

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

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 216)

Automatic adjustment of equipment capacity by coupled calculation

正会員○二宮 博史（日建設計）

名誉会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）

技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授） 技術フェロー 長井 達夫（東京理科大学）

Hiroshi NINOMIYA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Tatsuo NAGAI\*<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup> Nikken Sekkei Ltd.

\*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation

\*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University \*<sup>4</sup> Tokyo University of Science

We have added functions as an improvement of automatic adjustment of equipment capacity by coupled calculation. This paper presents the automatic adjustment method by the Specification List of the Multiple Type Air Conditioner and the automatic adjustment method of the rechargeable battery system.

## はじめに

空調機器等の設備機器容量を自動調整する方法として既報<sup>1)2)</sup>で仮設調整テンプレート（年間シミュレーションによる設備容量の決定支援ツール）を利用した手法を報告した。ここでは新たに機能追加した分散型の仕様リストによる自動調整方法、蓄電池システムの自動調整について紹介する。

### 1. 分散型の容量の自動調整方法の改良

既報<sup>1)2)</sup>の仮設調整テンプレートによる分散型の容量の自動調整方法は、PID 制御モジュールのフィードバック制御による操作量を容量の調整に利用するもので、最大操作量の値を1より大きな値としておき、操作量の移動平均値が1を超える場合は容量が不足しているとみなして操作量に応じた容量を増大する方向へ調整を行うものである。文献<sup>3)</sup>では図1に示す分散型システムの室内機と室外機の仮設調整テンプレートによる室内機の台数調整と室外機の容量調整、図2に示す4管式デュアルダクト2コイルVAV空調機ゾーンテンプレートによる送風量と空調機ファンや冷温水コイル等の容量自動調整から、二次ポンプ・熱源テンプレートまでの熱源周りの一連の自動調整について報告している。

#### 1.1 分散型システムの従来の自動調整方法

分散型システムの場合、室外機モジュールと複数の室内機モジュールを接続した状態で調整を行う。

室内機については、基本となる室内機の仕様を設定し

ておき、設置したゾーンごとに必要な台数を調整する。

室外機は、基本となる室外機の仕様を設定しておき、接続された室内機からの要求熱量を集計し必要な容量を調整していく。この時、冷暖房の定格能力比および冷暖房の定格 COP は基本となる室外機のもので決定している。

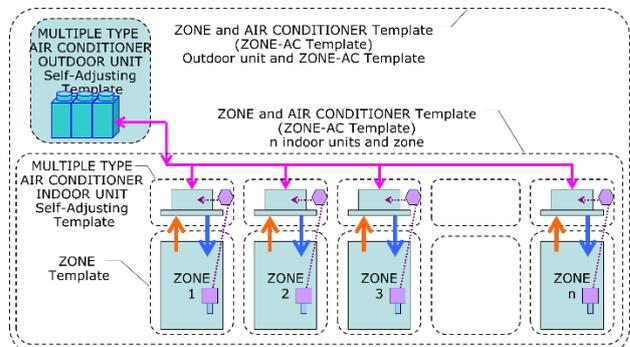


図1 分散型システムの仮設調整テンプレートの例

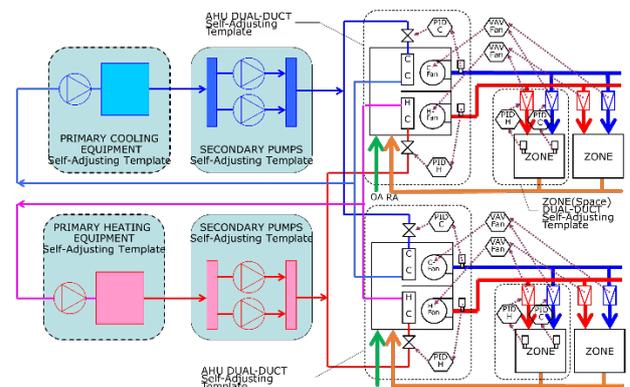


図2 4管式の仮設調整テンプレートの例

分散型の室外機には容量の異なる複数の機種があり、容量が異なると冷暖房のCOPや冷暖房の能力比は異なる。某製品のカタログ情報から、図3に室外機の冷暖房能力と消費電力・COPの関係、図4に冷房能力と冷暖房能力比の関係を示す。図3では冷暖房能力の増加に伴いCOPが小さくなる傾向がみられる。また、暖房能力の大容量の機種側で暖房の消費電力が減少しているなど、容量によって様ではないことが分かる。図4では冷暖房能力比が容量(冷房能力)の違いによって5%ほど差があることが分かる。図5に室内機の冷暖房能力と消費電力・COPの関係を示す。室内機についても容量(冷房能力)の増加に伴う消費電力・COPの変化は様ではないことが分かる。

従来の容量調整方法では、最初に基本となる室内機、室外機の仕様(冷暖能力比やCOPなど)を固定するため、調整後の必要容量で選定した機器では暖房能力が不足しているなどの問題が発生する場合がある。この対応として、仕様リストをもとに容量別のそれぞれの仕様で容量を調整していく方法を新たに開発した。

## 1.2 分散型空調機器の仕様リストによる自動調整方法

分散型空調機器の仕様リストによる自動調整方法とは、製品カタログなどから容量の異なる複数の室外機および室内機の仕様リストを用意しておき、連成計算で発生する負荷を処理するのに必要な容量のサイズをそのリストから自動選定していくものである。

表1に分散型の室外機と室内機の仕様リストの例を示す。室外機は26種類、室内機は4種類のリストである。仕様の項目としては、冷房能力、暖房能力、冷房消費電力、暖房消費電力、風量の5項目である。各リストは容量の小さいものから昇順で並べ、同じ個数のデータとする。この室外機リストのようにカタログにあるすべての機種を入力する必要はなく、室内機のように騒音などを考慮した実用的な範囲のリスト、COPの悪い機種は含めないリストなどを作成し自動調整するなどが考えられる。

自動容量調整では次の特性を考慮している。冷媒配管長による能力補正、室外機と室内機の設置高低差による能力補正、室外機の定格容量に対する接続された室内機の合計容量の割合による能力補正、温度特性である。接続容量による能力補正と温度特性は、計算ステップごとに接続状態や外気、室内の温湿度環境を取得したもので温度特性を計算し反映している。これらの特性は合成し、次の式の中の補正係数として算定し、

$$\text{運転時の可能能力} = \text{選定機の定格能力} \times \text{補正係数}$$

$$\text{運転時の必要定格能力} = \text{室内機要求能力} / \text{補正係数}$$

という関係から、運転時の必要となる定格能力を満たすサイズを仕様リストから選定し、計算を続行する。(図7)実際の機器選定時の手順に沿った方法で自動調整をしていることになる。

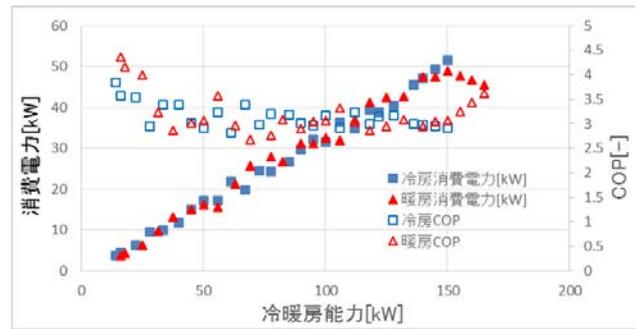


図3 分散型室外機リストの仕様(能力、消費電力、COP)

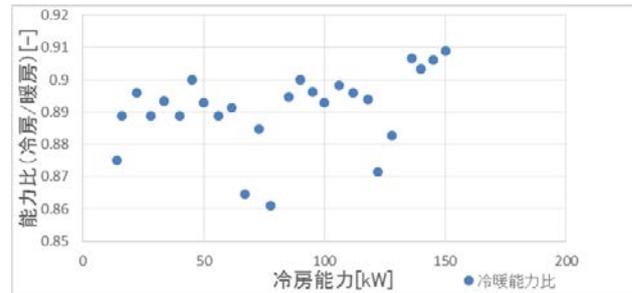


図4 分散型室外機リストの仕様(冷暖能力比)

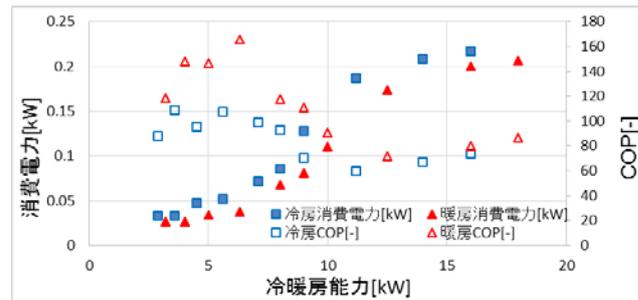


図5 分散型室内機リストの仕様(能力、消費電力、COP)

表1 分散型空調機器の仕様リストの例

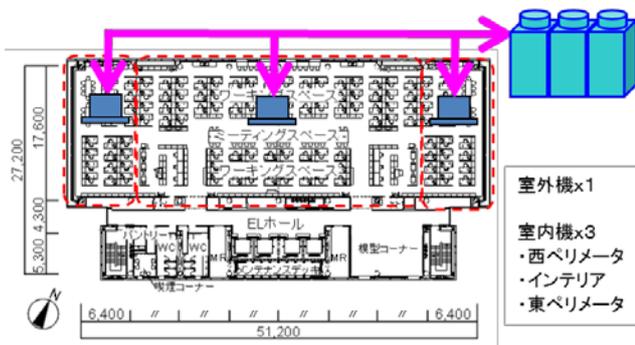
室外機仕様	室外機リスト(定格)
冷房能力 [kW]	14., 16., 22.4, 28., 33.5, 40., 45., 50., 56., 61.5, 67., 73., 77.5, 85., 90., 95., 100., 106., 112., 118., 122., 128., 136., 140., 145., 150.
暖房能力 [kW]	16., 18., 25., 31.5, 37.5, 45., 50., 56., 63., 69., 77.5, 82.5, 90., 95., 100., 106., 112., 118., 125., 132., 140., 145., 150., 155., 160., 165.
冷房消費電力 [kW]	3.64, 4.47, 6.34, 9.51, 9.87, 11.8, 14.9, 17.2, 17.3, 21.8, 19.8, 24.5, 24.2, 26.7, 29.8, 32.1, 31.6, 36.4, 34.7, 39.4, 38.8, 40.4, 45.4, 47.0, 49.3, 51.6
暖房消費電力 [kW]	3.67, 4.32, 6.25, 9.76, 13.1, 14.9, 16.3, 15.7, 21.3, 25.7, 28.0, 26.7, 31.1, 31.2, 32.6, 32.0, 37.0, 41.3, 42.5, 42.7, 47.4, 47.5, 48.9, 47.7, 46.6, 45.5
風量 [m <sup>3</sup> /min]	104, 119, 172, 199, 222, 243, 305, 387, 390, 422, 444, 504, 527, 548, 610, 692, 695, 727, 749, 809, 832, 853, 915, 997, 1079, 1161
室内機仕様	室内機リスト(定格)
冷房能力 [kW]	2.8, 3.6, 4.5, 5.6
暖房能力 [kW]	3.2, 4.0, 5.0, 6.3
冷房消費電力 [kW]	0.033, 0.033, 0.047, 0.052
暖房消費電力 [kW]	0.027, 0.027, 0.034, 0.038
風量 [m <sup>3</sup> /min]	12.5, 12.5, 14.5, 15.5

### 1.3 分散型の機器容量の自動調整の計算例

BESTの講習会で使用しているAビルの基準階について、新たな分散型の機器容量の自動調整を行った計算例を紹介する。図6にAビルのゾーニングと空調条件を示す。基準階のゾーンはインテリアと東西のペリメータの3ゾーンとし、各ゾーンに室内機モジュールを1台設置し室外機に接続した系統としてモデルを構築し自動調整を行う。インテリアとペリメータのゾーン面積は5倍以上違っているが、自動調整のための室内機モジュールは1台でよい。室内機には各ゾーンに必要な外気量を与えておく。この外気量は調整に関係なく固定風量として扱う。調整のためのPIDモジュールの最大操作量は1.01とした。室内機は冷暖能力3.6kW/4kWを基本とし台数を調整する。室外機は表1にある室外機の仕様リストで調整する。室内機は従来の調整方法、室外機は機能追加した仕様リストによる調整という組み合わせで行った。

気象データは拡張アメダス2000年標準年データの東京を使用している。計算期間は助走計算364日、本計算(1/1~12/31)とし2年間の計算とした。

図7に室外機の2年間の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。冷暖房の調整能力は、冷暖房処理熱量に補正係数を適用して定格能力として表示している。負荷がない場合の補正係数は1としている。冬期暖房時の補正係数は0.7程度まで能力が低下し、中間期冷房時は0.85(これは目標温度が24℃であることが影響していると思われる)、夏期冷房時は1前後で、1を超える部分は空調の開始時に発生しており、これは冷房開始時の室温が高く室内機への吸い込み温度が高いため能力増加が起こっていると考えられる。



用途：事務所ビル、立地：東京  
 基準階：インテリア676m<sup>2</sup>、東西ペリメータ各113m<sup>2</sup>  
 期間：夏期(6~9月)、冬期(12~3月) 中間期(4,5,10,11月)  
 空調：夏期(冷房26℃)、冬期(暖房22℃)、中間期(冷房24℃)  
 運転：平日の8時~22時(空調開始の1時間は外気カット)  
 室外機：仮説調整容量調整あり、調整リスト使用あり  
 室内機：仮説調整台数調整あり 平均冷媒管60m 高低差30m  
 外気量：インテリア2800m<sup>3</sup>/h 東西ペリメータ各460m<sup>3</sup>/h  
 調整係数 PID操作量の最大値=1.01

図6 基準階のゾーンと分散型機器の配置と初期設定

図7は5分間隔で調整ステップ数を12ステップ(5分×12ステップ=60分移動平均)として計算したものである。1年目で大きな容量調整がされているが、2年目の冷房期でも調整冷房能力が90kW→95kW→100kWへと2ランク増大となっている。自動調整による能力増大のスピードは計算時間間隔、調整ステップ数(移動平均値算定の時間)、PID制御モジュールの操作量の最大値、参照値(=起動時の操作量)の与え方で変化する。計算時間間隔は短く、調整ステップ数は小さく、操作量の最大値と参照値は大きくすると調整スピードが速くなる。図8の(a)は調整ステップ数を6ステップ(30分移動平均)、(b)は計算時間間隔1分とし調整ステップ数を30(30分移動平均)、(c)は計算時間間隔1分で調整ステップ数6(6分移動平均)で計算した調整結果である。調整による能力の増大は

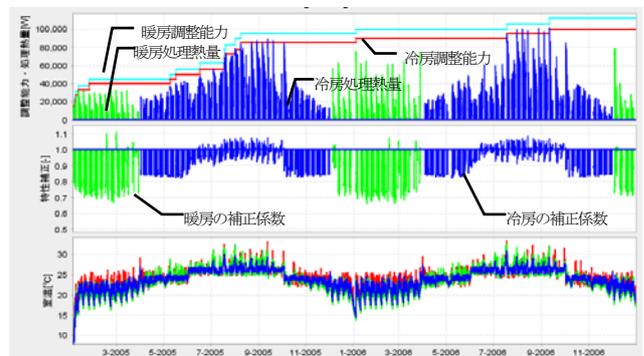


図7 調整計算例(2年計算、処理熱量、調整能力他)

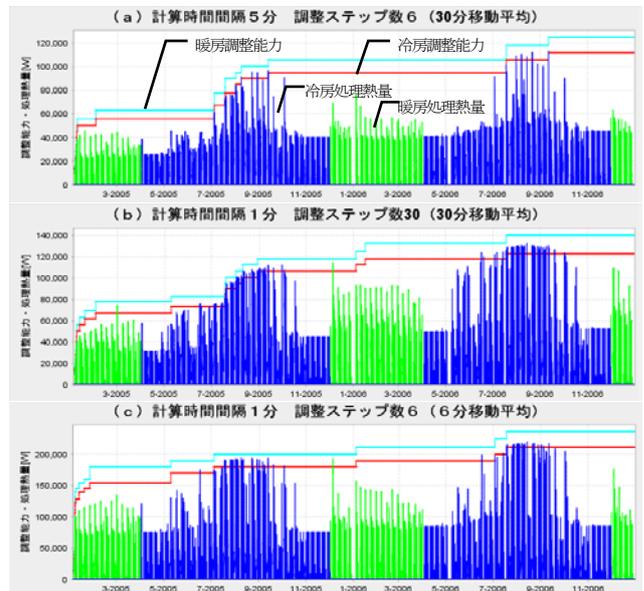


図8 計算条件による調整スピード

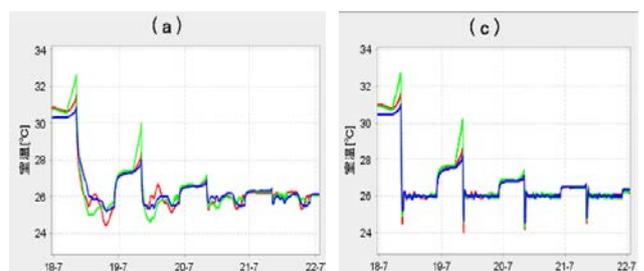


図9 調整能力による室温変化

a から c の順で速くなり、2年計算の終了時点での調整能力にも差が出ている。調整能力の差は室温へ影響し、図9に示す3連休明けの冷房負荷が大きい7月18日の室温変動をみると、aでは調整能力が不足しているため目標室温26℃への到達時刻が遅くなっているのに対し、cでは目標室温への到達時刻が早く適切な能力調整の結果といえる。

## 2. 蓄電池の自動調整について

蓄電池容量の自動調整機能とは、与えられた運用条件のもとで連成計算し、蓄放電制御しながら蓄電池の定格蓄電容量と定格放電電力の仕様を調整していくものである。調整方法は単純で次の2点を計算ステップごとにチェックして調整を実行する。

- ・放電時に蓄電容量が不足した場合、その不足分を定格蓄電容量に加算する。
- ・定格蓄電容量の増大に伴い、定格放電電力も必要に応じて増大調整する。

そして調整した定格蓄電容量および定格放電電力を用いて次の計算ステップの計算を続行する。

この蓄電池容量の自動調整機能を用いた計算例を紹介する。表2に計算例の蓄電池モジュールと蓄電池制御モジュールの主な入力値を示す。計算は入力された定格蓄電容量と定格放電電力で開始する。入力した値が負荷に対して十分な場合は調整は行われず計算が終了する。調整は容量増大方向へなされ、容量を小さくする方向への調整は行っていない。ここでは定格蓄電容量を100kWh、定格放電電力を10kWとして調整を行った。

図10に蓄電池容量の調整の計算結果を示す。この図は計算中に蓄電池モジュールが出力しているもので、充放電の状況や容量の調整状況を容易に確認することを可能としている。調整定格放電電力は1段目、調整蓄電容量は3段目に表示される。4段目の充電率の変化を追うと充電率が0となり放電できない状態が数か所あり、そのタイミングで定格蓄電容量と定格放電電力が調整されている様子が分かる。蓄電池システムの容量決定のための支援ツールとして利用できると考え改良を継続している。

表2 蓄電池の計算例の機器モジュール仕様

蓄電池モジュールの主な入力値
定格蓄電容量[kWh]=100、定格放電電力[kW]=10
初期蓄電容量[kWh]=100
容量保持率[-]=1.0、ベース放電電力[W]=適用外
放電停止下限充足率[-]=0、充電停止上限充足率[-]=1
充電時間率[-]=5 (=定格蓄電容量/定格入力電力)
充電特性[-]=0_リチウムイオン電池、
PCS 充電時の効率[-]=0.95、PCS 放電時の効率[-]=0.95
蓄電池本体の効率[-]=0.95、その他補機等の効率[-]=1.0
待機時の効率[-]=1.0、熱損失係数[-]=1
充放電制御方法=負荷追従制御
蓄電池制御モジュールの主な入力値
制御方法=ピークカット(充放電)制御
ピークカット目標値=0[kW]

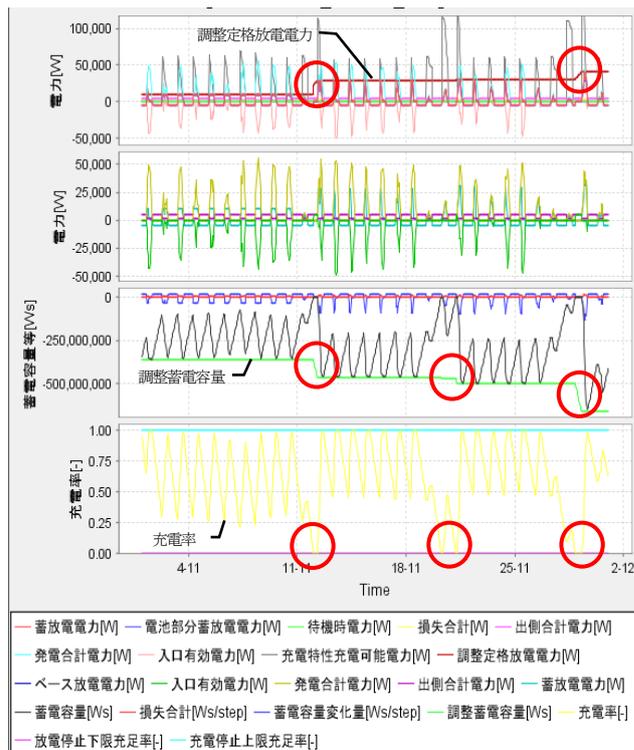


図10 蓄電池の自動調整の計算例

## 3. まとめ

新たに機能追加した分散型の仕様リストによる自動調整方法、蓄電池システムの自動調整について紹介した。

連成計算による設備容量の自動調整機能で、いろいろな運転・制御条件でシミュレーションし容量の決定に活用していただければ幸いである。

【謝辞】本報は、(一財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「企画委員会(村上周三委員長)」およびプログラム開発委員会(石野久彌委員長)、空調システム連成法WG(長井達夫主査)、蓄熱・蓄電等システム検討WG(柳原隆司主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。BESTプログラム開発委員会 空調システム連成法WG名簿(順不同) 主査:長井達夫(東京理科大学)、委員:石野久彌(首都大学東京大学院 名誉教授)、菟田英晴(鹿島建設)、品川浩一、川津行弘(日本設計)、二宮博史、長谷川巖、飯田玲香(日建設計)、相沢則夫(大林組)、事務局:生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)、蓄熱・蓄電等システム検討WG(蓄電池)名簿(順不同)主査:柳原隆司(RY 環境・エネルギー設計)、委員:西村英樹(ヒートポンプ・蓄熱センター)、滝澤 総、二宮博史(日建設計)、小林 浩(トーエネック)、良知秀樹(東京エナジーパートナー)、斗野綱士(日本ガイシ)、杉澤紀幸(中部電力)、松下 傑(NIT ファシリティーズ)、阿部 実(関電工)、田村龍一、滝脇 悟(大林組)、岩村 豊(住友電気工業)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)、一松涼平、菅谷善昌、三ツ峰古樹(ヒートポンプ・蓄熱センター)

【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)仮説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)仮説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