

カーボンニュートラル賞

受賞名称
第7回カーボンニュートラル大賞、第7回カーボンニュートラル賞 近畿支部
カーボンニュートラル賞選考支部名称
第7回カーボンニュートラル大賞選考委員会、カーボンニュートラル賞選考委員会 近畿支部
業績の名称
京都駅ビル熱源・空調設備のカーボンニュートラル化改修工事
所在地
京都市下京区烏丸通塩小路下ル東塩小路町901

応募に係わる建築設備士の関与

特定非営利活動法人 建築設備コミッショニング協会	吉田 治典
株式会社 日建設計	牛尾 智秋
高砂熱学工業株式会社	井上 哲郎

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	京都駅ビル開発株式会社					
建築主	京都駅ビル開発株式会社					
性能検証者	特定非営利活動法人 建築設備コミッショニング協会					
設計者	株式会社 日建設計					
施工者	高砂熱学工業株式会社					
施工者	株式会社 JR西日本テクシア					
施工者	西日本電気システム株式会社					
建物管理者	株式会社 ジェイアール西日本総合ビルサービス					
延床面積	235,942	m ²				
階数	地上16階	地下3階	塔屋1階			
主用途	複合施設					
竣工年月日	2016年8月 改修					

カーボンニュートラル大賞選考委員長講評

<p>大賞選考委員会における選考では、「京都駅ビル熱源・空調設備のカーボンニュートラル化改修工事」が大賞にふさわしいとされた。同ビルは、平安建都1200年の記念事業の一環として1997年に竣工した駅ビルで、駅舎の他、百貨店、ホテル、劇場、専門店が一体となった延床面積235,942m²、地上16階・地下3階、高さ60m、東西470mの大規模な複合用途ビルである。京都市は政府から環境モデル都市に認定されており、60年間で温室効果ガス60%減という高い目標を定めており、往時の同ビルのCO2排出量が京都市の民生・業務部門における排出量の3%を占めていることもあり、既存改修ながら、ありがちな既存踏襲ではなく、環境モデル都市としての高い目標を上回ることを目指し、熱源システムを抜本的に改修している。</p> <p>特に選考委員会で評価された点は、発注者、運転管理者、設計者、施工者、コミッショニングメンバーが一体となって、徹底したコミッショニングが行われており、熱源システムのCO2排出量にて、従来比60%減という大きな削減が得られている点である。継続的なコミッショニングは、熱源・空調設備の改修工事終了後の現在も続けられており、その成果は、平年より寒い冬、暑い初夏であった改修後2年目でも、その性能は1年目より向上しており（熱源システムCOP: 1年目1.47→2年目1.56）、竣工後の適正化効果が現れている。徹底したコミッショニングに基づく熱源・空調設備のカーボンニュートラル化改修工事は、他の設備改修にも大いに参考にできる点が選考委員会で大きく評価された。</p>

支部選考委員長講評

本業績は、設計時点から本格的なコミッショニング手法を導入し、綿密な既存システムの調査、分析を行い、様々な熱源システムに関して詳細なシミュレーションによりその効果を確認し、実際に既存実績値と比較して空調熱源部分で60%削減、ビル全体に対して30%削減と大幅なCO2排出量削減を達成した。また既存建物の空調熱源改修工事という制約の大きい中で、井水熱利用・太陽熱利用を最大限に活用している点も評価できる。よってカーボンニュートラル賞にふさわしい業績と判断した。

① エネルギーへの取り組み・工夫

設計時点から本格的なコミッショニング手法の導入により、既存システムの綿密な調査、分析で問題点を洗い出し、15種類および熱源システム案に対して詳細なエネルギーシミュレーションを行って熱源システム改修を行っている。主熱源ターボ冷凍機の最適制御、熱回収ヒートポンプの最適制御、2次ポンプ搬送動力の削減、コージェネレーションシステムの最適運用など効果的な省エネルギーシステムの導入により空調熱源部分で既存実績値から60%削減という大きな省エネルギー効果を実現している。クラウドBEMSを活用して約15,000点という膨大なデータをコミッショニングに精通した技術者が遠方から迅速に分析を行うことで効果的なチューニングを行っている。

② 低カーボンエネルギーへの転換

詳細なエネルギーシミュレーションにより、冷熱にはターボ冷凍機、温熱には空気熱源ヒートポンプを主熱源とするシステムに改修し、低カーボンエネルギーへの転換を図っている。

③ 再生可能エネルギー利用・工夫

既存建物の空調熱源改修という制約の大きい中で、井水熱を利用する井水ヒートポンプチラーの活用、太陽熱集熱パネルで給湯設備への供給水を予熱するシステムの導入など最大限の再生可能エネルギーの活用を図っている。

④ カーボンクレジット

カーボンクレジットは導入していない。

関与した建築設備士の言葉

今から9年前、京都駅ビルは環境モデル都市・京都にありながら単体ビルとしてはCO2排出量が最多だったため、コミッショニングプロセスを適用して大幅な省CO2を目指すという熱源システム改修プロジェクトに着手しました。

コミッショニングは、既存熱源システムの綿密な現状調査から運用に至るまで、改修工事全てのフェーズに適用しました。調査フェーズでは過去のBEMSデータを分析して課題を整理し発注者要件書（OPR）の作成を、設計フェーズではシミュレーションや分析結果を活用して熱源容量や機器類の最適設計を、施工フェーズでは省エネ性能を保持するVE対応を、竣工後3年間の機能性能確認フェーズでは機能性能試験と適正化を、それぞれ実施しました。その結果、改修対象設備において約60%におよぶ一次エネルギー消費量の削減（267 TJ/年）が達成できました。

（牛尾 智秋：株式会社日建設計）

業績の名称： 京都駅ビル熱源・空調設備のカーボンニュートラル化改修工事

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に関わる取り組みの説明

省エネルギーの取組み・工夫 / 計画概要・プロジェクト経緯

現京都駅ビルは、平安建都1200年の記念事業の一環として1997年に竣工した四代目の駅ビルで、駅舎の他、百貨店、ホテル、劇場、専門店が一体となった延床面積235,942m²、地上16階・地下3階、高さ60m、東西470mの大規模な複合用途ビルである（表1左）。

表1 建物建築・改修設備概要



写真1 建物外観（北面）

名称	京都駅ビル
所在地	京都市下京区烏丸通 堀小路下東堀小路町901
用途	駅舎、百貨店、ホテル、劇場、専門店
敷地面積	38,000m ²
建築面積	32,000m ²
延床面積	235,942m ²
構造	地上：鉄骨造、地下：鉄骨鉄筋コンクリート造
階数	地上16階、地下3階
高さ	60m
長さ	470m(東西方向)

改修前	・ 蒸気吸収式冷凍機：1,665RT×4台 ・ プリンターボ冷凍機：冷水600RT/氷400RT×2台	・ 蒸気ボイラー：10ton×3台 ・ ガスタービン式コージェネレーション：2,100kW×2台
改修後	・ インバーターボ冷凍機：840RT×2台 ・ 定速ターボ冷凍機：840RT×4台 ・ 熱回収ターボ冷凍機：270RT×1台 ・ 空冷ヒートポンプチラー：1,162RT(全モジュール合計) ・ 井水ヒートポンプチラー：152RT×1台	・ 蒸気吸収式冷凍機：300RT×1台 ・ 温水ボイラー：1,163kW×4台 ・ 蒸気ボイラー：2ton×4台 ・ ガスエンジン式コージェネレーション：1,000kW×2台 ・ 太陽熱集熱パネル：100m ²

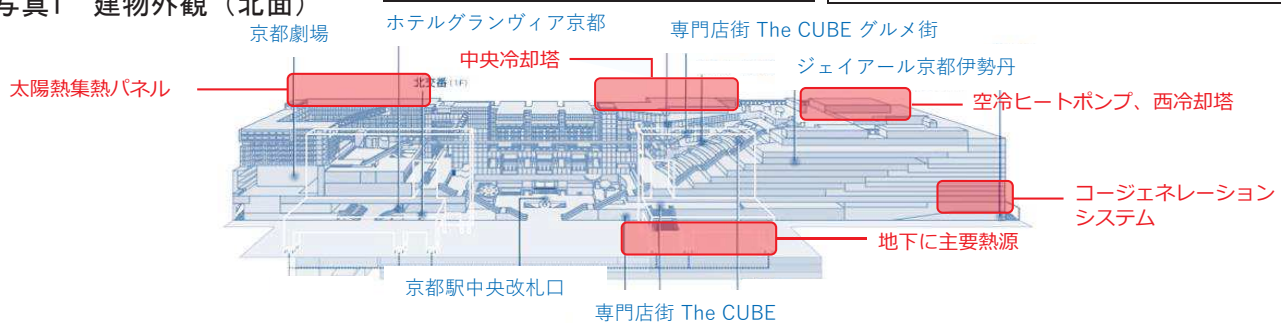


図1 建築用途と熱源設備の位置

2010年、当ビルでは熱源機器の劣化が顕在化してきたことから空調・給湯設備に関わる熱源システムのリニューアル工事の検討が始まった。当ビルのある京都市は政府から環境モデル都市に認定された2009年に60年間で温室効果ガス60%減という高い目標を定めた。しかし当ビルの同年のCO₂排出量は4.8万tonCO₂/年と、京都市の民生・業務部門における排出量の3%(市全体では0.72%)を占めており、図2左に示すように、機器効率だけを向上するという単純更新を繰り返すのでは、この目標は達成困難であろうと判断された。

そこで、図2右に示すように、環境モデル都市京都の玄関口にある建物として相応しく、市の目標を上回るカーボンニュートラル化を達成するスキームを創出し、図4に示すように、既存熱源システムの綿密な現状調査から運用に至るまで、全てのフェーズにおいてコミショニングを適用するリニューアル工事がスタートした。

図3に示すように、コミショニングの推進体制は、発注者、運転管理者、設計者、施工者ならびコミショニング管理チームで構成した。

本熱源設備の概要を表1右に示す。熱源設備として、地下に主要熱源、屋上に空冷ヒートポンプ、冷却塔および太陽熱パネルを設置している（図1）。

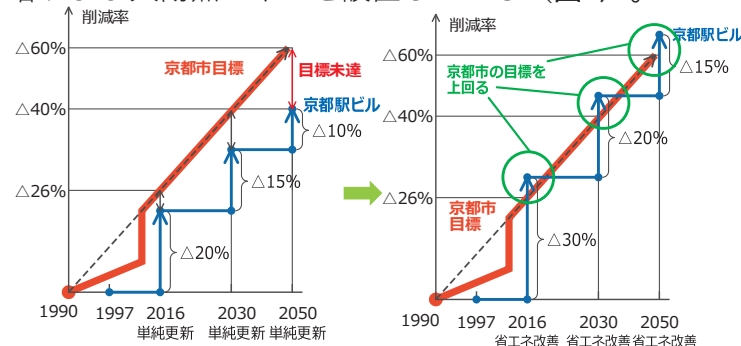


図2 京都市における温室効果ガス削減スキーム

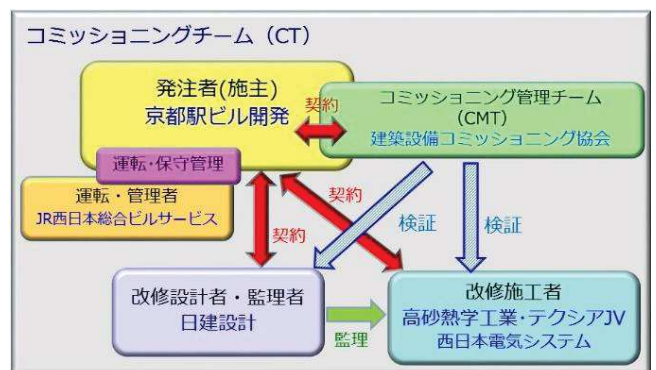


図3 コミショニングチーム体制

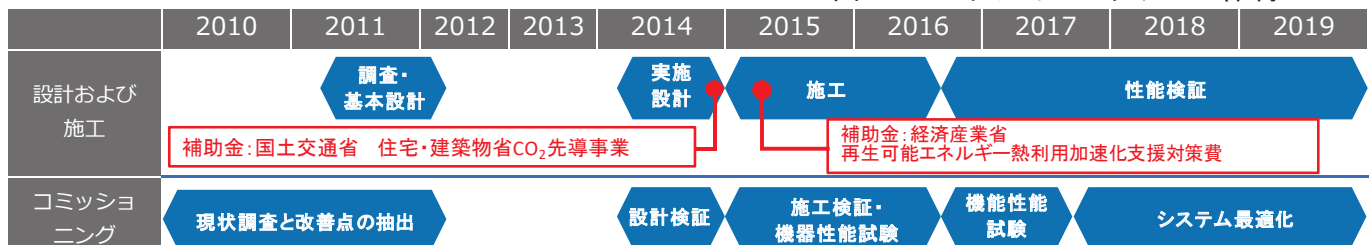


図4 改修工事全体スケジュール

省エネルギーの取組み・工夫 / 目標設定と実績

本プロジェクトの省CO₂削減目標は、プロジェクトの開始前年にあたる2009年を基準年として、改修対象部分で約60%(ビル全体で約30%)の削減と定めた。

一般の既存改修工事では熱源切替が難しく殆ど実施されない熱源システムの大改変を行った結果、図5に示すように熱源総合システムCOPは既存の0.73に対し、1.56(2年目)と大幅に改善した。その結果CO₂排出量の削減率は60.1%(2年目)となり目標を達成した。

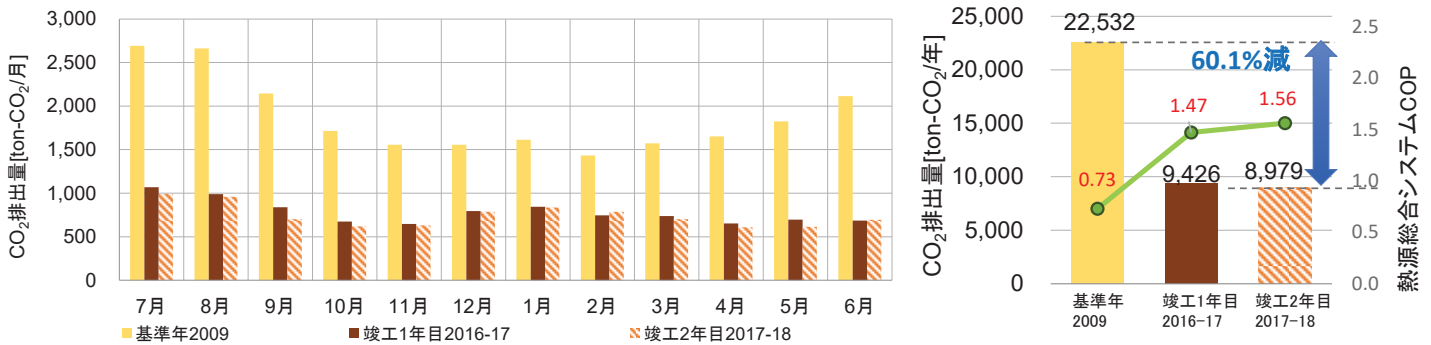


図5 改修前後のCO₂排出量

省エネルギーの取組み・工夫 / 目標達成のための手法

■ 熱源システムと熱源容量の絞り込み

既存システムの綿密な調査と分析により以下が明らかになった。

1. 年間の冷熱負荷は温熱負荷の約3倍であり温熱源よりも冷熱源の効率向上が重要
2. コージェネレーションシステム (CGS) の排熱回収ボイラの回収効率が低い
3. 蒸気配管からは約27%熱を損失
4. 氷蓄熱システムの効率が低い
5. 空調冷水の往還温度差が小さく二次ポンプが過流量である。インバータ制御が不適切かつ限定的
6. 冷却塔にスケールが付着し放熱性能が劣化しており冷却水系統の搬送エネルギー消費が過大
7. 空調機の外気取入量が総じて過多

これらを解決すべく、15種類の熱源システム案についてエネルギーシミュレーションを援用して検討した。その結果、既存システムを大幅に改変して脱蒸気化を行い、冷熱にはターボ冷凍機、温熱には空気熱源ヒートポンプを主熱源とするシステムを最適と判断した(図7)。

熱源容量を適切に選定し過大設計を回避することにも留意した。つまり、照明のLED化などが進んだ2011年以降に発生した実ピーク冷熱負荷をもとに、これに本改修設計で採用したCO₂制御による冷房負荷の推定削減量(252Rt)と840Rtの予備能力を考慮して、冷熱源の総容量は既設の約20%減である6,956Rtとした(図6)。なお、この熱源機容量の選定には、熱源の更新スペースを生み出し営業を止めずに更新するための施工計画も反映された。



図6 適切な冷熱源容量

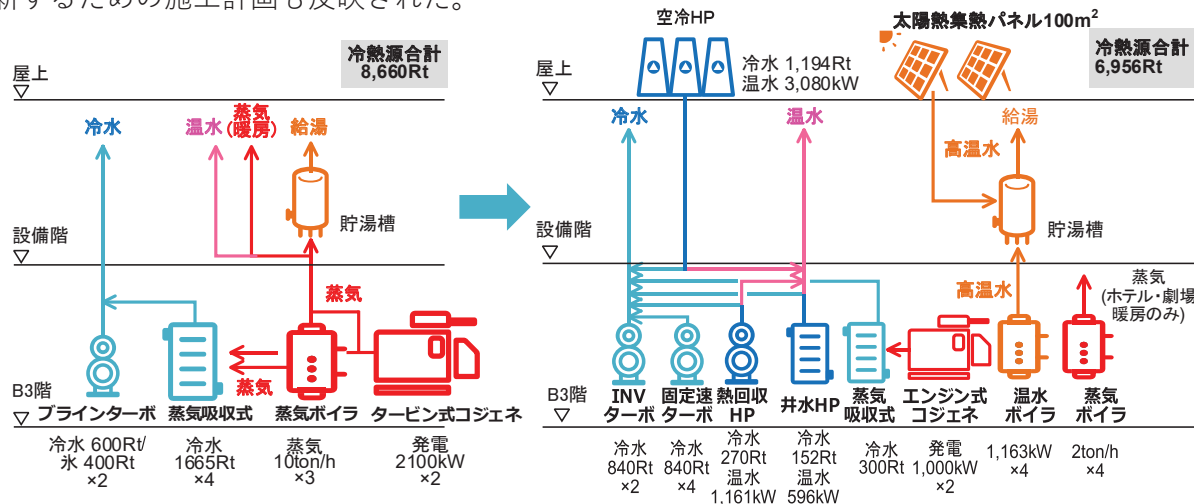


図7 既存の熱源システムと改修後の熱源システム

■主熱源ターボ冷凍機の最適制御

図8に示すようにインバータ機と固定速機は効率特性が大きく異なる。そこで台数制御の増減段閾値とインバータ機と固定速機への負荷配分比を外気湿球温度と冷熱負荷に応じて最適に決める制御ロジックと、集合冷却塔の運転セル台数とファンの回転数を外気湿球温度と負荷熱量に応じて最適に決める制御ロジックを実装した。検証の結果、ターボ冷凍機の平均COPは夏期6.5、中間期9.4、冬期17.3と高い値で運転できることが実証された。

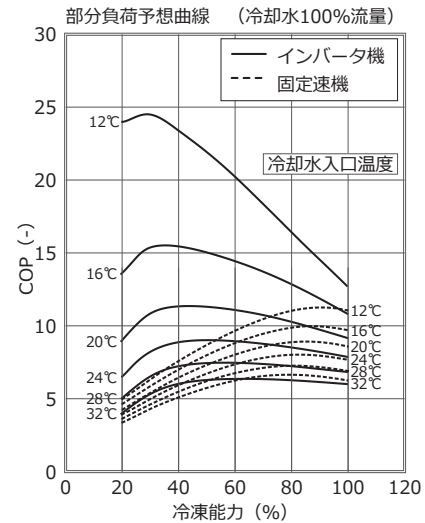


図8 ターボ冷凍機の特性差

■熱回収ヒートポンプの最適制御

本建物では、季節を問わず様々な比率で冷温熱が同時に発生するため熱回収ヒートポンプを採用した。この熱源機は冷温同時処理時の定格総合COPが10.0と高いが、容量が過大であると逆に効率低下となる。そこでヒートポンプ能力の選定には過去の実績データを活用して慎重に決め、定格能力を270Rtとした。

また一定量以上の冷温熱負荷が同時になくても運転できるように、小さい温熱負荷（主に夏期・中間期）でも運転できるように温水側には冷却回路を、冷熱負荷が少ない時（主に冬期）の頻繁な低負荷停止を避けるために冷水側にはダミー負荷を与える加熱回路を設けるといった工夫をした（図9）。このシステムの制御方法は特許出願中である（特願2018-088975）。その結果、冷温合わせた総合COPは平均で9.3という高い値が達成された。

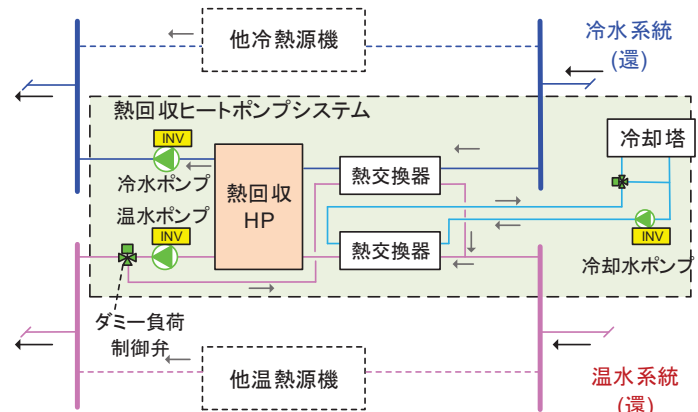


図9 熱回収ヒートポンプシステム

■二次ポンプ搬送動力の削減

一般に、多くの設備ではポンプ能力が過大で効率の低下を招いている。そこで実際に施工される配管の経路で配管系の抵抗を精査し、過去の実最大流量をもとにポンプ容量と揚程を再検討した。その結果、定格流量は既存に比して平均34%減った。また、全台インバータ化して回転数を末端差圧で制御し、インバータの最低周波数も12Hzまで下げて最大限の省エネを図った。図10に示すようにポンプの消費電力量はこの適正化の過程で徐々に低下し、最終、旧システムのエネギー消費量に対して年間80.4%減という大きな省エネが達成できた。

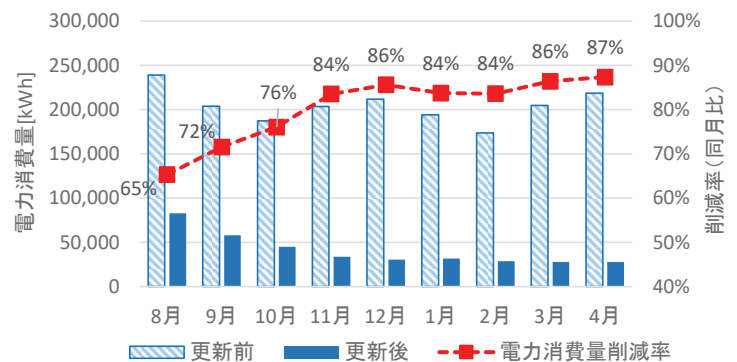


図10 冷温水二次ポンプの電力量削減

■コージェネレーションシステムの最適運用

駅ビルとしての災害時BCP、ならびに電力のデマンド制御や将来のネガワット契約への対応のためコージェネレーションシステム(CGS)を採用した。旧CGSは排熱（特に蒸気排熱）の有効活用ができていなかったためガスエンジン式を採用した。

CGSはいつ運転するのが最適なものが常に課題となる。そこでCGSのライフサイクルコスト(LCC)評価ができるツールを新たに開発した。このツールを用いて運転期間などに関し5つのシナリオを作って検討した結果、図11に示すように、現在のエネルギー価格なら夏期の電力負荷ピーク期（7～9月）のみに運転するとLCCが最も小さくなることが判った。これにより、将来エネルギー価格が変動しても運転管理者が最小のLCCで運転する方法を見いだせるようにした。

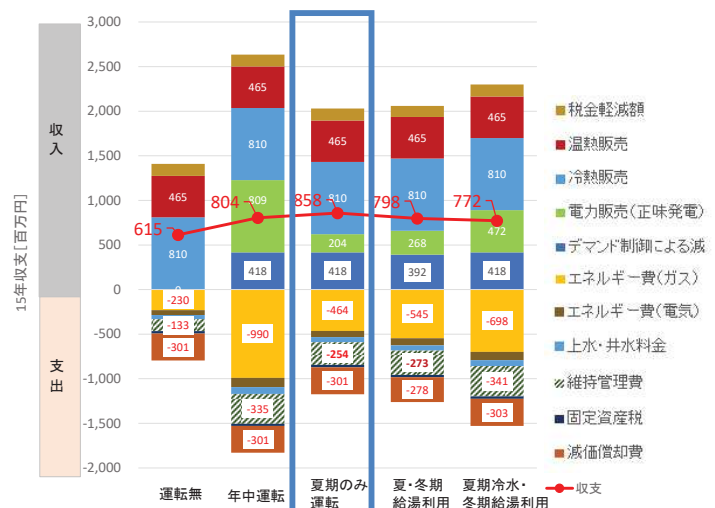


図11 CGSのLCC評価

■クラウドBEMSの採用

本建物のエネルギー管理システム(BEMS)では1分間隔のデータを約15,000点収集している。機能性能試験では、コミショニングに精通した技術者が遠方からタイムリーかつ迅速にデータ分析できるようにするため、図12に示すようなクラウド化したBEMSデータシステムを採用した。これにより性能分析から適正化にいたるPDCAサイクルが効率的に回せた。

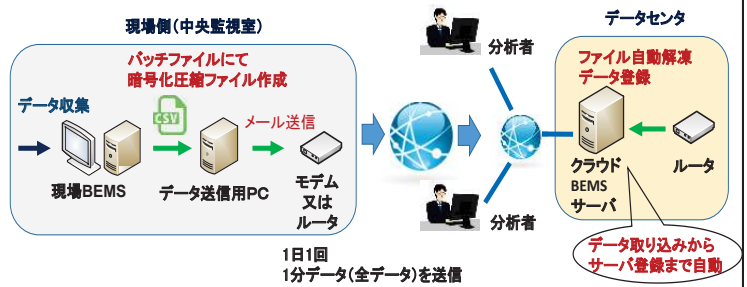


図12 クラウドBEMSデータシステム

■井水ヒートポンプチラーの採用

(再生可能エネルギーの間接的利用)

本建物では、井水を飲料用と雑用水用に利用している。井水の汲み上げ量は夏期約1,850m³/日、冬期約1,340m³/日であり、この量は本施設が消費する飲料水と雑用水の合計値から、市水道局が求める最低使用量を減じた量である。つまりこの井戸水の量は本施設が利用できる最大量である。京都盆地の地下水は前処理なく利用できるほど水質が良いので、地球環境に負荷を与えない水の利用ができています。

本改修工事では、この井戸水の熱をヒートソースとする井水ヒートポンプチラーを設置して冷温熱を採取し、それを空調の熱源に用いるシステムを採用した。水の需要と熱の需要は時間的にマッチしないので、安定して井水熱を取り出せるように、改修工事の前まで使われていた熱源システム用の地下ピット氷蓄熱槽を再利用し、雑用水槽兼用の井水蓄熱槽を設けた。この容量はヒートポンプ定格能力の約4時間分あり、安定かつ効率の良い運転ができていたことを確認した。なお、ヒートポンプのCOPを向上させるため、図13に示

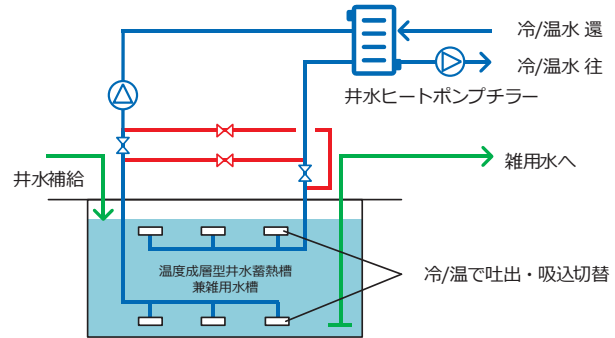


図13 井水ヒートポンプチラーシステム

すように蓄熱槽は温度成層型蓄熱槽とした。また、蓄熱効率を増すため、吐出・吸込口にはディストリビューターを設置し、かつ冷/温の切替に合わせて吐出・吸込口も切替した。

本システムにおけるCO₂削減量は15,700kg-CO₂/年(竣工2年目)である。

再生可能エネルギー利用・工夫 / 太陽熱集熱パネルの活用

再生可能エネルギーの利用として、太陽熱集熱パネルで集熱をして給湯設備への供給水を予熱するシステムを設置した。本システムでは、集熱パネルで温度の高い(60℃)湯をいきなり作るのではなく、温度の低い(20℃程度)の供給水を2℃程度補助加熱することでシステム効率を高くする工夫をした。また、図14、図15に示すように、夜間需要となる客室システムだけではなく、昼間需要のある宴会場システムも予熱できるように予熱槽を設けて、放熱ロスを軽減して効率を上昇させたりする配慮もした。なお、本システムは、年間安定して十分な給湯負荷があるホテルの屋上に設置して搬送経路の最小化もした。

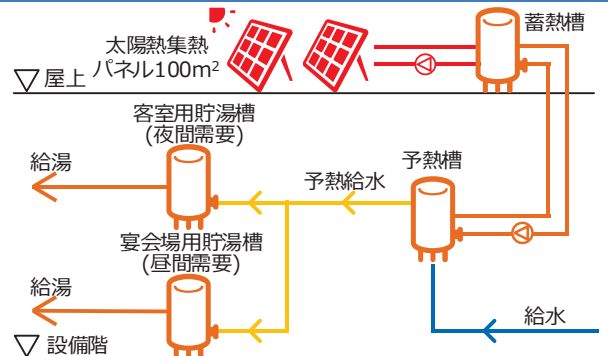


図14 太陽熱集熱パネルシステム

本建物は、駅ビルであるため東西に細長く、屋上の窓清掃用に設置された移動式ゴンドラのための稼働制約が大きい。そのため巨大ビルにも拘わらず集熱パネルが設置できる面積は限られているが、そこに設置可能な最大面積(約100m²)に設置した。

本システムにおけるCO₂削減量は4,825kg-CO₂/年(竣工2年目)であるが、現在もコミショニングの機能性能確認・適正化フェーズとして、集熱パネル自体の効率向上や予熱槽へ熱を移送する中間温水温度の最適化などを継続し、更に削減量を増やす努力を実施している。

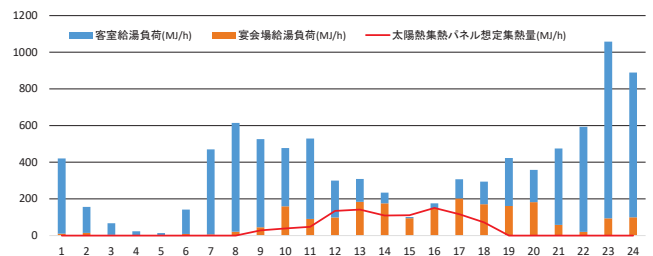


図15 最小負荷日のトレンド (2011年7月20日)

今後の取組み

機能性能確認・適正化は竣工後3年間(残り約1年間)続ける予定である。すでに平年より寒い冬、暑い初夏であった2年目でも、その性能は1年目より向上しており(熱源システムCOP:1年目1.47→2年目1.56)竣工後の適正化効果が現れている。今後はシステムシミュレーションを活用して、冷水温度設定値を変えた場合の省エネ効果、熱回収ヒートポンプの適切な利用時期などを精査し、さらに各種制御の適正化を行う予定である。

また、既に二次側空調システムの改修設計が始まっており、一部のエリアに残された蒸気システムの撤去や冷水の往還温度差を6℃から10℃とする大温度差冷水供給による設計が予定されている。これにより一層の効率向上や搬送動力の削減を図る予定である。