

2024年3月12日に開催しました技術部会発表会の概要をご紹介します。

発表テーマと見学会は以下の通りです。

※詳しい資料をご希望される方は、巻末の電話番号にご連絡下さい。

- 「氷蓄熱・空冷チラー 熱源最適制御+冷温水2次ポンプインバータ最適調整」による省エネルギーの実践
- 「大成建設 技術センター」見学会



■ 「氷蓄熱・空冷チラー 熱源最適制御+冷温水2次側ポンプインバータ最適調整」による省エネルギーの実践

本建物は、経年17年の複合商業ビルです。

熱源・空調設備は「氷蓄熱システム+各階分散方式空調システム」となっており、冷房運転は氷蓄熱システムをベース熱源とし、空冷ヒートポンプチラーで追掛け運転を実施する仕様になっています。

令和4年度、中央監視データを簡易解析し、その運用方法に改善の余地があると判断し、昨年度仮設計測による詳細データの収集を実施しました。

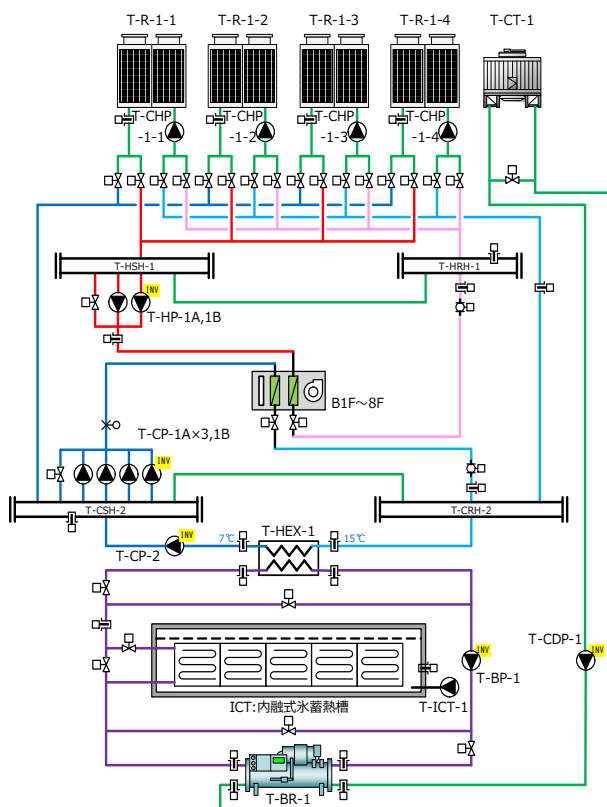
各種データから運用実態を分析し、制御メーカーと協調し運用改善を実施したものです。

1. 建物概要

- [建物用途] 都内複合商業ビル 平成19年竣工
- [建物規模] B3F~14F 延床面積 約26,000m²
- [契約電力] 900kW

2. 設備概要

(1) 熱源・空調設備系統図



(2) 熱源制御の概要 氷蓄熱制御

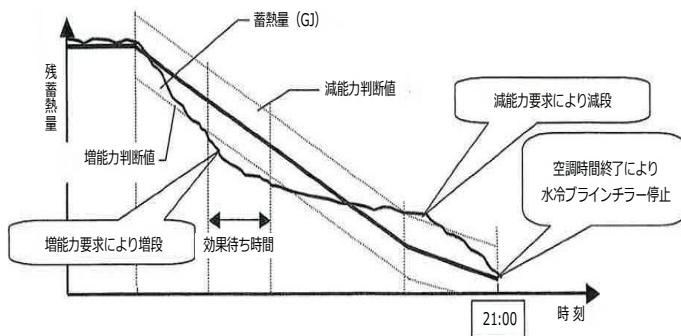
【冷熱源制御】

- ・水冷ブラインチラー (T-BR-1) は内融式氷蓄熱槽に対してのみ蓄熱・追掛け運転を実施
- ・放熱運転が開始されると蓄熱コントローラ (PMX) に設定された「蓄熱槽残蓄熱量演算」に従う
- ・顕熱：水温 (4℃まで) と、潜熱：水位計 (Max : 120mm) の演算により蓄熱 (残蓄) 熱量演算
- ・内融式氷蓄熱槽の最大蓄熱量「29.2 GJ」に対して、PMX では1割減の「蓄熱目標：26.28GJ」で管理
- ・さらにPMX ではマイナス3%となる「蓄熱完了：25.49GJ」が蓄熱目標値
- ・PMX は「残蓄熱量70%以下」で蓄熱運転が開始される (氷蓄熱槽メーカーの仕様書に基づく)

(3) 熱源制御の概要 水冷ブラインチラー追掛け運転

【冷熱源制御】

- ・追掛け運転は、70%以上の残蓄がある場合は運転しない (氷蓄熱槽メーカーの仕様書に基づく)



(4) 熱源制御の概要 空冷チラーによる台数制御

【冷熱源制御】

- ・負荷流量増加 (還配管電磁流量計) or 供給往水温度上昇 (能力変動等の補正)
- ①通常運転時：定格 180.0 m³/h 超過 (判断時間 300 秒) で1台運転、38.2 m³/h ごとに4台目まで増段
- ※ヒステリシス (調節感度) は定格の10%=18 m³/h
- ⇒1台運転時は 162.0 m³/h で減段

②ピークカット時: 定格 225.0 m³/h 超過で 1 台運転、
38.2 m³/h ごとに 4 台目まで増段

→供給往水温度設定値: 7.0℃に対して+1.5℃ごとに
増段 (判断時間 300 秒) = 1 台運転は 8.5℃
※ヒステリシスは 0.5℃ ⇒ 8.0℃で減段

【温熱源制御】

・温水負荷熱量増加 (往還り温度差と流量) or 供給往水温度不足 (台数補正機能)
→温水負荷熱量: 演算にて算出された負荷熱量に相当するチー4 台の台数制御 (負荷熱量がチーの暖房能力以上になったら、負荷熱量に見合う熱源台数に増段し、設定熱量以下になったら減段する)
⇒1.28GJ ごとに 4 台目まで増段
※運転・停止の動作すき間は、定格能力の 20%
⇒ 2 台運転時は 1.024GJ で減段

→供給往水温度: 48.0℃に対して-1.5℃ (判断時間 300 秒) で増段

(5) 2 次側搬送制御の概要

【冷水制御】

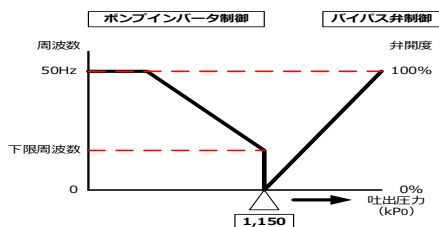
①氷蓄熱用冷水 2 次ポンプインバータ制御 (T-CP-2)

- ・2 次側要求流量により、ポンプインバータの比例制御
- ・熱源が 2 台以上起動時のインバータ周波数は 40Hz 固定 (180.0 m³/h)
- ・ピークカット運転時のインバータ周波数は 50Hz 固定 (225.0 m³/h)

※インバータの最低周波数設定値は 0Hz だが、運転最低値は 35Hz (157.5 m³/h) である

②冷水 2 次ポンプインバータ制御 (T-CP-1B)

- ・冷水 2 次ポンプ 4 台の内、このポンプ 1 台にのみインバータが実装され、冷水往水側圧力による「吐出圧力一定制御」



※しかし、インバータの最低周波数設定値が非常に高く: 47Hz (98.9 m³/h)

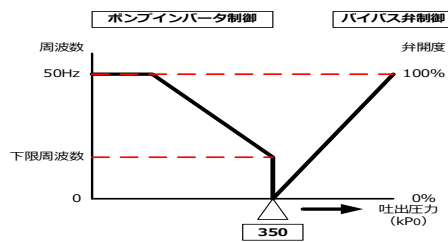
③冷水 2 次ポンプ台数制御 (T-CP-1B、T-CP-1A×3)

- ・冷水負荷流量による冷水 2 次ポンプ 4 台の制御
- ・定格 1,753l/min (105.1 m³/h) まで 1 台運転、その後 105.1 m³/h ごとに 4 台目まで増段
- ※ヒステリシス (調節感度) は定格の 10%=10.5 m³/h
⇒ 2 台運転時は 94.6 m³/h で減段

【温水制御】

①温水 2 次ポンプインバータ制御 (T-HP-1B)

- ・温水 2 次ポンプ 2 台の内、このポンプ 1 台にのみインバータが実装され、温水往水側圧力による「吐出圧力一定制御」



※インバータの最低周波数設定値は 0Hz だが、実運転での最低値は 35Hz (51.24 m³/h) である

②温水 2 次ポンプ台数制御 (T-HP-1B、T-HP-1A)

- ・温水負荷流量による温水 2 次ポンプ 2 台の台数制御
- ・定格 1,220l/min (73.2 m³/h) まで 1 台運転、その後 73.2 m³/h 増加で 2 台目運転
- ※ヒステリシス (調節感度) は定格の 10%=7.32 m³/h
⇒ 2 台運転時は 65.9 m³/h で減段

3. 運用改善手法の想定

【冷水運転】

(1) 放熱運転モード

⇒「空冷ヒートポンプチラーの運転割合を減少」させられるかの検討

(2) 2 次側ポンプインバータの適正運用

⇒「ポンプ搬送動力を削減」させられるかの検討

(3) 水冷ブライントーボ冷凍機追掛け運転制御方法

⇒「ある程度の負荷がある時に集中運転させ、高効率運転」させられるかの検討

【温水運転】

(1) 温水 2 次ポンプインバータの適正運用

⇒「ポンプ搬送動力を削減」させられるかの検討

(2) 温水 2 次側ポンプ台数制御

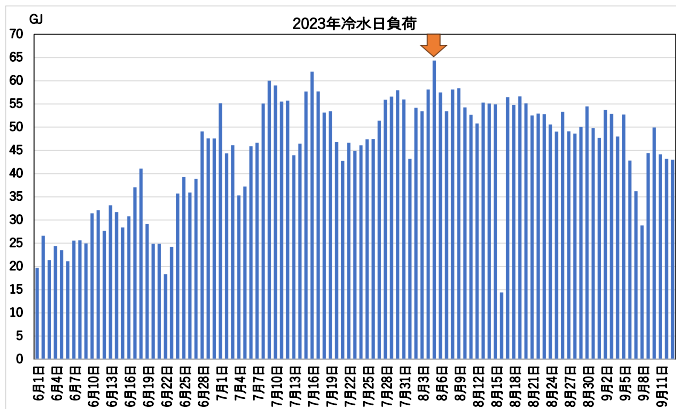
⇒ 極力、定流量ポンプ (T-HP-1A) を増段させない

4. 運転データの可視化と所見

【冷水運転】

(1) 熱源と負荷および搬送系の状況

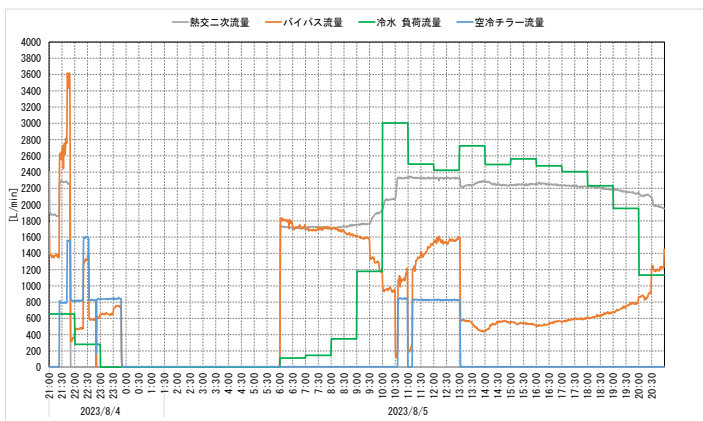
- ・冷水 2 次側負荷熱量における最大日負荷熱量は、2023 年 8 月 5 日に「64.33 GJ」
- ・当日の最大時間負荷熱量は、13 時に「6.55 GJ/h」



(2) 負荷熱量と供給熱量

【冷水運転】

- 空冷チラーは「2次側流量 180 m³/h(3,000ℓ/min) 以上又は往水温度 8.5℃以上」で増段
- 熱交の2次出口温度約 7℃のため、空冷チラーは「冷水負荷流量」で起動、11時に「3,000ℓ/min以上」の条件が成立したと考えられる
- 熱交換器の最大処理熱量は「8.0 GJ/h」、8月5日の時間最大負荷熱量「6.55 GJ/h」は問題なく処理可能で、この2時間の空冷チラー運転は無駄だと判断できる
- 6時～22時(空調運転時間帯)は空冷チラーを運転しない設定とさせるか、冷水負荷流量に対する空冷チラーの増段判定を「225 m³/h (3,750ℓ/min)」に変更することが望ましい



(3) 冷水2次ポンプの運転状況

【冷水運転】

- T-CP-1Bのみインバータ制御、T-CP-1A×3台は定速ポンプ、計4台で台数制御
- 空調開始でT-CP-1B 起動「消費電力量：6 kW」、9時まで「負荷流量：3000ℓ/min」
- T-CP-2もINV実装だが「熱交2次流量：1,700 ℓ/min」、負荷流量に比例していない
- 9時以降「負荷流量：1,753 ℓ/min」超過で2台目のポンプが起動するが、2台運転で2倍にはならず、T-CP-1Bが押し負けており、ポンプ2台のINV化が望まれる

5. 空冷チラーの追掛運転(台数制御)に関する調整

【冷水運転の経緯確認】

- 通常空調時間帯に、2次側流量増加か送水温度上昇のどちらかの条件で、氷蓄熱システムにプラスされる形で空冷チラーの追掛け運転が実施される。
- 空冷チラーもしくは水冷ブラインチラーのシステム COP にもよるが、デマンドを超過しない範囲でより COP の高い熱源機側で追掛け運転を実施する方が高効率運用となる。
- 空冷チラーと水冷ブラインチラーのシステム COP は拮抗しているが、停止時間が長く、配管内水温が自然放熱により高温化する空冷チラーを使用するよりは、より連続運転可能なように運転調整した水冷ブラインチラーを活用する方が結果的に高効率運用につながられる。

【冷水運転の変更方策】

(1) 氷蓄熱システムからの供給増

- 蓄熱運転時間の8時間を22時～6時とし、22時～24時の空調負荷は空冷チラーを熱源とし、朝6時～8時の少ない空調負荷は放熱運転にて対応する
 - 昼間の放熱は、負荷実績より「ピークカット運転時」の負荷流量設定値 3,750 ℓ/min 以下であるため、「2次側冷水還流量の設定値」をこの 3,750 ℓ/min(225m³/h)以下に設定することにより、昼間の空冷チラー運転は不要になる
- ⇒「ピークカット運転モード」は水冷ブラインチラーが運転不可のため制御変更を検討する

(2) 水冷ブラインチラー追掛け運転の高効率化

- 氷蓄熱システムの水冷ブラインチラー追掛け運転については、高負荷で長時間運転することが高効率に繋がるので、デマンド対策を加味して制御メーカーと運転時間帯の調整を今後行う

6. 各種ポンプインバータの最低周波数調整

【冷水運転の変更内容】

- 2023年8月31日にインバータ本体のパラメータを再設定

(1) 氷蓄熱用冷水2次ポンプ(T-CP-2)：0 Hz→ 20Hz

(2) 冷水2次ポンプ(T-CP-1B)：47 Hz→ 20Hz

【冷水運転の変更結果(1)】(T-CP-2)

- 空調開始時の小流量域で、2次側冷水還水流量に対する熱交二次流量(T-CP-2)の削減は見られない。ヘッダー間バイパス流量の削減も見られない
- よって消費電力量の削減も見られない

【冷水運転の変更結果（2）】（T-CP-1B）

- ・設定変更した翌日、T-CP-1B が 6:30 からの空調開始で同時起動するも、商業施設開店準備の 10 時頃までは負荷が少なく「10 m³/h(167 l/min)」の小流量で、インバータ制御出力が「35Hz～49Hz」でハンチングしている状況となった
- ・空調機側の要求に対し吐出圧力 1 点のみの計測値だけでは、ポンプ能力が過大なため、吐出圧力の変動が大きく「上げては下げる」を繰り返し、安定運転ができていない状況
- ・10 時以降、空調機側の要求が増大するとハンチング状況は解消された

【冷水運転 インバータ不具合対策】

（1）氷蓄熱用冷水 2 次ポンプ（T-CP-2）

- ・インバータ本体を 11/15(水)に詳細調査結果、工場出荷状態に初期化したところインバータによる低い周波数での運転を確認した
- ・本体 SW の接触不良が著しく、本機のみ旧型のため、お客さまに更新をお勧めした

（2）冷水 2 次ポンプ（T-CP-1B）

- ・下記等の方策があるが、11/6(月)に現状の吐出圧力設定値 1,150kPa を 1,000kPa に下げたところ小流量のハンチング現象がかなり治まった。最上階 8F への冷水供給を確認しつつ、①～③の制御手法への対策までは本運用を継続する
- ①推定末端圧制御（制御メーカー提案方策）
- ②末端差圧制御
- ③負荷熱量で制御

【温水 2 次ポンプのインバータ制御状況】（T-HP-1B）

- ・起動時より 35Hz 運転のため、インバータ本体を確認し最低周波数は 0 Hz であったが、バイアス値という項目があり、70%（35Hz）設定となっていた。

【推定末端圧制御ほかへの変更内容】

（1）インバータ制御方式変更

- ・吐出圧一定制御 → 推定末端圧制御
- ・送水圧設定 350kPa → 280kPa～350kPa

（2）インバータ上下限值変更

- ・上限値 50Hz → 48Hz
- ・下限値（バイアス値） 35Hz → 20Hz(40%)

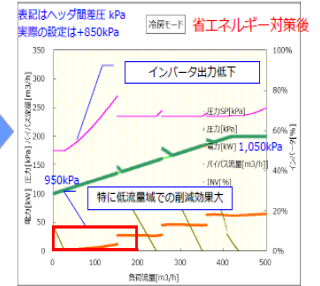
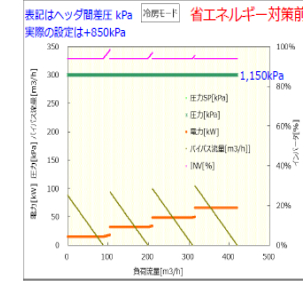
（3）2 次ポンプ増段点

- ・現状の定格 73m³/h → 109.5m³/h に変更（1.5 倍）
- ポンプ性能有り！

（1）冷水 2 次ポンプ（T-CP-1B）

⇒ 推定末端圧制御を導入（3 月末設定）

冷水2次ポンプシミュレーション結果

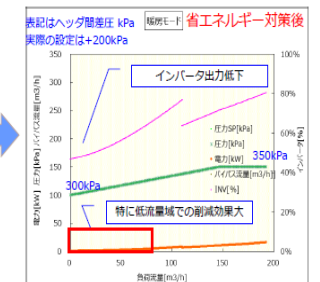
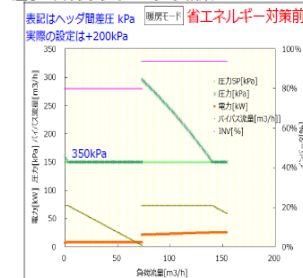


【温水運転 インバータ不具合対策】

（2）温水 2 次ポンプ（T-HP-1B）

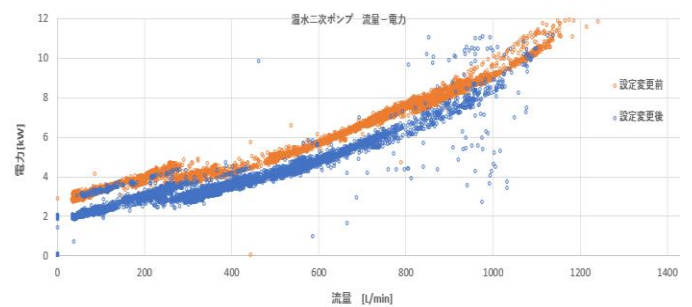
⇒ 推定末端圧制御を導入（2 月末設定）

温水2次ポンプシミュレーション結果



【温水運転 インバータ稼働状況】（T-HP-1B）

- ・設定変更前後を比較すると、適正周波数低下にて搬送動力が 2～3 割削減されている



8. 運用改善効果の試算

8-1 インバータ不具合対策 試算

（1）氷蓄熱用冷水 2 次ポンプ（T-CP-2）

a. INV の正常対応により

従前：最低周波数 35 Hz、28 A、10 kW

→ 正常：最低周波数 20 Hz、6 A、2 kW

効果：8 kW × 8 h(6～10 時、20～24 時) × 240 日

(4～11 月) × 25 円/kWh ≒ 3.8 万円/年

（2）冷水 2 次ポンプ（T-CP-1B）

a. 吐出圧設定値低減（1,150kPa→1,000kPa）

---11/6 暫定対策

従前：最低周波数 47Hz、40A、14kW

→ 正常：最低周波数 20 Hz、6A、2kW

効果：12 kW × 8 h(6～10 時、20～24 時) × 240 日

(4～11 月) × 25 円/kWh ≒ 5.8 万円/年

7. 2 次ポンプインバータの制御最適化

【冷水運転 インバータ不具合対策】

b. 推定末端圧制御 (R6/3 月末設定)

---削減効果: 105万円/年

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------|-----|---------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| 対策後 | | 削減量 | 単価 | 年間削減額 | | | | | | | | |
| 年間 | 10,365 [kWh] | 41,981 | 25 | 1,050千円 | | | | | | | | |
| [kWh] | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 月別 | 0 | 0 | 88 | 515 | 823 | 1,421 | 2,132 | 2,500 | 1,729 | 828 | 329 | 0 |
| 対策前 | | | | | | | | | | | | |
| 年間 | 52,347 [kWh] | | | | | | | | | | | |
| [kWh] | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 月別 | 0 | 0 | 652 | 2,949 | 5,249 | 7,536 | 9,335 | 10,442 | 8,479 | 5,579 | 2,125 | 0 |

(3) 温水2次ポンプ (T-HP-1B)

a. 推定末端圧制御 (R6/2 月末設定)

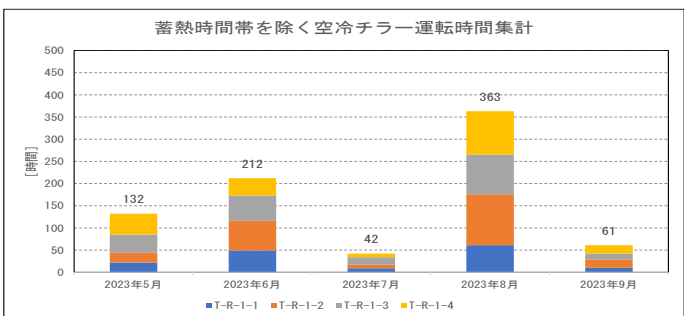
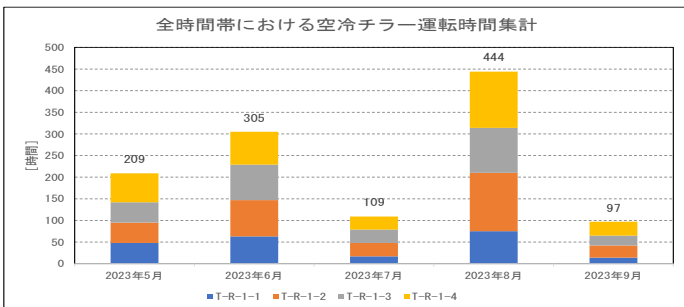
---削減効果: 37万円/年

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------|-------|-------|----|----|----|----|----|-----|-----|-------|
| 対策後 | | 削減量 | 単価 | 年間削減額 | | | | | | | | |
| 年間 | 4,533 [kWh] | 14,976 | 25 | 374千円 | | | | | | | | |
| [kWh] | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 月別 | 1,542 | 1,595 | 553 | 159 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 684 |
| 対策前 | | | | | | | | | | | | |
| 年間 | 19,510 [kWh] | | | | | | | | | | | |
| [kWh] | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 月別 | 6,137 | 5,433 | 2,936 | 1,120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,884 |

8-2 空冷チラーの削減電力量

・氷蓄熱システムの蓄熱運転時間帯は、空冷チラーで熱供給しなければならない運用はやむを得ないが、それ以外は氷蓄熱システムの単独運用で冷房負荷を賄えるため、増段流量を225.0m3/hに変更する

⇒ 具体的なランニングコストの試算

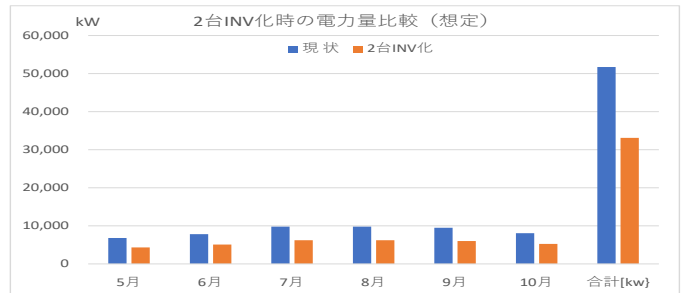


・空冷チラーを停止させた場合、その処理熱量は水冷ブラインチラーで賄わなければならないが、熱生産能力は遥かに大きいため2023年5月～8月の4か月分だけでも「¥310,000-」の削減ができ、年間では約50万円程度の削減と試算できる

| | 合計運転時間 [h] | 合計生産熱量 [kW] | 合計消費電力量 [kW] | 電力単価 [円] | 電力料金 [円] |
|-----------|------------|-------------|--------------|----------|------------|
| 空冷チラー | 749 | 187,250 | 52,430 | 20 | ¥1,048,600 |
| 水冷ブラインチラー | 150 | 187,250 | 37,000 | 20 | ¥740,000 |
| | | | | 差額 | ¥308,600 |

8-3 2次冷水ポンプインバータ化による削減電力量

・T-CP-1A 冷水2次ポンプにおいて、1台にインバータ実装と制御機能を再構築することが可能であれば、T-CP-1B ポンプとともに、現状の冷水2次流量とポンプの消費電力量から、以下のように消費電力量を想定することができる



- ・このことから5月～10月の半年分だけでも「18,642 kW」の電力量低減が見込める
- ・ランニングコストにおいては2023年5月～8月の4か月分だけでも「¥380,000-」の削減となり、年間では約50万円程度の削減と試算できる

| | 合計運転時間 [h] | 合計消費電力量 [kW] | 電力単価 [円] | 電力料金 [円] |
|--------|------------|--------------|----------|------------|
| 現状試算 | 24,000 | 51,800 | 20 | ¥1,036,000 |
| INV化試算 | 24,000 | 33,100 | 20 | ¥662,000 |
| | | | 差額 | ¥374,000 |

9. まとめ

○これまでの分析結果より、お客さま・制御メーカーと下記対策項目について実施を決定及び予算化

1. 冷温水2次ポンプ (T-CP-1B、T-HP-1B) インバータの制御変更 ☆対策実施決定！
・費用163万円 ⇒ 効果142万円/年 (回収年: 1.2年)
2. 氷蓄熱システムからの供給増 (昼間の空冷チラー追掛け不要) ☆対策実施決定！
・費用無し ⇒ 効果50万円/年
3. 氷蓄熱用冷水2次ポンプ (T-CP-2) インバータの更新 予算化
・故障の可能性を事前措置 (今回調整結果: 効果38万円/年)
4. 冷水2次ポンプ (T-CP-1A) 1台のインバータ化 予算化
・費用: 積算 ⇒ 効果50万円/年
5. 水冷ブラインチラー追掛け運転の効率化
・具体策検討中

以上

■「大成建設 技術センター」見学会

発表会当日の会場として利用させていただいた大成建設 技術センターの見学会を実施いたしました。

技術センターでは様々なテーマで研究が行われており、テーマごとの研究棟の展示物を見学させていただきました。自然の力をエネルギーに変える研究、火災や地震に対して安全な建物、構造物を実現する研究等の様々な研究テーマについてご紹介いただきました。

2020年2月にリニューアルされた ZEB 実証棟「人と空間のラボ」は今後のカーボンニュートラル達成に先駆けた様々な技術が導入されており、建物単位での年間エネルギー収支ゼロが達成されている建物です。他の研究棟においても、地球規模で考え、何世代も先を見据える研究が進められていました。



■お知らせ

～技術部会からのお願い～

技術部会では、本会報にてご報告させていただいたような蓄熱式空調システムの運転実態調査を2024年度以降も継続して実施してまいります。実際に調査・計測のためのフィールドをご提供いただける会員さまを随時募集しております。ご興味ございましたら、下記技術部会事務局までぜひご連絡ください。

<技術部会事務局連絡先>

東京電力エナジーパートナー株式会社

法人営業部 都市事業ユニット 多治見

TEL:090-6720-4296 Mail: ginzabeken@tepcoco.jp

銀座・ビルエネルギー研究会 事務局
〒160-0022 東京都新宿区新宿2丁目14番2号
東京電力エナジーパートナー株式会社
東京本部営業総括グループ内 編集発行人 清水
TEL:050-3090-4261 FAX:03-5361-2796
<http://www.ginza-birueneken.com/>