

建築エネルギー・環境シミュレーションツールの連成計算による設備容量の自動調整と空調制御と連動した負荷計算

正会員 ○二宮 博史*1 同 郡 公子*2
同 石野 久彌*3 同 村上 周三*4

シミュレーション 自動容量調整 連成計算 BEST

はじめに

建物のエネルギー消費量削減を目指し、建物・設備の設計および運用において多様な省エネルギー手法が採用されている。複数の省エネルギー手法があると、相互作用によって効果が変化することもあり、負荷計算結果から省エネ効果を反映して機器選定を行うという従来の設備設計手法では、設計した設備機器容量が適切であるか不安を感じる場合がある。この問題の対応方法として文献1～4では、採用した省エネ手法・制御方法で構築したモデルで年間シミュレーションにより設備容量を自動調整する計算例が報告されている。ここでは、設計用気象データを用いて短時間で行う建物と設備の連成計算による設備機器容量の自動調整について説明する。また、その容量自動調整機能の応用として作用温度制御と PMV 制御の時の室負荷を求める方法について紹介する。

1. 連成計算による設備機器容量の自動調整について

空調設備機器の容量を決める場合、まず室の最大負荷計算を行いその計算結果をもとに、室側の機器（室内機や VAV 装置）、搬送系（空調機・ファンやポンプ）、熱源（室外機や中央熱源）の順に機器容量を決めていく。その際に、空調系統別にゾーン負荷の集計を行い、搬送系の機器の発熱や熱損失、省エネ機器や制御の効果、安全率などを加味していく作業が伴う。これに対して連成計算による設備機器容量の自動調整は、まず設備モデルを構築（設備機器要素モジュールの配置と接続）しておき、運転スケジュールや目標温湿度、冷温水送水温度などの制御パラメータをセットし設備容量の自動調整モードでシミュレーションを実行すると、あとは機器要素モジュール自身が処理すべき負荷に見合う機器容量を増加調整（能力が不足していれば自身の容量を増加する）していくというものである。設備モデルの構築は図1、図2に示すように仮設調整テンプレートを利用すると簡単に作成できるようになっている。図の中にある個々の機器モジュール（室内機、室外機、VAV ユニット、ファン、コイル、ポンプ、熱源）がそれぞれの役割を果たすために必要な容量を自己調整していく仕組みとなっている。

図3に図1のテンプレートを用いた室外機能力調整例を示す。これは5分間隔の連成計算で2年間の調整計算を行ったもので、冷暖房の処理熱量と冷暖房能力の自動調整の状況（上段図）、自動調整で算定された機器特性

に関わる補正係数の状況（中段図）、室温（下段図）を示す。補正係数は、各計算時刻の運転条件下での能力を定格条件時の能力に補正する係数で、機器温度特性や冷媒配管長、室内外気高低差などを考慮したものである。冷暖房の調整能力は、冷暖房処理熱量にこの補正係数を適用して定格能力として表示している。

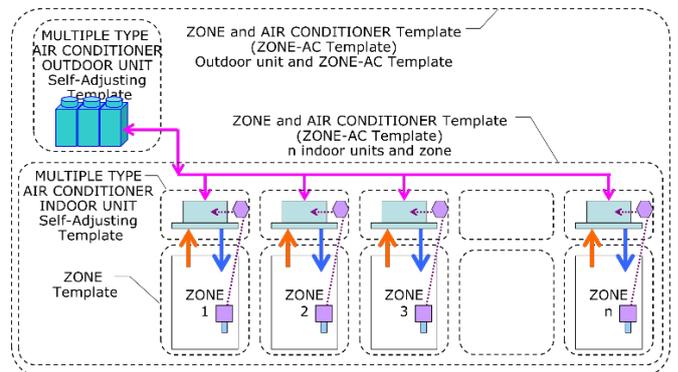


図1 分散型システムの仮設調整テンプレートの例

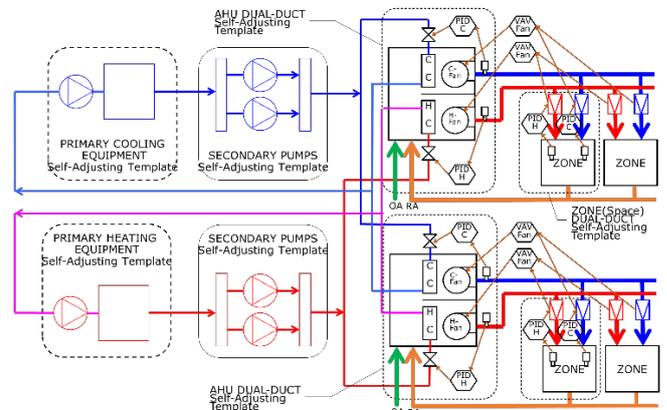


図2 4管式の仮設調整テンプレートの例

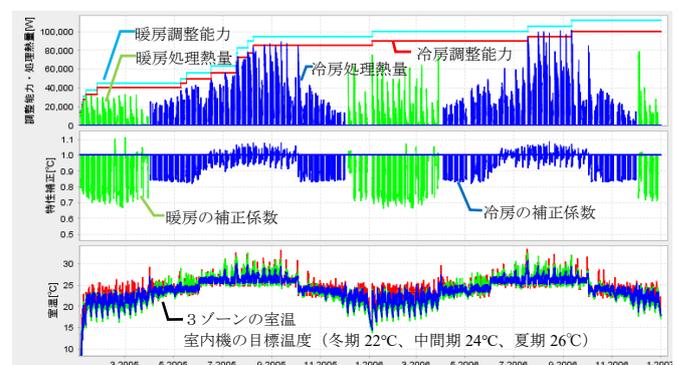


図3 調整計算例（2年計算、処理熱量、調整能力他）

2. 設計用気象データによる自動調整について

設備機器容量の自動調整は連成計算で行う。前節の例では計算時間間隔5分で2年間の計算を行っているが、2年目においても機器容量の増加調整が発生しており、調整の完了を確認するには3年、4年と計算期間を延長する必要がある。使用しているツール（The BEST Program）では、連成計算は拡張アメダスの標準年気象データなど年間気象データを用いてシミュレーションを行ってきた。ここでは最大負荷計算で使用する設計用気象データを用いた連成計算を行い、空調設備機器の自動容量調整を試みたので報告する。

ここで使用する設計用気象データを表1に示す。暖房負荷計算用に2種類（t-x 基準、t-Jh 基準）、冷房負荷計算用に3種類（h-t 基準、Jc-t 基準、Js-t 基準）の設計用気象データがある。

表2に示す計算条件で図4に示す建物基準階の南ペリメータゾーンについて最大負荷計算をした時の通常の結果出力を図5に、その計算過程を図6に示す。図6の横軸は時間軸で計算開始からの計算日数で105日分（21日×5種）を表示している。最大負荷計算では、5種の設計用気象データに対してそれぞれ助走計算を20日間とし21日目の計算結果を採用するものとなっており、最初の4日間は無限に近い装置容量を仮定し、5日目から前日の予冷熱時間帯の負荷をもとに予冷熱用装置容量を仮定し計算を行う。5種の設計用気象データの計算は連続して行われ、図6の計算例は、冷房3種（h-t 基準、

Jc-t 基準、Js-t 基準）の後に暖房2種（t-x 基準、t-Jh 基準）の最大負荷計算を行ったものである。図6の室顕熱負荷の図中の矢印は、5種類の気象データの21日目の計算日を指し、これらを切出し5日分を連続で出力したものが図5に示す通常の結果となつている。

表1 設計用気象データ

項目	内容
共通	地点：東京 *（ ）は太陽位置の月日
冷房設計用	・エンタルピと気温の厳しいh-t 基準データ（8月1日） ・日射量と気温の厳しいJc-t 基準データ（8月1日） ・南面日射量と気温の厳しいJs-t 基準データ（9月15日）
暖房設計用	・気温と絶対湿度の厳しいt-x 基準データ（1月30日） ・気温が厳しく日射量の弱いt-Jh 基準データ（1月30日）

表2 基準階オフィスの主な計算条件

項目	内容
気象	地点：東京 最大負荷計算用：拡張アメダス設計用気象データ 年間計算用：実在年2006年1分値データ
建物	計算対象：オフィス基準階 南側室4ゾーン、北側室4ゾーン 空間主要寸法：天井高2.7m、階高4m、ペリメータ奥行5m 外皮寸法：窓（連窓）高さ2.7m、天井裏外壁高さ1.3m 窓：窓面積率68%、Low-E複層ガラス+白色ブラインド 外壁：断熱25mm、隙間風：ペリメータに0.2回/h ゾーン間換気（ゾーン境界単位長さあたり）250CMH/m 内部発熱（最大値）：照明20W/m ² 、在室者0.15人/m ² 、機器15W/m ² 、家具顕熱容量：15J/lit・K、設計用季節係数（割増、割引係数）：暖房設計用0.3、冷房設計用1.1
空調	空調時間：最大負荷計算用8:30-22:00（予冷熱30分） 外気導入時間：8:45-22:00、年間計算：週平日5日運転 空調設定温湿度と熱処理： 夏期（6-9月）：26℃、60%（冷却除湿） 冬期（12-3月）：22℃、50%（加熱加湿） 中間期（4,5,10,11月）24℃ 外気導入量3.75CMH/m ²
その他	計算時間間隔：1分、5分

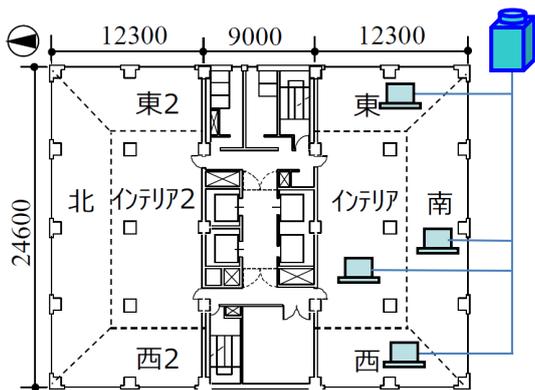


図4 計算対象のオフィス基準階平面図

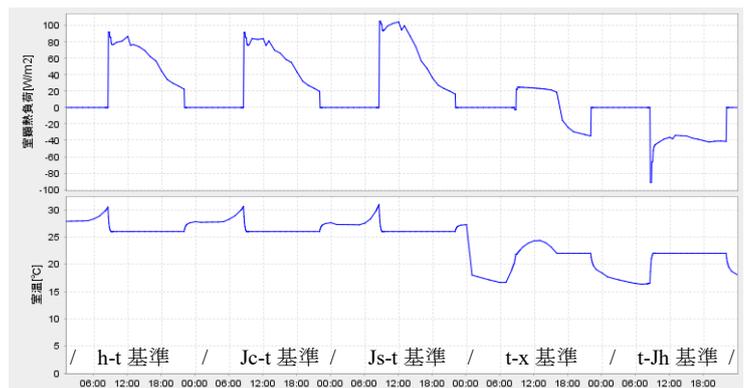


図5 最大負荷計算結果の通常出力（顕熱負荷と室温）

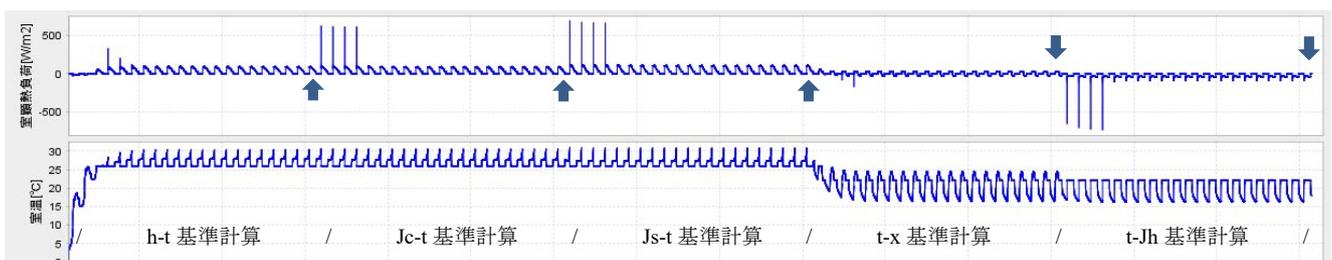


図6 計算対象オフィスの南ペリメータゾーンの最大負荷計算過程（顕熱負荷と室温）

図4の基準階の空調設備を南北の2系統のビル用マルチシステム (BM) とし、室外機2台と各ゾーンへビル用マルチの室内機モジュール8台を配置し、室内機および室外機の容量自動調整を設計用気象データを用いた連成計算で行った。計算時間間隔は1分、調整ステップ数は30ステップ (30分移動平均)、室内機用PID制御モジュールの操作量の最大値は1.1として調整を行った。目標湿度は、冷房時は乾球温度26℃・湿度は成行きとし、暖房時は乾球温度22℃・相対湿度50%で加湿を行う。また、室内機は各ゾーンの外気負荷も処理するものとした。図7は暖房から冷房の順で自動調整した場合、図8は冷房から暖房の順で自動調整した場合で、南側のペリメータゾーンの室内機の容量の調整状況を示す。

図7の暖房→冷房の順で連成計算した場合、調整が最初の3日程度 (t-x 基準の助走計算) で終わっている。これは使用しているツールは計算開始時の室温が0℃から始まるため、暖房時の目標室温となるよう室内機の運転容量を制御するPID制御モジュールからの操作量が容量調整時の最大値 (=1.1) を連続して発信することとなり、これを受信した室内機が能力不足と判断し容量の増加調整を連続して行うためである。このケースでは冷房側の調整は発生せず終わっている。図8の冷房→暖房の順で連成計算した場合は、室温が0℃から始まるため計算開始からしばらくは冷房負荷がなく、3日目から冷房負荷が発生し、冷房容量の増加調整が10日目まで行われている。暖房計算のt-Jh基準計算においても増加調整が行われている。図7と図8の調整状況を比較すると、図7の暖房→冷房の順で連成計算した場合は、過大な調整結果となっており、設計用気象データを用いた連成計算による自動容量調整は、冷房→暖房の順で行うのが良い。

図9に最大負荷計算時と設計用気象データを用いた連成計算時の5種の計算最終日について、南ペリメータの室の状態 (乾球温度、相対湿度、作用温度、PMV) および室負荷 (顕熱、全熱) を比較して示す。連成計算はフィードバック制御を行っているため、空調時間帯の室温および相対湿度は目標値近辺で振動が生じ、最大負荷計算時のように目標値で安定しているものではない。連成計算のBMの冷房は乾球温度制御を行っており湿度は成行きとなる。連成計算の冷房時の相対湿度は目標湿度に対して高めとなっている。室顕熱負荷は、最大負荷計算で得られた顕熱負荷と、連成計算による容量自動調整で処理した顕熱量がよくあっていることがわかる。暖房計算のt-x基準の室顕熱負荷のハンチングは、暖房計算時に冷却負荷が発生したことで動作が不安定となったためであり、今後対策する予定である。連成計算の暖房時の加湿は目標相対湿度でほぼ制御できており、t-Jh基準の室全熱負荷は最大負荷計算時のものと同様に推移している。暖房の外気導入開始時に室顕熱負荷が大きく振動してい

るのは、外気導入と加湿器の動作による急激な負荷変動に対してPID制御モジュールが対応しているのが理由である。5種の各21日間の計算で容量の調整ができているといえる。

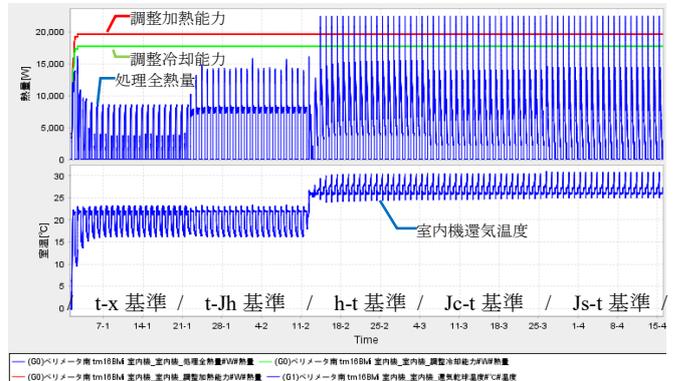


図7 設計用気象データを暖→冷で自動容量調整した例

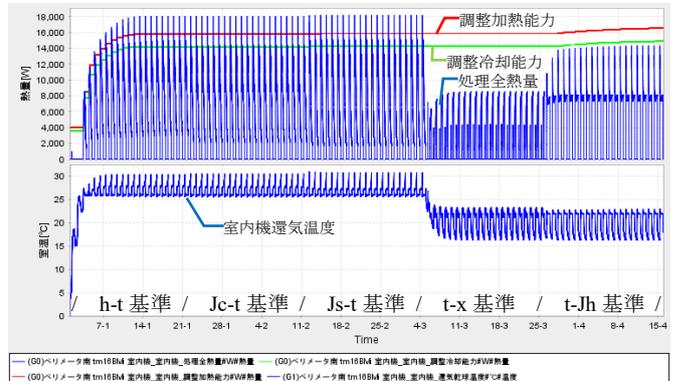


図8 設計用気象データを冷→暖で自動容量調整した例

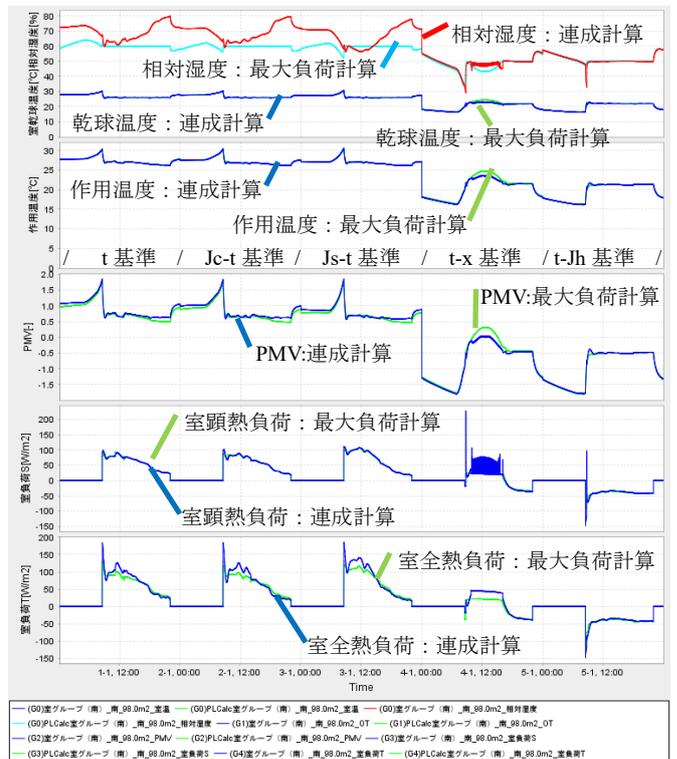


図9 最大負荷計算と連成計算の自動容量調整との比較 (室温湿度、作用温度、PMV、室顕熱・全熱負荷)

3. 作用温度制御、PMV 制御時の熱負荷の算定

多くの負荷計算プログラムは、室の目標温湿度を設定して熱負荷を計算する。使用しているツールは作用温度や PMV を計算して出力している。既に図 9 で最大負荷計算時と連成計算時の作用温度と PMV の例を表示してあるが、室乾球温度と湿度は空調運転時間帯では目標値で一定であるが、作用温度や PMV の値は変動するものとなる。

連成計算では、この作用温度や PMV を制御対象とした計算が可能で、PID 制御モジュールの制御対象を室の乾球温度から作用温度や PMV へ変更しその目標値を制御対象に応じた値に調整するだけでよい。連成計算による設備容量の自動調整機能を利用すると作用温度制御時や PMV 制御時の熱負荷を求めることが可能である。

図 10 は設計用気象データを用いた連成計算で室の目標作用温度を冷房時 26℃、暖房時 22℃として作用温度制御で容量の自動調整した南ペリメータのもので、最大負荷計算時と比較したものである。暖房計算で冷房負荷が発生している t-x 基準を除き目標作用温度で制御されている。目標作用温度とするには、冷房と暖房ともに容量を増加し室負荷の増加に対処することが必要である。

図 11 は室の目標 PMV を冷房時、暖房時ともに 0 として PMV 制御を行った南ペリメータの自動調整結果である。ここでいう PMV 制御は室内機の運転容量を操作するものである。冷房時は多少振動がみられるが、暖房時に冷房負荷が発生している t-x 基準を除き目標の PMV 値 0 で制御されている。室の乾球温度は冷房時 23.5℃程度、暖房時 24℃程度であった。目標 PMV とするには、冷房と暖房ともに容量を増加し室負荷の増加に対処することが必要である。

4. まとめ

設計用気象データを使用した連成計算による設備容量の自動調整について報告した。また、この手法の応用として作用温度制御や PMV 制御を行う場合の室負荷を求める方法を示した。設計用気象データを使用した設備機器容量の自動調整については、改良および結果の検証を継続して行う予定である。

【参考文献】

- 1) 二宮・村上・長井・石野・菟田・野原・品川・大西：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 84)仮設調整テンプレートを利用した空調設計, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2011 年
- 2) 二宮・村上・長井・石野・菟田・野原・品川・大西・長谷川・木本：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 103)仮設調整テンプレートの改良と換気計算用モジュールの開発, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2012 年
- 3) 二宮・村上・石野・長井・野原・長谷川: Simulation Method of HVAC Systems Using Self-Adjusting Templates for the Building Energy Simulation Tool, 2017 ASHRAE Winter Conference

4) 二宮・村上・長井・石野：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 216)連成計算による設備容量の自動調整, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2018 年

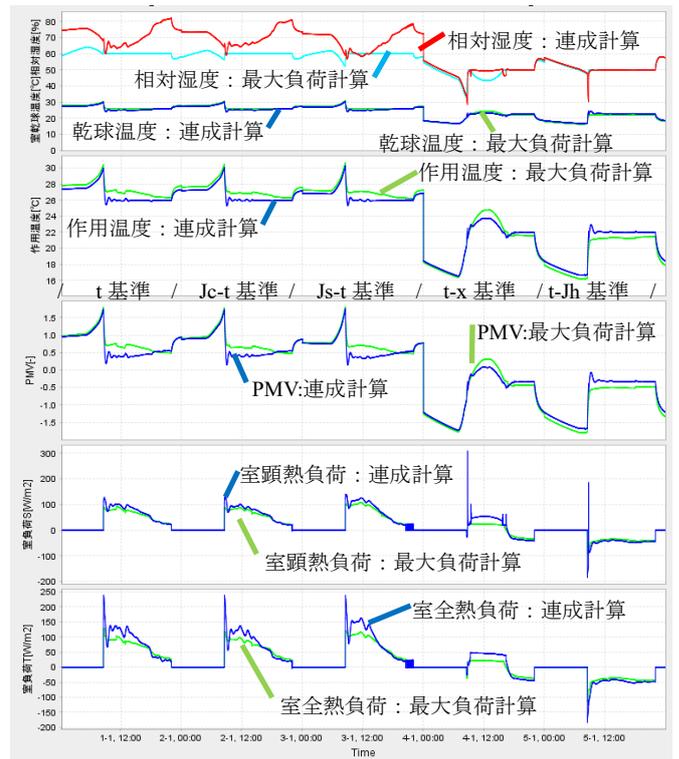


図 10 設計用気象データで作用温度制御の自動容量調整例

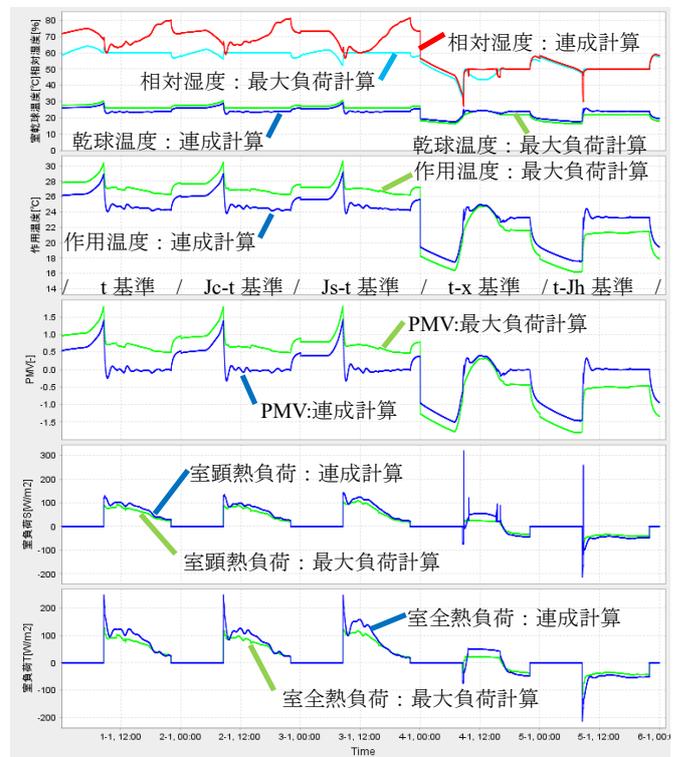


図 11 設計用気象データで PMV 制御の自動容量調整例

*1 日建設計
 *2 宇都宮大学地域デザイン科学部 教授 工博
 *3 東京都立大学 名誉教授 工博
 *4 建築環境・省エネルギー機構 理事長 工博

*1 Nikken Sekkei Ltd.
 *2 Prof, Faculty of Regional Design, Utsunomiya Univ., Dr.Eng.
 *3 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.
 *4 Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr.Eng.