

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 245）

躯体蓄熱を活用した自然換気・ナイトパーズの基本特性に関する研究

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 245)

Basic Analysis of the Effect of Natural Ventilation and Night Purge

Using the Thermal Storage Capacity of a Building Mass

正会員 ○久保木 真俊（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（東京都立大学）

技術フェロー 郡 公子（宇都宮大学）

Masatoshi KUBOKI*1 Shuzo MURAKAMI*2

Hisaya ISHINO*3 Kimiko KOHRI*4

*1 Nikken Sekkei Ltd *2 Institute for Building Environment and Energy Conservation

*3 Tokyo Metropolitan Univ. *4 Utsunomiya University

Basic analysis of the effect of natural ventilation and night purge using the thermal storage of a building mass is verified by utilizing BEST in an office building. The office building for study is installed the thermo active building systems (TABS). Natural ventilation is utilized for both the energy reduction in a daily life and the business continuity planning in an emergency. This paper is confirmed that a result of a measurement regarding natural ventilation is satisfied with a target performance in the design phase.

1. はじめに

自然換気やナイトパーズ機能を備えることは熱負荷を低減するとともに、省エネルギー性、快適性、健康性、さらには災害に備えた事業継続性の向上に寄与するものと考えられる。本研究では、自然換気・ナイトパーズと躯体蓄熱の併用に着目した。自然換気やナイトパーズにより外気から得られる冷熱を躯体に蓄熱することで、空調負荷削減を目指す。研究対象は、都市に建つオフィスで、計画概要、BESTを用いたシミュレーション検証結果、竣工前の実測結果について報告する。

2. 計画概要

本研究対象であるオフィスの建物概要を表 1 に示す。平常時の光熱費削減や快適性向上への寄与、非常時のBCP機能強化の一環として自然換気、ナイトパーズが導入された。図 1 に中間期の空調システム概要、図 2 に躯体蓄熱による熱源容量縮小を示す。躯体蓄熱放射冷暖房（Thermo Active Building Systems、以下 TABS）+床吹空調が導入され、天井レスの室内空間となっている。スラブが室内に露出することにより、中間期の冷涼な外気による躯体蓄熱効果を促進させ、空調の立ち上がり負荷低減、空調時間数の縮小による省エネルギー効果向上を目指した。その結果、空調ピーク負荷は約 30%低減される見込みとなり、熱源容量の 3 割カットを実施した。

表1 建物概要

| | |
|---------|-----------------------------|
| 建設地 | 東京都 |
| 建物主用途 | 事務所 |
| 建築面積 | 約500m ² |
| 延床面積、階数 | 約2,000 m ² 、地上9階 |
| 構造 | 基礎免震 鉄骨造、一部RC造・SRC造 |

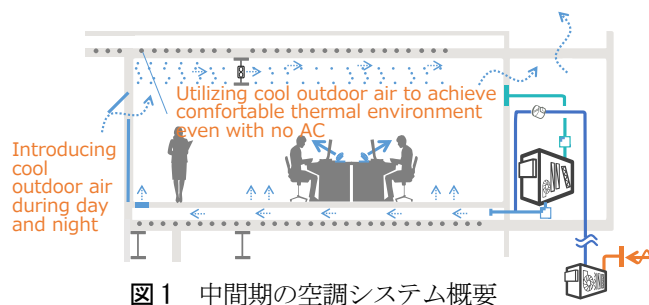


図1 中間期の空調システム概要

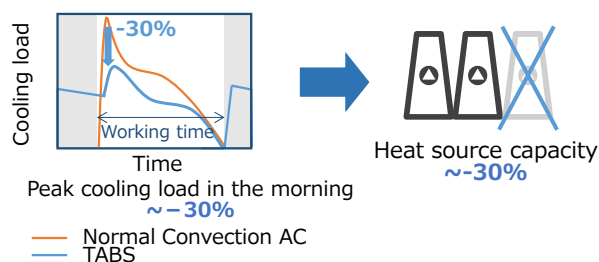


図2 躯体蓄熱による熱源容量縮小

図3に基準階における自然換気の給気から排気までの流れを示す。給気窓は日中執務者が自由に開閉可能な手動の換気窓に加え、自然換気及びナイトパーズ用の電動の自動開閉窓を設置した。自動開閉窓の形状は一般的な突き出し窓である。給気窓から執務室とEVホール間のパスを経由した後、階段室最上部に設けられた自動開閉窓から排気される温度差換気を計画した。最上階の9階は中性帯より上部となり、空気の逆流の恐れがあるため、自然換気対象から除外した。

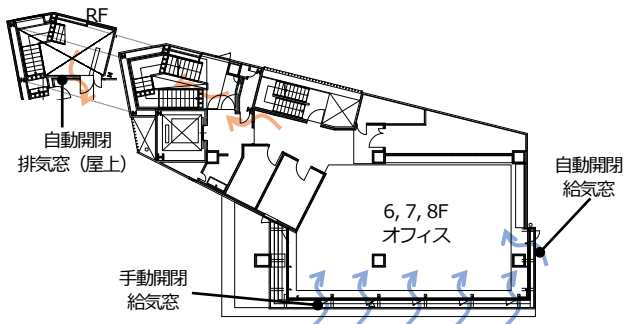


図3 自然換気ルート図

表2 自然換気・ナイトパーズ許可条件

| 条件 | 自然換気 | | ナイトパーズ |
|-------|------------------|------------------|--------------|
| | 換気窓開度 | 35% | 100% |
| 外気温 | 15°C以上 18°C未満 | 18°C以上 26°C未満 | 12°C以上26°C未満 |
| エンタルピ | 室内エンタルピ>外気エンタルピ | | |
| 内外温度 | 室内乾球温度>外気乾球温度 | | |
| 湿度 | 外気湿度80%RH以下 | | |
| 降雨 | 無し | | |
| 風速 | 外部風速10m/s以下 | | |

表2に自然換気・ナイトパーズ許可条件を示す。自然換気時は、換気窓の開度を2段階に調整することで、自然換気による過冷却を軽減することとした。また、開度は運用後にも調整可能な仕様とした。自然換気時の外気下限温度は、26°C50%RHの露点温度以上かつ、5,6,9,10月の日中(9時~18時)外気温の90%以上(ただし26°C以下)が条件を満たすと予測される15°Cと設定した。ナイトパーズ外気下限温度は、5,6,9,10月の夜間(19時~8時)外気温の90%以上(ただし26°C以下)が条件を満たすと予測される12°Cと設定した。換気窓開度変更の外気温度境界条件は、6,9月の日中(9時~18時)外気温の90%以上(ただし26°C以下)が条件を満たすと予測される18°Cと設定した。また、15°C給気時に100%開度18°C給気と同等の自然換気量が期待される換気開度を推定し、換気窓開度縮小パターンとして、35%開度を設定した。

図4に設計時の自然換気の予測性能曲線を示す。この図は外部無風状態で室内26°Cの時に期待される自然換気による換気回数を温度差換気の理論式から室内外温度差別、階別に算出したものである。目標性能としては内外温度差5°Cの時に3フロアの合計で2.5回/h以上を目指すこととした。

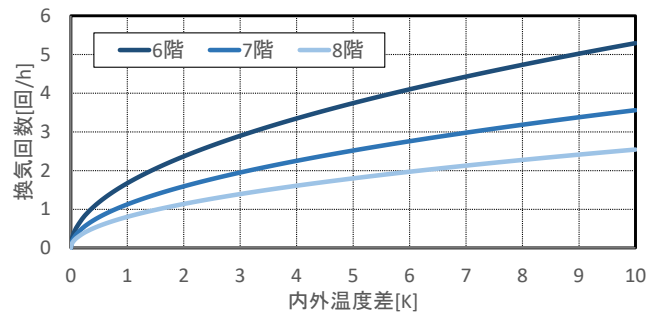


図4 設計時の自然換気予測性能

3. シミュレーションによる性能予測

2章で述べた躯体蓄熱とナイトパーズの性能検証を建築物総合エネルギーシミュレーションツールであるThe BEST Program (Building Energy Simulation Tool、以下BEST)を用いて、建築・設備システムの連成計算により実施した。中間期を想定し、夜間はおおむね15°C以下の、冷熱源として有効な外気条件の基でシミュレーションを実施した。

図5にナイトパーズ時間別の冷房負荷変動を示す。ナイトパーズ時間を長くするほど、早朝の空調立ち上がり負荷、日中の負荷共に低減傾向にあることが確認された。特に本研究対象オフィスは東面に主開口があるために空調立ち上がり負荷低減の効果が大きいと予測される。

図6にナイトパーズを行わない条件を基準としたナイトパーズ時間別のピーク負荷率、夜間負荷移行率を示す。ピーク負荷率は、最大25%、夜間負荷移行率は最大60%の結果となった。また、外気の冷熱源により処理されているため、冷房負荷は、図7のように蓄熱時間を長くするほど、低減される傾向となり、9時間のナイトパーズ条件では、23%削減の試算となった。

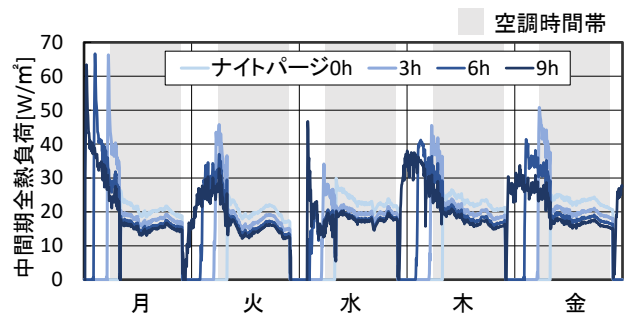


図5 ナイトパーズ時間別冷房負荷変動

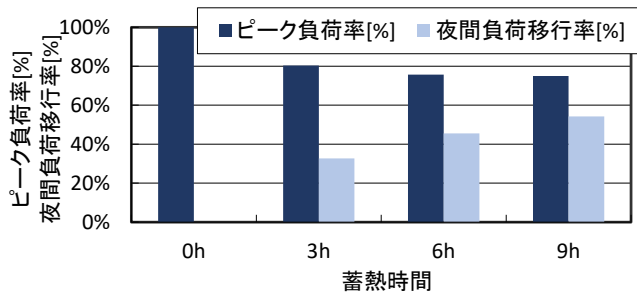


図6 ピーク負荷低減率、夜間負荷移行率

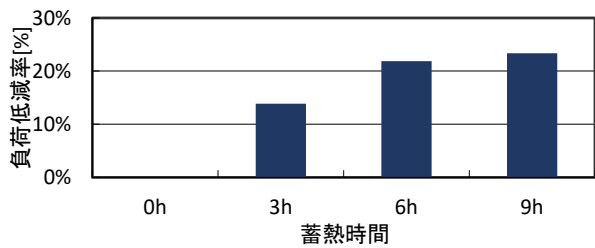


図7 ナイトページによる負荷低減率

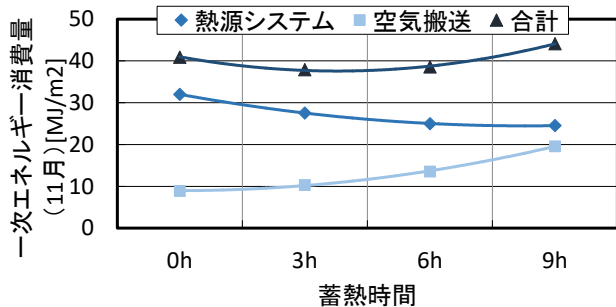


図8 中間期の躯体蓄熱時間別のエネルギー消費特性

図8に中間期夜間の躯体蓄熱時に搬送ファンも用いた場合のエネルギー消費量を示す。この場合搬送動力増加と熱源動力低減はトレードオフの関係にあり、躯体蓄熱による省エネルギー効果が最大となるのは蓄熱時間4時間程度の結果となった。搬送ファンにより安定した風量が得られる一方で蓄熱時間を極力増やしたい場合には効果を発揮しにくい。そこで、本建物では空気搬送を温度差、風力に依存し、機械動力を用いない自然換気・ナイトページによる躯体蓄熱を試みることで、蓄熱時間を最大化することを優先したナイトページを採用することとした。

4. 実測による性能検証

4.1 風速測定による自然換気性能検証

設計時に設定した目標性能が達成されていることを確認するために竣工前の2020年4月上旬に簡易実測調査を実施した。実測概要を図9に示す。測定フロアは7階で、給気窓部分の面風速を測定し、自然換気風量を算出した。室内には人体発熱を模擬したブラックライトを点灯し、約30W/m²の顕熱負荷を与えた状態で自然換気を実施した。

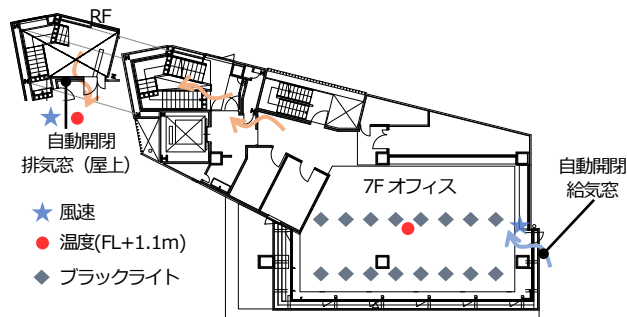


図9 面風速による自然換気実測概要

図10に実測結果を示す。実測値の換気回数と理論式から導いた予測値の換気回数を比較すると概ね実測値が予測値を上回る結果となった。測定時の外部風速はおおむね1m/s以下であり、温度差換気主体の結果であることが予測できる。また、室内温度は室内発熱を与えた条件下でも、自然換気開始と共に下がり始め、測定終了時には3.5℃程度の低下となり、自然換気による一定の冷却効果が見られた。

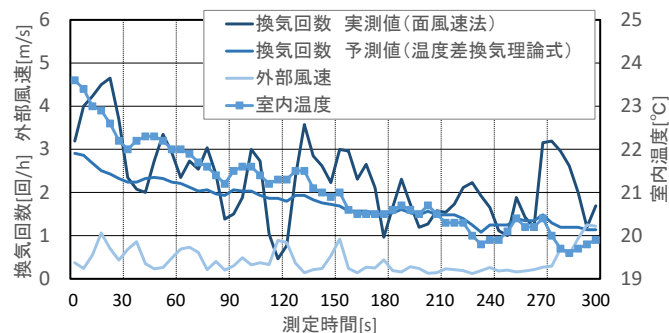


図10 自然換気実測結果

4.2 濃度減衰法による自然換気性能検証

4.1章の実測に加え、CO₂ 散布の濃度減衰法による自然換気量測定を竣工前の2020年5月上旬に実施した。実測概要を図11に示す。測定フロアは4.1章同様に7階で、人体発熱を模擬したブラックライトを点灯し、約30W/m²の顕熱負荷を与えた状態で自然換気を実施した。室内にCO₂を散布、攪拌し、執務室内CO₂濃度を高めた後、自然換気窓を開放し、CO₂濃度の減衰量から、自然換気風量を推定した。CO₂濃度は自然換気窓付近、室中央、階段室、屋外で同時測定した。

図12にCO₂濃度測定結果を示す。室内CO₂濃度は最大9,000ppmから約1時間程度で1,000ppmまで減衰した。自然換気開始と共に、階段室内のCO₂濃度は上昇し、自然換気開始後10分程度で執務室内のCO₂濃度と同程度となった。濃度減衰の傾向も執務室内と類似していることから、温度差換気により、執務室内から階段室へ空気が流れていることが確認された。また、外気のCO₂濃度は約440ppmでほぼ一定の結果となった。

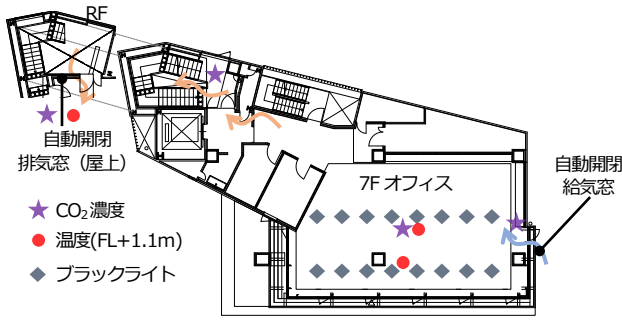


図 11 濃度減衰法による自然換気実測概要

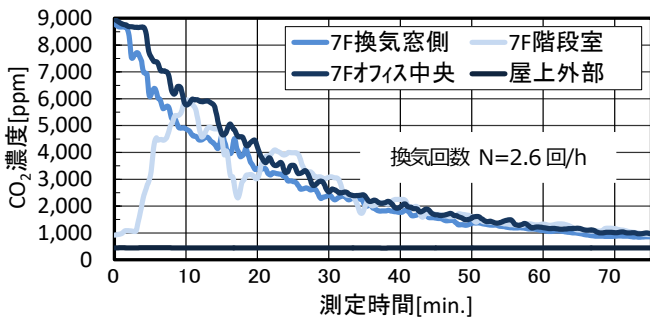


図 12 CO₂濃度測定結果

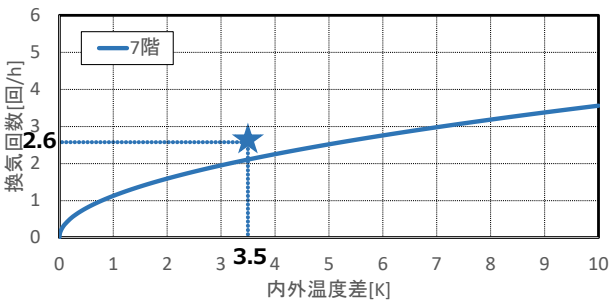


図 13 自然換気予測性能と実測結果

図 13 に自然換気予測性能と実測結果を示す。濃度減衰法から算出された自然換気の換気回数は 2.6 回/h、内外温度差は約 3.5°C であった。また、測定時の外部風速平均値は約 1.9m/s であり、平均的な風環境であったと考えられる。実測による自然換気回数は、設計時に目標性能として設定した、内外温度差 5°C の時に換気回数 2.5 回/h の数値を上回る結果となった。

図 14 に自然換気時の温度経時変化を示す。温度測定は、執務室内の窓側と中央部、屋外にて実施した。測定中は、約 30W/m² の内部発熱を一定で与えたにもかかわらず、執務室内温度は窓側と中央部共に約 26°C で一定であったことから、自然換気や躯体蓄熱効果により、熱負荷が除去されていたと推測される。

図 15 に自然換気時の騒音経時変化を示す。騒音測定は、執務室内の給気窓付近と中央部、屋外にて実施した。換気窓開放時に室内騒音は 55dB(A) 程度に上昇、その後は屋外騒音の影響により、給気窓付近は 45~55 dB(A)、中央部は 43~50 dB(A) 程度で変動した。

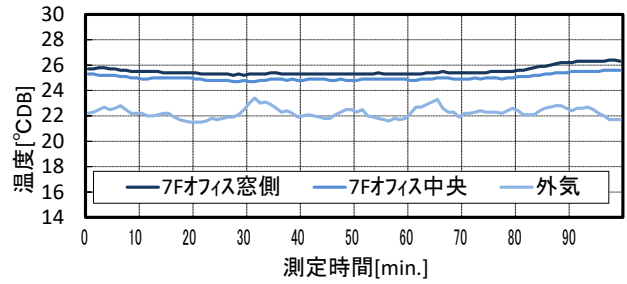


図 14 自然換気時の温度経時変化

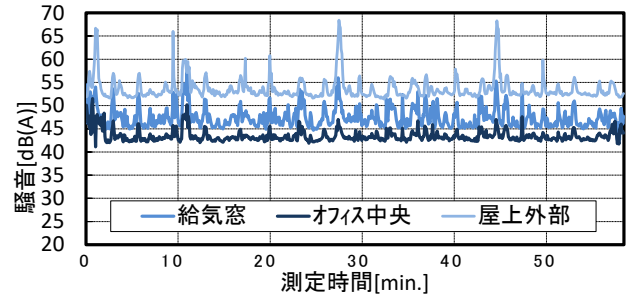


図 15 自然換気時の騒音経時変化

4.3 熱流束測定によるナイトパージ性能検証

ナイトパージによる中間期の躯体蓄熱効果を検証するために、竣工前の 5 月上旬にスラブ表面の熱流束を計測した。図 16 に中間期の天井面スラブ熱流束の経時変化を示す。上向きの熱流を正としている。ナイトパージは 22 時から翌日の 8 時まで実施されていた。ナイトパージ中にスラブへ最大約 4W/m² の冷熱が蓄冷され、ナイトパージ終了後の室開始直後には、熱流の向きが逆転し、蓄冷された冷熱が室内側へ最大約 10W/m² 放熱されている結果となった。ナイトパージにより、夜間の冷涼な外気の冷熱がスラブに蓄冷され、空調負荷軽減に寄与していることが確認された。今後は運用開始後の性能検証を実施していく予定である。

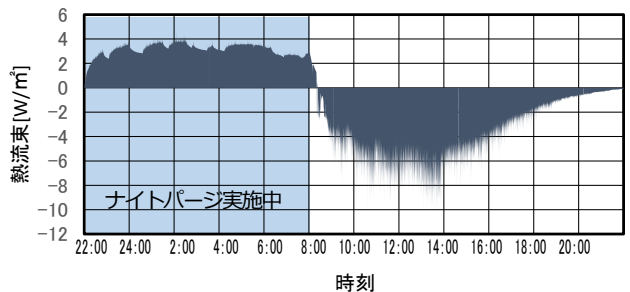


図 16 中間期の天井面スラブ熱流束の経時変化

【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)」・プログラム開発委員会(石野久彌委員長)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