

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 204）

## アクティブチルドビーム適用建物の熱負荷シミュレーション

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 175)

### Thermal Load Calculation of the Building with Active Chilled Beam air conditioning

正 会 員○芝原 崇慶（竹中工務店） 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 郡 公子（宇都宮大学）

Takayoshi SHIBAHARA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Kimiko KOHRI\*<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup> Takenaka Corporation \*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation

\*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University \*<sup>4</sup> Utsunomiya University

This building is a medium-sized office building built in Roppongi. High-performance glass, Fresh air control system, Active chilled beam are installed in this building. In this paper, Calculation results of heat load and indoor environment were shown for several cases such as glass type / adoption of outside air introduction control. In addition, comparison between the energy consumption calculation result and the actual value was shown.

#### 1. はじめに

BEST 専門版建築プログラムでは、外気導入制御方式として外気冷房・最小外気制御・全熱交換器の非連成計算が可能となっている。また、豊富なガラスデータベースを保有しており、高性能ガラスの評価も可能となっている。本報では、2016年3月に竣工したテナントオフィスビルをモデルとして、各種省エネ手法の効果を試算した結果を示す。

本建物は、オフィスエリアにおいてアクティブチルドビームを全面的に導入しており、パイロットフロアにおいては冷温熱使用量等を計測している。この結果と計算結果を比較することにより、さらなる省エネルギーを目指した運用方法を検討した。

#### 2. 計算対象建物概要

図1に建物外観を、表1に建築・空調設備概要を示す。本建物は、東京ミッドタウン・六本木ヒルズ・新国立美術館という3つの商業的・文化的拠点をつなぐ「六本木アートトライアングル」の中心に位置する新たなランドマークとして計画されている。ファサードは階高分の高さを持つ大判のユニットカーテンウォールで構成され、空や周囲の街並みを映し込んでいる。本建物は、事務所・物販店舗・飲食店舗・駐車場の複合用途建物であるが、事務室部分には全面的にアクティブチルドビームを導入しており、導入台数は2,000台を超えている。図2に基準階事務室におけるアクティブチルドビームの配置を、図3にオフィス内観写真を示す。3,600×3,600のモジュールに対して、アクティブチルドビームを2台、600<sup>2</sup>LED照明を4台ずつ設置している。



図1. 建物外観

表1. 建築・空調設備概要

		所在地	東京都港区六本木
建 築	延床面積	31,416 m <sup>2</sup>	
	主要用途	事務所, 物販店舗, 飲食店舗, 駐車場	
	階数	地上14階, 地下2階, 塔屋2階	
空 調 設 備	熱源	チルドビーム系統…空冷チラー+フリークーリング用冷却塔 AHU・FCU系統…空冷HPチラー	
	空調	インテリア…アクティブチルドビーム方式 ペリメータ…FCU(4管式)	
	自動制御	熱源台数制御・フリークーリング制御・二次ポンプ変流量制御・自然換気制御・外気冷房制御・外気取入量制御・変風量制御	
	BEMS	エネルギー管理 テナントサービスサーバー	

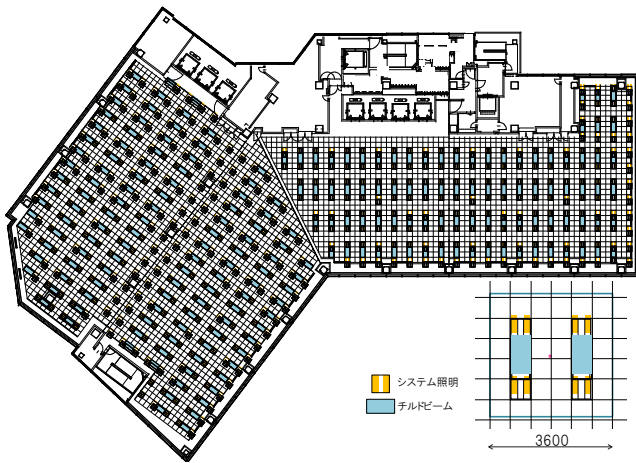


図2. 基準階事務室の天井伏図



図3. 基準階事務室内観

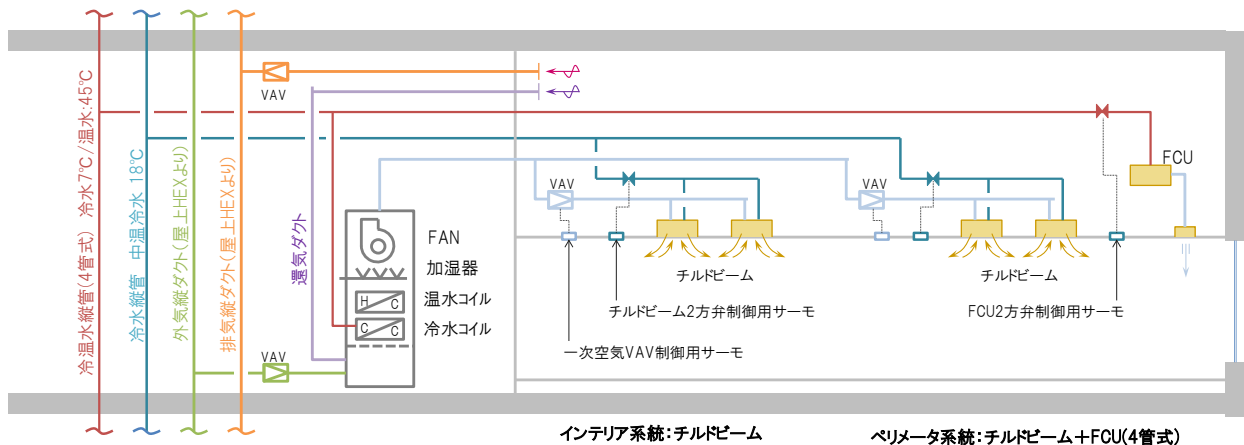


図4. 空調方式概念図

### 3. 空調方式概要

図4にアクティブチルドビーム廻りの空調方式概念図を示す。①制御単位：アクティブチルドビームは、3,600×3,600のモジュールに対し、2台ずつ設置されている。ペリメータゾーンは3,600×3,600毎、インテリアゾーンは7,200×7,200毎に冷水2方弁と一次空気系統VAVを設置している。②外気導入：屋上に設置された全熱交換器から各階の空調機に対して外気を供給している。室内CO<sub>2</sub>濃度に応じて、各階空調機への外気導入量をVAVにて制御している。なお、外気冷房が有効と判断される場合は、全熱交換器の運転及びCO<sub>2</sub>濃度制御を中止する。③チルドビームシステムの冷水2方弁とVAVの制御：1つの空調制御ゾーンに対し、2方弁とVAVの2つの調節器が存在している。空気搬送動力の低減を意図し、少負荷時にはVAVを優先的に絞る方式としている。

### 4. シミュレーション概要

表2に、主な計算条件を示す。建物形状や外気導入制御方式については実建物の計画内容を勘案し、空調条件については一般的な建物の使われ方を想定した。

今回計画では、高性能ガラスや各種外気導入制御が導入されているが、これらの仕様や採否を変更した場合の熱負荷及び室内環境のケーススタディを行った。

表2. 主な計算条件

気象	地点:東京、拡張アメダス気象データ(標準年) 計算対象ゾーン:オフィス中間階 インテリア3ゾーン・ペリメータ6ゾーン
建物	空間主要寸法:天井高2.8m、階高4.3m、ペリメータ奥行4m 外皮寸法:窓高さ2.9m、外壁高さ(天井内)1.4m 窓:高日射遮蔽型 Low-E 複層ガラス+明色ブラインド(操作方法:標準) 隙間風:ペリメータ・インテリア共に0.1回/h 家具顕熱熱容量:15J/lit・K ゾーン間換気:250CMH/m
	内部発熱(最大値):照明10W/m <sup>2</sup> 在室者0.15人/m <sup>2</sup> 、機器15W/m <sup>2</sup> 内部発熱スケジュール:BESTのデフォルト値
	空調時間:8:00~22:00、外気導入時間:8:45~22:00 週休2日
	空調設定温湿度と熱処理: 夏期(6~9月)・・・下限22℃(加熱)、上限25℃60%(冷却除湿) 中間期(4・5・10・11月)・・・下限22℃(加熱)、上限25℃(冷却) 冬期:(12~3月)・・・下限22℃50%(加熱加湿)、上限25℃(冷却) 外気導入量:5CMH/m <sup>2</sup>
外気導入制御	(外気冷房) 内外エンタルピチェック:あり 下限外気温度:10℃ 外気露点温度:上限19℃、下限0℃ 下限室温:設定なし 最大外気量:設計外気量の1.2倍(6CMH/m <sup>2</sup> 相当)
	(最小外気制御) 下限外気量比(設計外気量に対する比):0.3 (全熱交換器) 内外エンタルピ・内外温度チェック:あり 熱回収効率:全熱60%、下限外気量比:0.5

## 5. シミュレーション結果

### 5.1 ガラス種別のケーススタディ

今回計画では、表 2 に示す通り、高日射遮蔽型 Low-E 複層ガラス(と同等のガラス)を採用しているが、建築形状は変更せずガラス種類のみを変更した場合のケーススタディを行った。

図 5 に標準ケース(今回計画)の月別冷暖房装置負荷の計算結果を示す。冷房が 238[MJ/m<sup>2</sup>年]、暖房が 40[MJ/m<sup>2</sup>年]であった。ペリメータ面積は約 31%であるが、冷暖房装置負荷の観点では約 43%をペリメータの負荷が占める結果となった。

図 6 に標準ケースに対する月別冷暖房装置負荷の差を、図 7 に各ケースの年積算冷暖房負荷を示す。暖房負荷の観点では、透明+透明でも高日射遮蔽型 Low-E と同等であるが、冷房負荷の観点では大きな差が出ている。また熱反・熱吸単板ガラスは冷房負荷の観点で高日射遮蔽型 Low-E ガラスと同等であるが、暖房負荷の観点では大きな差が出ている。冷暖房積算では、標準ケースに対し、透明(単板)が 25%増、透明+透明が 24%増となった。

図 8 に夏期(8月)と冬期(2月)のペリメータゾーンにおける PMV の発生頻度を示す。空調時間帯における 6 つのペリメータゾーンの PMV 発生頻度を示している。冬期における高日射遮蔽型 Low-E では PMV=-0.4 でピークとなっているが、単板ガラスでは PMV=-0.6 程度となっており、0.2 程度の差が確認される。夏期においては、透明ガラス(単層・複層共)と 0.2 程度の差が確認される。高日射遮蔽型 Low-E ガラスの採用により、負荷を低減と室内環境の確保が実現されている。

### 5.2 外気導入制御手法のケーススタディ

今回計画では、表 2 に示す通り、各種外気導入制御(外気冷房・最小外気制御・全熱交換器)を導入している。これらの一部を採用したケースについてケーススタディを行った。

図 9 に標準ケースに対する月別冷暖房装置負荷の差を、図 10 に各ケースの年積算冷暖房負荷を示す。なお、標準ケースの月別冷暖房装置負荷は、図 5 のとおりである。

外気導入制御を何れも導入していないケースでは、8月に冷房負荷で 18.5[GJ/m<sup>2</sup>月]程度、1月に暖房負荷で 21.1[GJ/m<sup>2</sup>月]程度の差があり、年積算では 110[GJ/m<sup>2</sup>月]程度の差となり、約 40%の差が出る結果となった。今回計画では、外気を屋上から取り入れている関係で、外気冷房時の風量を大きくすることが出来ないため、外気冷房による省エネルギー効果は限定的であるが、最小外気量制御を導入することにより夏期の外気負荷を低減することに加え、全熱交換器を併用することでさらに外気負荷を低減している結果となっている。

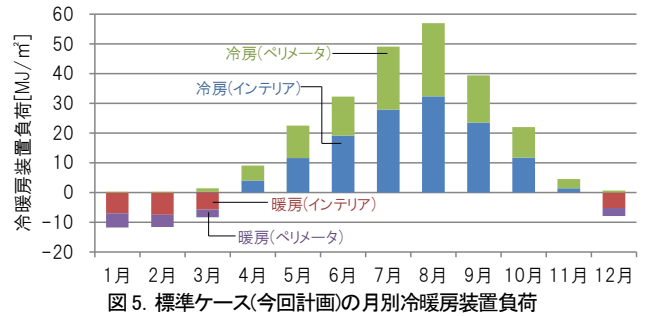


図 5. 標準ケース(今回計画)の月別冷暖房装置負荷

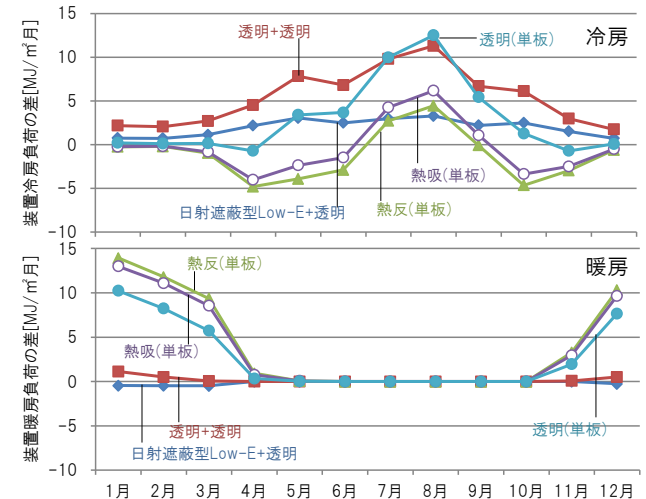


図 6. 標準ケースのに対する月別冷暖房装置負荷の差(ガラス種別)

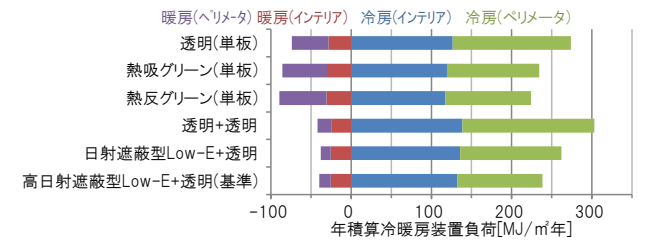


図 7. 各ケースの年積算装置負荷(ガラス種別)

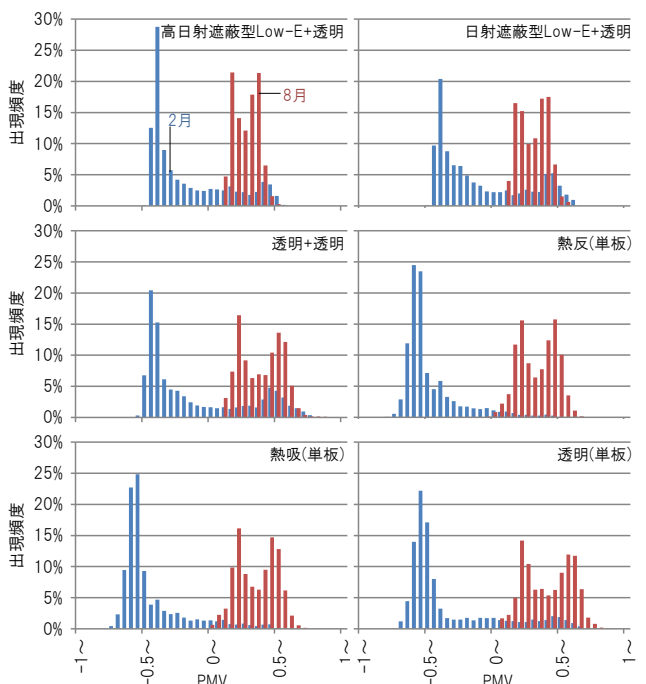


図 8. 各ケースのペリメータゾーン PMV の発生頻度(2月・8月)

## 6. エネルギー消費実績評価

### 6.1 冷温水熱量実績値と計算結果の比較

図12に、表2に示す条件にて算定した装置負荷と、代表フロアの冷温水熱量実績値を合わせて示す。一般冷水・温水は、一次空気を供給する空調機の冷水・温水とペリメータゾーンに設置されるFCUの冷水・温水に分けて冷温水熱量実績値を示している。また、チルドビーム系統の中温冷水も一般冷水とは分けて示している。なお、本建物の本格運用が2017年1月からであるため、5か月間のみ示している。

冷暖房負荷と冷温水熱量実績は概ね一致しているものの、冬期におけるチルドビーム冷水熱量が大きい結果となっている。本空調方式は、単一ダクトVAV方式と外調機+アクティブチルドビーム方式を組み合わせた方式となっているが、一次空気側の加熱を少し抑えることでこれを低減可能と想定される。チルドビームの受持負荷をより増やすことによりフリークーリングの更なる活用の可能性もある。また、3月における温水熱量(FCU)の剥離が大きい。今回計画ではペリメータゾーンに個室対応を意図したFCUを設置しており、個室における温水消費量が多いことが原因であると考えられる。また、大部屋において混合損失が発生している可能性もあり、今後、運用方法の検討が必要であると考えられる。

### 6.2 熱源運転状況

図13に熱源製造熱量実績値(建物全体)を示す。共用部等の空調機・ファンコイルユニットへも供給されている。冬期(1~3月)の冷水消費熱量の大部分はチルドビーム系統の冷水であるが、その94%フリークーリングにて処理されている。上記の改善により、フリークーリング処理熱量の更なる拡大が望まれる。

## 7. まとめ

アクティブチルドビーム適用する実建物について、高性能ガラス・各種外気導入制御による、負荷低減効果・室内環境改善効果について示した。実在建物での試算であるが、他建物への参照も可能と思われる。

また、試算結果と実績値を比較することで、今後の運用改善の方向性について探ることが出来た。

【参考文献】建築設備と配管工事、2016年11月

【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)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、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ものである。統合化WG名簿(順不同) 主査:石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員:木下泰斗(日本板硝子)、奥田篤(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、菰田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤ER)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀典(鹿児島大学)、相沢則夫(大林組)、野原文男、長谷川巖、滝澤総、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊、大浦理路(以上、日建設計)、柳井崇、品川浩一、山本佳嗣(以上、日本設計)、小林信裕(前田建設工業)、事務局:生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)

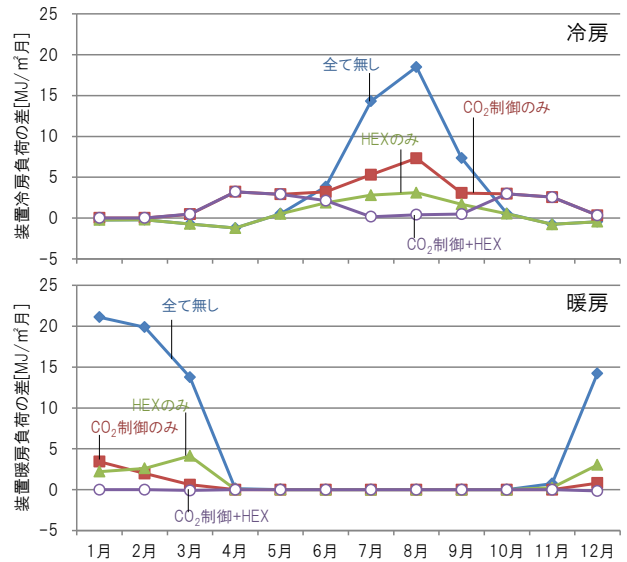


図9. 標準ケースに対する月別冷暖房装置負荷の差 (導入する外気制御種別)

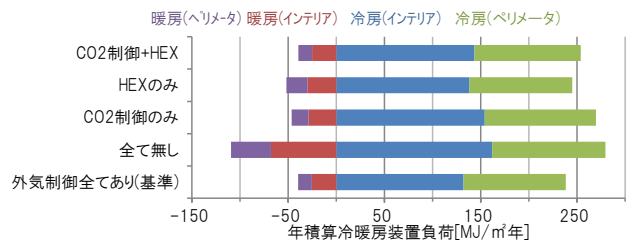


図10. 各ケースの年積算装置負荷(導入する外気制御種別)

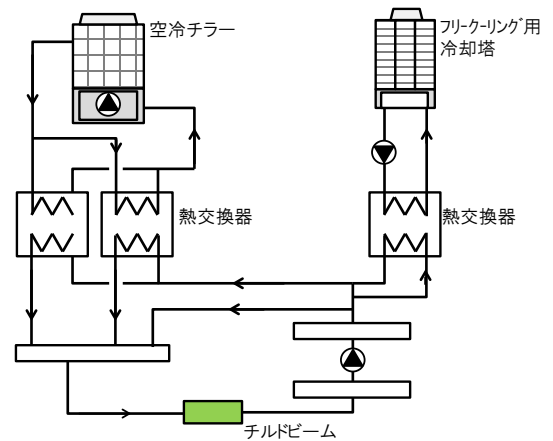


図11. 空調熱源設備(チルドビーム系統)の概略構成

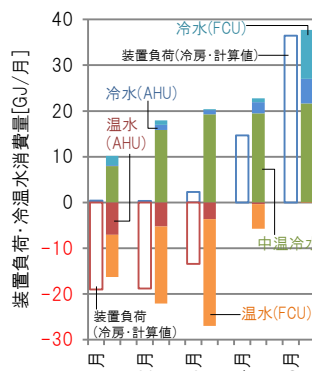


図12. 装置負荷(計算値)と冷温水消費量(実績値)

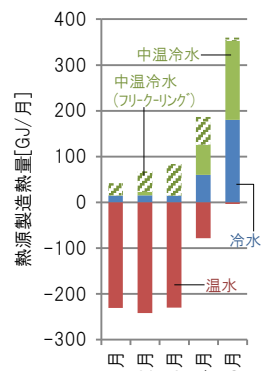


図13. 熱源製造熱量(建物全体・実績値)