

設計施工段階における LCEM ツールの活用事例 Case Study on Use of LCEM Tool at the Planning and Construction Phase

関西電力株式会社
The Kansai Electric Power Co., Inc.
田口 雄一郎
Yuichiro TAGUCHI

キーワード：LCEM ツール(Life Cycle Energy Management Tool), エネルギーシミュレーション(Energy Simulation), 設計段階(Planning Phase), 施工段階(Construction Phase)

1. はじめに

近年、建築物が運用時に消費するエネルギー消費量の削減は喫緊の課題であり、中でも熱源空調設備におけるエネルギー消費量は大きな削減対象である。LCEM ツールは設計・施工・実運用といった各段階を通じて一貫したマネジメントを行うべく公共建築協会により開発がなされ、熱源システムの実運転模擬や各制御項目の設定変更による省エネ効果をパラメトリックに検討可能なエネルギーシミュレーションツールである。

ここでは、運転管理を想定した LCEM ツールの設計/施工フェーズへの移行や、運用フェーズにおけるシステム効率の向上検討など、実物件での活用事例を報告する。図 1 に、新築・改修・運用を想定した LCEM ツールの活用イメージと本報での適用箇所を示す。

2. 事例-1：施工段階における初期性能確認および運用段階への展開¹⁾²⁾

ここでは、熱源設備の改修工事において、施工段階における熱源システムの初期性能確認、および構築した LCEM ツールを運用段階へと展開した事例について紹介する。

対象とした建物は、京都市に建つ延床面積 10,620 m²の事務所ビルである。改修以前より井水を利用した熱源機が採用されていた事から、改修後の熱源システムにおいても井水（以降、熱源水）を利用した高効率水熱源ヒートポンプチラー（以降、水熱源 HP）が採用され、併せて電力・井水の平準化を目的に氷蓄熱槽が構築される事となった。図 2 に改修後の熱源システムの概要を、表 1 に水熱源 HP の冷房時運転モードを示す。

なお、本検討では図 2 に示す 2 系統の水熱源 HP、熱源水ポンプ、ブラインポンプを LCEM ツールの適用対象とした。図 3 に熱源システムのオブジェクト構成と境界条件部分を示す。

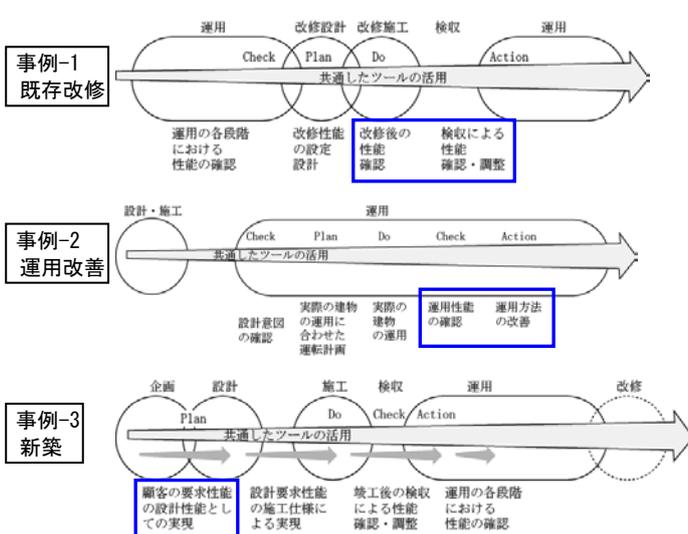


図 1 ライフサイクルにおける LCEM ツールの活用イメージと本報の適用箇所

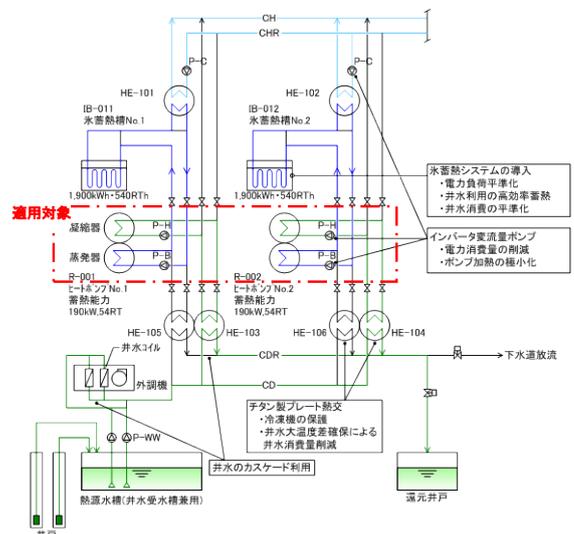


図 2 改修後の熱源システム

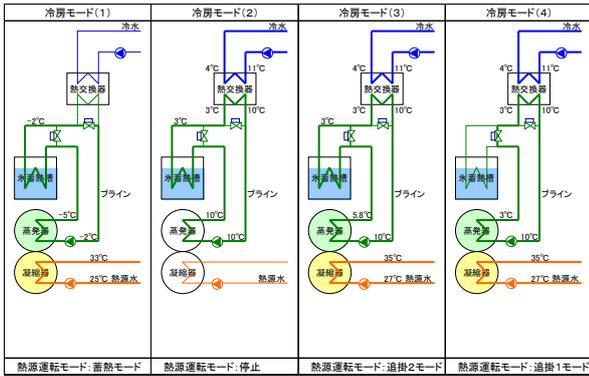


表 1 水冷 HP の冷房時運転モード

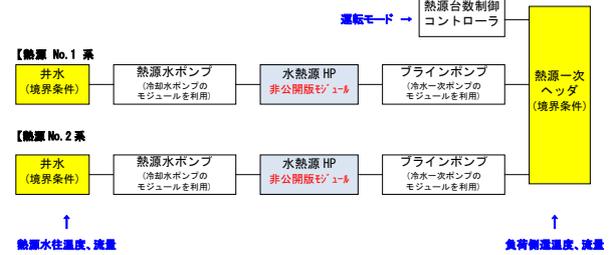


図 3 オブジェクト構成と境界条件

2.1 計算モデルの妥当性検証と初期性能検証（施工フェーズ）

計算モデルの妥当性検証と初期性能検証を行う目的で、試運転調整時（2009年夏期）の熱源水・ブラインの往還温度・流量の実測値を境界条件とした再現計算を行った。図4に8月3日～6日における水熱源 HP の実運転状況と LCEM での計算結果を示す。当該期間は試運転調整時であったことから、水熱源 HP は空調起動時より冷房モード(2)で運転し、残蓄熱量が少なくなる午後より冷房モード(4)にて運転していたが、ブライン入口温度・熱源水出口温度・電力消費量の計算結果は実測値と良く一致しており、今回構築した計算モデルは妥当であると判断される。なお、電力消費量にて若干の相違が見られるのは、実測計器の分解性能によるものであり、別途計測により計算結果と整合することを確認している。

次に、図5に各冷房モードにおけるシステム COP の部分負荷特性を示す。図中の機器承認時曲線は熱源機メーカーより提示された部分負荷特性に搬送動力を考慮して作成しており、実測値がこの近傍に打点されていることから、納入された熱源システムは初期性能を満足している事が確認された。

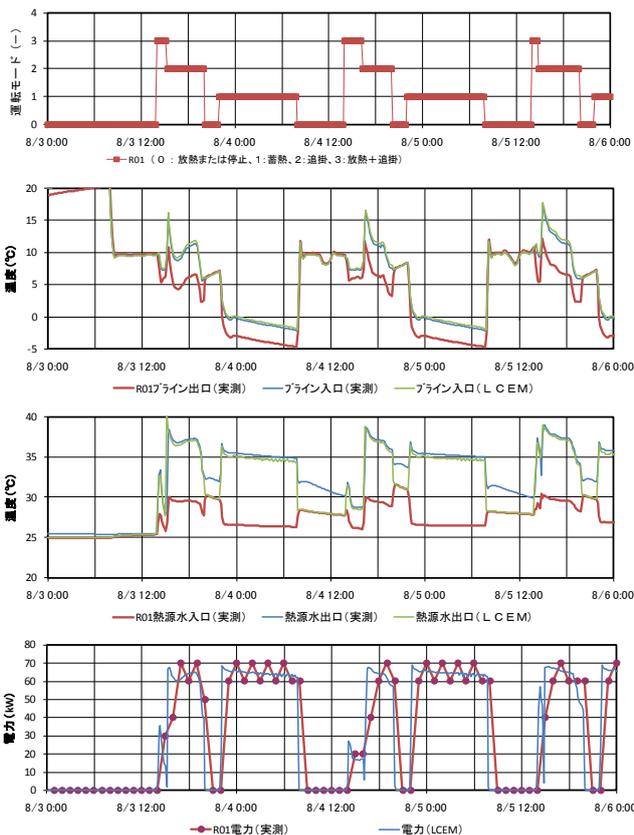


図 4 水熱源 HP の運転状況

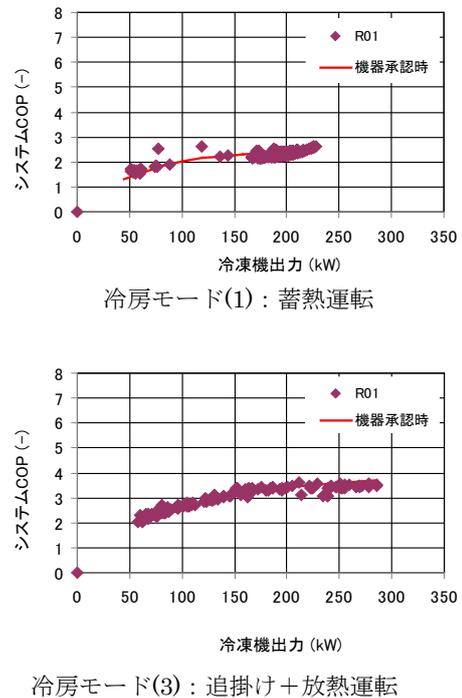


図 5 水熱源 HP の部分負荷特性

2.2 運転方法の検討と運転チェックシートを用いた引継ぎ（運用フェーズ）

施工フェーズにて試運転調整時の初期性能達成を確認した事から、運用フェーズに移行し、運転管理者に対し期間を通じて省エネルギーを達成しうる適正運転手法の提案とチェックシートを用いた引継ぎを行った。

ここで、改修以前の熱負荷が計測されていなかった事から、期間計算の境界条件となる熱負荷については、改修工事完了後の熱負荷実績を基に拡張アメダス気象データの外気温度より推定し、夏期の冷房負荷を作成した。図6に境界条件とした夏期（6月1日～9月30日）の空調負荷を示す。また、適正運転に向けた水熱源HPの運転条件パラメータとして、4つの運転ケースを想定した。図7に冷房開始日である6月1日から1週間を例に、運転ケースによる水熱源HPの熱出力の違いを示す。

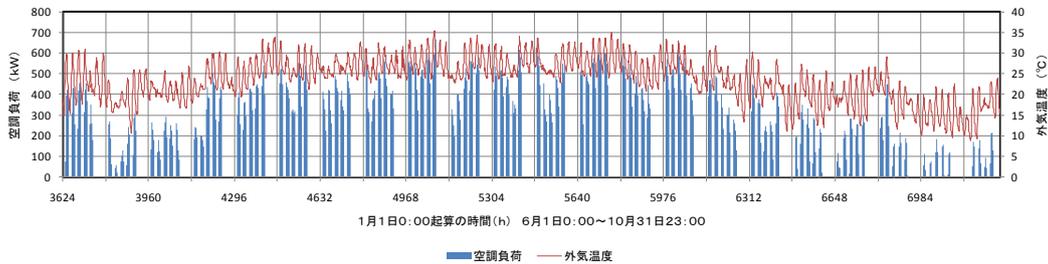


図6 冷房期間の推定空調負荷

ケース	水熱源HPの運転モード	水熱源HPの容量制御
Case-0	ベースは冷房モード(2) 放熱終了後は冷房モード(4)	要求熱量に対し成り行き
Case-1	ベースは冷房モード(3) 放熱終了後に冷房モード(4)	負荷率25%制御
Case-2	ベースは冷房モード(3) (追掛け優先)(蓄熱シャット無)	負荷率50%制御
Case-3	ベースは冷房モード(3) (放熱優先)(蓄熱シャット無)	要求熱量に対し成り行き

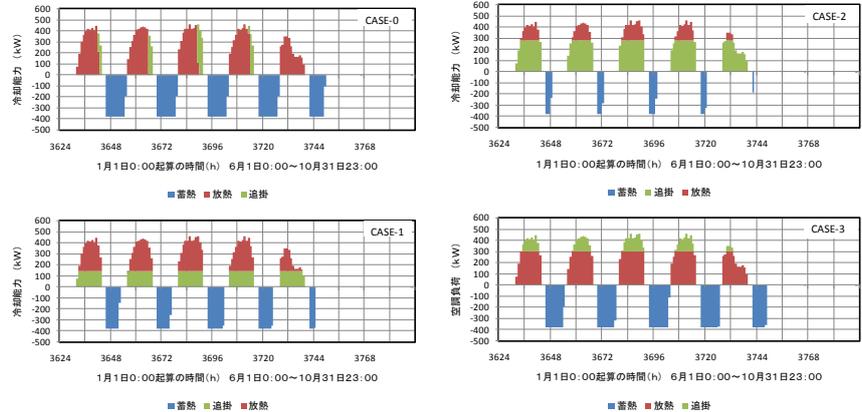


図7 各検討ケースによる水熱源HPの熱出力

各検討ケースにおける冷房期間消費エネルギーの比較を図8に示す。ブラインポンプは蓄放熱時共に運転する事から電力消費量のケース間差異は少ないが、水熱源HPの電力消費量はケース間により大きく異なり、Case-2ではCase-0に対し約13%の省エネ効果が見込まれる事が分かる。

図9に、現地に常駐する運転員への引継ぎツールとして、LCEMツールをベースに構築した運転チェックシートを示す。これは、熱源水温度や2次側負荷の変動に対する水熱源HPの運転状況をオンタイムで確認し、省エネルギーに向けたきめ細かいチューニングを実行する目的である。状態入力の簡易化の為に、機器系統図の付近にデータ入力セルを設けた他、計算結果についても数値表示と共に部分負荷特性曲線上に打点する様式とした。

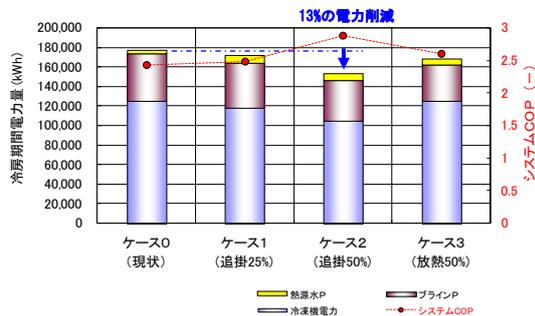


図8 各検討ケースによる水熱源HPの熱出力

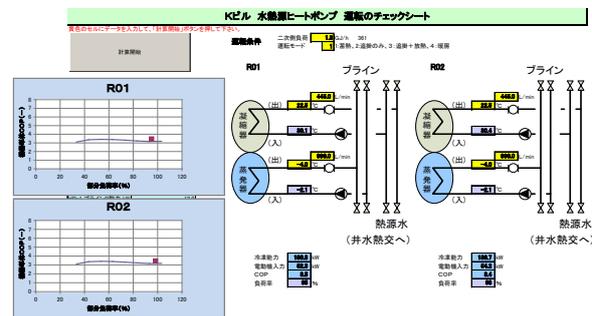


図9 運転チェックシート

3. 事例－2：運用段階におけるシステム効率向上にむけた取組み

ここでは、大阪市内に位置する地域冷暖房施設を対象に、運用フェーズにおけるシステム効率向上を目的とした取組み事例について紹介する。図10、表2に対象施設の系統図と機器表を示す。

対象施設では、機器の効率化を目的とした河川水の熱源水利用を行っており、また部分負荷特性の異なる熱源機や熱回収機に加え、大容量の氷蓄熱槽などを採用した事から、多様な負荷形態に対して高効率な運転が可能である。反面、河川水の取排水制限・蓄放熱のバランス・冬期の冷温同時負荷対応により、最適な運転パターンを容易に定めにくいという難点を併せ持つ。また、熱供給支障を避ける観点より、実機の運転パターンを変更する事は容易でなく、現地の運転状況を最大限模擬した事前の机上検討が強く求められた。そこで、LCEM ツールを用いた熱源システムシミュレーターを構築し、パラメトリックスタディによるシステム効率向上を検討した。ここでは、最適運転に向けた多種の検討項目より、代表的な2例を紹介する。

表2 機器表

I期主要機器仕様			
熱源機器	台数	冷却	加熱
①HP	1台	-	838 MJ/h
水熱源スクルーヒートポンプ	1台	-	-
②HP	8組	冷水 3,080 MJ/h	冷水熱回収 3,606 MJ/h
水熱源スクルーヒートポンプ (製氷型・熱回収型)	16台	製氷 1,936 MJ/h	製氷熱回収 2,448 MJ/h
③TR-1	1台	5,063 MJ/h	-
水冷式電動ターボ冷凍機	1台	-	-
蓄熱槽		蓄熱容量	
水蓄熱槽	8槽	有効水量	計 870 m ³
ダイナミック型		蓄熱容量	計139,440 MJ
II期主要機器仕様			
熱源機器	台数	冷却	加熱
④SR-1	1台	冷水 5,062 MJ/h	4,187 MJ/h
水熱源スクルーヒートポンプ (製氷型・冷温切替型)	1台	製氷 4,404 MJ/h	-
⑤SR-2	1台	冷水 8,640 MJ/h	13,860 MJ/h
水熱源スクルーヒートポンプ (製氷型・冷温切替型)	1台	製氷 8,478 MJ/h	-
⑥TR-2	1台	7,595 MJ/h	-
水冷式電動ターボ冷凍機 (インバータ駆動)	1台	-	-
蓄熱槽		蓄熱容量	
水蓄熱槽	8槽	有効水量	計 545 m ³
スタティック型内融式		蓄熱容量	計139,230 MJ
河川水利用概要			
取排水場所	取水:旧淀川(堂島川) 排水:土佐堀川		
取水量	夏季:0.660 m ³ /s 冬季:0.382 m ³ /s		
利用温度差	夏季:5℃ 冬季:-3℃		
河川水依存率	100%		

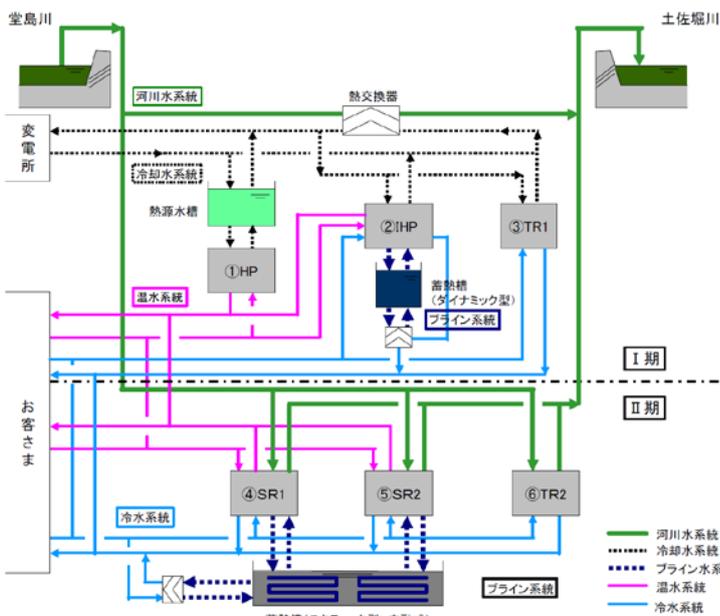


図10 地域冷暖房施設の系統図

3.1 シミュレーターの再現性検証

構築したシミュレーターの計算妥当性を評価する目的で、II期システム竣工後に安定した運転となったと考えられる2009年6~12月を対象とし、実測データを境界条件とした再現計算を行った。図11に電力消費量の結果を示す。実施設では運転員判断による手動の機器発停が行われている関係で、SR-1,2の電力量他に若干の差異が見られるが、全体としては約4.0%の差異となり、以降の検討が可能であると判断した。

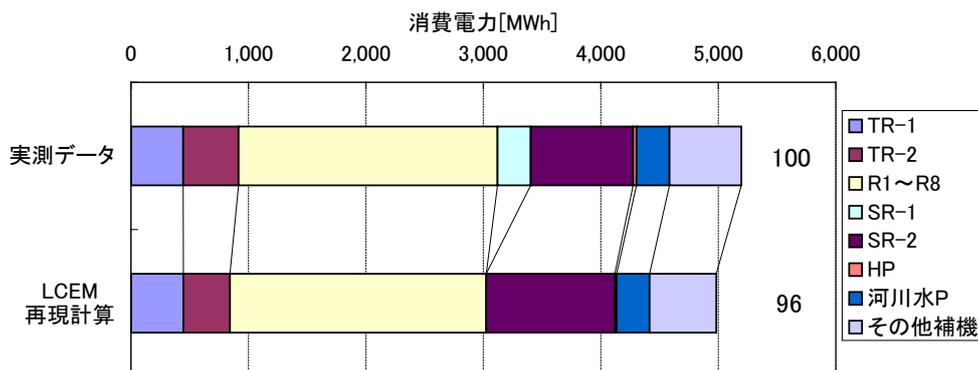


図11 実測電力量と再現計算電力量との比較 (対象期間:2009年6~12月)

3.2 夏期運転の最適化に向けたケーススタディー

当施設では夏期夜間にも冷熱需要が発生するが、同時に翌日に向けた製氷蓄熱運転を行う必要がある為、ともすればトレードオフの関係となるシステムCOPと夜間移行率とを同時向上する事が求められる。そこで、夏期運転の最適化を目的に、夜間の熱源機運転順位をパラメーターとした3種のケーススタディーを行った。表3にケース内容と入出力の結果を、図12に各ケースにおける熱源機出力のバランスと昼夜間電力量, COPの結果を示す。検討ケースでは、昼夜間電力消費量の差異は小さく、COPはCase-1が最も高い結果を示した。この検討により、熱源優先順位による差異を定量的に評価でき、以降はCase-1を主軸とした夏期運転が実施されている。

表3 比較ケースと入出力結果

ケース	比較項目	製造熱量 MJ	合計電力量 kWh	COP -
Case-1	夜間負荷はTR-2とIHP解氷で処理	612,994	57,271	2.97
Case-2	夜間負荷をTR-2の替わりにTR-1優先で処理	610,478	57,479	2.95
Case-3	夜間負荷をIHPの替わりにTR-1,2優先で処理	610,956	57,451	2.95

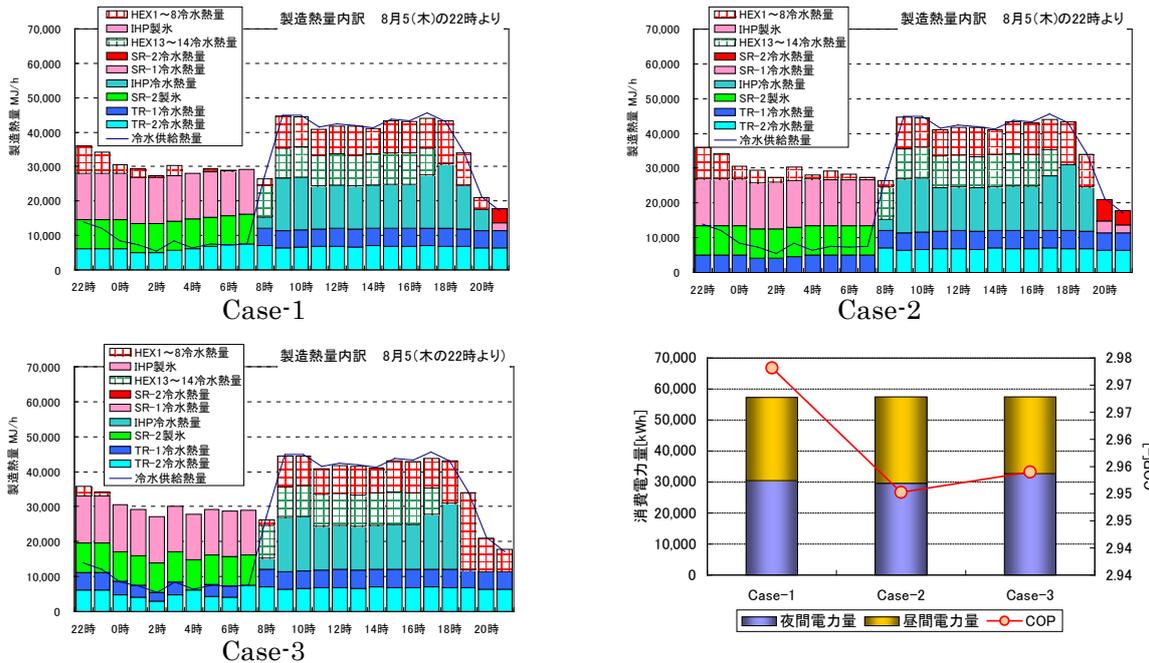
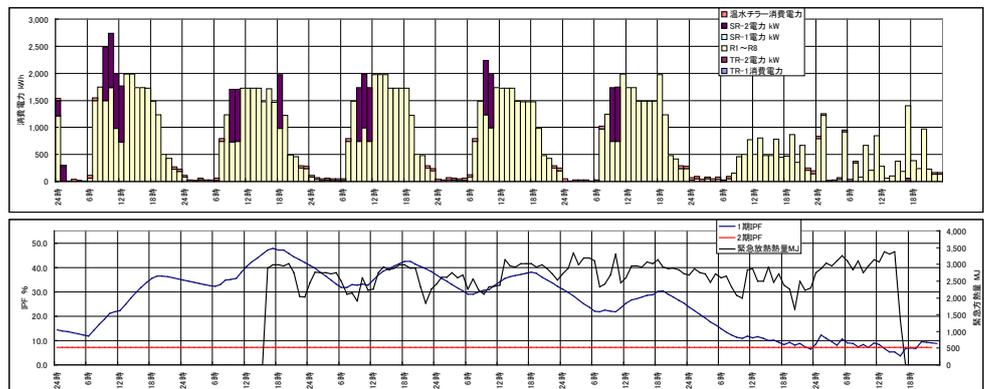


図12 各ケースにおける熱源機器の熱出力バランス，昼夜間電力とCOPの関係

3.3 冬期運転の最適化に向けたケーススタディー

当施設では、冬期に冷温熱の同時需要が発生する。ここで、温熱需要を制御対象としたIHPによる製氷熱回収運転がシステムCOP向上の観点からは有効であるが、氷蓄熱槽が満蓄となると以降の温熱供給に支障を来す為、運転員による製氷率の現状値判断により、河川水から採熱を行う解氷運転を行っていた。そこで、冬期運転の最適化手法として、温熱単独製造となるSR-1,2の運転を織り交ぜ、解氷運転を最小限とする運転パターンの検討を行った。図13に改善前後の運転パターンを示す。これより、11時を境界としてIHPとSR-2との優先順位を切替える事により、解氷運転を伴わない運転が可能である事が分かった。実設備では、機器の頻繁なオンオフを避けるため、シミュレーション結果を完全にトレースする事は難しいが、本検討にて得られた運転方針は次年度以降の冬期運転にて適用される予定である。

改善前運転パターン
IHP 優先運転



改善後運転パターン
 ~11時：IHP 優先+SR-2 追掛
 11時～：SR-2 優先+IHP 追掛

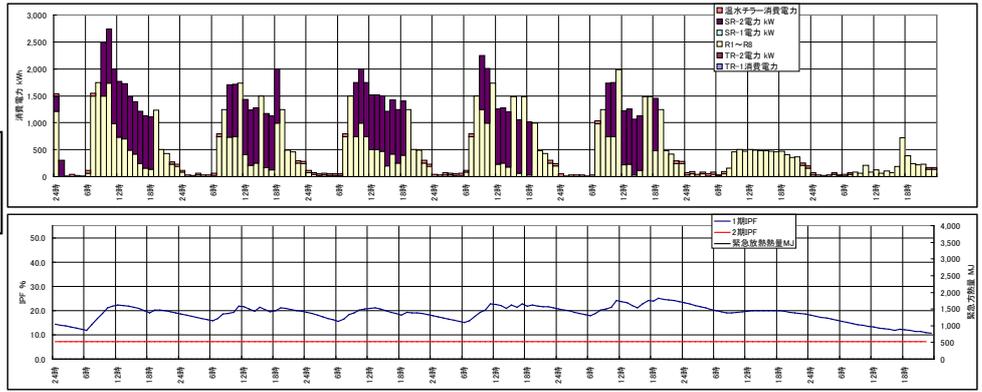


図 1 3 冬の改善前後の運転パターン差異

4. 事例－3：設計段階における熱源システムの設計性能確認

ここでは、大阪市内に建設中の病院を対象に、設計フェーズにおいて選定した熱源システムの設計性能確認を行った事例について紹介する。図 1 4 に対象病院の空調システム系統図を示す。

対象とした病院は、延床面積約 39,000 m²、400 床クラスのオール電化病院である。熱源システムの設計に当たり、躯体の有効利用と防災用水の観点より大容量の水蓄熱槽を備える事とし、熱源機には部分負荷効率の向上が期待できるモジュール型高効率空冷ヒートポンプと高効率インバータ水冷チャラーを選定した。また、対象病院では、図 1 5 に示す通り、運用時に LCEM ツールと BEMS との連携運転管理を行う事を目的としており、設計フェーズより LCEM ツールを用いた性能確認を行う事で、後の施工・運用フェーズを見据えた一貫マネジメントを行う方針とした。

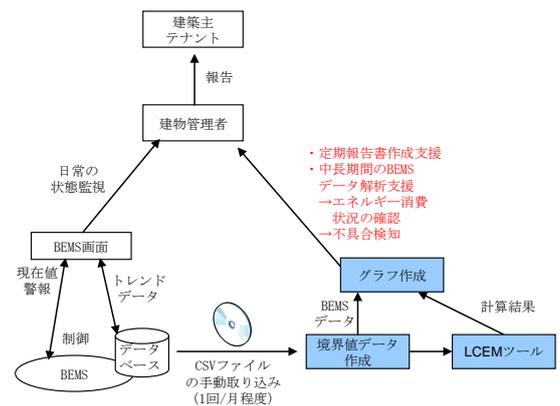


図 1 5 運用時の LCEM ツールと BEMS の連携イメージ

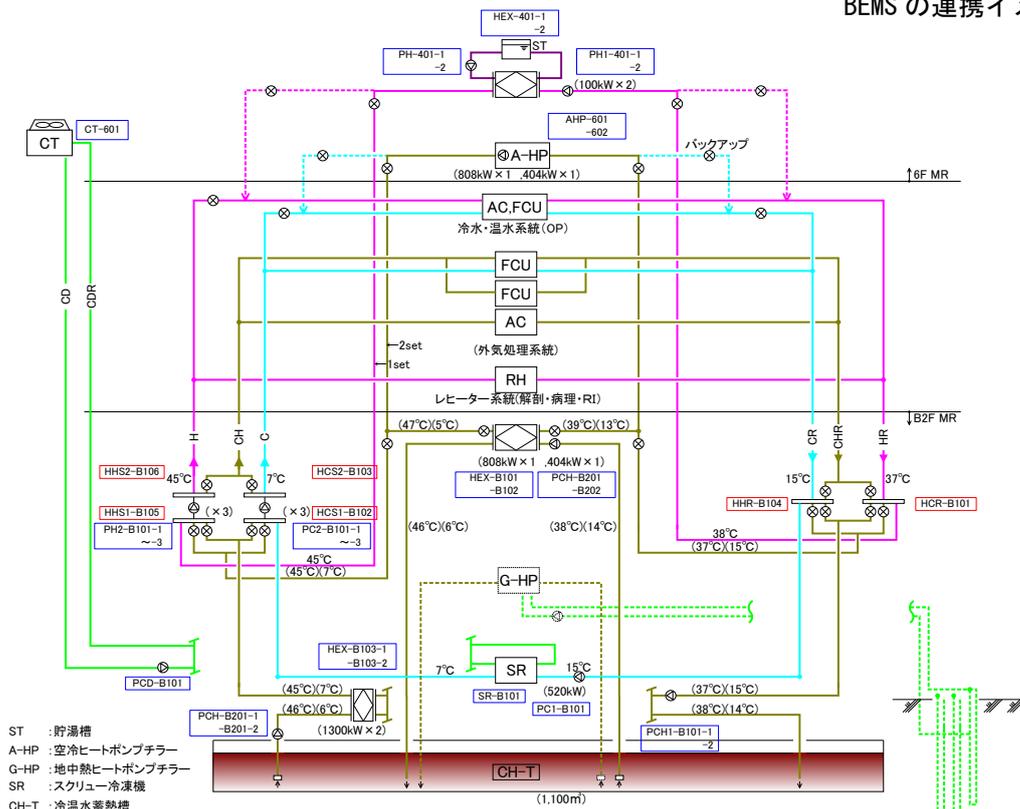


図 1 4 対象病院の空調システム系統図

4.1 基準ケースにおける設計性能確認と運用時の効率向上に向けたケーススタディー

当病院にて設計採用した熱源システムに対し、想定熱負荷を境界条件としたシステムシミュレーションを行い、設計フェーズにおける設計性能の確認を行った。また、併せて運用時の効率向上に向け、複数の条件にてケーススタディーを行った。表4に基準ケースを含むケーススタディーの結果を、図16に各ケース間における年間消費電力量の比較を示す。

これより、基準ケース(Case-1)では一次エネルギー換算でのシステムCOPが概ね1.3を示す事や、冷却水温度の低減・冷温水往温度の緩和により、最大8%程度の効率向上がCase-4にて見込める事などが把握できた。

ここで構築したシミュレーターや検討結果は、施工フェーズにおける納入機器選定時や機器の試運転調整時の基礎データとして活用する事を目的としており、施工者へと引継ぎ・更新する事している。また、運用開始以降はBEMSデータとの連携を行い、建物管理者が適切に設備の運転管理が出来るよう、構築を進めている。

表4 運用時の効率向上に向けたケーススタディー

ケース	方式比較	冷水製造熱量 GJ	温水製造熱量 GJ	夜間電力 MWh	昼間電力 MWh	システム COP	夜間移行率	CO2発生量 ton/年
Case-1	SR:冷却水32°C	9,369	8,391	822	608	1.30	0.57	524
Case-2	SR:冷却水28°C	9,369	8,391	815	587	1.32	0.58	513
Case-3	SR:冷却水20°C	9,369	8,391	810	565	1.35	0.59	503
Case-4	SR:冷却水18°C	9,369	8,391	811	561	1.35	0.59	502
Case-5	Case4+送水温度2°C緩和	9,376	8,397	786	544	1.40	0.59	487

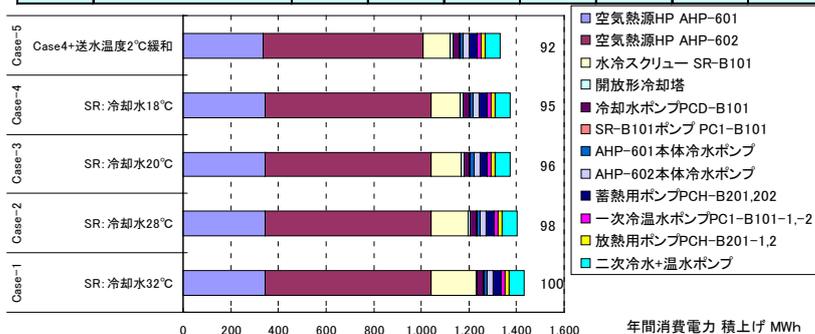


図16 ケーススタディー間の年間消費電力量

5. まとめ

本報では、設計・施工・運用各々のフェーズにてLCEMツールを活用した実事例を紹介した。いずれの事例でも、補機を含めた各機器の実運転状況を連成シミュレーションによって模擬する事により、検討ケース間の定量的評価を行えた点に成果を見出している。また、LCEMツールはそのソースコードが多様かつ明確である事から、地域冷暖房施設を代表とする複雑多様な熱源システムへのモディファイも容易であり、また同一シート内にて熱源や2次側の拡張が行える為に複数のシミュレーションツールを跨る複雑性を回避できる。

地球環境問題への意識の高まりにより、官民を上げたより一層の省エネルギーが求められ、その達成にはライフサイクルを通じたマネジメントへの要求が高まる事が想定される。既に各地方整備局における主だった公共建築ではLCEMツールの適用が拡大しつつあるが、今後は公共建築の枠を超えてLCEMツール活用へのインセンティブが働く事が期待される。

<参考文献>

- 1) 柴田他：ライフサイクルエネルギー・マネジメントのための空調システムシミュレーション開発 第25報,平成21年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集(2009,9)
- 2) 柴田他：ライフサイクルエネルギー・マネジメントのための空調システムシミュレーション開発 第30報,平成22年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集(2010,9)