

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102）

BEST と CFD との連成解析に関する基礎的検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part102)

Basic Study for Coupled Simulation of CFD Analysis and the BEST

正会員 ○飯田 玲香（東京日建設計） 技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）

正会員 白石 靖幸（北九州市立大学） 正会員 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）

Reika IIDA*¹ Hisaya ISHINO*² Yasuyuki SHIRAIISHI*³ Hiroshi NINOMIYA*⁴ Shuzo MURAKAMI*⁵*¹Tokyo Nikken Sekkei *²Tokyo Metropolitan University *³The University of Kitakyushu *⁴Nikken Sekkei*⁵Institute for Building Environment and Energy Conservation

The analysis in consideration of both sides of air-conditioning and indoor environment becomes important in order to evaluate the energy conservation performance in regard to air-conditioning system. In this study, outline of coupled simulation of CFD analysis and the BEST was shown. And the importance of this coupled simulation was verified by comparison with calculation by the BEST.

はじめに

空調システムシミュレーションツールの多くは、室内空気の温湿度などの環境要素を1質点として計算しており、特に温度分布の差が顕著となる局所空調や天井高の大きな空間における計算では、予測精度に問題があることが懸念されてきた。

空調システムシミュレーションツールと CFD の連成に関する研究は今までもいくつか行われてきており、TRNSYS や HVACSIM+等との連成解析により、実現象の再現性の高さ¹⁾や最大負荷時のコイル処理熱量の差異による設計段階における有効性²⁾等が示されている。BEST は空調以外にも照明や換気等を含めた統合的なエネルギーシミュレーションを行えることが特徴的であり、BEST と CFD との連成解析には多様な可能性が考えられる。本報では、BEST と CFD との双方向連成手法の概要を示し、その基礎的な検討として BEST 単独計算と、BEST で算出した結果を CFD の境界条件とする一方向連成解析を行い、室内環境に関する両結果を比較する。

1. 双方向の連成解析手法の概要

BEST では、BEST の建築側で昼光利用制御の照明計算やコンセント負荷の計算、気象データの読み込み等を行っている。そのため、連成解析においても、BEST の建築側で計算した内部発熱や外気条件などの条件を CFD の入力条件として計算を行う。

連成解析のフローを図-1 に示す。尚、BEST については、建築側と設備側を分けて示す。まず、時間ループ開始前に CFD では建物形状や外皮条件等の設計条件、BEST では空調システムや設定温湿度等の設計条件や、内部発熱等のスケジュールを設定する。また、それぞれ初期条件を設定する。

時間ループが開始されると、BEST の建築側は、気象条件を読み込んで内部発熱や室温を算出し、BEST の設備側は、1 サイクル目において還気温度や室温等を初期条件として空調の吹出温度や風量等を算出する。また、CFD は、これらの算出結果を境界条件として室温分布や還気温度等を算出する。次のサイクルでは、BEST の建築側と CFD は1 サイクル目と同様であるが、BEST の設備側では、前のサイクルで算出した CFD の還気温度等のデータを入力条件として計算を行う。尚、連成解析では BEST の建築側で算出された室温は利用しない。

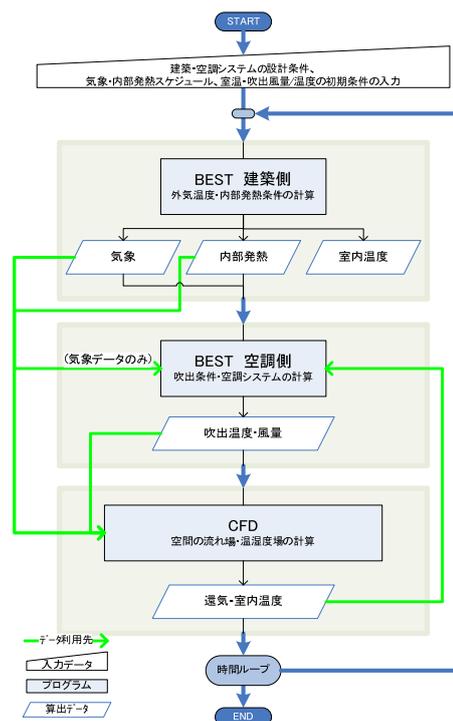


図-1 連成解析のフロー

2. BEST から CFD への一方向連成解析

一方向連成では、初めに BEST 単独計算を行い、時刻別の吹出温度や風量、外気条件及び内部発熱を算出する。次に BEST の結果を CFD の解析条件として与え、室内温熱・空気環境の計算を行う。

2.1 対象建物の概要

解析対象室は、東京都の地上 14 階建ての階高 4m、天井高 3.75m の基準階をモデル化したものである(図-2)。東西面が全面ガラス窓、北面は外壁、南面は廊下に面する内壁である。建物条件を表-1 に示す。空調はソックダクトから給気し、南側天井より還気する。

空調機は、西ペリメータ、インテリア、東ペリメータの各ゾーンに 1 台ずつ設置し、それぞれ VAV により制御する。また、温度補償制御により、負荷が小さい場合は、吹出温度を制御する(図-3)。

2.2 BEST 単独計算の概要及び結果

気象条件には、拡張アメダス気象データを用い、1 年間の計算を行った。尚、計算時間間隔は BEST の建築側・空調側ともに 1 分とする。ゾーン間での換気は行わず、それぞれ隙間風は 0.2 回/h とする。BEST 単独計算の夏期 (8/22) 及び冬期 (1/31) の空調時間帯の結果を図-4,5 に示す。但し、計算結果は、1 時間毎に結果を平均化したものを示す。

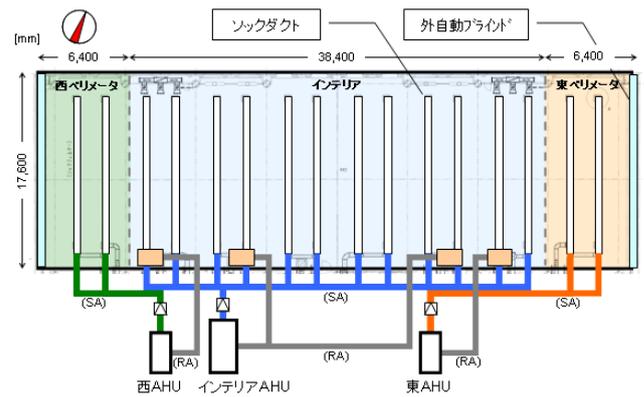


図-2 解析対象室

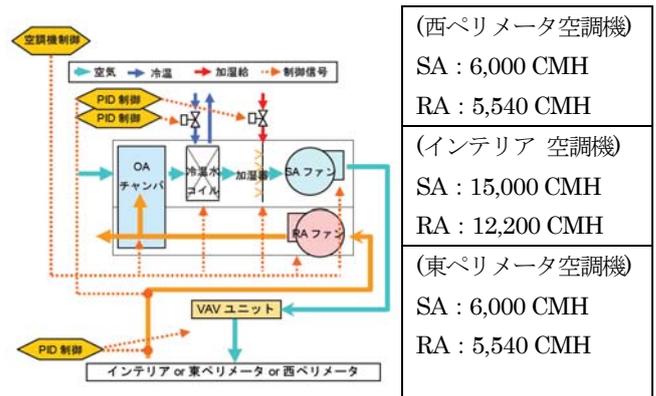


図-3 空調機の概要及びファンの定格風量

表-1 建物概要

外皮条件	外壁	熱貫流率: 0.87W/m ² K、石こう板 22 mm+非密閉中空層+吹付硬質ウレタン 20 mm+PC コンクリート 150 mm
	窓	熱貫流率: 2.6W/m ² K 熱透過率: 0.042、ブライド [®] +複層ガラス [®] 熱吸 [®] ロス [®] (淡色)+透明 6 mm
内部発熱	照明	発熱量及びスケジュールは図-2.3 を参照 昼光利用: 作業面高さ: 0.75m、床反射率: 0.2、窓反射率: 0.5、壁反射率: 0.4、天井反射率: 0.7、スラット標準角: 45° 調光条件: 設定照度: 750lx、照明発光効率: 100lm/W、照明器具効率: 0.8、照明保守率: 0.75、照明列数: 5 列、調光照明列数: 3 列、照明列間隔: 2m
	人体	発熱量 0.15 人/m ² 、スケジュールは省略
	機器	発熱量 0.15 人/m ² 、スケジュールは省略
	空調	設定温度: 夏期 26°C、冬期 22°C、運転スケジュール: 7:00~22:00 (外気導入は 8:00 から)

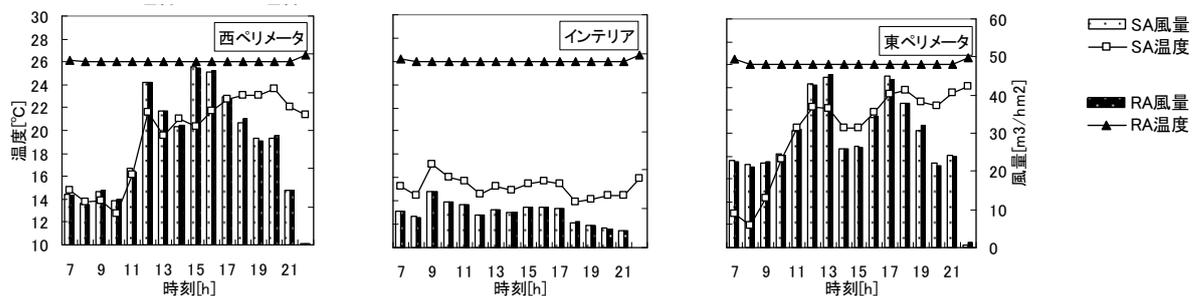


図-4 BEST による夏期 (8/22) の給気、還気風量及びそれぞれの温度の時刻変化

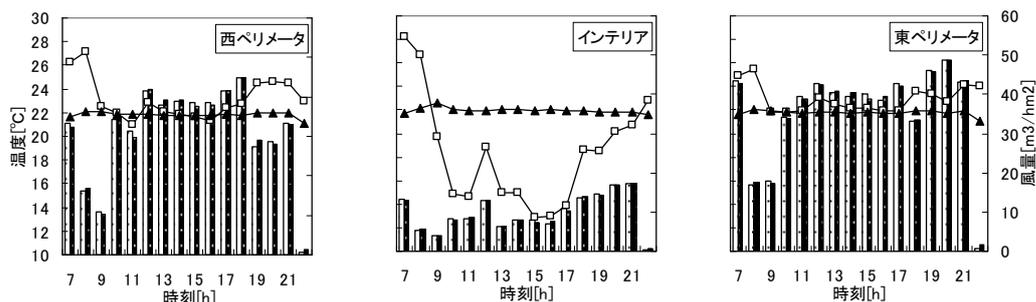


図-5 BEST による冬期 (1/31) の給気、還気風量及びそれぞれの温度の時刻変化

室温は、夏期・冬期とも設定温度となっている。温度補償制御により吹出温度が変動し、特にペリメータゾーンでは吹出温度が高い。

2.3 CFDによる一方向連成解析の概要

解析モデルを図-6、解析概要を表-2に示す。夏期(8/22)及び冬期(1/31)の2日間の空調時間帯の解析を行う。外皮性能はBEST単独計算と同様とし、外皮の日射の影響を考慮するため非定常解析を行った。尚、BEST単独計算の結果は振動がやや大きいため、図-4.5に示す1時間毎に平均化した結果を直線補完して境界条件に与えた。解析は6:00から開始し、室内の初期温度は夏期26.6℃、冬期15℃とした。

2.4 CFDによる一方向連成解析の結果

夏期、冬期におけるゾーン毎の時刻別平均温度、及び還気温度、BEST室温の結果を図-7,8に示す。

ゾーンの各時刻の平均温度と還気温度の結果を比較すると、夏期においては、東のゾーンの還気温度とゾーン平均温度では平均0.3℃程度還気温度の方が低いが、その他は殆ど差が見られない。冬期においては、どのゾーンでも0.8℃程度還気温度の方が高い。

BEST単独計算による室温の結果と比較すると、夏期、冬期ともに空調開始時から数時間の温度が大きく異なる。これはBESTの空調側で算出した境界条件を1時間ごとに平均化して与えたため、CFDでの熱負荷処理量の合計に差異が生じてしまったことが大きな要因として考えられる。また、その他の時間帯においても緩やかな変動があるが、同様のことが要因として考えられる。

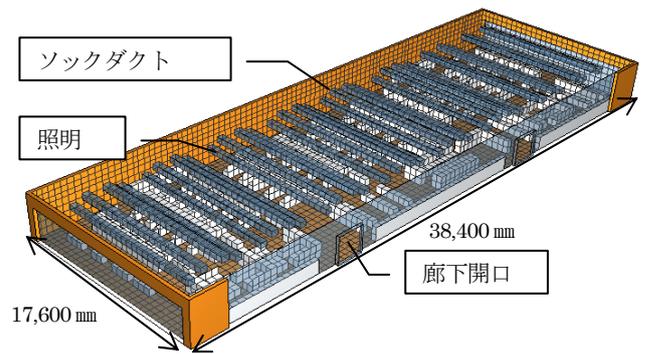


図-6 CFD解析モデル

表-2 CFD解析概要

解析	非定常解析
乱流モデル	改良 k-ε
メッシュ数	97(X)×35(Y)×7(Z)=23,765
廊下開口	表面圧力境界(=0) 流入温度：前サイクルの室平均温度
壁面境界	速度：一般化対数則 温度：対流熱伝達率(5W/m ² K)
外気条件	
計算時刻	6:00~22:00

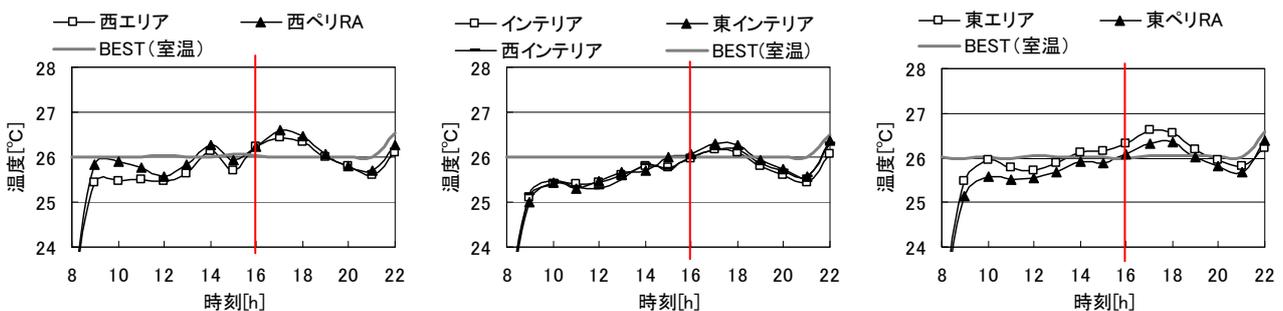


図-7 夏期のCFDによるゾーン平均温度及び還気温度の時刻変化

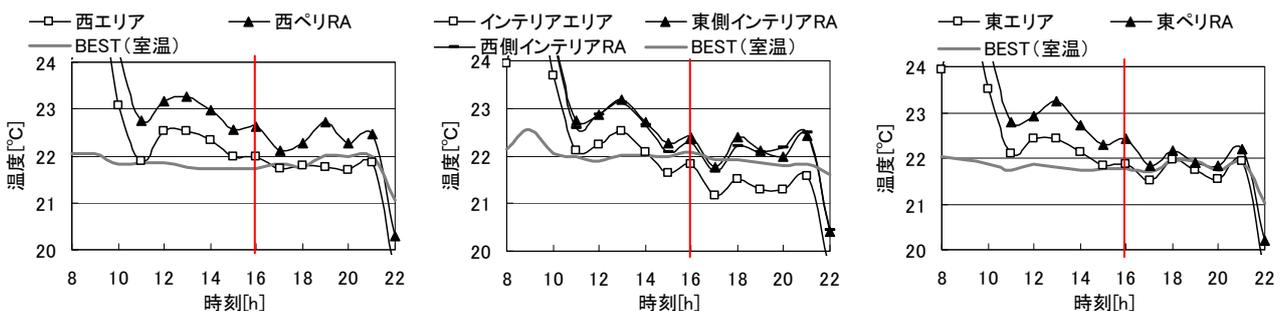


図-8 冬期のCFDによるゾーン平均温度及び還気温度の時刻変化

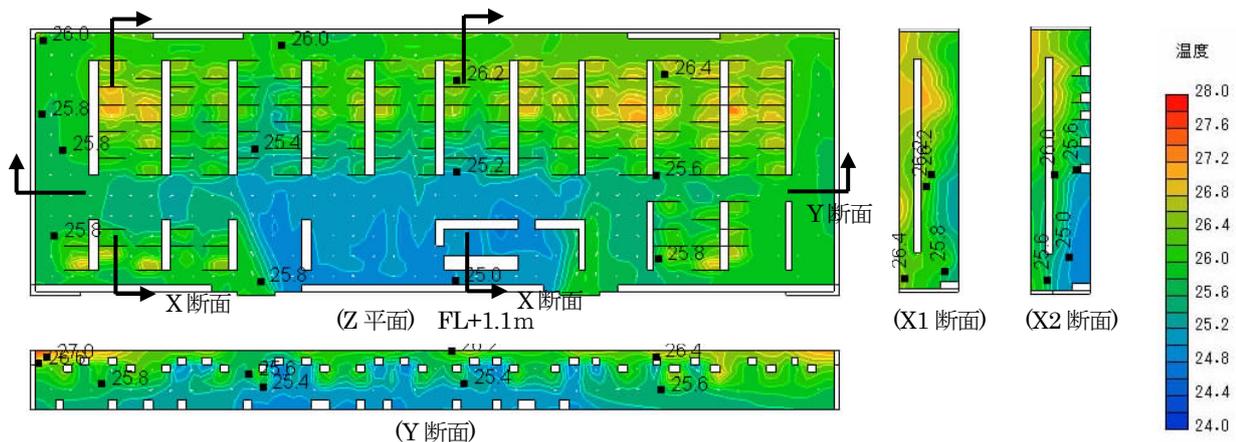


図-9 CFDによる夏期(8/22) 16:00の温度分布

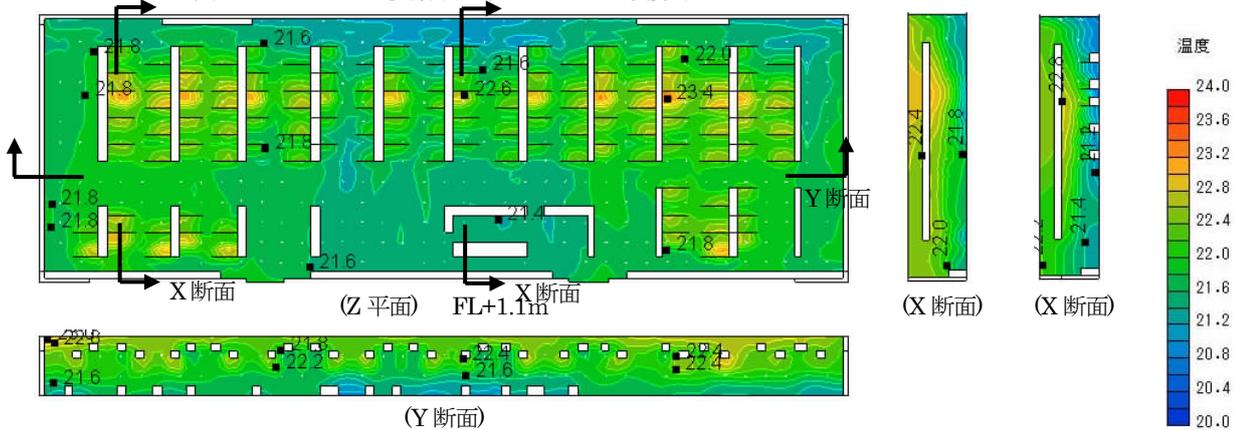


図-10 CFDによる冬期(1/31) 16:00の温度分布

CFDによる夏期、冬期の16:00における室内温熱環境の分布を図-9,10に示す。夏期は、PCや人体発熱があるデスク周辺の温度は概ね均一であるが、発熱の小さい室中央部においてやや温度が低い傾向がある。図-7に示すゾーンの平均温度と還気温度とではあまり差が見られないが、16:00はペリメータの吹出温度が高く、インテリアは低いいため、インテリア空間の温度差がより顕著に表れている。

冬期においても、デスク周辺の温度分布はほぼ均一であるが、外皮に近いエリアでは、温度がやや低い傾向がみられる。また、空調の吹出し風速が小さいことから、冬期の場合は熱気が上部にたまりやすい傾向がある。

3. まとめ

BESTで算出した1分間隔の挙動をCFDの計算では平準化して与えたため、非定常的な挙動を一致させることが出来なかった。しかし、1質点による室内環境の計算に代わりCFD解析を用いることで、上下温度分布だけでなく、水平方向での温度斑を把握する事ができ、夏期、冬期における居住域の温熱環境や快適性の不均一性を示すことが出来た。また、センサー位置や還気口の位置によっては、空調システムが全く異なる挙動を示す可能性があることを示した。

BESTは、統合的なエネルギーシミュレーションとして、室内の温熱環境や熱負荷計算との連成解析の他にも

換気や屋外環境等、様々な検討が可能である。今後は、BESTとCFDの連成解析を行うことによる熱負荷への影響と空調システム側の挙動の変化について検討を行うとともに、空調システム以外の設備システムとの連成についても検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 平川聡 白石靖幸 他, 空調システムシミュレーションとCFD連成解析による空調性能シミュレータに関する研究, 空調調和・衛生工学会論文集No. 170. 2011年5月
- 2) 近藤 順也 他, CFDと連成するシステムシミュレーションに関する研究 その2 設計段階での連成シミュレーション実施例, 日本建築学会学術講演梗概集(東北) 2009年8月

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」・「BEST 企画委員会」(村上周三委員長)および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、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。蓄熱・蓄電等検討WG名簿(順不同)主査: 柳原隆司(東京大学)、幹事: 合田和泰(蒼設備設計)、委員: 中原信生(環境システック中原研究処)、光野茂生(関西電力)、柳井崇(日本設計)、加藤伯彦、井上聡(以上、中部電力)、田中勝彦、小澤正一(以上、東京電力)、工藤良一(蒼設備設計)、鄭明傑(三晃空調)、河路友也(トーエネック)、助飛羅力(三機工業)、野原文男、二宮博史(以上、日建設計)、松原隆彦(ヒートポンプ・蓄熱センター)、事務局: 生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)、早瀬訓、岩崎由佳(以上、ヒートポンプ・蓄熱センター)。