

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29）
モジュールおよび計算法

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part29)
Outline of the Program Modules and Calculation Method for HVAC systems

正会員 二宮 博史（日建設計） 特別会員 村上 周三（建築研究所）
正会員 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）正会員 長井 達夫（東京理科大学）
正会員 菅長 正光 正会員 菰田 英晴（鹿島建設）

Hiroshi NINOMIYA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³

Tatsuo NAGAI*⁴ Masamitsu SUGANAGA Hideharu KOMODA*⁵

*¹ Nikken Sekkei Ltd *² Building Research Institute *³ Tokyo Metropolitan University

*⁴ Tokyo University of Science *⁵ Kajima Corporation

This paper presents the summary and the features of the calculation modules of HVAC system components (e.g. heat source system, heat delivery system, automatic control system, piping system, ducting system and graph utilities). The usage of modules layered structure of control modules, and calculation order of modules are also described.

はじめに

BESTの空調シミュレーションで使用する空調モジュールについて、標準で用意している空調モジュールの概要を紹介し、特徴あるモジュールの使用法、制御モジュールの階層構造、計算順序について説明する。

1. 空調システムの標準モジュール

1.1 モジュールの作成単位

シミュレーションで使用するモジュールの作成単位は、空調システムを構築するために必要な機器や部品である「もの」および「機能」に着目し、さらにオブジェクト指向的にモジュールの再利用を考慮した単位として作成している。例えば、空調機は一つのモジュールではなく、ファン、コイル、加湿器、OAチャンバーなどの数種のモジュールの組合せでいろいろなタイプの空調機が構築できるようにしている。

1.2 空調標準モジュールの構成

標準で用意した空調モジュールの種類、具体例について説明する。空調標準モジュールの例を表1に示す。空調システムを構築する熱源、搬送および制御機器などの他、熱搬送媒体の水や空気を導く配管やダクトなどの分岐・集合、各種弁などの搬送系部品、部分システムを検討する場合に必要な境界条件を設定するための部品、計算中に状態変化を確認するためのグラフ表示部品などの各種モジュールを用意している。また、負荷計算エン

ジンとシステムを接続するための負荷計算接続部品、さらに、エネルギーや資源の消費量を積算する集計ツールも部品モジュールとして用意している。

表1 空調標準モジュール（2008年3月）

分類	モジュールの例
熱源機器	中央熱源 冷温水発生機 ボイラ HP チラー ターボ冷凍機 ブライン HP チラー 分散熱源 ビル用マルチ（室内機・室外機）
熱源補機	冷却塔 熱交換器 蓄熱槽
搬送機器	ポンプ ファン 空調機（冷温水コイル 加湿器 全熱交換器 OAチャンバー ファン） *空調機はこれらのモジュールの組合せ
制御機器	PID制御 2位置制御 VAV制御 センサー 熱源制御（発停、モード切替など） 熱源台数制御（ヘッダーバイパス） AHU制御（発停、モード切替、外気カット、外気冷房など）
搬送系部品	配管およびダクト（分岐・集合ヘッダ） 2方弁 3方弁 止水弁 VAVユニット 流量拡大 流量縮小 排水槽
負荷計算接続部品	ゾーン（システム接続用） ゾーン（Air、Env、EPLoad、Heat 各媒体接続用）
集計部品	1次エネルギー消費量集計、資源消費量集計 メータ（電力、給水、排水など）
条件指定部品	固定条件の水・ブライン・空気・電力 気象データと連動した 外気 雨水 外部データ読み込み部品 出力指定部品
確認表示部品	計算中のグラフ表示（空気・水・電力などの状態値や積算値） 計算の一時停止再開部品

1.3 空調標準モジュールの使用方法

空調標準モジュールの中から特徴あるモジュールについてその概要と使用方法を紹介する。

1.3.1 負荷計算接続部品群

BEST の特徴の一つに建築と設備の連成計算がある。建築の負荷計算エンジン部分と設備システムとを接続するための要素モジュールが負荷計算接続部品である。負荷計算の細分単位であるゾーンに対応するゾーンモジュールと設備側モジュールを接続することで、建築と設備の連成計算が行なえる。図1はゾーンシステム接続用モジュール (ZoneforSystemModule) のノード図である。

入口側の媒体ノードには空調機からの SA (給気) FCU やビル用マルチの室内機などの複数設置される機器からの SA、照明やコンセント電力や機器発熱など、出口側の媒体ノードには空調機や FCU などへの RA (還気) ゾーン的环境情報 (室温、湿度、PMV 他) が用意されており、これらの媒体を介して建築とシステムの計算に必要な情報の受渡しを行なう。照明用電力とコンセント電力は、負荷計算で考慮する使用率パターンに応じた消費電力量がシステム側へ渡される。昼光利用を計算する場合はその効果を加味したものが伝わり連成した省エネルギー効果が計算できることになる。

1.3.2 集計部品群・確認表示部品群

建物全体のエネルギー消費量や資源消費量を調べるには、取引メータである電力メータ、ガスメータや量水器などの数値を読めばよい。これらのメータに相当する集計部品をモジュールとして各種用意している。実際のメータの位置だけでなく用途別や空間別などの要所に接続しておけば、計算の終了と同時に集計や内訳作成作業が完了しており効率的な検討が可能となる。集計部品の中には、電力やガスや油などを燃料別・用途別・昼夜別に1次エネルギー消費量に換算しながらリアルタイムで積算値をグラフ表示するモジュールを用意した。図2は GraphRealtimeConsumptionBarPrimaryEnergyUse Module により作成した蓄熱システムの出力例である。この例は日積算であるが、時間積算、月積算、年積算での作成も可能である。各計算ステップの計算結果データのファイル保存が必要ない場合には、大幅な計算時間の短縮に有効な集計部品モジュールである。

確認表示部品群はリアルタイムで計算中の結果をグラフ表示するもので、モジュールとして用意した。

1.3.3 条件指定部品群

条件指定部品群は、主に機器モジュールに接続する境界条件を設定する時に使用するモジュールである。BEST-P は建物全体のエネルギー消費量を算出するプログラムとして開発されているが、設備システムのある部分を切出した部分シミュレーションも可能である。例えば、熱源部分だけ、空調機1系統のみ、さらに冷温水コ

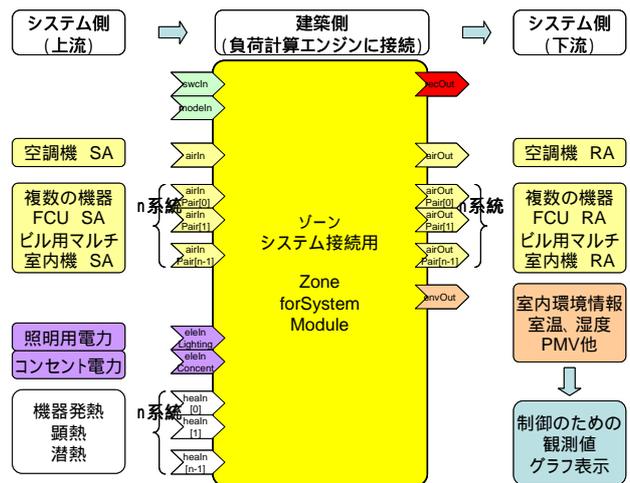


図1 ゾーンシステム接続用モジュールのノード図 (ZoneforSystemModule)

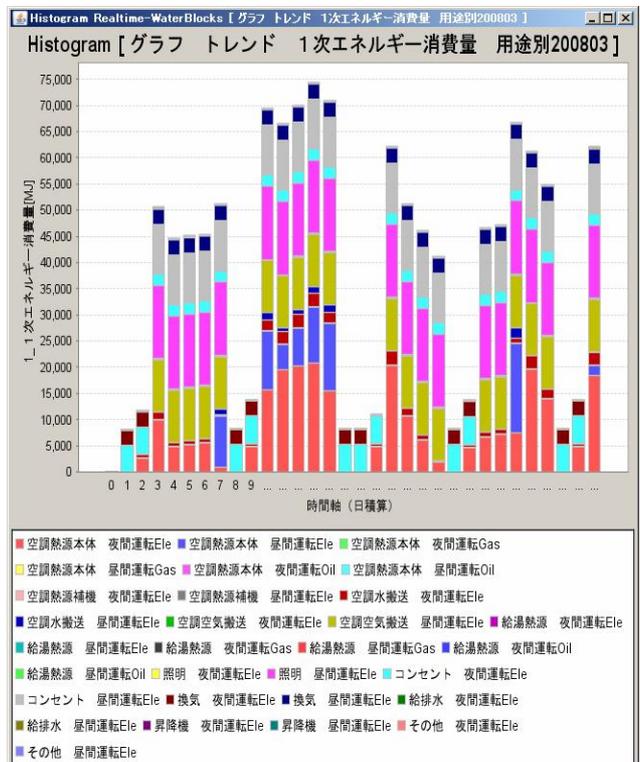


図2 集計部品により作成されたグラフの例
イルモジュール1個のみなど、その対象範囲には制限がなく計算が可能である。この時に、条件指定部品群のモジュールを接続し境界条件を与える。

固定条件の媒体モジュール

固定条件の水モジュールおよび固定条件の空気モジュールは、ユーザーが指定した温度、湿度、質量流量の値をもつ空気や水を BestAir クラス・BestWater クラスの形でインスタンスを作成し、airOut、watOut ノードを介して引渡すものである。年間計算を意識した冷房時や暖房時の検討にも使えるよう、固定条件を2種類 (例えば ConstantWater2ModeModule) 3種類 (例えば ConstantBrine3ModeModule) 設定できるモジュールを

用意している。図3に固定条件の2 mode の BestWater クラスの仕様をセットする入力ダイアログを示す。このモジュールの入力例では、mode1 が冷却時で 12℃、mode 2 が加熱時で 40℃、質量流量は共に 1000g/s の 2 次側還り冷温水を設定したものである。モジュールの入力側 modeIn ノードの値により出力値を切替えることが可能である。図4は ConstantWater2ModeModule のノード図である。このモジュールは入口側ノードとして swcIn、modeIn、出口側ノードとして recOut、watOut を備えている。swcIn はスイッチ信号の入力で、機器の運転等の on/off 指示を受取る。modeIn は運転や動作モード信号の入力で、冷暖房シーズンや動作モードを受取る。このモジュール例では、modeIn 信号が “ 1 ” の時は冷却時の 12℃ 1000g/s の冷水を、“ 2 ” の時は 40℃ 1000g/s の温水を出口側 watOut ノードから出力する。

気象データと連動した外気モジュール

外気モジュールは、気象データから外気温度、湿度を讀込み BestAir クラスの形でインスタンス化した空気である。空調機器モジュールと同様に、外気も一つのモジュールとして作成している。図5に外気モジュール (OutsideAirModule) の仕様入力ダイアログ、図6にノード図を示す。この外気モジュールは、気象データの生外気 (airOutOA) と、図5の入力ダイアログでユーザーが乾球温度については常時 + 2℃ にするとした補正外気 (airOutOArevised) の 2 種類の出力ノードを備えている。通常は生外気 (airOutOA) を接続して使用する。補正外気は、密集したビル用マルチ室外機のショートサーキットの状況、クールチューブ通過後の外気、ヒートアイランドや地球温暖化の平均気温の上昇などの影響を簡易的に計算する場合の利用を想定して用意した。外気モジュールは複数作成して空調システムモデルに組み込み使用が可能である。500mを超える超高層ビルなどでは、外気取入部の地上高さに応じた温度差を反映した外気モジュールを用意することで、新たな省エネシステムの開発の可能性につながる。外気 OutsideAir と排気 airOutEA を組み合わせると、複数建物からの給排気の相互影響を考慮した街区などの面的検討にも応用できる。

2. 制御モジュールの階層構造

制御モジュールは、空調システムで一つではなく、階層的に使える複数の制御モジュールを作成している。制御機能や制御対象別に下位レベルの制御モジュールを構築し、これらの複数の下位レベルの制御モジュールを連携制御させるための中間レベルの制御モジュールを考え、さらに機器群や建物全体の制御を調整する上位の制御モジュールを作成している。

制御モジュールは自律分散的制御の構築法を基本としてモジュールを作成している。実際のものに例えるとプ



図3 固定条件モジュールの仕様入力ダイアログの例 (ConstantWater2ModeModule)

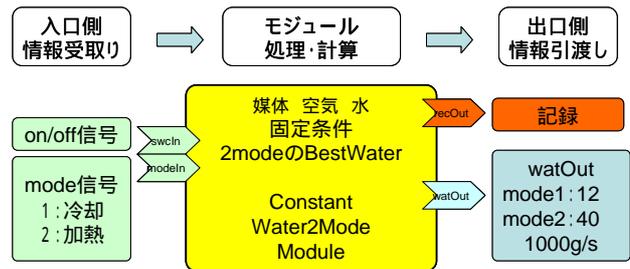


図4 ConstantWater2ModeModule のノード図

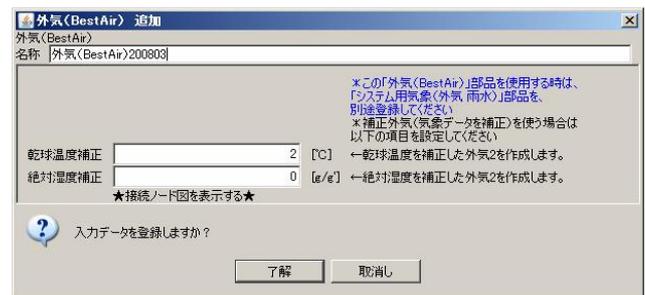


図5 外気モジュール (OutsideAirModule) の仕様入力ダイアログ

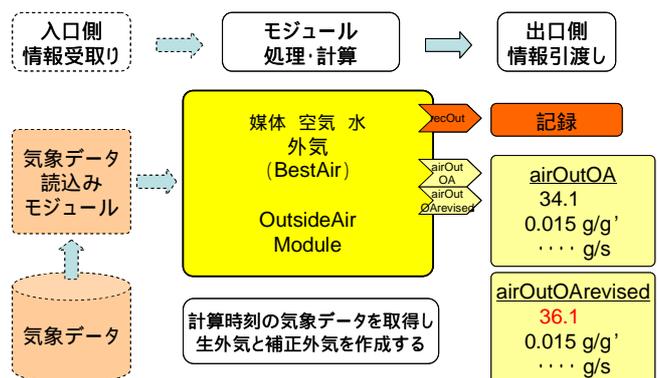


図6 OutsideAirModule のノード図

ログラブルコントローラを階層および機能別に設計しておき、上位系がダウンしても下位のローカルコントローラだけで最低限の運転制御が可能となるように制御系を構築する方法である。熱源系の制御を例に制御モジュールは上位系から、中央監視盤的モジュール、熱源台数制御モジュール、熱源制御モジュールを図7のように階層的に接続して使用する。この場合、熱源制御モジュール

ルだけでも計算は可能である。また、上位系からの指示ではなく、自身の設定による単独制御も可能としている。

- ・熱源廻りのModule構成
 - 2次側還りヘッダ
 - 流量拡大
 - 熱源還りヘッダ
 - 冷温水ポンプ（2台）
 - ボイラー（真空温水ヒータ）
 - 熱源送りヘッダ
 - 流量縮小
 - 2次側送りヘッダ
 - 熱源制御（2台）
 - 台数制御（2台用）
 - 中央監視盤

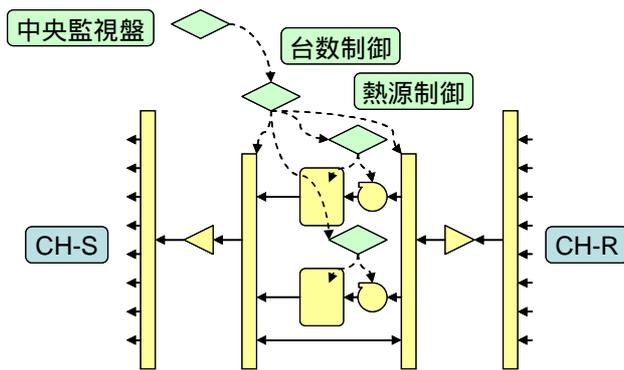


図7 制御の階層構成の例 熱源廻りの台数制御

表2 デフォルトの計算順序の例

デフォルト順番	モジュール分類	モジュール名	モジュール部品名
2000	空調基本モジュール	StopAndRunModule	Stop and Run.csv
3000	空調基本モジュール	CheckPrintModule	計算結果の記録の指定200803.csv
10000	空調システム	SystemWeatherModule	システム用気象(外気,雨水).csv
105000	空調機 ss	OutsideAirModule	外気 ss(BestAir)200803.csv
105000	空調熱源まわり	OutsideAirModule	外気 (BestAir)200803 No1HP.csv
105000	空調熱源まわり	OutsideAirModule	外気 (BestAir)200803 No2HP.csv
110000	空調システム	ControlMEPAModule	中央監視 (MEPA簡易版)200803.csv
1000000	空調機 ss	ZoneForSystemModule*	ゾーン ssシステム接続用200803.csv
2101100	空調システム	ConstantWater2ModeModule	固定条件2modeのBestWater200803.csv
2101100	空調システム	ConstantWaterModule	固定条件のBestWater200803.csv
2113000	空調機 ss	ControlAHUModule	空調機CAV ss空調機制御CAV200803.csv
2120000	換気設備	ControlAHUModule	便所湯沸し換気ファン制御 空調機制御CAV200803.csv
2140000	空調機 ss	OACHamberModule	空調機CAV ssOAチャンバー200803.csv
2151000	空調機 ss	PIDVelocity2ModeObserveAirModule	空調機CAV ss冷温水コイル PID制御2mode (観測対象BestAir)200803.csv
2152000	空調機 ss	Valve2WModule	空調機CAV ss冷温水コイル 2方弁200803.csv
2153000	空調機 ss	ControlHSModule	空調機CAV ss冷温水コイル200803.csv
2161000	空調機 ss	PIDVelocity2ModeObserveAirModule	空調機CAV ss加湿器 PID制御2mode (観測対象BestAir)200803.csv
2162000	空調機 ss	Valve2WforCWModule	空調機CAV ss加湿器 2方弁 (給水CW専用)200803.csv
2163000	空調機 ss	SprayModule	空調機CAV ss加湿器200803.csv
2170000	空調機 ss	FanModule	空調機CAV ssSAファン200803.csv
2180000	換気設備	FanModule	排気ファン 各階便所.csv
2180000	換気設備	FanModule	排気ファン 各階湯沸し.csv
2180000	換気設備	FanModule	排気ファン 空調機機室.csv
2180000	換気設備	FanModule	給気ファン 空調機機室.csv
2400000	空調熱源まわり	PipeT_nIn1OutModule	配管 2次側還りヘッダ(入口n 出口1 バイパス出口なし).csv
2450000	空調熱源まわり	WaterFlowRateEnlargeModule	配管BestWaterの質量流量拡大200803.csv
2460000	空調熱源まわり	Control2UnitsOperatingModule	熱源台数制御(2台用)200803.csv
2470000	空調熱源まわり	Pipe_nIn2OutByInModule	配管 熱源入口側ヘッダ(入口1 出口2 バイパス入口あり).csv
2480000	空調熱源まわり	ControlHSModule	No1 熱源制御200803.csv
2480000	空調熱源まわり	ControlHSModule	No2 熱源制御(簡易制御)200803.csv
2500000	空調熱源まわり	ControlTSSSimpleModule	水蓄熱制御(簡易制御)200803.csv
2500000	空調熱源まわり	PumpModule	No1 1次ポンプ200803.csv
2500000	空調熱源まわり	PumpModule	No2 1次ポンプ200803.csv
2500000	空調熱源まわり	ThermalStratificationStorageTank20080215	水蓄熱槽(連結完全混合 温度成層)200803.csv
2500000	空調熱源まわり	Valve3WforSTModule	蓄熱槽2次側 3方弁(蓄熱槽用)200803.csv
2500000	空調熱源まわり	Valve3WforSTModule	蓄熱槽熱源側 3方弁(蓄熱槽用)200803.csv
2600000	空調熱源まわり	HeatPumpChillerModule	No1 熱源 ヒートポンプチャラー200803.csv
2600000	空調熱源まわり	HeatPumpChillerModule	No2 熱源 ヒートポンプチャラー200803.csv
2680000	空調熱源まわり	PIDVelocity2ModeObserveWaterModule	蓄熱槽2次側 PID制御2mode (観測対象BestWater)200803.csv
2680000	空調熱源まわり	PIDVelocity2ModeObserveWaterModule	蓄熱槽熱源側 PID制御2mode (観測対象BestWater)200803.csv
2730000	空調熱源まわり	Pipe_2In1OutByOutModule	配管 熱源出口側ヘッダ(入口2 出口1 バイパス出口あり).csv
2750000	空調熱源まわり	WaterFlowRateReduceModule	配管BestWaterの質量流量縮小200803.csv
2800000	空調熱源まわり	PipeT_nOut1InModule	配管 2次側送りヘッダ(入口1 出口n バイパス出口なし).csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	EV 動力盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	空調 コンセント分電盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	空調 換気 動力盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	空調 照明 分電盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	空調動力 合計 動力盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	空調機器(基準階) 動力盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	空調機器(基準階) 動力盤200803.csv
2950000	空調機器 動力盤	DistributionBoad_nOut1InModule	衛生 給排水 動力盤200803.csv
3100000	衛生設備	HMWaterLoadSecondModule	給排水負荷200711.csv
3200000	衛生設備	HMGraVityTankModule	高層水櫃200711.csv
3300000	衛生設備	HMPumpCWModule	給水ポンプ200711.csv
3400000	衛生設備	HMReceivingTankModule	受水櫃200711.csv
3500000	衛生設備	Valve2WforCWMainMeterModule	m0711Valve2WforCWMainMeterModule.csv
3600000	衛生設備	HMWasteWaterPitModule	汚水 排水櫃200711.csv
3600000	衛生設備	HMWasteWaterPitModule	雑水 排水櫃200711.csv
9000000	空調機 ss	GraphRealTimeAirHistogramModule	グラフ ssヒストグラム (BestAir).csv
9000000	空調機 ss	GraphRealTimeZoneEnvModule	グラフ ssトレンド (ZoneEnv)200803.csv
9000000	空調機器 動力盤	GraphRealTimeConsumptionBarPrimaryEnergyModule	グラフ トレンド 1次エネルギー消費量200803.csv
9000000	空調機器 動力盤	GraphRealTimeConsumptionBarPrimaryEnergyUseModule	グラフ トレンド 1次エネルギー消費量 用途別200803.csv
9000000	空調熱源まわり	GraphRealTimeWaterBlocksBarModule	グラフ 水蓄熱槽プロファイル (WaterBlocks)200803.csv
9000000	空調熱源まわり	GraphRealTimeWaterModule	グラフ 2次側還りトレンド (BestWater)200803.csv
20000000	空調基本モジュール	AirSystemControl	空調記録.csv

3. モジュールの計算順序

BEST-P では収束計算をせず、計算時間間隔を短く取った上で単純にモジュールを順次計算する方法を採用している。この場合モジュールの計算順序が問題となる。基本的にはモジュール間を接続する媒体の流れに沿った計算順序となる。入口側の接続媒体がすべて更新された後にモジュール自身の計算を実行し出口側接続媒体の情報を更新して下流側へ引渡す手順となる。

現在のバージョンではデフォルトの計算順序を部品に設定しておき GUI がその数値で昇順に並べる方法としている。表2にデフォルトの計算順序の例を示す。この中のデフォルト順番 2151000と2161000は同じPID制御モジュールを使うが、制御対象が違うので異なるデフォルトの計算順番を与えている。なお、計算順序はGUIからユーザーが並べ替えることが可能としている。

4. まとめ

BESTの空調シミュレーションで使用する空調モジュールについて、標準で用意している空調モジュールの概要を紹介し、特徴あるモジュールの使用法、制御モジュールの階層構造、計算順序について説明した。

計算順序については継続して検討する予定である。

【謝辞】本報は、(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 開発普及事業研究会(村上周三委員長)」ならびに「アーキテクチャー検討部会(坂本雄三部長)、建築・空調設備作業部会(石野久彌部長)、クラス構想WG(石野久彌部長)、クラス構想WG(石野久彌部長)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。クラス構想WG名簿(順不同)主査:石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員:一ノ瀬雅之(東京理科大学)、内海康雄(宮城高専)、郡公子(宇都宮大学)、長井達夫(東京理科大)、羽山広文(北海道大学)、上田博嗣(大林組)、木下泰斗(日本板硝子)、後藤裕(三機工業)、菟田英晴(鹿島建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、平林啓介(新日本空調)、松村一誠(清水建設)、渡邊剛(NTTファシリティーズ)、協力委員:瀧澤博(元鹿島建設)、菅長正光(自営)、二宮博史、國吉敬司、篠原奈緒子(以上、日建設)、オプザバー:野原文男(日建設)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参考文献

- 1) 長井・村上・石野・野原・二宮・助飛羅・柳井: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16)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2029-2032、2007.9