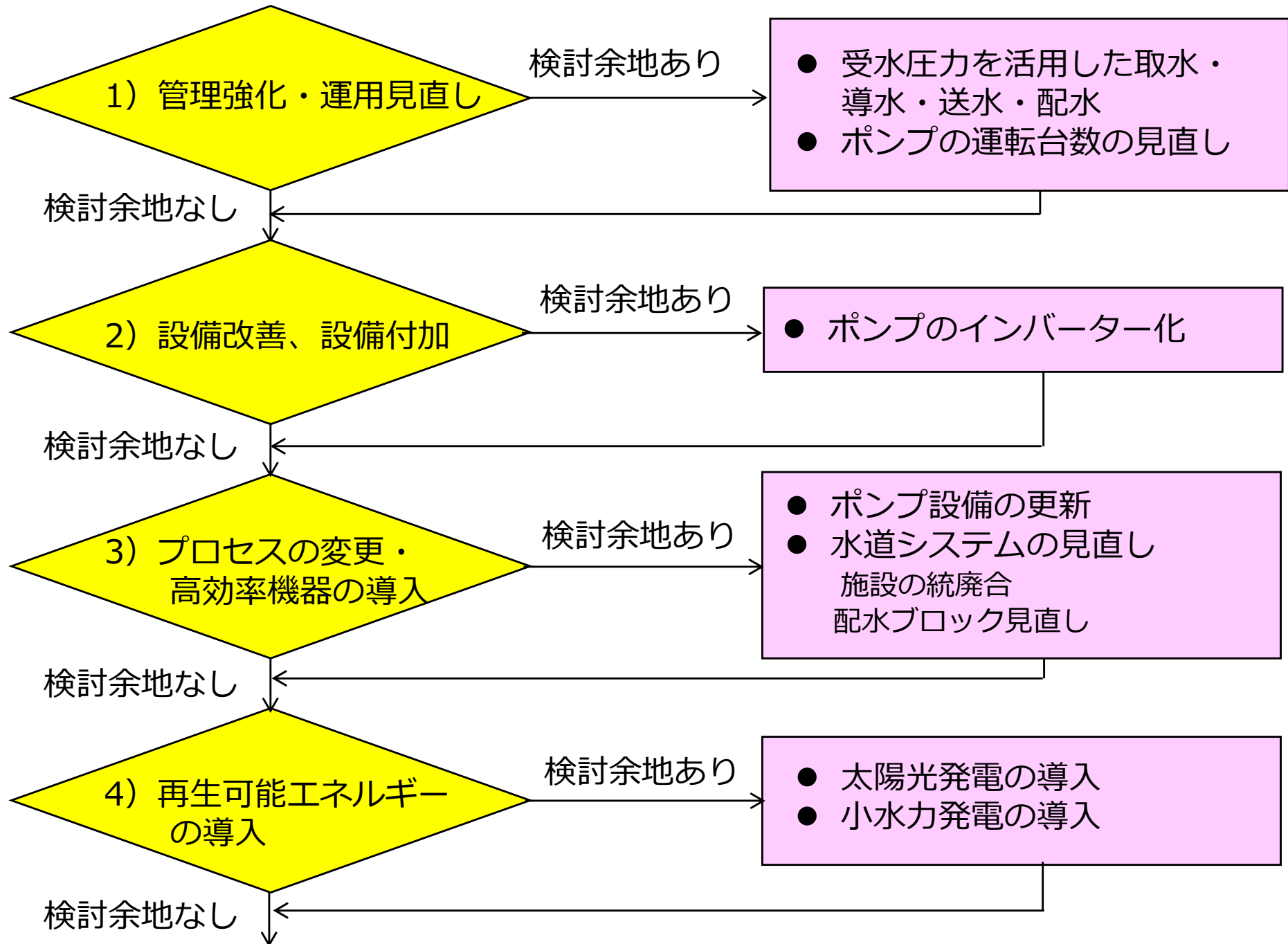
- 緩和策の紹介
- 緩和策の導入事例の紹介
- 比較的に取り組みやすいと考えられる緩和策や効果が大いと思われる緩和策
- 水道事業者における緩和策の導入検討プロセスの紹介
  - 厚生労働行政推進調査事業「水道システムにおけるカーボンニュートラル実現に向けた緩和策と気候変動影響に対する適応策の推進のための研究」

# 水道事業体のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの検討フロー 16





# ③対策の検討



- 対象システム：F水道事業体の浄水場、送配水システム
  - 対象施設：F1浄水場（地下水、施設能力：12,500 m<sup>3</sup>/日）  
F2～F4送水所  
（用水供給事業から受水、F3は一部F1への連絡送水）
- 対象解析年度：2020年度

## 入手した情報

水道事業年報	ポンプ、電動機の諸元	省エネ対策の実施状況
浄水池、配水池の諸元 （容量、標高等）	年間の電力使用量	運転日報（水位、圧力、 水量、電力使用量、電圧、 ポンプ運転時間等）
単線結線図	ポンプの試験成績結果	ポンプに接続する管路の 諸元

# 日報データの例

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					
	A 受水量	B 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	m3	m3	MPa	m3	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	280	0.250	110	0.336	6.99	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
3時	280	280	0.252	80	0.335	7.21	7	0		0	0	0	60	0	0	0	0
4時			0.253			7.40	7	0		0	0	0					
5時			0.254			7.61	7	0		0	0	0					
6時			0.255			7.79	9	0		0	0	0			0	0	0
7時	280	280	0.255	270	0.409	7.99	12	0		0	0	0	60	0	0	0	0
8時	280	280	0.254	340	0.411	7.99	12	0		0	0	0	60	0	0	0	0
9時	280	290	0.255	360	0.409	7.99	12	0		0	0	0	60	0	0	0	0

配水量  
(積算値)

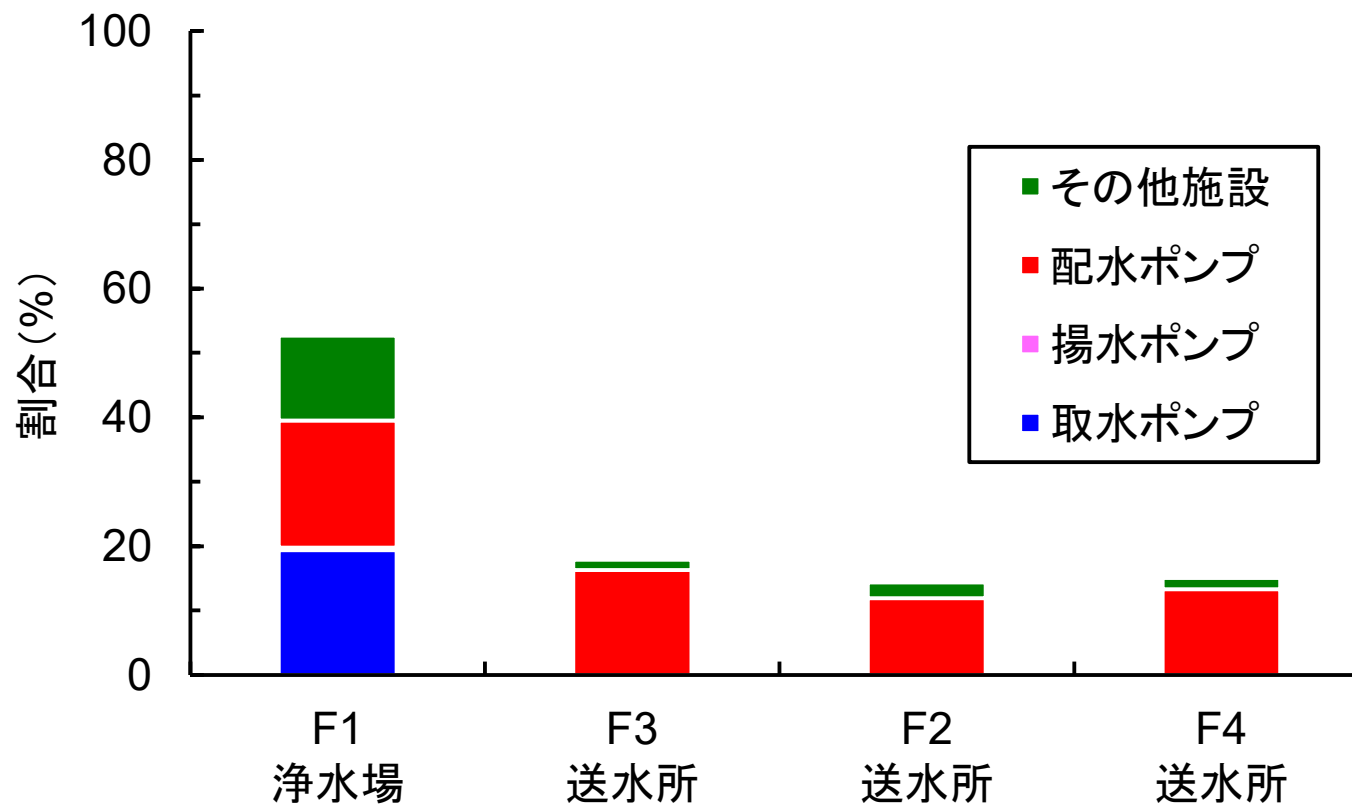
配水圧力  
(瞬時値)

配水池水位  
(瞬時値)

電流値  
(瞬時値)

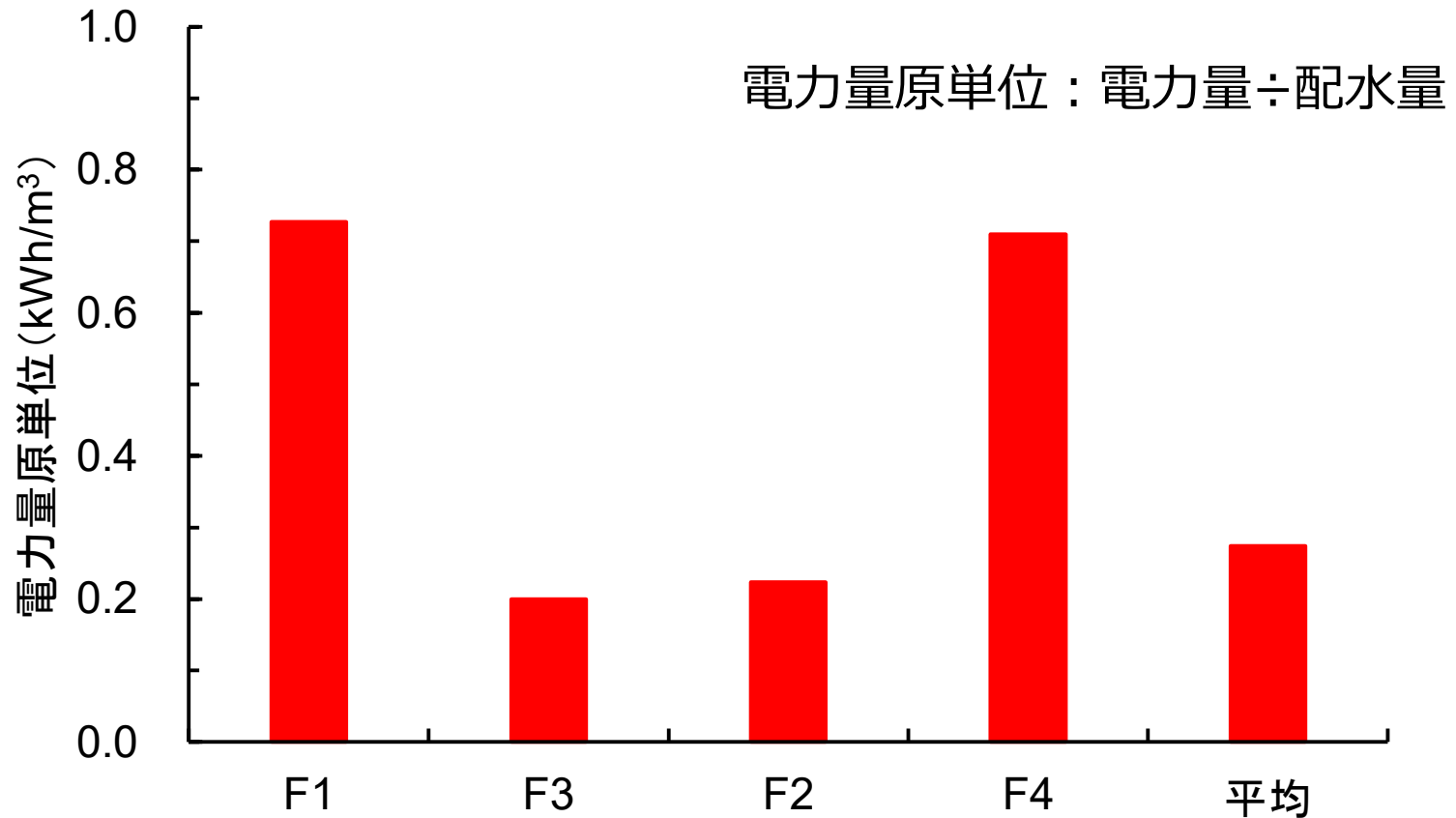
運転時間  
(積算値)

# F事業体の設備・工程別の電力使用量の内訳



設備・工程での電力使用量の合計：490万 kWh/年

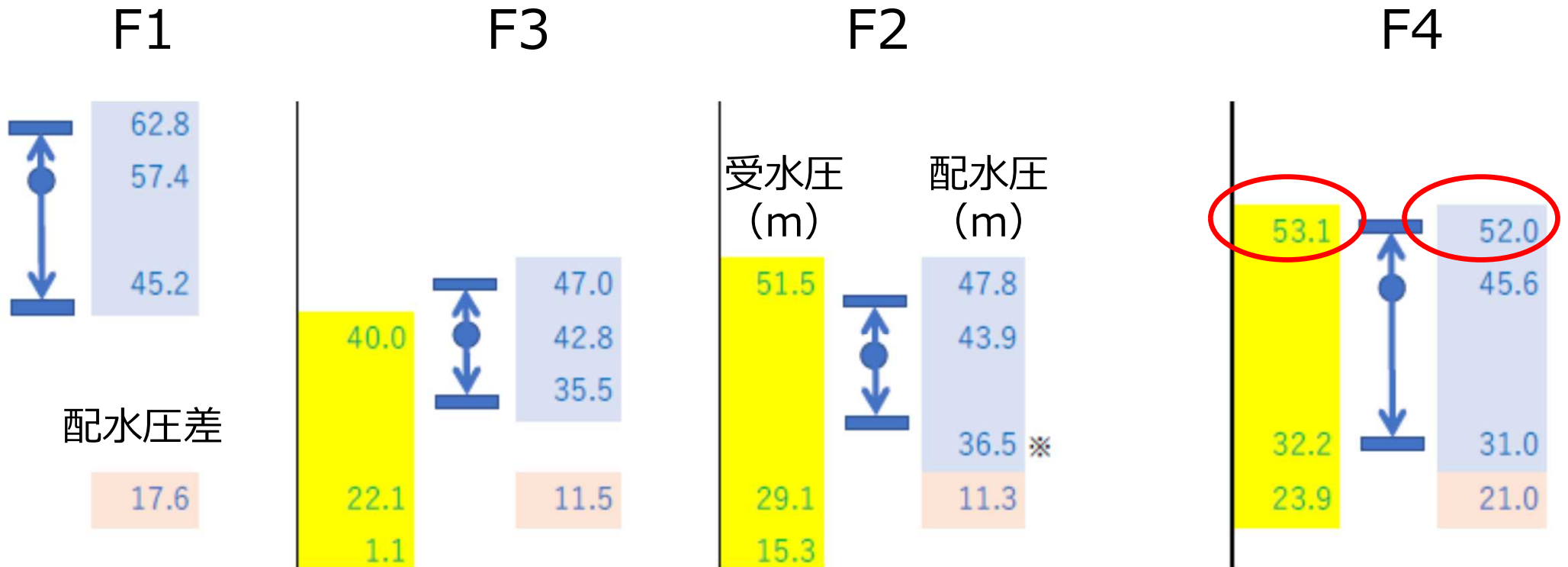
# 電力量原単位の比較



F1：井戸取水含む

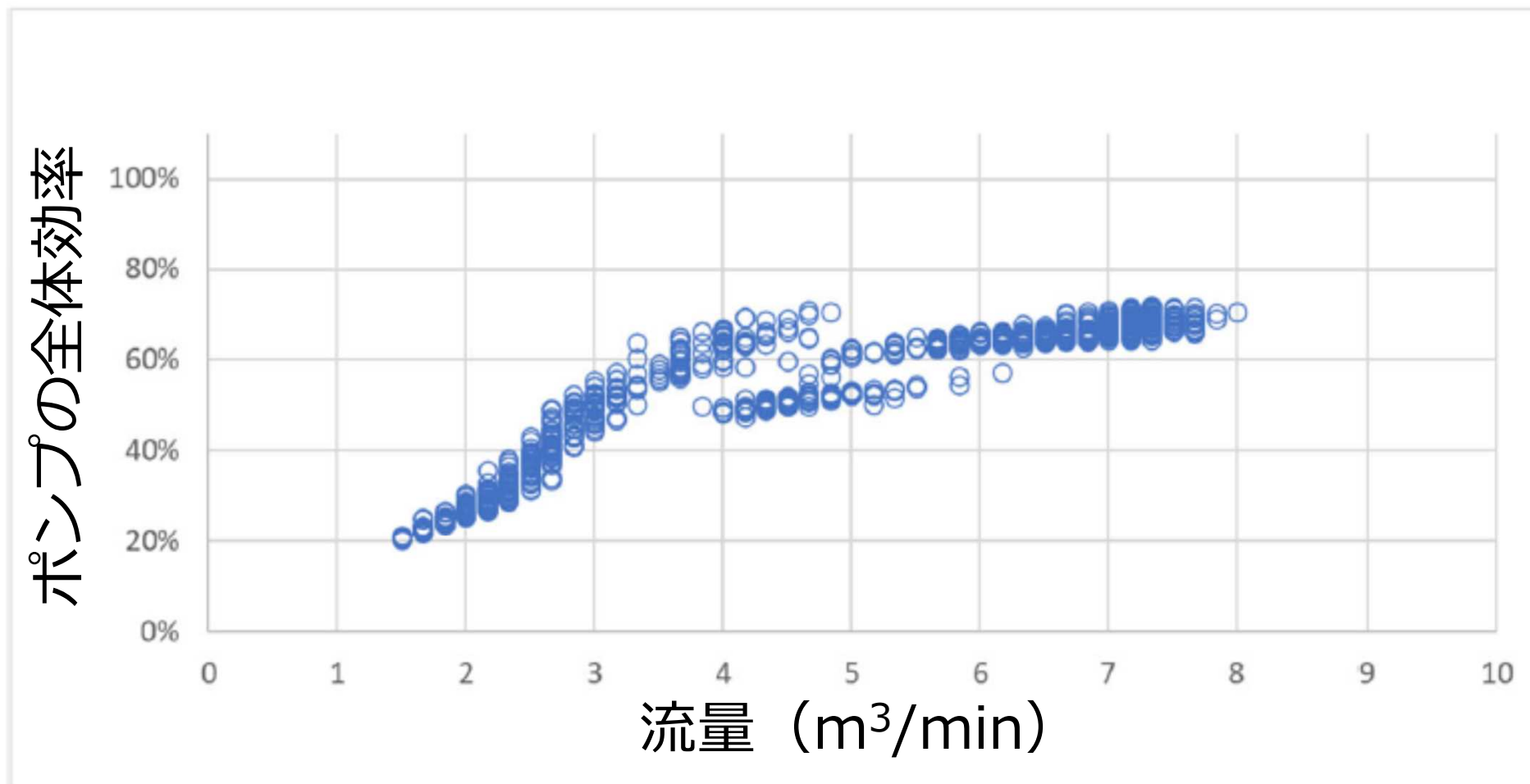
F3：F1への送水含む

# 水位高低図（配水圧、受水圧の比較） 22



- F1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かった。
- F4とF2は、受水圧の最大値と配水圧の最大値が同程度で、受水圧を加圧しないで配水可能となる時間帯があり、**時間帯によっては直接受水圧で配水可能**。
- F3とF2は、高低差も配水圧もほぼ同じ（電力量原単位が同程度の裏付け）。

# 流量 vs ポンプの全体効率 (F1 ; 2号ポンプ) 23



- ポンプ全体効率の算定 (電力量に対する仕事量の割合)
  - ポンプ効率と電動機効率の積
  - $\text{ポンプ全体効率 (\%)} = \text{仕事量 (kWh)} \div \text{電力量 (kWh)}$
- 各ポンプについて算出

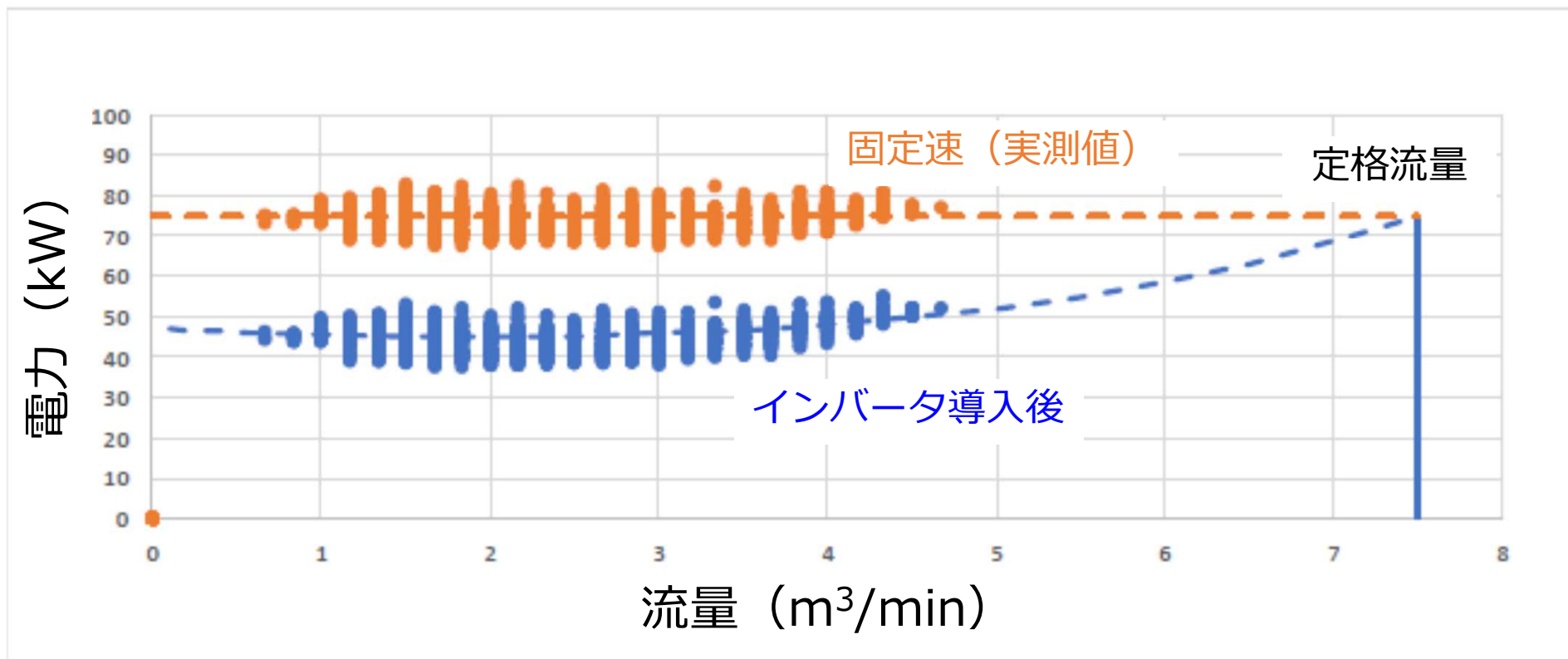
# 対策オプション

対策オプション	内容
①管理強化、運用見直し	<ul style="list-style-type: none"><li>● 受水圧力を活用した配水 (F4)</li><li>● ポンプ運転台数の見直し (F1)</li></ul>
②設備改善、設備付加	<ul style="list-style-type: none"><li>● ポンプのインバータ化 (F4)</li></ul>
③プロセスの変更、高効率機器の導入	<ul style="list-style-type: none"><li>● 自己水源の廃止、F1直接受水</li><li>● F1第2配水池の位置エネルギー活用</li></ul>
④再生可能エネルギーの導入	<ul style="list-style-type: none"><li>● 太陽光発電の導入 (F1)</li><li>● 小水力発電の導入</li></ul>

各対策オプションについて、削減ポテンシャル、再生可能エネルギーによる発電量を定量化



# 回転速度制御の導入効果 (F4 ; 1号ポンプ)



項目	番号	値
電力使用量 (インバータ導入前、単独運転)	①	556,282 kWh/年
削減電力使用量 (インバータ導入後、単独運転)	②	212,510 kWh/年
削減割合 (%)	③ = ② / ①	38.2%
電力使用量	④	584,052 kWh/年
削減電力使用量	⑤ = ④ × ③	223,061 kWh/年

# 自己水源の廃止、F1直接受水、F1第2配水池の 位置エネルギー活用

26

- ポンプ更新した場合の電力使用量の削減量  
計画水量、ポンプ台数、1台当たり流量は現状と同じとし、「第2配水池→第1配水池→配水」を「第2配水池→配水」により、第2配水池の水位を配水ポンプの一次圧として利用（全揚程が8.9 m低下）
- 電力使用量の削減量（kWh）  
$$= 0.163 \times Q \text{ (m}^3\text{/min)} \times \Delta H \text{ (m)} \div \text{ポンプ全体効率 (-)} \times \text{運転時間 (h)}$$

Q：ポンプの流量（m<sup>3</sup>/min）  
ΔH：F1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）

項目	電力量	備考
自己水源廃止	851,482 kWh/年	ポンプ4台
F3→F1第2配水池送水廃止	207,344 kWh/年	
F1第2配水池の位置エネルギー活用	162,665 kWh/年	Q：7.8、ΔH：8.9、全体効率：0.69、時間：8,760 h
合計	1,221,492 kWh/年	

# 各対策オプションによるCO<sub>2</sub>削減量の推計 27

対策オプション	対策メニュー	電力削減量 (kWh/年)	CO <sub>2</sub> 削減量 (t-CO <sub>2</sub> /年)
①管理強化、 運用見直し	①-1 受水圧力を活用した配水	32,332 (インバータ導 入：20,660)	14.3 (9.1)
	①-2 ポンプ運転台数の見直し	49,315	21.7
②設備改善、設備付加	②-1 ポンプのインバータ化	223,061	98.4
③プロセスの変更、 高効率機器の導入	③-1 自己水源の廃止、 F1直接受水、F1第2配水池の位 置エネルギー活用	1,221,491	538.7
④再生可能エネルギー の導入	④-1 太陽光発電の導入	81,235	35.8
	④-2 小水力発電の導入	71,374	31.5

CO<sub>2</sub>削減量：電力削減量×CO<sub>2</sub>排出係数の代替値 (0.000441 t-CO<sub>2</sub>/kWh)  
(環境省・経済産業省)

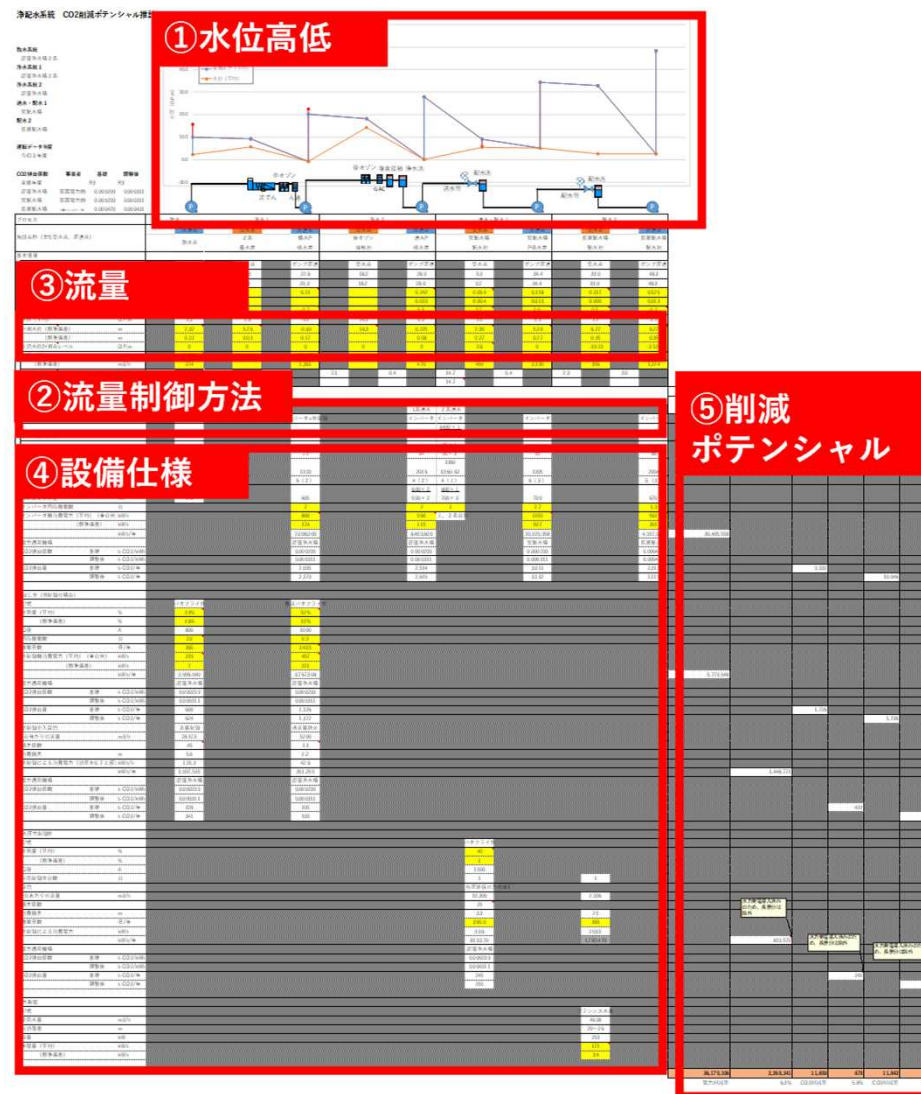
「インバータ導入」、「受水圧力の活用」、  
に対する推計ツールを作成

- ①水位高低に対し、ポンプ圧力が視覚的にわかる（無駄な運転を確認）
- ②流量制御方法について、弁制御の実施箇所がわかる（弁制御箇所の洗い出し）
- ③流量がわかる（エネルギー算出に必要）
- ④各設備の仕様、特に流量制御弁の形式がわかる（損失の算出に必要）
- ⑤弁制御の損失を用い、式から電力削減ポテンシャルを算出

庭窪浄水場 2 系（主検討系統）で評価

- 水位高低図より、実際圧力と水位差は5 m 程度で水位と圧力のバランスは適切に運用
- 取水ポンプの流量制御に弁制御が用いられ、年間110万kWhが当該弁制御により消費
- 異配水場の流入弁において弁での絞りが確認され、平均40%の開度で年間約82万kWhが消費。電力回収には課題が多いと想定。
- 庭窪浄水場 2 系～長居配水場においては、年間消費電力約3618万kWhに対し、削減ポテンシャルが227万kWh

エクセルベースの推計ツール



大瀬ら，令和5年度全国会議（水道研究発表会）  
講演集，930-931、2023.

- 対策の選定
  - 効果は限定的であるが導入しやすい対策と効果は大きい時間と費用がかかる対策
  - 1事業体でできる対策と複数の事業体の共同が必要な対策
- 緩和策のうち、省エネは、事業計画として検討している内容が多い（事業や施設の統合、水運用、設備の更新、運転の効率化）
- 多くの課題を抱えている中で、水道事業評価の視点として、エネルギーの視点をどこまで重視できるか
- 削減ポテンシャル算出のための予算の確保
- 削減ポテンシャル算出に運転状況を解析する上で必要な情報
  - 全てがそろっている場合は少ない
  - デジタルデータが無い、あっても、出力しにくい、解析することを前提としていない場合もある
  - 手引き等では、デジタルデータの保存だけでなく、データ利用を前提とした保存について提案を
  - データが完全でない場合、補完する方法についての検討

## ご清聴ありがとうございました

本研究の一部は、厚生労働行政推進調査事業（22CA2007）において実施しました。

関連情報提供にあたり、水道事業者の方々にご協力いただきました。厚く御礼申し上げます。