

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 240）
 運用段階のコミッショニングにおける BEST の有効利用に関する事例的検討
**Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
 the BEST (Part 240)**
A Case Study on Effective Use of the BEST in the Operational Commissioning

技術フェロー ○野原文男（日建設計総合研究所） 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（首都大学名誉教授） 正会員 牧村功（名細環境・まちづくり研究室）
 技術フェロー 郡公子（宇都宮大学教授） 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） 正会員 川津行弘（日本設計）

Fumio NOHARA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³ Isao MAKIMURA*⁴

Kimiko KOHRI*⁵ Iwao HASEGAWA*⁶ Reika IIDA*⁶ Yukihiro KAWAZU*⁷

*¹ Nikken Sekkei Research Institute *² Institute of Building Environment and Energy Conservation

*³ Tokyo Metropolitan Univ. *⁴ Naguwashi E & TP Lab. *⁵ Utsunomiya Univ.

*⁶ Nikken Sekkei *⁷ Nihon Sekkei

This report shows that the data of the BEST created for the building permission can be effectively used for the performance verification of building equipment at the operational phase. To confirm this, we have done some trial calculations in an actual prefectural government's office building where the detailed commissioning of the air-conditioning systems had been carried out. As a result, it was shown that not only the energy saving effect related to the operation improvement measures can be quantitatively grasped but also the influence on the indoor environment can be predicted. It can be said that we can make a convincing energy-saving proposal based on the simulation to building owners and operation managers.

はじめに

本年 4 月に BEST 省エネ基準対応ツール（以降、本文中においては、BEST プログラムの呼称から“BEST”を省略し、「」のみで表現する）が建築物省エネ法における“エネルギー消費性能を適切に評価できる方法”として認められた。建築物省エネ法は、建設分野における脱炭素化の取り組みを加速し、パリ協定を遵守する上で重要な位置づけにある。建設分野における脱炭素化は容易ではない。だからこそ、この分野の専門家である、我々、建築設備技術者への期待は大きい。この期待に応えるためには、これまでの枠を超えた取り組みが必要と筆者は考える。その枠とは、建築物省エネ法が求める“建築物のエネルギー消費性能を適切に評価する能力”に他ならない。

本報では、設計段階から「平成 25 年省エネ基準対応ツール」を用いて建築確認申請を行った長崎県庁舎の事例を元に、脱炭素化に向けた運用段階における設計ツールの活用方法について試算例で示した。

1. 計算対象とした事例

1.1 建築・設備概要と申請時のエネルギー消費量

表 1 に建築概要、表 2 に空調設備概要を示す。

表 1 建築概要¹⁾

建物名称	行政棟	議会棟
建築面積	12,532 m ²	
延べ面積	46,718 m ²	6,699 m ²
階数	地上 8 階	地上 5 階
構造	RC 造	RC 造
建設地	長崎県長崎市	

表 2 空調設備概要²⁾

熱源設備	ターボ冷凍機	703kW × 2
	空冷モジュールチラー	118kW × 12
	冷温水機	1407kW × 1
	水冷ヒートポンプチラー	31kW × 1
	冷水蓄熱槽	1000 m ³
空調方式	外気調和機 + 空調機	
	外気調和機 + FCU	

この建物では「平成 25 年省エネ基準対応ツール」を用いて申請時のエネルギー消費の計算を行っている。当時の計算結果を表 3 に示す。

表3 申請時の基準値^{※1}と設計値

	基準値[MJ/m ² 年] ^{※1}	設計値[MJ/m ² 年]
空調	760	445
換気	135	94
照明	364	201
給湯	41	55
コンセント	237	237
効率化設備	0	-12
合計	1536	1019

※1: ベースラインビル法で計算されている

1.2 コミッショニングプロセスの対象、目標値、設定根拠¹⁾²⁾

表4に本建物におけるコミッショニング対象とその目標値、設定根拠を示す。

表4 コミッショニング対象と目標値、設定根拠

対象	目標値 [MJ/m ² 年]	設定根拠
建物全体	810	九州地区の官公庁庁舎の 平均値×0.6
空調+換気	320	建物全体×0.4

表3、表4を比較して分かるように、申請時のエネルギー消費の設計値とコミッショニングの目標値は大きく乖離している。この理由は、申請時の計算はあくまでも申請建物のエネルギー消費性能を調べるために設定された条件（建物の利用時間や照明やOA機器などの内部発熱など）が実際よりも大きいことが理由として考えられる。

2. 設計ツールを用いた運用コミッショニング

2.1 申請用データから設計用データへの変換

「平成25年省エネ基準対応ツール」や本年4月にリリースされた「省エネ基準対応ツール」、あるいは「設計ツール」には、データを外部ファイルに排出（エクスポート）したり、外部ファイルを読み込んだり（インポート）する機能がある。これらの機能を自在に使うことで、設計⇒申請⇒運用の各段階でBESTプログラムを最大限に活用することができる。

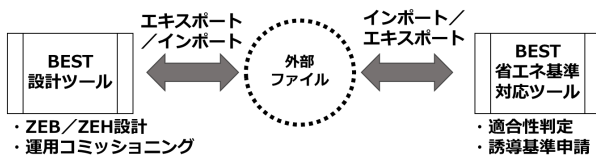


図1 データ変換のイメージ

2.2 運用実態に合わせたエネルギー消費量予測

参考文献4)、5)には計算対象事例における室内環境

の実測結果や空調設備に関する運用実態の記載がある。これらに加えて、専有部における照明やコンセントの電力量の実測値などを新たに入手し、設定温湿度や運用時間、内部発熱など申請に使用した数値の見直しなどを行い「設計ツール」で再計算を行った。結果を図2に示す。図2には、本事例のエネルギー消費の実績値（2019年）を合わせて示した。なお、図中の設計ツール再計算結果における「その他」は、給湯、昇降機、給排水の他に厨房や自販機、外灯、変圧器ロスなど多様なエネルギー消費や損失の合計であり、これらについてはBESTで計算することもできるが、今回は実績値をそのまま借用した。

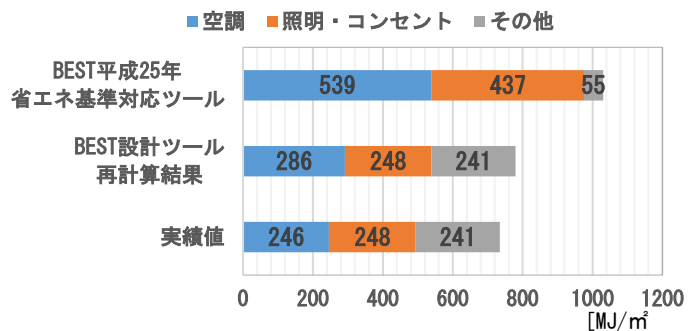


図2 建物全体の一次エネルギー消費量

図2から、「設計ツール」の再計算結果は、空調の計算値が実績値を40[MJ/m²年]上回るものの、実態を良く模擬できたと考えた。「設計ツール」による計算値が実績値を上回る原因としていくつか考えられるが、最も大きなものとして次の二つを挙げることができる。

- ① 計算では、会議室や応接室などの室利用率を100%としている（人員や照明は空調時間帯において常に100%）
- ② 「設計ツール」では再現できない熱源台数制御が採用されているほか、2年に亘る性能検証によるきめ細かいチューニングが施されている

上記の②については「設計ツール」でも再現できるようにすることがプログラム開発の今後の課題と言える。①については利用率を仮定し、実績値に近づくことを確認することもできるが、本報の目的は「設計ツール」のコミッショニングにおける活用方法を示すことにあり、概ねの再現性を確認できたことから、基本となる計算条件をFIXし、検討を先に進めることにした。

3. 運用のコミッショニングにおけるBESTの活用方法

自動制御などの設定値を決める際に、省エネルギーと同時に快適性を保てるかどうか気になるところである。特に運転管理者にとって、省エネルギーよりも苦情のないことの方が重要であり、省エネには理解を示したとしても、一度定めた設定値で問題が発生し無い限り、省エネだけを目的に設定値を変更する動機にはならない。そこ

で、「設計ツール」を用いて設定値の変更によるエネルギー消費や室内環境に及ぼす影響を事前に予測し、その結果を定量的に示すことが出来れば、運転管理者の理解を得ることが出来、運用段階のコミショニングにBESTを活用できると考え、試算を行った。

3.1 外気調和機の給気温度設定変更

外気調和機の給気温度の設定は設計者にとって悩ましい問題である。本事例でもコミショニング課程で試行錯誤して決めている。特に、本事例では潜顕熱分離空調を標榜し、表2に占めすように外気調和機システムを全面的に採用しているため、最適な給気温度の設定は重要なテーマである。「設計ツール」で試算した本事例の外気調和機と空調機の処理熱量の割合を図3に示す。なお、この試算では外気調和機の給気温度は冷房時13℃、暖房時18℃としている。

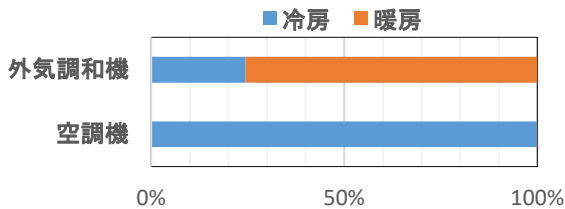


図3 代表的な外気調和機と空調機の処理熱量の比較

図3から以下のことが分かる。

- 1) 外気調和機の処理熱量は暖房が卓越している
- 2) 本事例の空調機は、外皮負荷が別途FCUによって処理されていることからほぼ100%が冷房運転になっており、外気調和機との役割分担が明確になっている

外気調和機の給気温度はエネルギー消費に大きな影響を及ぼす。そこで暖房時の給気温度を変化させた時のエネルギー消費量について調べた。結果を図4に示す。

一方で、給気温度によっては室内環境を悪化させることが容易に想定される。そこで、暖房時の給気温度を15℃に設定した時の室内環境への影響について調べた。結果を図5、図6に示す。

室内環境については、代表的な6階の事務室と会議室、

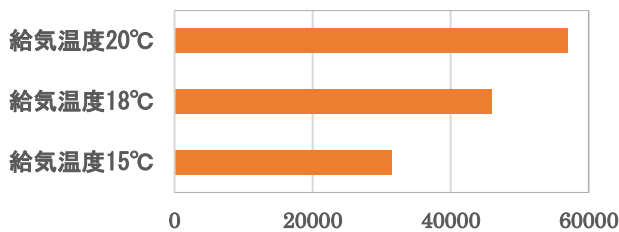


図4 代表的な外気調和機の給気温度と暖房コイル負荷熱量 [MJ/年]

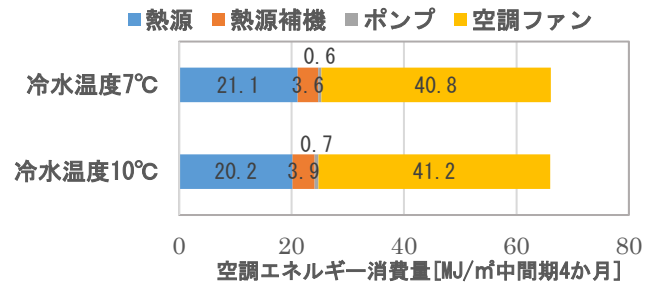


図6 冷水温度による中間期の空調エネルギー消費量比較

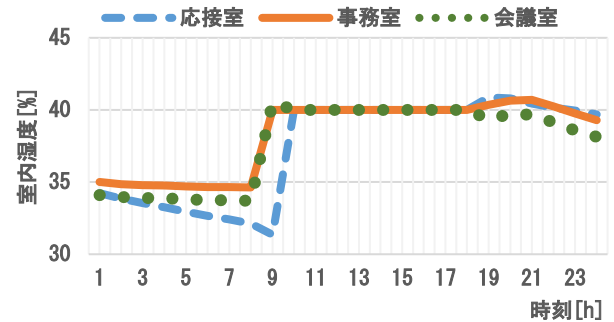


図6 冬(1/23)の代表的な部屋の湿度変動

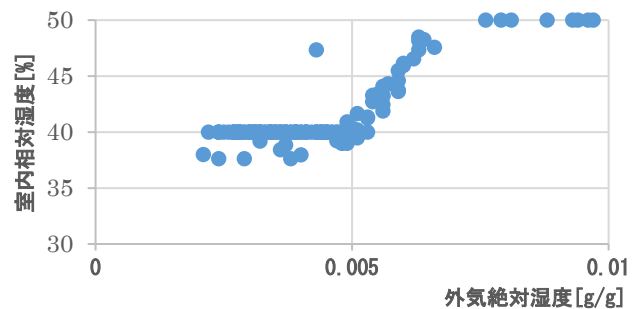


図7 1月の外気絶対湿度と室内湿度の関係

4階の特別応接室の三つの用途の部屋で調べた。結果を図5、図6に示す。これらの図を見ると、1月で最も寒い23日でも空調時間帯の温度、湿度はそれぞれ22℃、40%程度に維持されていることが分かる。念のため1月の空調時間帯における外気絶対湿度と室内相対湿度の相関を調べた。その結果を図7に示す。時折、40%を下回ることがあるが、これは空調の立ち上がり時の一時的なもので、室内負荷(発熱)が一定以上あれば外気調和機の給気温度を15℃にしても室内環境は確保できることが分かる。

3.2 中間期における冷水温度の緩和

中間期において冷凍機の出口水温を緩和できれば冷凍機のCOPが向上することから熱源の省エネを期待できる。その一方で、ポンプ動力やファン動力への影響や、快適な室内の温熱環境が維持できるかが懸念される。そこで「設計ツール」を用いて、これらの事象について確認した。図8に中間期において冷水温度を7℃から10℃に変更した場合のエネルギー消費の試算結果を示す。

図8から明らかなように、中間期に熱源の冷水出口温度を7℃から10℃に緩和すると、熱源は21.1[MJ/m²

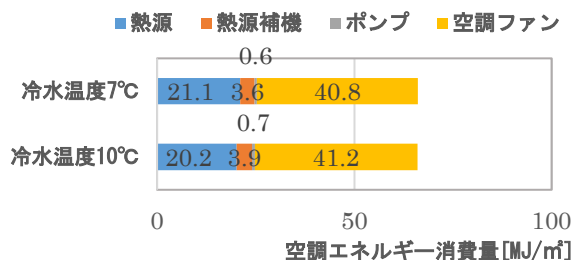


図8 冷水温度による中間期の空調エネルギー消費量比較

から 20.2[MJ/m²年]に減り、4%程度の省エネになるが、その一方で、熱源補機やポンプ、空調ファンのエネルギー消費が増える結果となり、結果的に中間期における冷水温度の緩和による省エネ効果は 1%未満になってしまうことが確認できる。これは、本事例の場合、外気冷房が上手く機能しているか、あるいは、高効率冷凍機が中間期の冷房負荷(部分負荷)を効率よく処理していることなどを理由として挙げることができる。

さらに、仮に、中間期の冷水温度緩和を実施した場合の室内環境に及ぼす影響について、先と同じ代表的な事務室、会議室、応接室で確認したところ、日中の外気温度が 25°Cを超える夏日においても 24°C程度に室温は維持できていることを確認できた。紙幅の関係で図は省略する。

3.3 熱源の月別COP

参考文献5)に月別の熱源機器群の平均 COP (ここでは一次エネルギー換算値)の実績値が報告されている。「設計ツール」においても詳細データ出力機能を用いて、データ分析することで同等の値を求めることが出来る。結果を図9に示す。図中には参考文献に掲載されている2018年のCOP実績値を併せて示した。この結果を見ると次のような興味深いことが分かる。

- 暖房期(1月から3月、12月)のCOPは実績値の方が試算値よりも良い(=大きい)
- 冷房期(4月~11月)においては8月を除き、試算

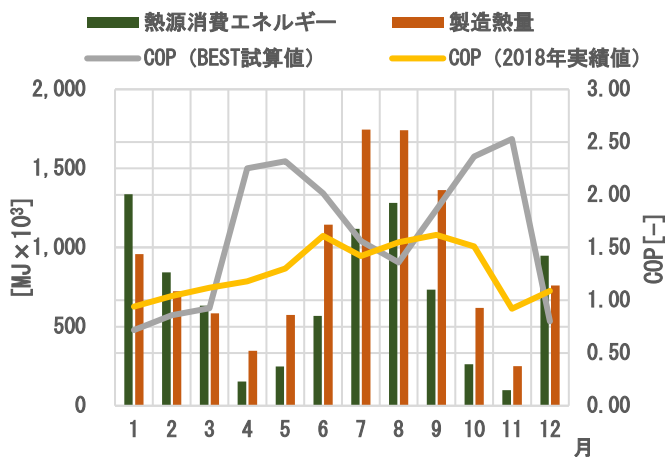


図9 月別の熱源グループCOP[-]

値のCOPの方が実績値よりも良い(=大きい)。特に中間期(4月、5月、10月、11月)のCOPは、実績値よりも試算値の方がかなり良い

試算値の方が実績値よりも好結果になっている場合は、特に注意が必要である。何故なら、試算値は理想的な運転、つまり Fault の無い運転を前提に求めた結果だからである。つまり、このような結果になった場合は、運用実態側に Fault が無いか?計測計量値に誤りはないか?などの疑問を持たないといけない。本事例は、部分負荷効率に優れ、冷却水温度によっては二次換算 COP で 20[-]を超える省エネ性能のインバータターボ冷凍機を主な冷熱源としている。したがって、中間期のCOPは夏期よりも良くなると考えられ、その点において試算値の方がその傾向を表しており、確からしい可能性がある。

その反面、試算値の方が実績値を下回る場合(図9では冬期)は、プログラム開発側にとっては、改良に結び付ける機会に恵まれたと考えるべきである。即ち、何故、実際の事象を模擬できなかったのか?どうすれば模擬できるのか?を考え、改善する契機になる。

おわりに

BESTを用いて設計から申請に活用し、さらには、コミショニングを実施した事例が今年の空気調和衛生学会大会にて報告された。この事例を利用させて頂き、運用段階におけるBESTの活用方法について、想定ではあるが試算を通じて具体的に示すことを試みた。こうした試算と実測の突合せ作業は、BESTプログラムの開発者にとっても、また、BESTの利用者にとっても大変に有意義と考える。BESTサポート委員会では、ユーザーからの質問に答えることに加え、こうした試算を通して、ユーザーに対して積極的に幅広い利用方法のアイデアを提供していきたいと考えている。以上

参考文献

- 高屋、官庁施設におけるコミショニングプロセスプロセス適用に関する実証的研究(第1報)、空気調和衛生工学会学術講演論文集、pp. 269、2019.9
- 白土、官庁施設におけるコミショニングプロセスプロセス適用に関する実証的研究(第2報)、空気調和衛生工学会学術講演論文集、pp. 273、2019.9
- 湯澤、官庁施設におけるコミショニングプロセスプロセス適用に関する実証的研究(第3報)、空気調和衛生工学会学術講演論文集、pp. 277、2019.9
- 近藤、官庁施設におけるコミショニングプロセスプロセス適用に関する実証的研究(第4報)、空気調和衛生工学会学術講演論文集、pp. 281、2019.9
- 山田、官庁施設におけるコミショニングプロセスプロセス適用に関する実証的研究(第5報)、空気調和衛生工学会学術講演論文集、pp. 285、2019.9