

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等

運用改善



対策

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、漏水防止対策の推進、送水・配水管路の分離による圧力管理の適正化、大・小容量ポンプの組合せによる幅広い需要量への対応、適正な配水池容量の確保による定量送水

目次

頁

■ 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	1
■ 漏水防止対策の推進	4
■ 送水・配水管路の分離による圧力管理の適正化	7
■ 大・小容量ポンプの組合せによる幅広い需要量への対応	8
■ 適正な配水池容量の確保による定量送水	11

送水・配水施設における末端圧制御・送水システムの流量制御等によるポンプ制御の適正化

運用改善



対策概要

- 配水管末端圧力の計測・予測によるポンプ側の吐出圧力制御や送水システムの流量制御により、ポンプのエネルギー消費量を削減する。

導入可能性のある業種・工程

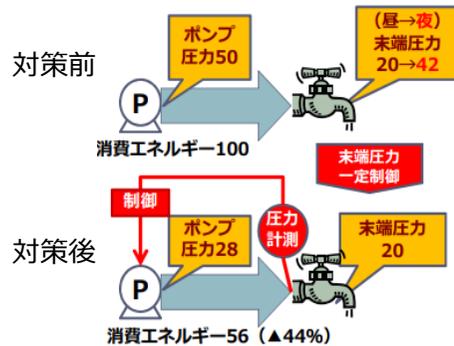
- 上水道・工業用水道 / 送水・配水工程 / 送水・配水施設

原理・仕組み

- 配水管末端の圧力を計測又は予測し、過剰な配水圧力を極力少なくするようにポンプ側の吐出圧力を制御することにより、ポンプに係る電力消費量を軽減する。また、送水システムの流量が一定になるよう制御することや、ポンプ効率を考慮して消費電力の低い運転パターンとすることでポンプのエネルギー消費量を削減する。

対策イメージ（末端圧制御）

- ・ ポンプ圧力が一定の場合、流量が減少する夜間等は末端圧力が過剰に上昇してしまうことがあるが、末端圧制御を行いポンプの吐出圧、送水流量を制御することにより、流量減少時でもポンプを効率的に運転することができ、ポンプのエネルギー消費量を削減できる。図の例ではポンプの消費エネルギーを44%削減できる。

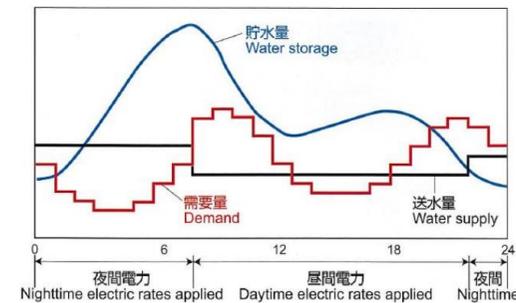


末端圧制御による流量制御のイメージ^[1]

出所) [1]環境省「上水道システムにおける再エネ・省エネ等導入促進事業（H25予算）」
<https://www.env.go.jp/guide/budget/h25/h25-gaiyo/Q41.pdf>（閲覧日：2024年9月19日）

対策イメージ（水需要を予測した送水量制御）

- ・ 1日の水需要を予測し、予測値をもとに安価な夜間電力を用いて送水ポンプを運転して浄水池に貯水し、需要量の多い昼間の時間帯に浄水池の貯水を利用することにより、送水ポンプ場の電力使用料金を低減させるだけでなく、ポンプの起動停止回数の低減による水圧変動の抑制や送水量を一定にすることが可能となり、ポンプのエネルギー消費量を削減できる。



水需要予測グラフ（1日の需要量・送水量・貯水量の変化）^[2]

出所) [2]JWRC 水道の国際比較に関する研究委員会編「日本の水道事業における環境に配慮した取り組み（大阪広域水道企業団）」
https://www.jwrc-net.or.jp/docs/research-development/comparison/docs/d05_o01_c01.pdf（閲覧日：2024年9月19日）

効率・導入コストの水準

- 効率水準：－
- 導入コスト水準：－

送水・配水施設における末端圧制御・送水システムの流量制御等によるポンプ制御の適正化

運用改善



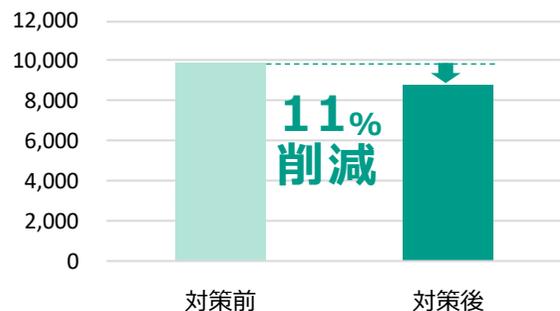
導入効果

- 送配水量140,000千m³の浄水場の送配水施設において、末端圧制御によるポンプ制御の適正化を行ったケースにおける試算例は以下のとおり。
- 夜間6時間の送配水行程の電力消費量を44%削減できた場合を想定した。

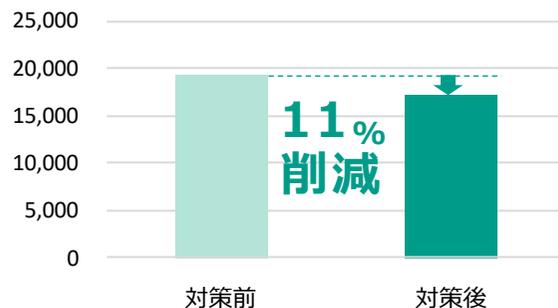
導入効果の試算例

- 各指標で11%削減できる試算結果。

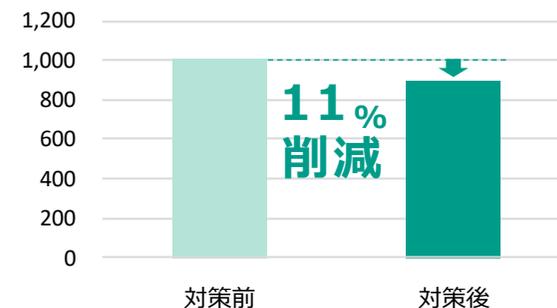
エネルギー消費量 (kL/年)



CO₂排出量 (t-CO₂/年)



エネルギーコスト (百万円/年)



送水・配水施設における末端圧制御・送水システムの流量制御等によるポンプ制御の適正化

運用改善



計算条件

- 送配水量140,000千m³の浄水場の送配水施設において末端圧制御によるポンプ制御を行うことにより、夜間6時間の送配水行程の電力消費量を44%削減できた場合を想定した。

項目	記号	Before	After	単位	数値の出所、計算式
電気の一次エネルギー換算係数	①	8.64	8.64	GJ/千kWh	【参考①】
電気のCO ₂ 排出係数	②	0.434	0.434	t-CO ₂ /千kWh	【参考①】
電気の単価	③	22.76	22.76	円/kWh	【参考①】
エネルギーの原油換算係数	④	0.0258	0.0258	kL/GJ	【参考①】
総配水量	⑤	140,000	140,000	千m ³ /年	資料 ^[3] を基に想定
配水量1m ³ 当たり電力消費量	⑥	0.52	0.52	kWh/m ³	資料 ^[3] を基に想定
送配水行程の電力消費率	⑦	61.0	61.0	%	資料 ^[3] を基に想定
夜間の想定時間	⑧	6.0	6.0	h/日	想定
夜間の消費電力削減率	⑨	—	44.0	%	p1より想定
電力消費量	⑩	44,408	39,523	千kWh/年	Before : ⑤×⑥×⑦÷100 After : ⑩b×(1-⑨×⑧÷24÷100)
エネルギー消費量	⑪	383,685	341,480	GJ/年	⑨×①

計算式の添え字bはBefore、aはAfterを示す。

出所) [3]東京都水道局「環境報告書2023」<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/36292/File/2023-houkoku-all.pdf> (閲覧日: 2024年9月19日)

計算結果

- 計算結果には、末端圧測定等の制御に係る電力消費量を含まない。

項目	記号	Before	After	単位	計算式
エネルギー消費量	⑫	9,899	8,810	kL/年	⑩×④
CO ₂ 排出量	⑬	19,273	17,153	t-CO ₂ /年	⑨×②
エネルギーコスト	⑭	1,011	900	百万円/年	⑨×③÷1,000

備考

- 末端圧力制御の副次的効果として漏水量削減効果がある。

対策概要

漏水防止により、取水・導水・送水・配水に係るポンプのエネルギー消費量、浄水処理及び排水処理等にかかるエネルギー消費量を削減する。

導入可能性のある業種・工程

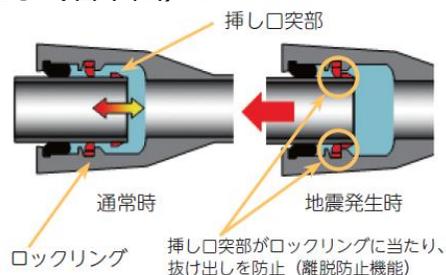
上水道・工業用水道 / 送水・配水工程 / 送水・配水施設

原理・仕組み

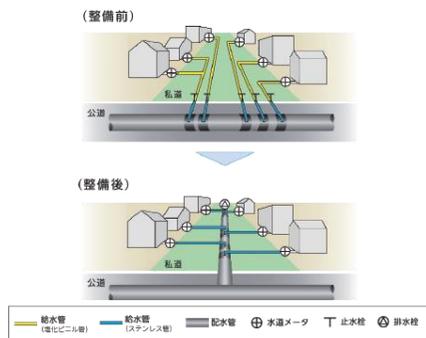
- 水道管の計画的な取替・管材質の向上、漏水の早期発見・早期修理を実施し、漏水率を低減させることで有収率を向上させ、管理すべき総配水量を減少させることで、ポンプや浄水・排水処理に係わるエネルギー消費量を削減する。

対策イメージ（給水管整備）

- 漏水は給水不良や道路陥没、家屋浸水等の二次的な災害にもつながる。
- 管路更新の際には、強度・耐震性に優れた耐震継手のダクタイトル鉄管への取替や、震災等で被害を受けやすい塩化ビニル管から強度・耐食性に優れたステンレス鋼管への取替を行うことで、漏水を減少させることができる（左下図）。
- 配水管を整理・統合する工事を実施することで、漏水発生リスクを低減させることができる（右下図）。



耐震継手のダクタイトル鉄管の構造^[1]



給水管整備工事^[1]

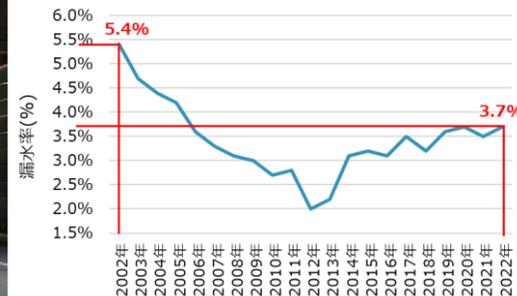
出所) [1]東京都水道局「環境報告書2023」
<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/36292/File/36-47-2023-policy2.pdf> (閲覧日: 2024年7月17日)

対策イメージ（漏水調査）

- 直接目視で確認できない地下での漏水に対して、計画的に漏水調査を実施する。水道メーターに音聴棒を当て漏水の有無を調査する各戸調査や、交通量の少ない夜間帯に電子式漏水発見器で漏水箇所を特定する音聴調査がある（下図）。
- 東京都水道局では、漏水防止対策の実施により20年間で漏水量を1.7%削減している。



(左) 各戸調査、(右) 夜間音聴調査^[1]



東京都水道局の漏水率の推移^[2]

出所) [2]東京都水道局「事業概要」
<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/36260/File/93-97.pdf> (閲覧日: 2024年7月22日)

効率・導入コストの水準

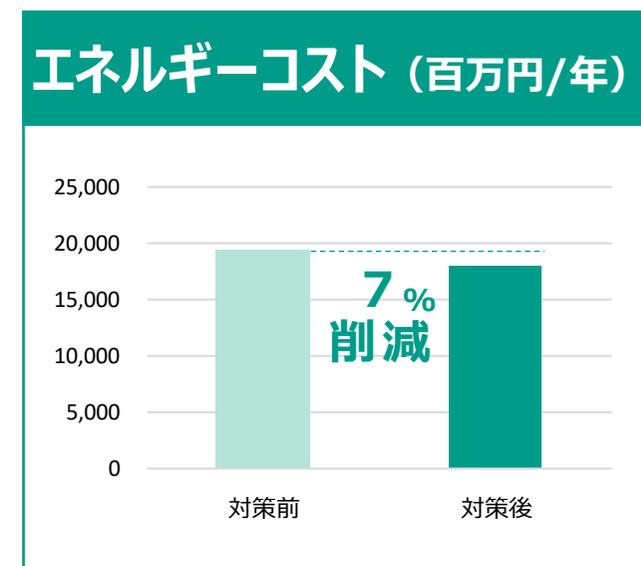
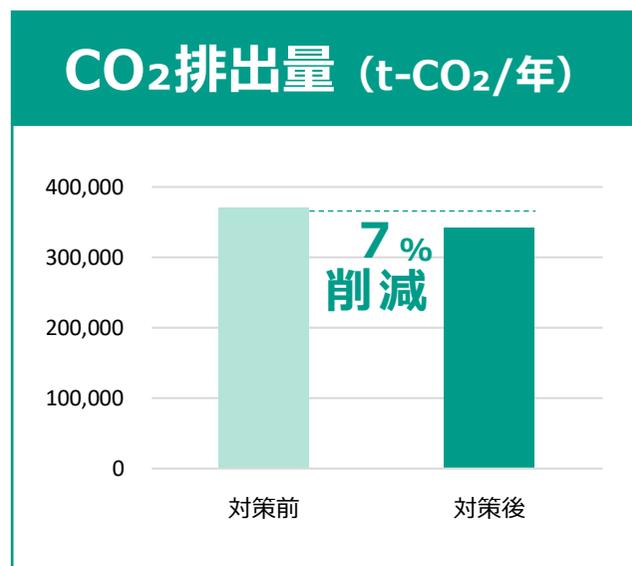
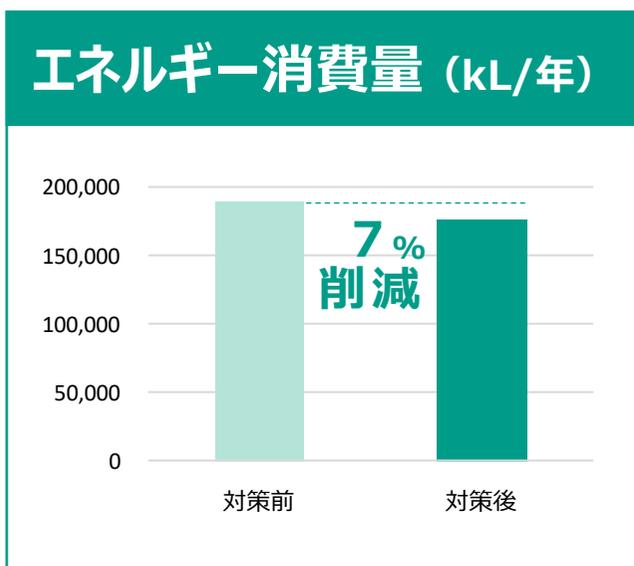
- 効率水準：－
- 導入コスト水準：－

導入効果

- 年間総配水量が約164,000万m³の上水管路で、漏水防止対策を20年間継続して推進し、漏水率を1.7%削減、漏水量を3,275万m³削減できたケースにおける試算例は以下のとおり。

導入効果の試算例

- 各指標で7%削減できる試算結果。



計算条件

- 年間総配水量が約164,000万m³の上水管路で、漏水防止対策を20年間継続して推進し、漏水率を1.7%削減、漏水量を3,275万m³削減できた場合を想定した。

項目	記号	Before	After	単位	数値の出所、計算式
電気の一次エネルギー換算係数	①	8.64	8.64	GJ/千kWh	【参考①】
電気のCO ₂ 排出係数	②	0.434	0.434	t-CO ₂ /千kWh	【参考①】
電気の単価	③	22.76	22.76	円/kWh	【参考①】
エネルギーの原油換算係数	④	0.0258	0.0258	kL/GJ	【参考①】
配水量1m ³ 当たりの電力消費量	⑤	0.52	0.52	kWh/m ³	資料 ^[3] を基に想定
総配水量	⑥	1,638,522	1,516,648	千m ³ /年	Before : 4,489.1千m ³ /日×365日/年 After : 4,155.2千m ³ /日×365日/年 資料 ^[4] より2002年と2022年の配水量より算出
電力消費量	⑦	852,031	788,657	千kWh/年	⑥×⑤
エネルギー消費量	⑧	7,361,549	6,813,996	GJ/年	⑦×①

出所) [3]公益社団法人日本水道協会「令和3年度水道事業ガイドライン (JWWA Q 100) 業務指標一覧」http://www.jwwa.or.jp/upfile/upload_file_20240321004.pdf (閲覧日: 2024年7月22日)

[4]東京都水道局「事業概要」<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/36260/File/93-97.pdf> (閲覧日: 2024年7月22日)

計算結果

項目	記号	Before	After	単位	計算式
エネルギー消費量	⑨	189,928	175,801	kL/年	⑧×④
CO ₂ 排出量	⑩	369,782	342,277	t-CO ₂ /年	⑦×②
エネルギーコスト	⑪	19,392	17,950	百万円/年	⑦×③÷1,000

備考

- 厚労省による水道ビジョン2004では有効率（（総配水量－漏水量及び減額調停水量）÷総配水量）の目標を大規模水道事業者で98%以上、中小規模水道事業者で95%以上としている。

送水・配水管路の分離による圧力管理の適正化

運用改善



対策概要

- 送水管と配水管を分離し、送水管を送水専用管とすることで送水ポンプの運転を安定化させ、エネルギー消費量を削減する。

導入可能性のある業種・工程

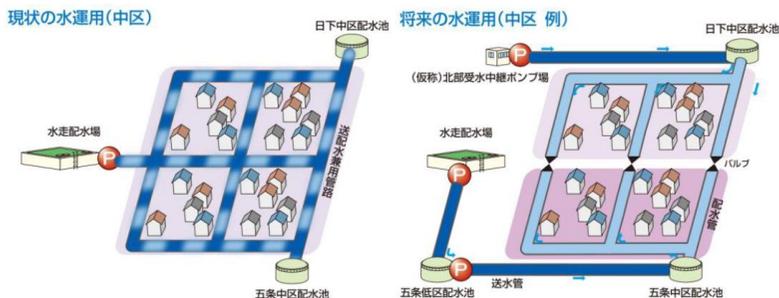
上水道・工業用水道 / 送水・配水工程 / 送水・配水施設

原理・仕組み

- 管路機能の異なる送水管と配水管を兼ねている場合、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。送水管と配水管を分離させることで、送水ポンプの運転を安定化させエネルギー消費量を削減する。

対策イメージ

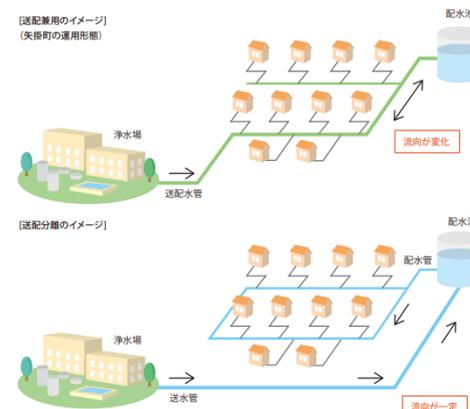
- 送水管は浄水場から配水池への管路であり、管路内を常に一定の水量で流すことが省エネルギーの観点から必要となる。一方、配水管は給水区域内に布設され、配水池から各戸へ分配する管路であり、水使用状況に合わせて必要水量を送るものである。これらを分離することできめ細やかな水管理が可能となり、送水ポンプの運転が安定化することで、エネルギー消費量を削減できる可能性がある。（左図）



送水管・配水管の分離のイメージ^[1]

省エネ以外のメリット

- 送配兼用水道管路では、流向の変化が激しく水道水のにごりの原因となることがある。送配水管を分離することで流向が一定となり、にごりを解消できる。（右図）



送配兼用と送配分離の水の流向の違い^[2]

出所) [1]東大阪市上下水道局「水道ビジョン」
https://www.city.higashiosaka.lg.jp/cmsfiles/contents/0000026/26859/sankou02_200220.pdf (閲覧日：2024年9月18日)

出所) [2]岡山県矢掛町「水道事業ビジョン」
<http://www.town.yakage.okayama.jp/files/2024suidouvz01.pdf> (閲覧日：2024年9月18日)

効率・導入コストの水準

- 効率水準：－
- 導入コスト水準：－

備考

- 送水・配水管路を分離し、さらに配水管を網目状に配置することで、断水時の影響を最小限にとどめることができる。

大・小容量ポンプの組合せによる幅広い需要量への対応

運用改善



対策概要

- 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対応することでエネルギー消費量を削減する。

導入可能性のある業種・工程

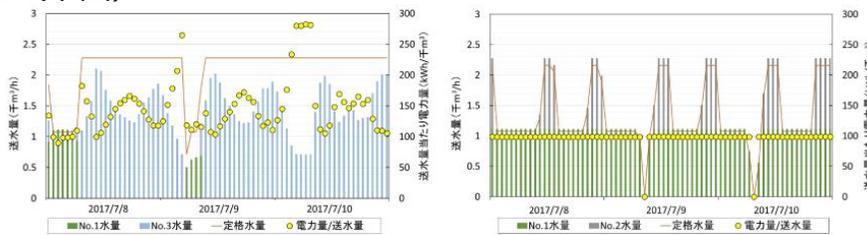
上水道・工業用水道 / 送水・配水工程 / 送水・配水施設

原理・仕組み

- 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はポンプのエネルギーロスが大きくなるため、容量の異なるポンプを組み合わせで効率的に運用することでエネルギー消費量を削減する。

対策イメージ（台数制御）

- ・ 小水量時は小容量ポンプ1台で対応し、大水量時は複数台のポンプを並列運転して対応することで、大容量ポンプによるバルブ開度制御と変わらない能力を発揮しながら電力消費量は削減することができる。
- ・ 主ポンプの運転方法を大容量ポンプの吐出弁開度による流量制御から、小容量ポンプの水位による台数制御とすることで、電力消費量を約29%削減した事例がある。（下図）



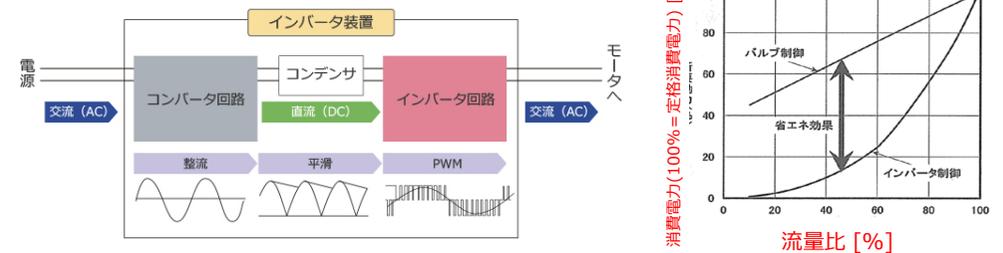
（右）バルブ開度制御による主ポンプの運転状況^[1]

（左）小容量ポンプによる運用のシミュレーション結果^[1]

出所) [1]国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部「下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル（案）（概要版）」
<https://www.mlit.go.jp/common/001295312.pdf>（閲覧日：2024年9月30日）

対策イメージ（回転速度制御）

- ・ 誘導モータの回転速度が供給される電源周波数に比例するため、インバーターを用いて電源周波数を変化させ回転速度を制御し、ポンプの吐出量、吐出圧を変化させる。
- ・ 流量変動が大きい場合に導入効果が期待でき、低速度回転域においてエネルギー効率が低下する液体抵抗器方式からインバーター制御方式等に変更することで省エネルギーを図ることができる。



回転速度制御に用いられるインバータ装置の概念図^[2] 流量比率と消費電力の関係図^[3]

出所) [2]富士電機株式会社「富士電気製品コラム インバータの仕組み？」

https://www.fujielectric.co.jp/about/column/detail/inverter_02.html（閲覧日：2024年9月30日）

[3]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年8月）p.13（赤字を追記）

効率・導入コストの水準

- 効率水準：－
- 導入コスト水準：－

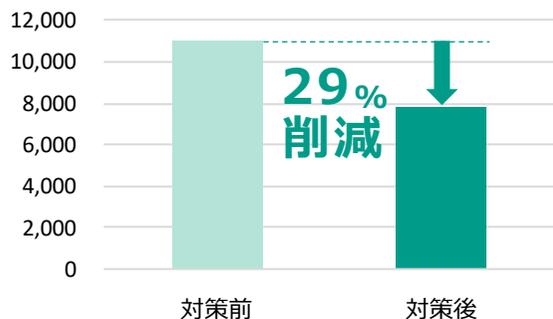
導入効果

- 主ポンプの運用方法を大容量ポンプの吐出弁開度による流量制御から小容量ポンプの水位による台数制御とすることで、電力消費量を29%削減したケースにおける試算例は以下のとおり。

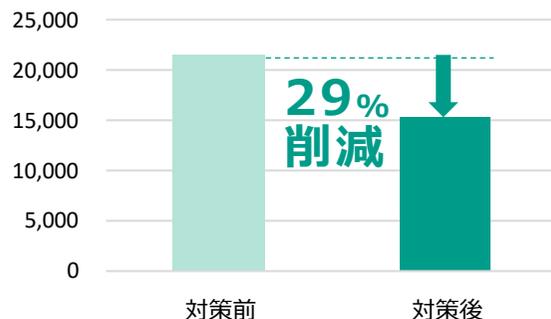
導入効果の試算例

- 各指標で29%削減できる試算結果。

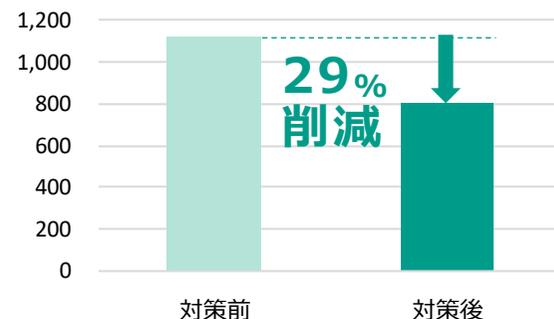
エネルギー消費量 (kL/年)



CO₂排出量 (t-CO₂/年)



エネルギーコスト (百万円/年)



大・小容量ポンプの組合せによる幅広い需要量への対応

運用改善



計算条件

- 主ポンプの運用方法を大容量ポンプの吐出弁開度による流量制御から、大・小容量ポンプを組み合わせた水位による台数制御とすることで、電力消費量を29%削減できた場合を想定した。

項目	記号	Before	After	単位	数値の出所、計算式
電気の一次エネルギー換算係数	①	8.64	8.64	GJ/千kWh	【参考①】
電気のCO ₂ 排出係数	②	0.434	0.434	t-CO ₂ /千kWh	【参考①】
電気の単価	③	22.76	22.76	円/kWh	【参考①】
エネルギーの原油換算係数	④	0.0258	0.0258	kL/GJ	【参考①】
総配水量	⑤	150,000	150,000	千m ³ /年	資料 ^[4] を基に想定
配水量1m ³ 当たりの電力消費量	⑥	0.33	0.33	kWh/m ³	資料 ^[5] を基に想定
電力消費量削減率	⑦	-	29.0	%	p10の事例より想定
電力消費量	⑧	49,500	35,145	千kWh/年	Before : ⑤b×⑥b After : ⑤a×⑥a×(1-⑦a÷100)
エネルギー消費量	⑨	427,680	303,653	GJ/年	⑧×①

計算式の添え字bはBefore、aはAfterを示す。

出所) [4]横浜市水道局「電力年報(令和4年度)」https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/sumai-kurashi/suido-gesui/suido/torikumi/kankyohozen/denryokunenpou.files/0024_20240327.pdf (閲覧日: 2024年11月17日)

[5]公益社団法人日本水道協会「令和3年度水道事業ガイドライン (JWWA Q 100) 業務指標一覧」http://www.jwwa.or.jp/upload_file/20240321004.pdf (閲覧日: 2024年11月15日)

計算結果

- 計算結果には、ポンプの入替コストは含まれていない。

項目	記号	Before	After	単位	計算式
エネルギー消費量	⑩	11,034	7,834	kL/年	⑨×④
CO ₂ 排出量	⑪	21,483	15,253	t-CO ₂ /年	⑧×②
エネルギーコスト	⑫	1,127	800	百万円/年	⑧×③÷1,000

備考

- 運転制御方式の改善は送水・配水施設に限らず水道全般に適用されるが、各方式の持つ特徴を踏まえ、単独または併用方式を比較検討したうえで方式を決定する必要がある。

対策概要

- 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で、浄水量や送水量を均等化し、管路損失等を少なくすることでエネルギー消費量を削減する。

導入可能性のある業種・工程

上水道・工業用水道 / 送水・配水工程 / 送水・配水施設

原理・仕組み

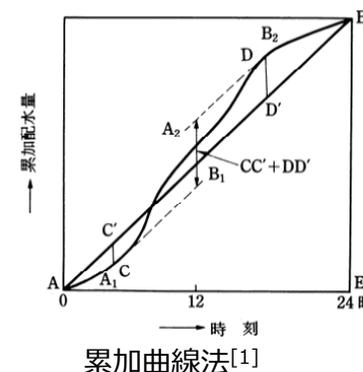
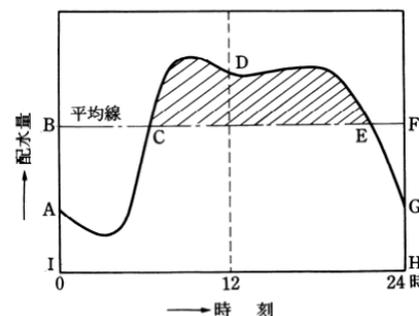
- 配水池容量を増加させることで浄水量や送水量を均等化し、浄水施設におけるエネルギー消費量の平準化を図ることで、エネルギー消費量を削減する。また、契約電力量の低減にもつながる。

配水池容量の基準

- 配水池は送水される量に対して需要水量の時間変動を調整でき、かつ非常時においても一定の時間給水できる機能を持つことが必要である。したがって、配水池容量は、時間変動調整容量に加えて非常時対応容量として、配水池より上流及び下流の対応分、並びに消火用水量を考慮し、計画一日最大給水量の12時間分が標準とされている。

対策イメージ（配水池容量の決定方法）

- 配水池の時間変動調整に対応する容量の決定には、面積法と累加曲線法が用いられている。
- 面積法は、縦軸に計画一日最大給水量時における時間配水量、横軸に時刻をとっており、平均線より上の斜線部分の配水池水量の減少、返金線より下の部分は貯留（増加）を示している。（左図）
- 累加曲線法は、縦軸に累加配水量を、横軸に時刻をとっており、右図中BEは計画一日最大給水量を、ABは配水池への送水量を示し、送水量が毎時一定とすれば、ABは直線となる。また、C点は配水池水量が増加した点、D点は配水池水量が減少した点を示しており、 $CC' + DD'$ が時間変動調整容量を示している。（右図）



出所) [1]厚生労働省「水道施設設計指針2012」<https://www.mlit.go.jp/common/830003599.pdf> (閲覧日: 2024年9月24日)

効率・導入コストの水準

- 効率水準：－
- 導入コスト水準：－

備考

- 配水池容量を大きくすぎると滞留時間が過大となり、残留塩素の低下や消毒副生成物の増加する可能性があるため、適正な配水池容量となるよう留意する。