

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145）

平成25年省エネ基準対応ツールの1次エネルギー消費量の計算方法と特徴

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 145)

Outline of Primary Energy Consumption Calculation Method of  
BEST for energy-conservation standards(2013)

正会員 〇二宮 博史（日建設計）

特別会員 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 野原 文男（日建設計）

技術フェロー 長谷川 巖（日建設計）

正会員 飯田 玲香（日建設計）

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

Fumio NOHARA \*<sup>1</sup> Iwao HASEGAWA \*<sup>1</sup> Reika IIDA\*<sup>1</sup>

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

\*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation \*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University

This paper presents the outline of primary energy consumption calculation method of BEST for energy-conservation standards(2013). Taken up mainly related to air conditioner control method and shown some calculation exsamples and explained those numerations and features.

## はじめに

本報では BEST 平成 25 年省エネ基準対応ツール（以後ツールと称す）の 1 次エネルギー消費量の計算法とその特徴を説明する。コージェネシステム、蓄熱システム、蓄電池および機器特性については、既報・続報でふれているのでここでは空調機に関わる各種制御をとりあげ、計算例を示しそれらの計算法と特徴を説明する。

## 1. 空調機の制御にかかわる計算法の特徴

BEST の空調システム計算の冷温水コイル二方弁の流量制御や VAV ユニットの送风量制御、パッケージ室内機の容量制御、加湿器の給水量制御などには、PID 制御モジュールを用いて制御対象の状態値を観察しそれが目標値となるように各種操作量を調整するフィードバック制御を採用している。実際の制御では数十秒単位で調整が繰り返されるが、ツールでは計算時間間隔の 5 分毎に行う。目標値で安定するまでには数ステップの調整が必要で、空調運転開始から室温が安定するには 30 分から 1 時間程度（5～10 計算ステップ）を必要とする。負荷や機器の運転環境の変動により乱れることがあるがフィードバック制御を繰り返して目標値となるように調整している。このため、空調時間帯が常に設定温湿度となるわけではなく、設定値の近傍で変動した状態となる。

負荷に対して設備容量が過大な機器で計算すると発停を繰り返すハンチング状態となり、室温も上昇下降を繰り返す。逆に設備容量が不足する場合は負荷を処理でき

ず冷房時であれば室温が上昇する結果となり、適正に設計されたものに比べてエネルギー消費量は小さく計算される。BEST の 1 次エネルギー消費量はこのような状況下で計算したものである。負荷が処理されたかを確認するには室温の状態などを別途見る必要があり、今後の改良項目となっている。

### 1.1 空調機冷温水コイルの二方弁流量制御

本ツールの空調機として CAV 方式と VAV 方式の制御関連モジュールの構成を図 1 と図 2 に示す。システムゾーンの熱負荷を処理するための冷温水コイルの制御方法は CAV 方式と VAV 方式とで異なる。

CAV 方式の熱負荷処理のための冷温水コイル二方弁制御は、空調機への還り空気の乾球温度を観察し、これが目標値となるように二方弁の流量を操作する。送風系統に複数のゾーンがある場合はこれらの平均的な室温を観察し、この平均的な室温が目標値となるように制御する。これに対して VAV 方式の場合は、空調機の送風乾球温度を観察し、これが設定値となるように冷温水コイル二方弁の流量を操作する。CAV 方式の目標値は冷房時 26℃、中間期 24℃、暖房期 22℃である。一方 VAV 方式の目標値は、ユーザーの入力値を採用し、例えば送风量を送風温度差 10℃で設計した場合は冷房時 16℃、暖房時 32℃となる。

VAV 方式の送風温度目標値は送風系統の VAV ユニットの送風状況に応じて補償を行っており、負荷が減少し VAV ユニットの送风量が最小风量となった場合に見直しを実施する。冷房時は送風温度目標値を少し上げ、暖房時は下

げている。逆に VAV ユニットの送風量が最大風量となった場合は、冷房時は送風温度目標値を少し下げ、暖房時は上げています。ただし、この送風温度補償には上下限を設定しており、ユーザーが入力した冷暖の送風温度を冷房時の下限値、暖房時の上限値とし、冷房時の上限値は室温目標値と同じ 26℃、暖房時の下限値は室温目標値と同じ 22℃としている。

図 3 に CAV 方式の RA 温度と室温の変動の例を示す。RA 温度が 26℃となるように制御されているが、室温はインテリアが低くペリメータが高い温度となっている。図 4 に VAV 方式の SA 温度と室温の変動の例を示す。SA 温度は 16℃で制御されて送風している。東に面したペリメータの 3 室が午前中に負荷を処理できず室温が高めで変動している。このように、CAV 方式と VAV 方式では、二方弁流量の制御方法や条件が違う。このため、処理する熱量も違う結果となる。能力不足の場合は室温が設定室温にはならないことがあり、連成計算により室の温度変化として次の計算ステップに反映されている。

外調機では、送風温度が設定室温となるように空調機の送風温度を観察し冷温水コイルの二方弁流量を操作する。送風温度（設定室温）はシーズンで固定としており CAV 方式の目標値と同じである。

## 1.2 空調機の加湿制御

加湿に関しては、空調機の還り空気湿度を観察し、加湿用二方弁の給水量を操作する。加湿は暖房時のみ行う設定としている。図 5 は空調機構成モジュールの空気温度の変化を示している。加湿後に乾球温度が下がるが、VAV 方式の暖房時の送風温度制御は、この温度降下後の送風温度が目標温度となるように、冷温水コイル二方弁流量を操作している。図 5 の計算例では加湿能力 5L/h より 15L/h の方の温度降下が大きく、還気の相対湿度も高い。この場合、加湿に必要な温水熱量も異なることになる。

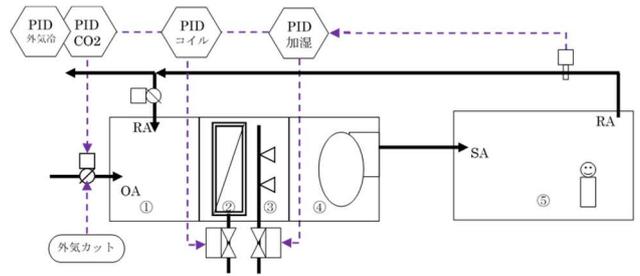
## 1.3 空調機の外気カット制御

予冷予熱時の外気カットが採用されている場合は、1 日の空調運転スケジュールの最初の運転開始から 1 時間は外気を導入しない運転としている。現在のツールでは外気カット時間を 1 時間に固定としている。

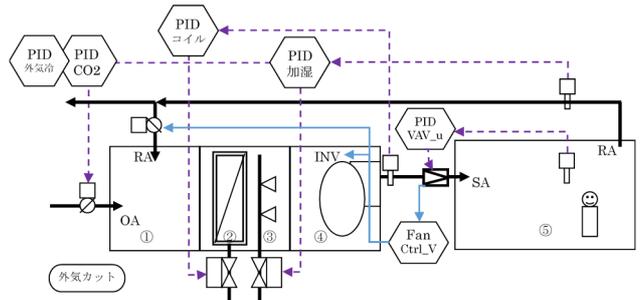
## 1.4 空調機の外気冷房制御

外気冷房の採用が有りの指定で、外気冷房時用の外気風量が入力されている時に、外気状態値が適用条件範囲内であれば外気冷房制御を行う。外気冷房の適用条件の判断方法としてエンタルピー、顕熱、露点温度からの選択ができる。各適用判断方法の条件は表 1 の通りである。

導入する外気風量の操作は、空調機への還り空気の状態値を観察し、室目標温度となるように外気冷房時用の外気量に対して導入量を操作する。外気冷房の導入外気量の操作量が 1（最大導入量）に満たない場合は、冷温水コイルの二方弁流量制御は機能せず、流量は 0 である。



①RA/OA 混合チャンバー ②冷温水コイル ③加湿器 ④給気ファン ⑤空調ゾーン  
図 1 CAV 空調機の制御関連モジュールの構成



①RA/OA 混合チャンバー ②冷温水コイル ③加湿器 ④給気ファン ⑤空調ゾーン  
図 2 VAV 空調機の制御関連モジュールの構成

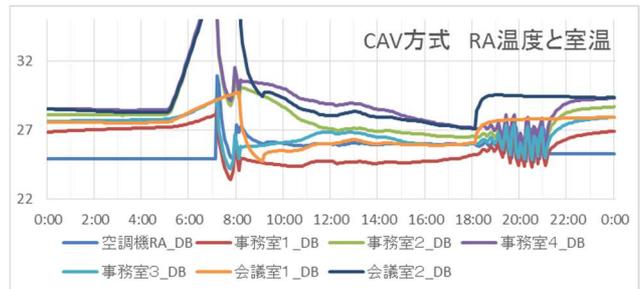


図 3 CAV 空調機の RA 温度と室温の変動（8月10日）

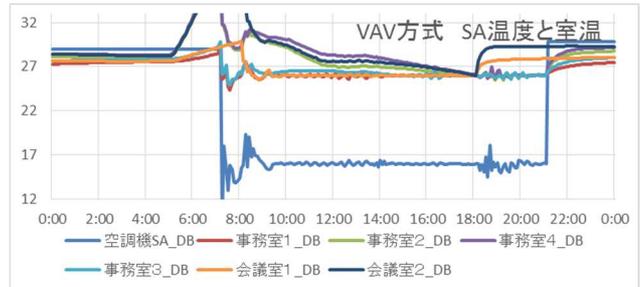


図 4 CAV 空調機の RA 温度と室温の変動（8月10日）

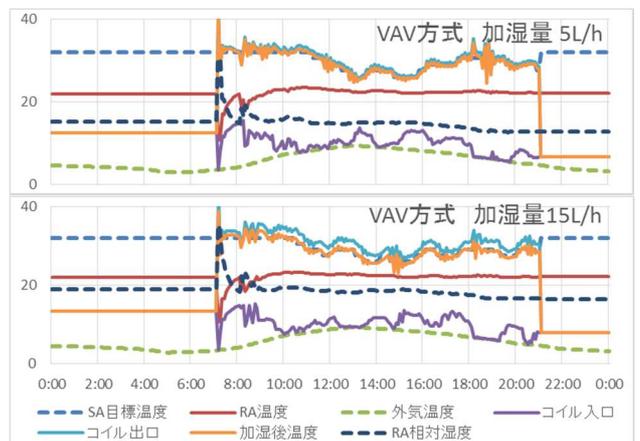


図 5 VAV 空調機内の空気温度の変化（2月2日）

外気導入量の操作量が1に達すると、外気冷房だけでは負荷を処理できないので冷温水コイル二方弁流量制御が機能し冷温水流量が調整され流れる。このように、外気冷房と冷温水コイル二方弁流量制御は連係動作を行っている。また、負荷が小さく外気導入量の操作量が最小となった場合でも、外気カット時間帯を除き空調運転時間中は最小外気風量を導入するように計算している。VAV方式で送風量が絞られた場合も同様で、最小外気風量の導入を行っている。

### 1.5 空調機のCO2制御

表2にCO2濃度の計算法を示す。外気のCO2濃度は400PPMで固定、在室する人からのCO2発生量は代謝量の関数として扱い、それに在室変動パターンを考慮した在室人数をかけたものを使用している。隙間風および燃焼器具など人以外からのCO2は計算対象外としている。そのため空調停止から再起動までの間は、在室人数のCO2発生量が加算されCO2濃度が上昇する。空調停止時で人がいない場合は、CO2濃度は変化しない計算としている。

CO2制御は、空調機の還り空気のCO2濃度を観察し外気導入量を操作している。CO2濃度の目標値は900ppmに設定している。CO2制御の操作量は最小外気量に対して適用している。CO2濃度に余裕がある場合は外気導入量を減らし、目標値を超える場合の外気導入量は最小外気量が上限となる。外気冷房用から増大可能であっても最小外気量を超える導入量に調整されることはない。

VAV方式のCO2制御のあり・なしの時のCO2濃度変化の計算例を図6に、その時の送風、室人数を図7に示す。CO2制御なしの時の外気量は最小外気量の1433g/sが導入されてRAのCO2濃度は650~700ppmで変動している。CO2制御ありでは、RAのCO2濃度が目標値の900ppmとなるように外気量は716~1433g/sで変動しており、この日の外気導入量はCO2制御なしに対して約半分であった。

### 1.6 空調機の運転スケジュール他

ツールでは室用途別に空調運転スケジュールが予め設定されている。空調機系統に異なる用途の室が接続されている場合、合成した運転スケジュールで運転する。ユーザーが作成した運転スケジュールで計算することも可能で、デフォルトで設定されている運転スケジュールと計画室用途のものが大きく違う場合はこの機能を使用するとよい。

熱源機器の機器特性では運転可能条件もチェックしており、これを外れた場合は運転が停止し冷温水の製造ができない。また、機器容量が負荷に対して不足する場合は所定の温度で供給ができない。このような場合、空調機の冷温水コイルでは本来の熱処理ができず、室温は設定値を満たせず上昇し(冷房時)次の計算ステップの処理すべき負荷が増加する。適切に負荷処理できたものと比較するとエネルギー消費量が小さい結果となる場合がある。

表1 外気冷房の適用条件

適用判断方式	上下限の設定値
乾球温度	上限 26°C 下限 13°C
比エンタルピー	上限 54J/g' 下限 26J/g'
露点温度	上限 DB 26°C 0.0095g/g' 下限 DB 13°C

表2 ゾーンのCO2濃度計算の方法

ゾーンのCO2濃度の計算

Mhum : 人からのCO2発生量[g/s]  
 Q : ゾーンへのSA[g/s]      Csa : SAのCO2濃度[g/g]  
 Cz : ゾーンのCO2濃度[g/g]      Vz : ゾーンの空気質量[g]  
 Ci : ゾーンの開始CO2濃度[g/g]      met : エネルギー代謝率  
 Lhum : 人からのCO2発生量[L/h人]→式(1-2)  
 fco2(met) : metからCO2発生量[L/h人]を求める式→式(1-3)

ゾーンのCO2の収支から

$$(Mhum + QCsa - QCz)dt = Vz dCz$$

$$\rightarrow \frac{dCz}{dt} + \frac{Q}{Vz} Cz - \frac{Mhum + QCsa}{Vz} = 0$$

これより

$$f(t) = \left( Ci - Csa - \frac{Mhum}{Q} \right) e^{-\frac{Q}{Vz}t} + Csa + \frac{Mhum}{Q} \quad \dots(1-1)$$

$$Lhum = \text{人数} \times \text{在室率スケジューラ} \times fco2(met) \quad \dots(1-2)$$

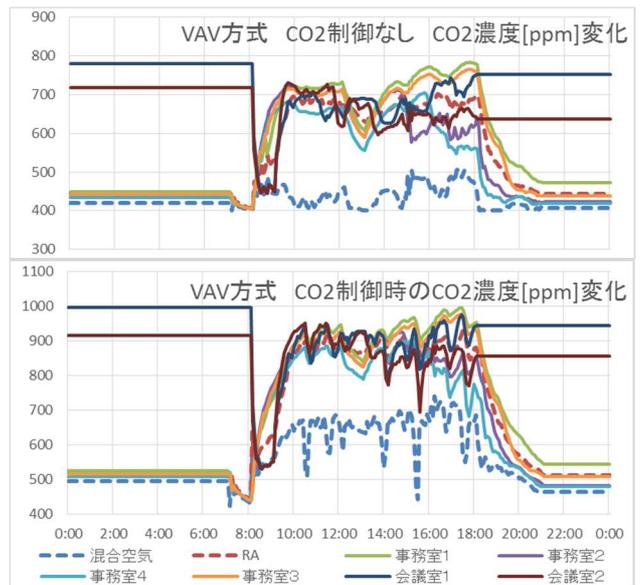
$$fco2(met) = 0.4489 \times met \times met + 15.64 \times met \quad \dots(1-3)$$


図6 CO2濃度の計算例 (VAV方式: 制御あり/なし)

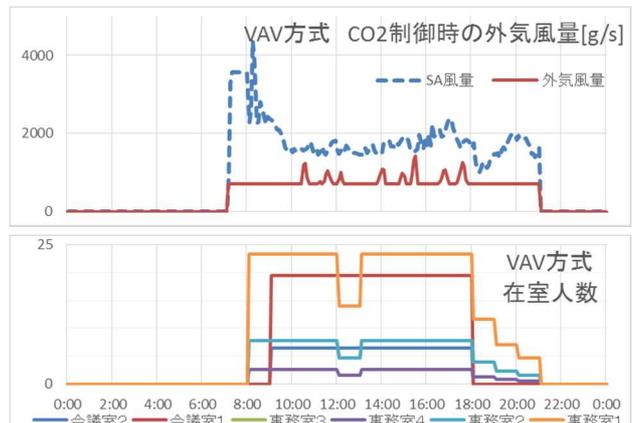


図7 CO2濃度の計算例 制御時の外気風量と在室人数

## 2. 空調機の制御とエネルギー消費量の計算例

CAV と VAV 方式の空調機について、説明した制御手法の採否や容量を変化させるなど、表3に示す建物モデルと空調ケースについて計算を行った。空調の年間1次エネルギー消費量と処理熱量の計算結果を図8に示す。基本計算では VAV 方式の空気搬送消費電力が減る一方、熱源の処理熱量が増え熱源主機の消費電力が増えている。

表3 建物モデルの概要と空調比較計算ケース

立地場所	東京			
建物用途 規模	事務所 地上5階 約6,200 m <sup>2</sup>			
外壁、窓	外壁 RC 熱貫流率 0.98W/m <sup>2</sup> K 窓 単板透明フロート 8mm 窓面積率 40% 内壁 軽鉄間仕切り 熱貫流率 2.49W/m <sup>2</sup> K			
平面、ゾーン用途		面積 m <sup>2</sup>	人 人/m <sup>2</sup>	SA 風量 CMH
	①会議室1	77.8	0.25	2000
	②会議室2	25.9	0.25	700
	③事務室1	233.3	0.1	6000
	④事務室2	77.8	0.1	2000
	⑤事務室3	77.8	0.1	2000
	⑥事務室4	25.92	0.1	700
	⑦ロビー	51.8	0.03	1300
空調機 (基本)	98kW 200L/minm 冷温水コイル4列 SA=14800CMH minOA=4300CMH 送風温度差 10℃ 加湿器 5 L/h 外気カット・外気冷房・CO2 制御なし			
空調比較計算ケース CAV 方式 VAV 方式 に共通	コイル6列、8列、加湿器 10L/h、15L/h 外気カットあり、外気冷房あり、CO2 制御あり、 外気カット+CO2 制御、外気冷房+CO2 制御、 外気カット+外気冷房+CO2 制御、送風温度差 14℃、風量削減、+列数8列			

複数の外気処理手法を採用した場合の削減量は、単独採用時の削減量の単純合計とはならないことがわかる。

## 3. まとめ

BEST平成25年省エネ基準対応ツールの空調機の各種制御の計算法を説明し、1次エネルギー消費量の計算法と特徴について説明した。制御手法により処理熱量が変化すること、設備容量が過大だと機器の運転停止や制御量にハンチングが発生すること、過少だと目標値を満たせず室温変動などへ反映されるなど、各所でフィードバック制御を用いた計算を行い、かつ連成計算を行っているBESTの計算方法の特徴を計算例とともに説明した。

【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コンソーシアム」・「BEST企画委員会(村上周三委員長)」、統合化WG(石野久彌主査)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 省エネ基準対応ツール開発委員会名簿(順不同) 委員長：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、幹事：長谷川巖(日建設計)、委員：島岡宏秀、笠原修(大林組)、佐藤正章、菟田英晴(鹿島建設)、田岡知博(コンパス)、佐藤誠、辻丸のりえ(佐藤エネルギーリサーチ)、矢川明弘、新武康(清水建設)、加藤美好、横井睦己、大木泰祐(大成建設)、中里博美(ダイケンエンジニアリング)、高井啓明、芝原崇慶(竹中工務店)、柳井崇、品川浩一(日本設計)、田中祐輔、茂呂幸雄(三菱地所設計)、野原文男、丹羽勝巳、二宮博史、小林弘造、飯田玲香(日建設計) 事務局：生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)

【文献】1) 二宮他 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121) 改正省エネ基準対応ツールのプログラムの構成 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集2013.9  
2) 二宮他 建築総合エネルギーシミュレーションツールBEST における空調PID制御モジュールのパラメータの調整に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.171, pp.31-40, 2011

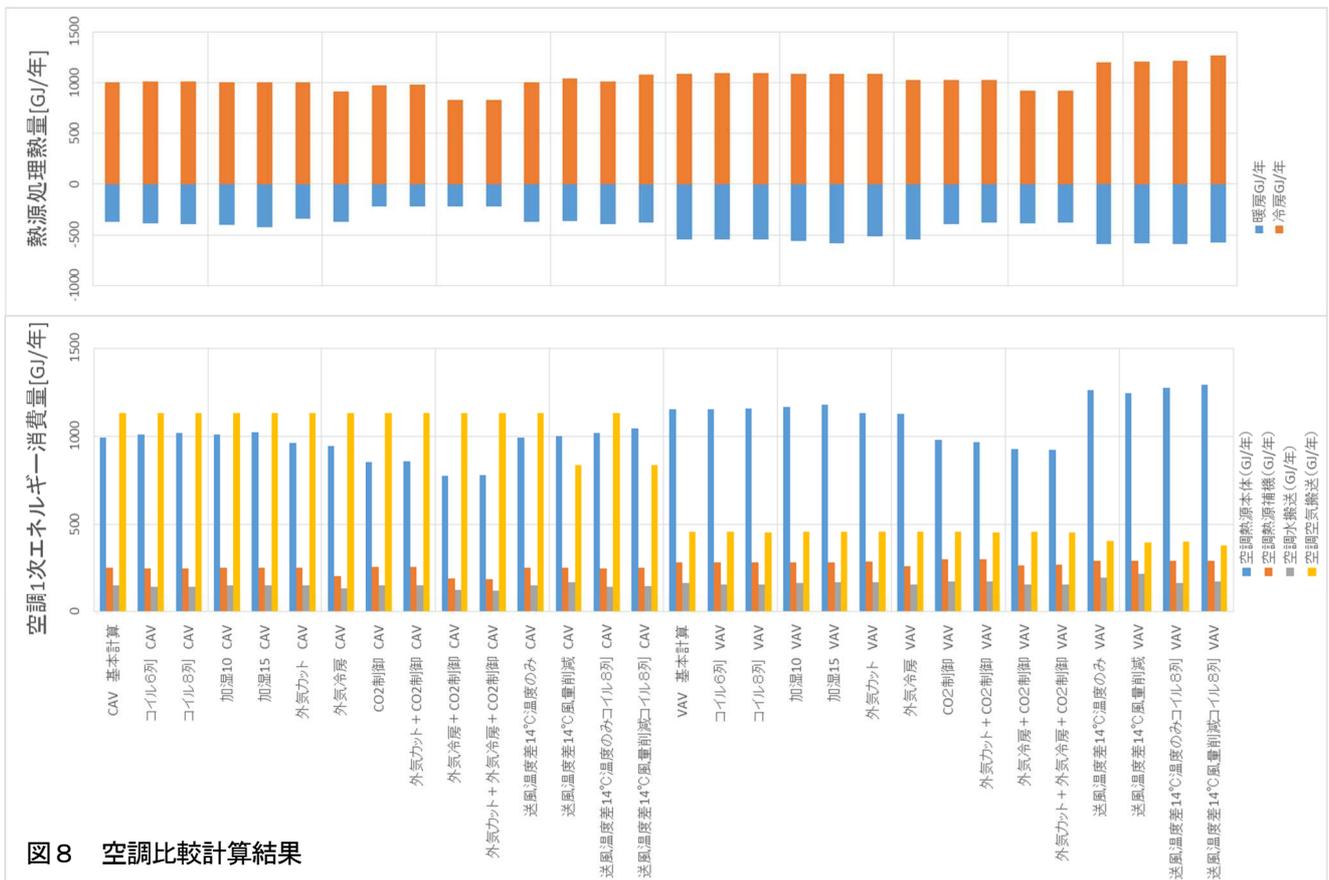


図8 空調比較計算結果