

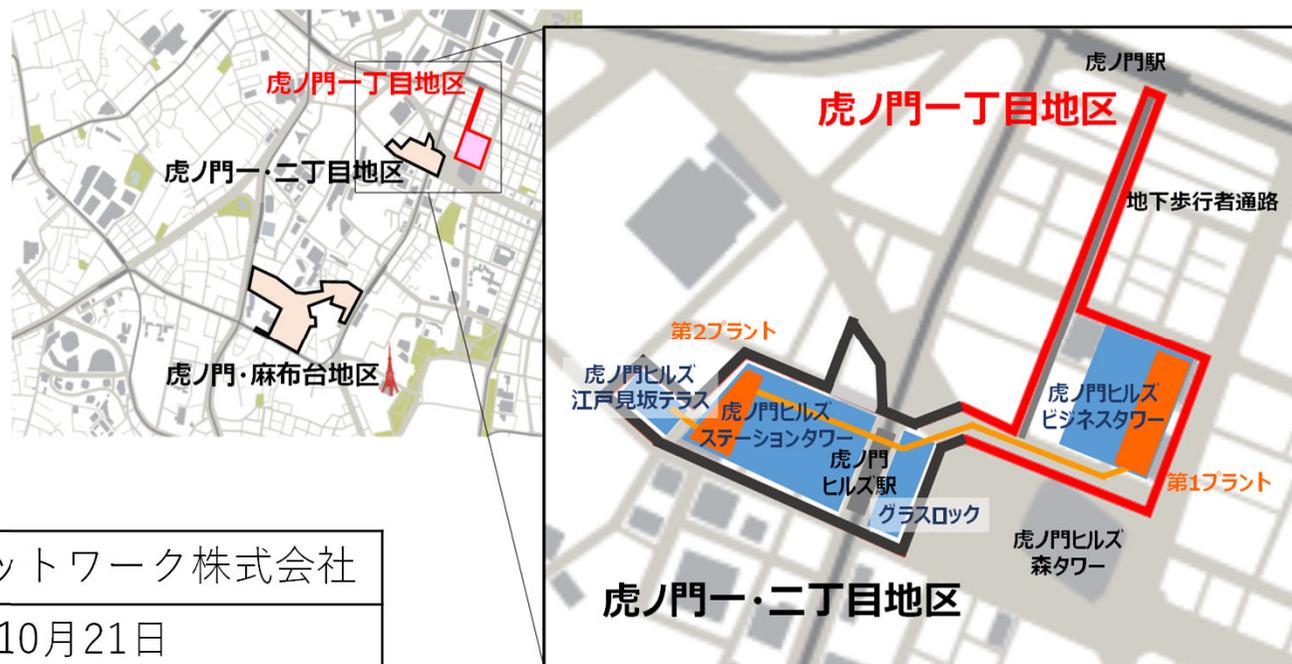
虎ノ門一・二丁目地区 省エネ・脱炭素化の取組み



令和5年度エネルギー合理化シンポジウム
開催日：2024年2月

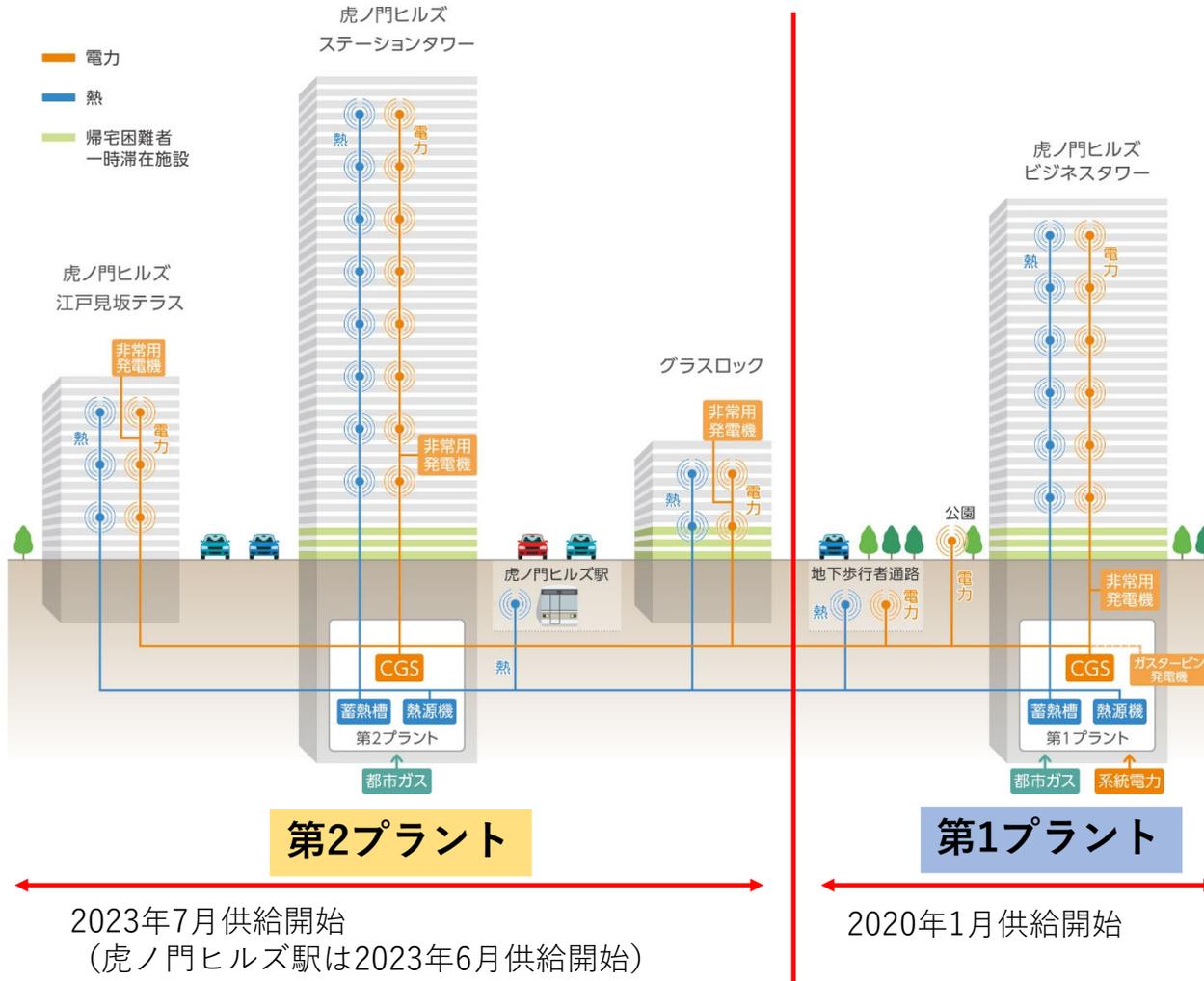
虎ノ門エネルギーネットワークは2016年10月に森ビル株式会社および東京電力エナジーパートナー株式会社の2社が共同で設立した。

「虎ノ門一・二丁目地区」と「虎ノ門・麻布台地区」で特定送配電事業と熱供給事業を行っている。



| | |
|----------|------------------------------|
| 会社名 (商号) | 虎ノ門エネルギーネットワーク株式会社 |
| 設立 | 2016年 (平成28年) 10月21日 |
| 資本金 | 490百万円 |
| 株主 | 森ビル株式会社 東京電力エナジーパートナー株式会社 |
| 主要な事業内容 | 電気事業 熱供給事業 |

熱電併給エネルギーセンター（熱供給施設+特定送配電施設）を設置して、環境性に優れた電力・熱を供給するとともに、災害時においても都市機能の継続に必要な電力・熱を供給し、安全・安心の都市づくりに貢献する。



2020年1月の第1プラントが竣工して電力と熱のエネルギー供給を開始。

2023年7月に第2プラントが竣工して、第1プラントとエネルギーの連携が始まった。

電力供給について

系統受電は第1プラントが一括受電し、各需要家建物および第1プラント、第2プラントへ送電する。

第1プラントと第2プラントそれぞれで都市ガスを引込み、CGSで発電し、系統電力とミックスして供給する。

熱供給について

各プラントの蓄熱槽とCGS排熱を最大限に活用して、低炭素な熱供給を実現する。

※熱供給対象延床 約435,000m²

主要機器概要

合計供給能力 冷熱169.422GJ/h 温熱118.629GJ/h



第2プラント機器概要

主要熱源機器

| 機器種別 | 冷却能力 (RT) | 加熱能力 (kW) | 台数 |
|---------------|-----------|-----------|----|
| インバータターボ冷凍機 | 660 | — | 2 |
| 排熱回収型吸収冷凍機 | 470 | — | 2 |
| 熱回収型ヒートポンプチラー | 141 | 542 | 6 |
| 蒸気ボイラ | — | 1,566 | 7 |

蓄熱槽

| 槽種別 | 容量 (m3) |
|-------|---------|
| 冷水槽 | 2,400 |
| 冷/温水槽 | 3,100 |

CGS設備

| 機器種別 | 能力 (kW) | 台数 |
|--------|---------|----|
| ガスエンジン | 2,000 | 2 |

標準供給温度

| 熱媒体 | 供給温度 | 熱媒体 | 供給温度 |
|------|--------|-----|------|
| 冷水 | 6℃ | 温水 | 47℃ |
| 変温冷水 | 6℃～12℃ | 高温水 | 80℃ |

第1プラント機器概要

主要熱源機器

| 機器種別 | 冷却能力 (RT) | 加熱能力 (kW) | 台数 |
|-------------|-----------|-----------|----|
| インバータターボ冷凍機 | 689 | — | 3 |
| インバータターボ冷凍機 | 850 | — | 1 |
| 排熱回収型吸収冷温水機 | 600 | 1,936 | 2 |
| 温水ヒータ | — | 930 | 4 |
| 熱回収型ヒートポンプ | 26 | 98 | 1 |

蓄熱槽

| 槽種別 | 容量 (m3) |
|----------|---------|
| 冷水/変温冷水槽 | 4,100 |

太陽光発電設備

| 機器種別 | 能力 (kW) |
|-------|---------|
| 太陽光発電 | 20 |

CGS設備

| 機器種別 | 能力 (kW) | 台数 |
|--------|---------|----|
| ガスエンジン | 1,000 | 2 |

脱炭素化きっかけ

株主である森ビルでは、街づくり・街の運営において脱炭素に取り組んでいくことが、社会的使命と考えています。

虎ノ門一・二丁目地区では、

- ①工夫したエネルギーの面的利用
- ②エネルギーセンターと需要家およびテナントとの協働
- ③最新技術の導入

の3つの軸を中心に脱炭素化に取り組んでいます。

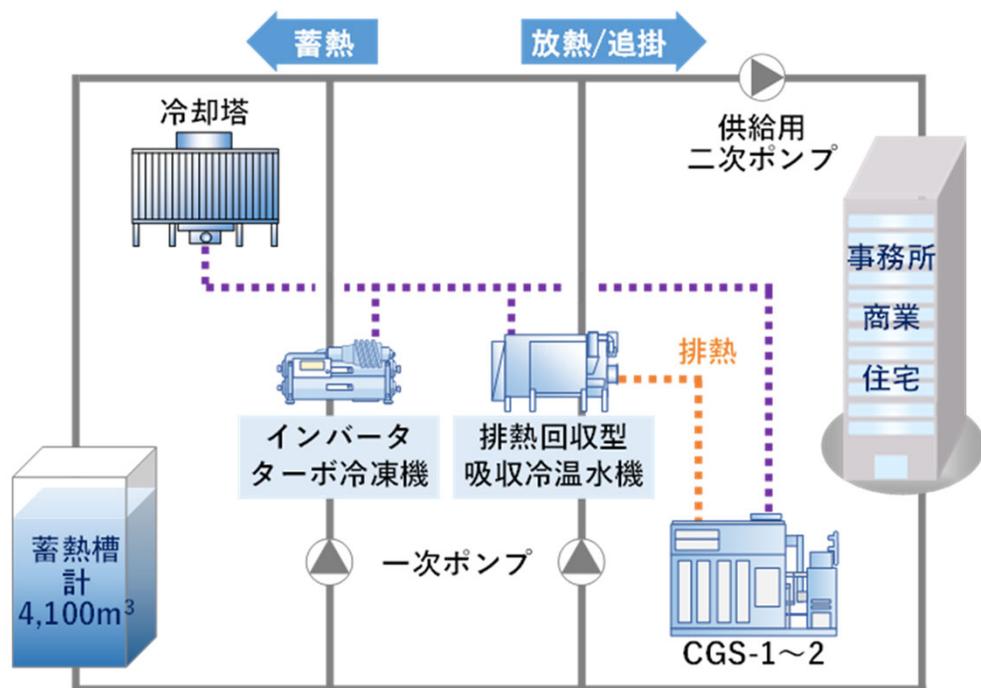
達成に向け工夫した点

- ①エネルギーエリア全体の脱炭素化はもちろんのこと、災害時にも安定したエネルギー供給が可能なシステムを構築しました。
- ②エネルギー会社、需要家、テナントが三位一体で脱炭素に取り組む体制を構築して、自分たちだけ利益ではなく、エリア全体で評価できる脱炭素の取組みを推進します。
- ③AIを活用したエネルギーマネジメントシステムを構築しました。AIでプラント運転計画の立案から自動運転を行いながら、リアルタイムで計画と実績の乖離を修正します。人の手を介すると時間的ロスや無駄が発生しますが、AIにより解決します。

①エネルギー面的利用の工夫

蓄熱槽のクッションタンク利用

熱源機で製造した冷熱は需要家へ供給しつつ、供給量より製造量が上回った分は蓄熱する。熱源機が停止時は二次ポンプが自動追従する。

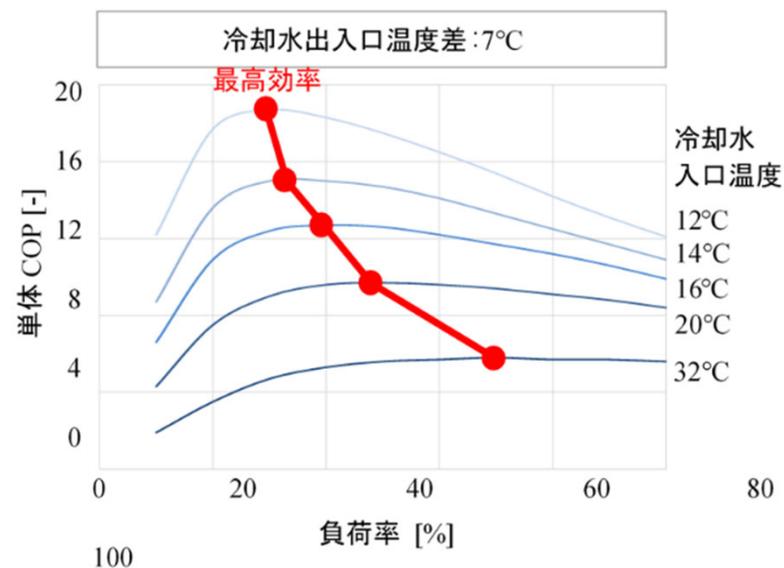


クッションタンク概念図

クッションタンク利用効果

- ・インバータターボ冷凍機が高効率となる部分負荷運転による運用
- ・熱源機増減段時に冷水供給温度へ影響を及ぼさずにフレキシブルな運用が可能
- ・中間期はCGS排熱で製造した余剰冷水を蓄熱し、CGS停止後に放熱利用して排熱の有効活用を推進

インバータターボ冷凍機の部分負荷運転



①エネルギー面的利用の工夫 デマンドレスポンス（第1プラント実績）



プラント電力負荷平準化とデマンドレスポンス（DR）の実績

- ・大規模蓄熱槽（4,100m³）を有効利用して電力負荷の平準化を図る。
- ・DRに対応し、需給ひっ迫の緩和や再エネ電源の活用へ貢献する。

電力負荷平準化とDR対応の効果

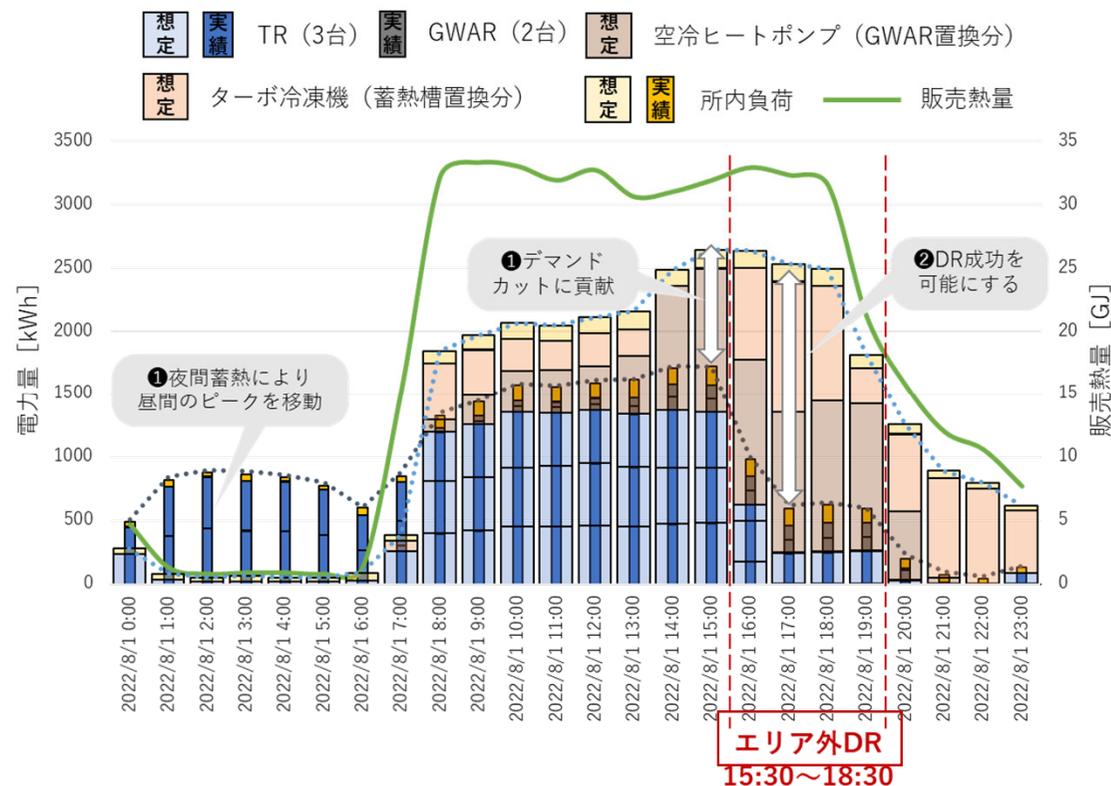
※効果の試算はいずれもCGSの効果は含まない

①プラント電力平準化効果

- ・夜間蓄熱により昼間ピークを移動させ、昼間のピーク電力を約900kW低減させた。
- ・合わせて契約電力の削減効果があった。

②DR対応

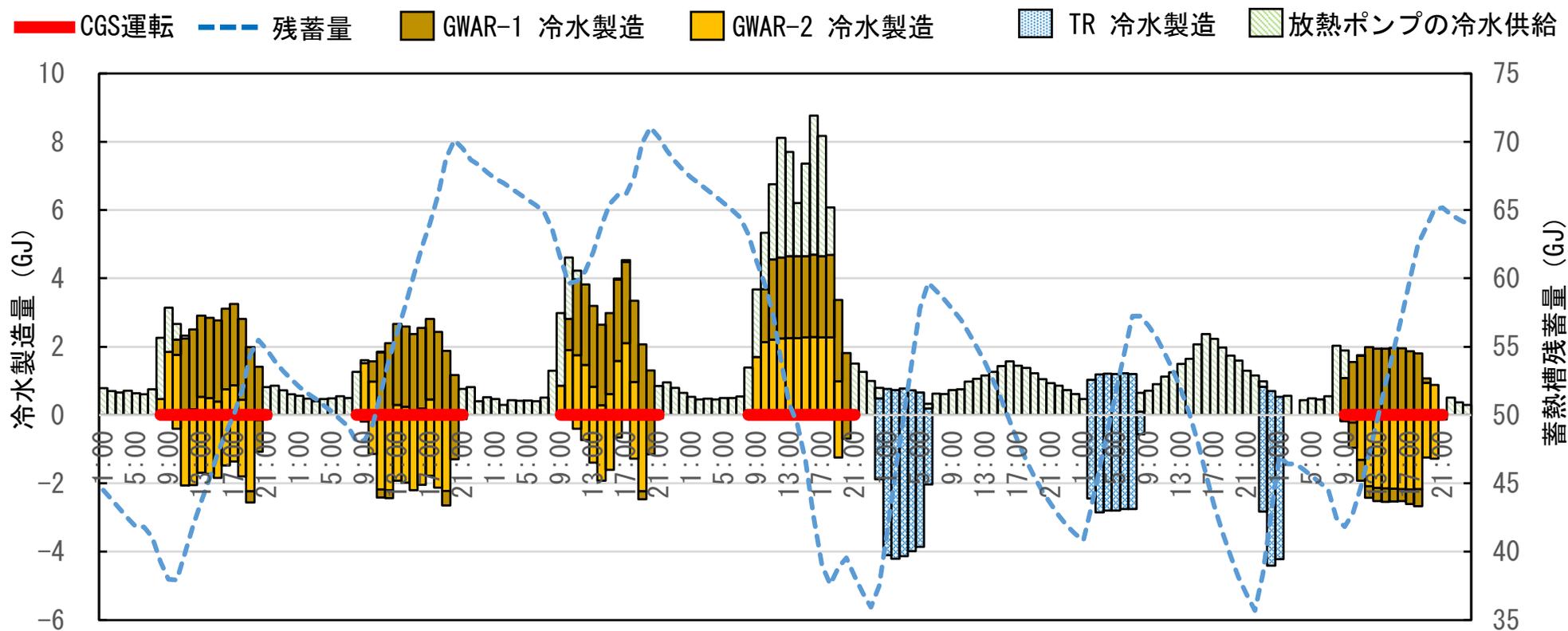
- DRに対応し、1,900kWの電力削減を実現した。
- ・竣工後から夏期のDRは9回発動されたが、全て成功している。
- ・DR成功報酬の経済的メリットを享受した。



夏期代表日（2022/8/1）のDHC消費電力と販売熱量（実績と想定）

①エネルギー面的利用の工夫 CGS排熱の有効活用

CGS運転の課題は、中間期の熱負荷が少ない時に排熱が使い切れないケースが多いことである
 排熱回収型吸収冷温水機が蓄熱槽に接続しているため、排熱が余剰な時は蓄熱をする
 年間の排熱活用率(排熱活用量÷販売熱量)は約25%となった



排熱活用運転グラフ (2022年10月18日 (火) ~10月24日 (月) の冷水運転実績)

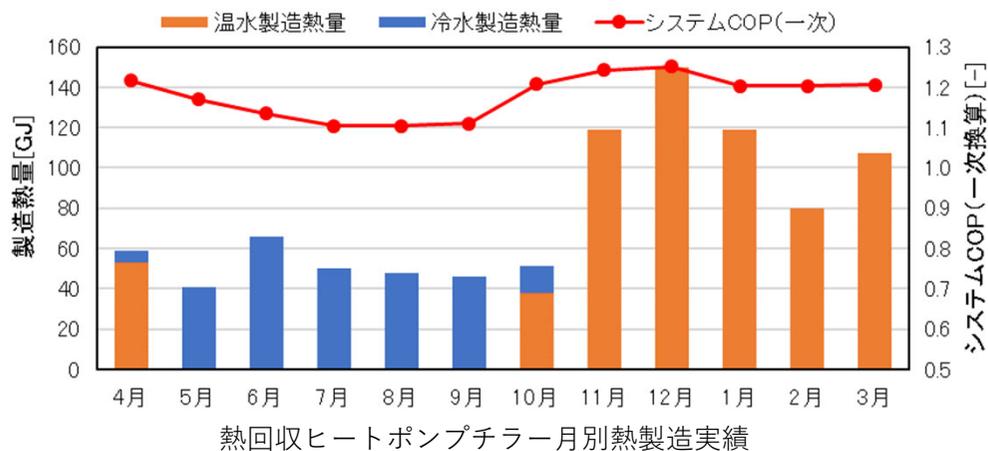
①エネルギー面的利用の工夫 都市部における未利用エネルギー活用



中水熱活用

都市部の未利用エネルギーの活用として、需要家中水槽（雑排水槽）の貯留水を熱回収ヒートポンプの熱源水として活用し、夏期は冷熱製造、冬期は温熱製造に用いている。熱供給プラントの年間熱製造量の1.5%が中水熱利用である。

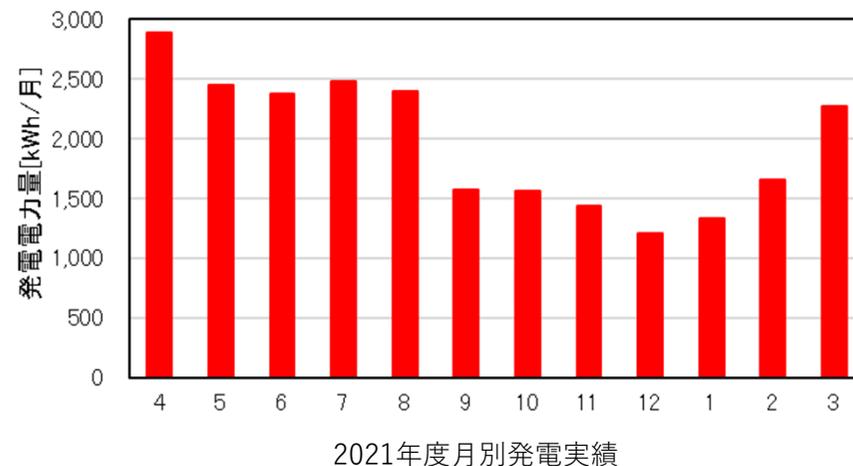
年間でCO2を13.4t削減した。



太陽光発電

ビジネスタワー屋上に合計20kWの太陽光発電パネルを設置してプラント電源として利用している。

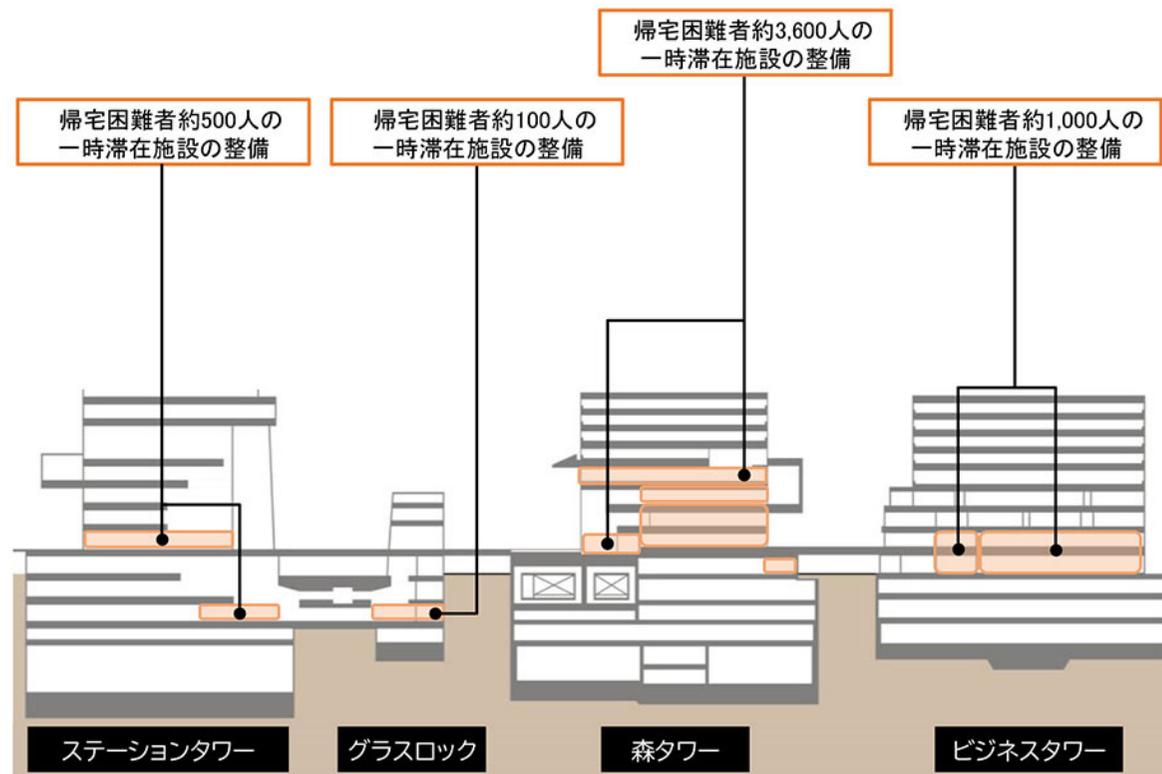
年間でCO2を9.6t削減した。



①エネルギー面的利用の工夫 BCP性能向上

BCP時のエネルギー供給

- ・災害時（長期停電、都市ガス供給あり）には、CGSとビル側の発電機と連携することにより電力供給能力を確保します。熱についてもCGS排熱やターボ冷凍機、蓄熱槽により供給能力を確保します。
- ・長期断水時は、蓄熱槽や防災井戸の水を冷却水補給水として活用し、熱・電力供給を継続可能です。
- ・蓄熱槽の水は需要家中水槽へ供給することも可能としており、トイレの洗浄水等に利用します。
- ・これらの仕組みより、需要家テナントの業務継続や帰宅困難者支援を行います。



虎ノ門ヒルズ エリアの帰宅困難者一時滞在施設

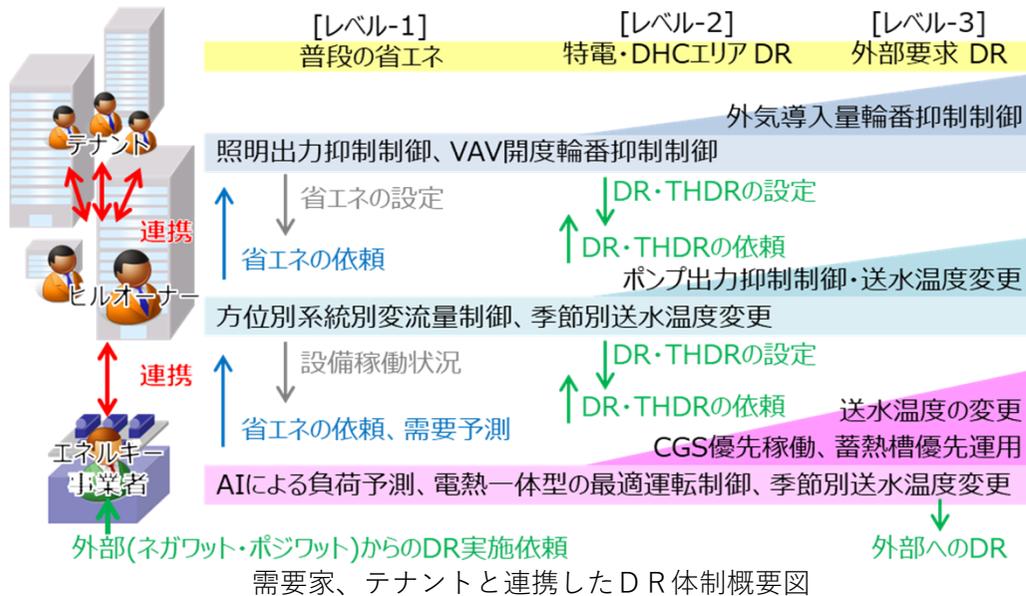
災害時のエネルギー供給能力（長期停電、都市ガス供給ありのケース）

| 電力 (夏期平常時と比較) | 冷水 (夏期平常時と比較) | 温水 (冬期平常時と比較) |
|------------------|------------------|------------------|
| 80% | 80% | 100% |

②需要家等との協働 DR体制、Cx体制

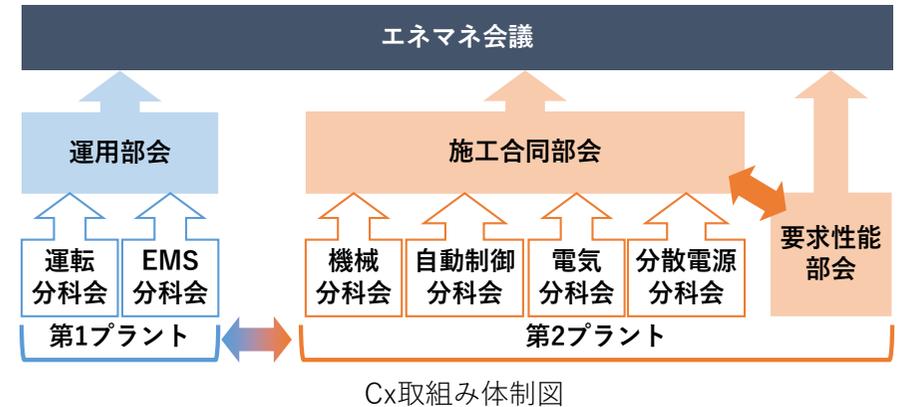
エネルギーセンター、需要家、テナントの三位一体の取り組み（DR対応や供給温度緩和）

当社と需要家ビル管理者、テナントの3者が連携し、供給サイドだけでなく消費サイドも加えた三位一体のエネルギーマネジメントシステムを構築した。需要予測に基づき、状況に応じた省エネ運用をビル管理者に依頼、ビル管理者がテナント毎の省エネを管理し、省エネ運用レベルに応じた制御を行い、全体のエネルギー最小化を目指す。



Cxの取り組み

機能性能の適正化およびチューニングによる省エネに取り組んでいる。Cxを継続実施することで、エリア全体の省エネを推進する。



Cx参加者

- ・ 外部有識者
- ・ 建物発注者（管理者）
- ・ プラント発注者（管理者）
- ・ 設計者
- ・ 施工者
- ・ プラント運転責任者

②需要家等との協働 冷水供給温度緩和

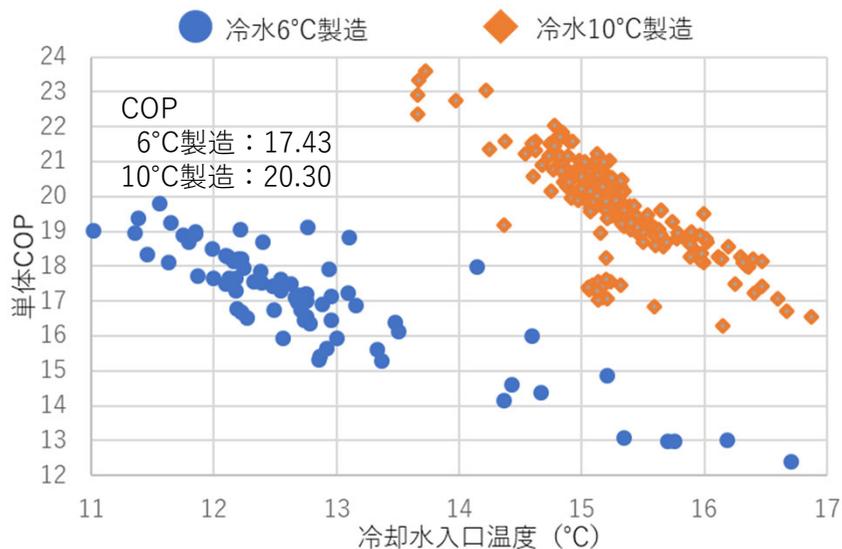
冷水供給温度緩和

需要家と定期的に協議を行い、季節に応じた冷水供給温度の可変させている。また効果についても需要家と協力して検証している。

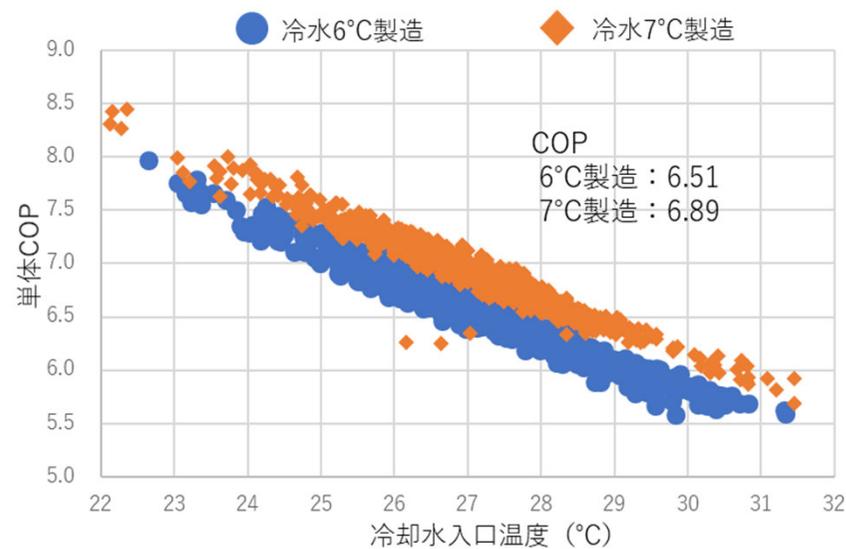
TR圧縮機動力を年間で77MWh (7.3%) 削減した。一方の需要家側の冷水搬送動力や空調機等のエネルギー増加が無いことを確認した。

2022年度の冷水供給温度（標準温度6°C）

| | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 6°C | | | | | | | | | | | | |
| 7°C | | | | | | | | | | | | |
| 8°C | | | | | | | | | | | | |
| 9°C | | | | | | | | | | | | |
| 10°C | | | | | | | | | | | | |



冬期のTR冷水製造温度別の冷却水入口温度と単体COP

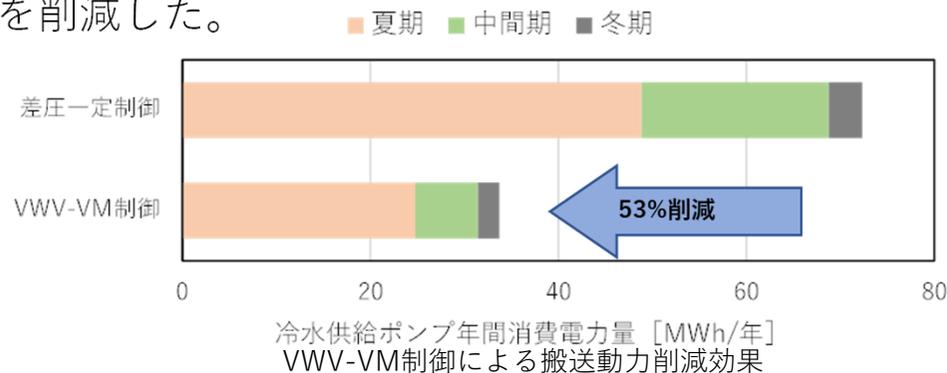


夏期のTR冷水製造温度別の冷却水入口温度と単体COP

②需要家等との協働 VWV-VM制御

VWV-VM制御による搬送動力削減

- ・ 需要家への供給ポンプの制御は需要家受入熱交換器廻りのバルブ開度情報に応じて供給差圧を可変させるVWV-VM制御を導入した。
- ・ 最低限の揚程で冷水供給ポンプを運転する。
- ・ 差圧一定制御と比較して年間で53%の搬送動力を削減した。



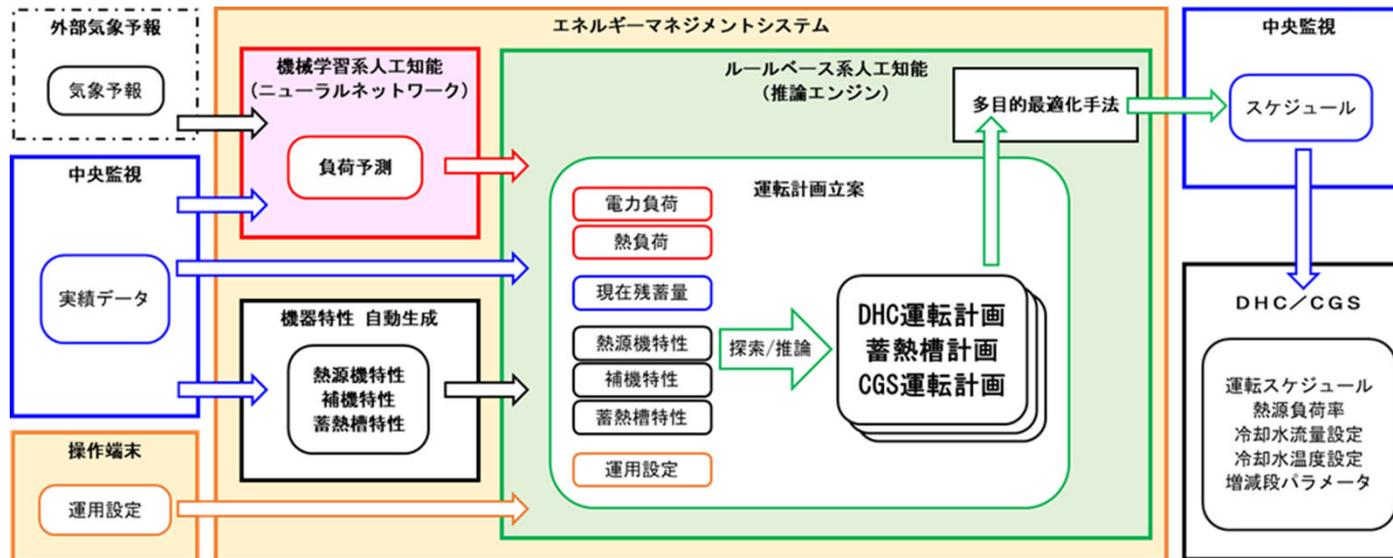
- ・ 具体的には、需要家受入熱交換器の2次側出口が設定温度になるように、2次側のバルブ開度は自動で調整される。その際、バルブ開度が30%より小さくなると「過剰」と判断し供給圧力設定値を自動で低くし、70%より大きくなると「不足」と判断して供給圧力設定値を自動で高くする。

③最新技術の導入 AIを活用した熱源最適運用（概要）

AI活用型EMS概要

高効率運転を実現しつつ運転管理者の負担軽減を目的でAIを活用したエネルギーマネジメントシステムを導入。

- ・ 負荷予測：気象予報データと実績データを基に機械学習AIを用いて電力負荷と熱負荷を予測する。
- ・ 運転計画：電力負荷、熱負荷、機器特性等からルールベース型AIにより最適運転計画を立案する。
- ・ 自動運転：運転計画に基づき、CGSや熱源機器を制御しつつ、当日の気温や運転状況、DR要請等から運転計画の見直し（リアルタイムコミショニング）を自動で行っている。



AI活用型EMS システム機能構成

運転指標

運転指標は以下の4種類がある。

- ①一次エネルギー消費量
- ②CO2排出量
- ③プラントCOP
- ④運用コスト

1つの指標を選択した運転計画だけでなく、多目的最適化の手法を組み込み、複数の指標に対する最適解を算出可能としている。

③最新技術の導入 AIを活用した熱源最適運用

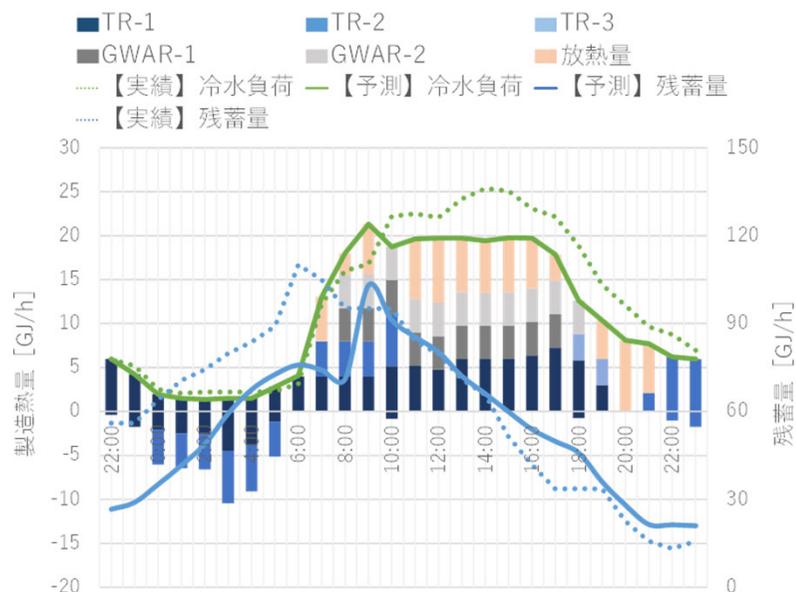
AIを活用した自動運転結果

EEPが電力負荷で5.2%、冷水負荷で9.3%の結果が得られたので、2022年8月にAI活用型EMSによる負荷予測、運転計画及び自動運転を行った。

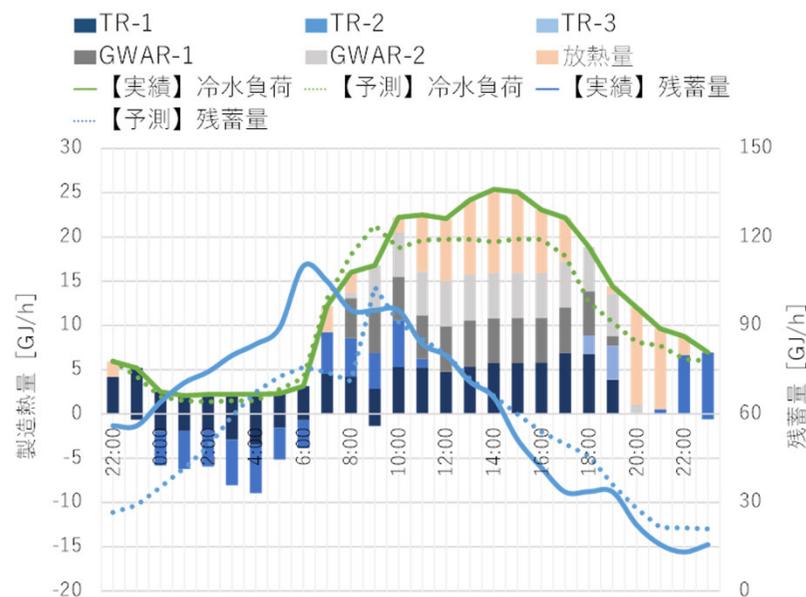
供給上の支障やオペレータの手動介入もなく、COPは8月平均値1.34を上回る1.52となり、本システムの優位性が証明された。

2022年8月25日22時～2022年8月26日24時 自動運転実績

| | 一次エネルギー [GJ] | DHC効率 (製造COP) | 消費電力量 [kW] | ガス消費量 [Nm3] |
|------|-----------------|------------------|---------------|----------------|
| 運転計画 | 142.8 | 1.57 | 10,324 | 934 |
| 実績 | 147.5 | 1.52 | 10,135 | 1,145 |



運転計画 (2022年8月25日22時～2022年8月26日24時)



運転実績 (2022年8月25日22時～2022年8月26日24時)

①デマンドレスポンスについて

デマンドレスポンスの取組みは脱炭素実現に向けて、社会的意義がとても高いと理解しております。

ここでは、コージェネレーションと蓄熱槽を活用して、デマンドレスポンスに対応しています。

特に蓄熱槽は、お客様への供給温度で貯めているので、例えば熱源機器を停止した時に不足する熱を瞬時に蓄熱槽が補完する役割があります。

そのことで、お客様への供給温度や圧力の変動を自動で抑えてくれるので、オペレータの技量に依存する部分が少なく、確実に安定供給を継続することができます。

蓄熱槽がデマンドレスポンスの対応にとっても相性がいいことを実感しました。

②AIへの期待

省エネ運転を実現するために、運転データの分析を何度も行いながら、最適な運転を模索していました。虎ノ門一・二丁目地区は、熱供給と電力供給を行っているので、システムがとても複雑です。一番の省エネになる運転を見つけるのはかなりの労力と時間が必要です。

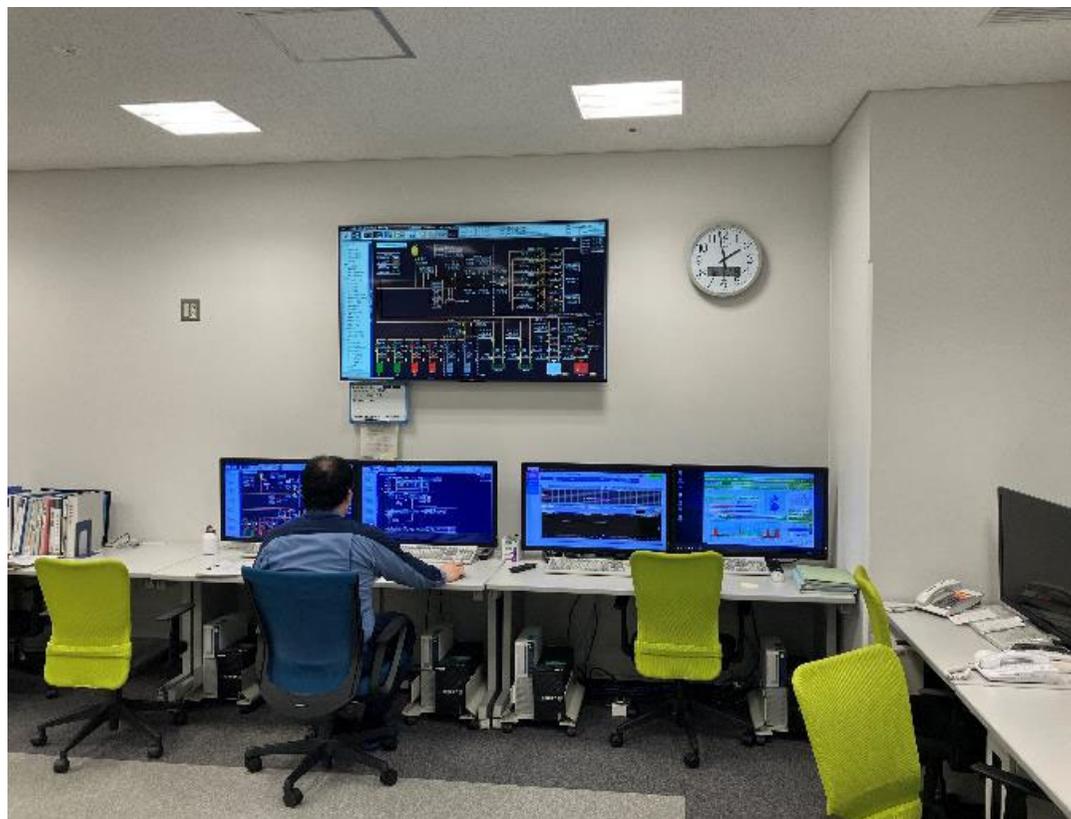
ここで導入されているAIを用いたエネルギーマネジメントシステムは、熱と電力の需要予測と運転計画、そして自動運転まで行うことが可能です。私自身が今まで課題と感じていたのは、省エネ運転実現までの時間がかかることがあることです。例えば、夏に運転と分析を繰り返して省エネ運転を確立できても、分析に時間がかかると季節が変わってしまい、翌年の夏にならないとシーズンを通した最適運転ができません。「省エネ運転実現までの時間がもったいないな」と感じていた課題が解決される期待を持っています。

③非常時の対応について

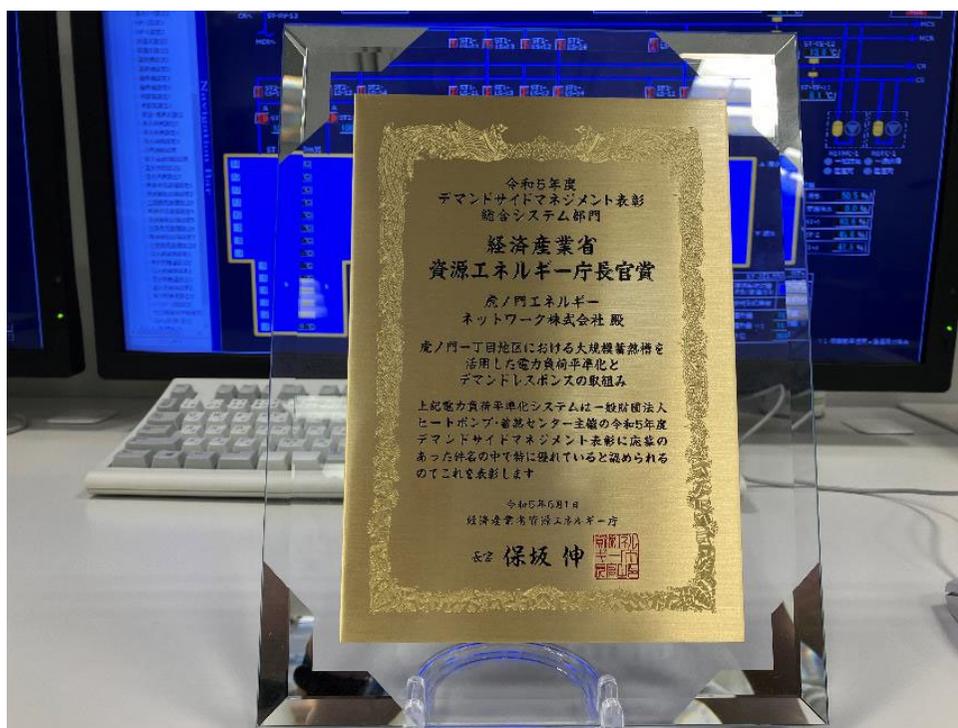
常日頃私たちはエネルギー供給で街の発展に貢献していると思います。

ここでは、非常時でもエネルギー供給が継続できるハード面としての仕組みが構築されています。

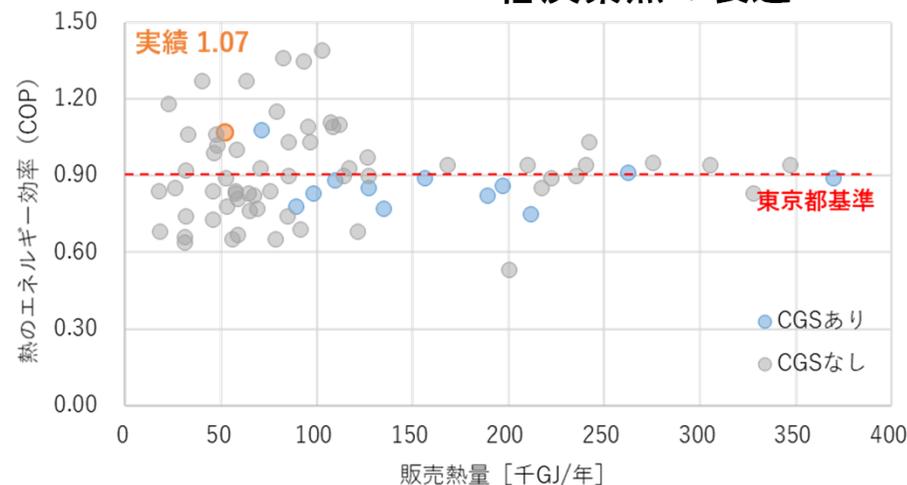
非常時でも確実にエネルギー供給ができるように、ソフト面の対応としてオペレータの非常時対応訓練に力を入れています。



デマンドサイドマネジメント表彰 総合システム部門で 経済産業省資源エネルギー長官賞を受賞



エネルギープラント 省エネルギー性能 低炭素熱の製造



東京都内のDHCプラント 販売熱量とエネルギー効率

- ・ 2021年度の実績は、東京都内のCGSを保有するDHCプラントの中でトップクラスの高効率であった。
- ・ 東京都内の都市ガスを使用するプラントの中でCO2排出原単位 (0.048t-CO2/GJ) は (清掃工場排熱利用を除く) 2番目の低い地区であった。

デマンドサイドマネジメントの最高賞を受賞したことで、雑誌掲載やシンポジウムのお声がけを多くいただいています。

現場見学については、日本だけでなく、中国や韓国等、海外からも申し込みをいただいています。それだけ、世の中から必要とされているノウハウということを理解しています。

2050年の温室効果ガス実質ゼロに向けて、建物の環境性能向上の要求が更に強くなっていくことが予想されます。

また同時に、エネルギー供給システムは災害に強い安全・安心の都市づくりの一翼も担っています。時代に求められる施策を行っていくことはもちろん、私たちが持つ知見やノウハウを世界へ発信していくことが脱炭素につながると考えています。