

YKK 80の環境設備計画 — Cool Radiant Control Inside and Out —

水出喜太郎
Kitaro MIZUIDE

日建設計 エンジニアリング部門 設備設計部長, 博士 (工学), mizuide@nikken.jp
Nikken Sekkei Ltd. M&E Design Section, General Manager, Dr. Eng.

本建物は、東京都心に立地するグローバル企業の本社機能ビルである。交通量の多い幹線道路に面し、かつ西に正対する長大なファサードを持つ立地上の特徴に対して、ワークプレイスにおける微気流併用放射空調と、マルチレイヤーのファサードシステムによって、室内外両面から放射環境をコントロールする環境設備計画をおこなった。

キーワード: 放射冷暖房 (Radiant Cooling and Heating System)、微気流 (Slight Air Flow)、ウェルネス (Wellness)、執務生産効率性 (Work Place Productivity)、継続的性能検証 (Continuous performance verification)

1. はじめに

本建物は、都心に立地する事務所ビルである。首都高速道路と主要国道に面し、かつ西に正対する長大なファサードを持つ立地上の特徴に対し、室内での放射空調と、屋外のファサードシステムによって、室内外両面から放射環境をコントロールする建築設備計画概要について概説し、竣工後2年間の運用実績に基づく室内環境解析ならびにエネルギー消費量の分析、省エネルギー効果について報告する。(図1)

本社機能を有するオフィスビルの執務室のための空調方式として、水を媒体とした天井放射冷房とデシカント空調機による潜熱顕熱分離空調に微気流を付加することによって、快適性の向上と温湿度条件の緩和による省エネルギーの実現をめざした。

2. 室内と屋外の両面での放射環境計画の概要

室内外での放射環境制御に関して、室内においては、水式放射空調を中心にデシカント空調による調湿と微気流を併用して居住者の温熱環境を制御している。裏面に断熱なしで配管を敷設した放射パネルを、隙間を持たせ交互に逆勾配で傾斜配置とすることによって、居住域に緩やかな空気の循環を形成する計画とした。また盛夏には微気流によって気流感を与えることで快適性向上を意図した(図2、3)。

水式放射冷暖房システムの熱源は、モジュール型空冷ヒートポンプチラーおよびガスエンジンヒートポンプチラーにより構成し、電力とガスのエネルギー分散と、水式放射冷暖房における送水温度緩和による効率向上を図ることができるシステムとしている。また潜熱顕熱分離空調におけるデシカント空調機には、排熱源を必要としないヒートポンプデシカント空調機を採用した。熱源・空調システムを図4に示す。また建物概要を表1に、基準階平面図を図5に示す。



図1 西面ファサード 外観



図2 微気流併用放射空調による室内放射環境制御

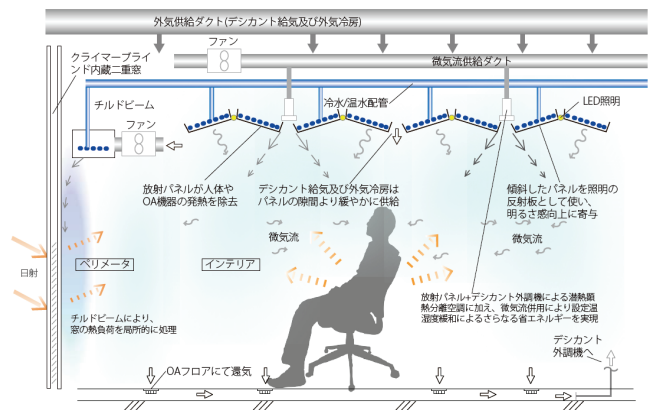


図3 微気流併用放射空調概念図

設計段階で LCEM による年間システムシミュレーションを行ない、空調・熱源システムでの1次エネルギー消費量の比較から、本計画システムでは、一般的空気式空調である比較システムよりも1,084[GJ/年]少なく、25%省エネルギーとなる結果を得た。

一方で、屋外については、長さ 70[m]にわたり高速道路と幹線国道に面して西側が主たる立面となる配置計画であった。都市部におけるこのような立地上の課題に対して、西側立面の全面にわたって、高さ 30[m]、幅 70[m]のアルミ製の「すだれ」を設ける計画とした(図6)。

その「すだれ」の背後に1.5[m]の奥行を持つ底空間を配置し、さらに室内との境界を自動制御クライマーブラインド内蔵の2重ガラスにより構成するファサードシステムを構築した(図7)。これにより日射遮蔽、騒音制御、昼光の調整と眺望確保といった多くの屋外環境要素を制御し、快適な室内環境を成立させる計画とした。

アルミ「すだれ」と窓との間の底部は、奥行を1.5[m]確保して、外気冷房やデシカント空調のダクトを立下げ、およびVAVユニットの設置スペースとした。それらのためのメンテナンススペースとしても活用される計画としている(図8)。

また、ファサードシステムの一部であるペリメータ空調には、インテリアゾーンの放射パネルに用いるのと同じ中温度の冷水・温水を通水するチルドビームを採用している。

図9に西側の窓面に沿ってチルドビームを設置したペリメータゾーンの内観を示す。図10にチルドビームの概要を図示する。チルドビームは、室内空気を誘引して中温度の冷水・温水を通水するコイルで冷却・過熱して室内に冷風または温風を供給する機器であり、本建物のような立地・用途において、眺望と開放性を確保しながら、西面のペリメータ負荷を効率よく処理することに適したシステムであるといえる。また、ペリメータゾーンの温熱環境が各季節において快適に保たれることを実測調査により確認している^{1,2)}。

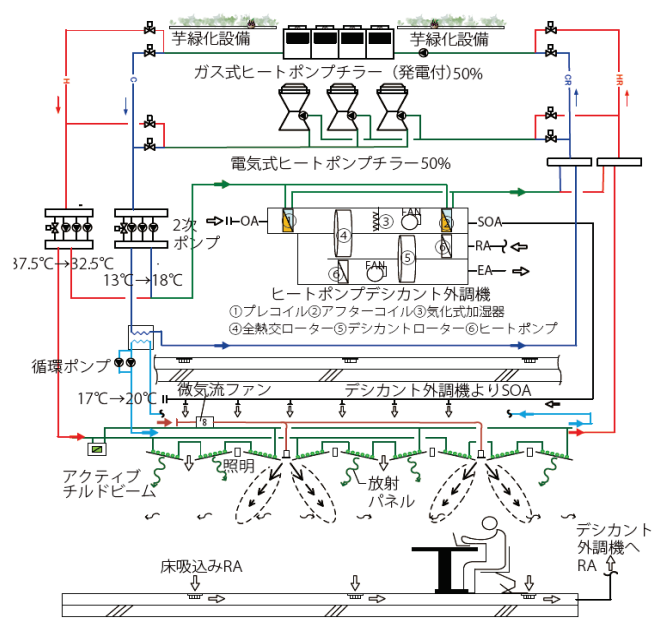


図4 熱源・空調システム図

所在地	東京都千代田区
用途	事務所
建築面積	2,059㎡
延床面積	22,574㎡
基準階	1,960㎡
構造	SRC, CFT, 免震
階数	地下2、地上10階
軒高	39.5m
階高	3.85m
天井高	2.8m

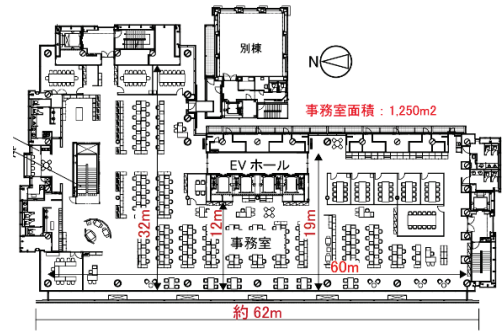


図5 ダクトの屋外化による整形な基準階平面



図6 アルミスだれ外観

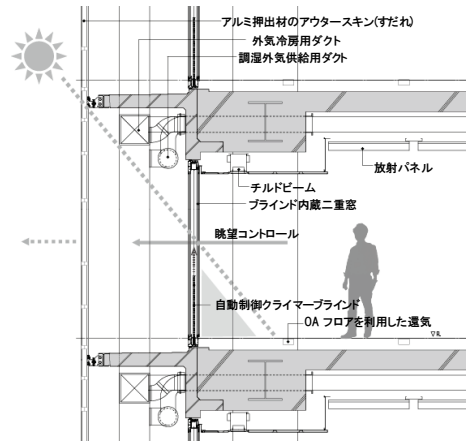


図7 西側ファサードでの外部放射環境制御



図8 アルミスだれファサード空間



図9 ペリメータ内観

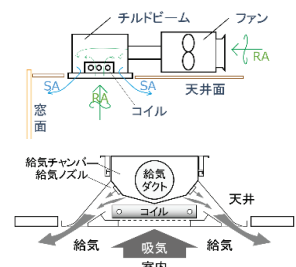


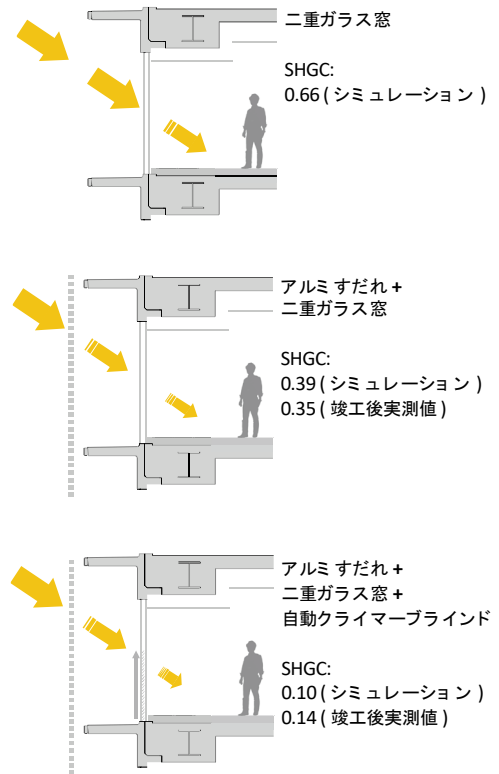
図10 チルドビーム概要

3. ファサードシステムの日射遮蔽性能の検証

ファサードシステムの設計段階において、庇と2重ガラス窓によるシステムを、基準ケースとした。この基準ファサードの外側に、アルミのレイヤーとして「すだれ」を設けた場合、

さらに2重ガラス窓に自動制御クライマーブラインドを設置した場合で、日射熱取得率 (SHGC) をシミュレーションにより求めた。

図11に示すように、シミュレーションでは、単なる2重ガラスのとき SHGC=0.66 であるが、アルミすだれとクライマーブラインドによって SHGC=0.10 まで向上することを把握した。機能を確保した上で課題を解決するファサードシステムとして、竣工後の実測調査の結果は、アルミすだれとクライマーブラインドの付加によって SHGC=0.14 となり、シミュレーションと同等であることを確認した。これにより所期の日射遮蔽性能が得られていることを検証することができた。



4. 各段階における性能検証

設計段階ではシミュレーションを含めた数値解析により最適解を探り、施工段階では機器単体性能や実大模擬空間実験を通して設計意図の確認と反映を行った。運用段階では、入居前の模擬負荷付与実験、入居後の季節毎環境実測や設備システムの最適化調整を通じ、省エネルギーと快適性の両立を確実に実施しているところである (表2)。

5. BIM と連携した CFD による建築・環境設備計画

BIM を用いて CFD と建築・設備計画の検討を繰り返し、放射パネル配置 (図3、4) は隙間を設けて交互に逆勾配で吊り下げることで、冷水配管を敷設したパネル裏面で冷やされた空気が勾配に沿って室内へ緩やかに循環する計画とした。

図11 ファサードシステムによる外部放射環境制御

表2 設計・施工・運用の各フェーズにおける性能検証

	設計フェーズ(2011年11月～)	施工フェーズ(2013年1月～)	運用フェーズ(2015年7月～)	
	基本計画・基本設計・実施設計	施工・監理	入居前検証	入居後
省エネ省資源	<ul style="list-style-type: none"> Energy+による建物性能目標設定 LCEMIによる空調設備性能目標設定 超節水器具、井水、雨水、厨房排水再利用設備を計画・設計 	<ul style="list-style-type: none"> 機器性能の監理 (熱源機COP) LCEMIによる検証を継続 	<ul style="list-style-type: none"> 実運転による初期性能の確認 	<ul style="list-style-type: none"> シーズン毎の実測による機能性能試験 BEMSで月ごとに水再利用率の確認
室内環境	<ul style="list-style-type: none"> BIM、CFD統合シミュレーション 省エネ、快適性向上、意匠性に配慮した空調方式を計画 日射低減、快適性向上、眺望確保したファサードデザインを計画 	<ul style="list-style-type: none"> モックアップで室内環境快適性を確認、施工フィードバック 	<ul style="list-style-type: none"> モックアップでの改善事項を施工に反映 	<ul style="list-style-type: none"> ベリメータを含めた室内環境計測 模擬負荷での設計性能の確認 自動制御ブラインド設定値最適化 各季の環境性能を実測により確認(竣工後2年間継続)
伝達	<ul style="list-style-type: none"> 各段階において施主要望事項をブリーフィング 	<ul style="list-style-type: none"> 設計意図伝達による施工段階の意識共有 	<ul style="list-style-type: none"> 取扱い説明 	<ul style="list-style-type: none"> 施主・運用者に検証結果の報告 性能検証結果を踏まえた運用マニュアルを作成し詳細な運用方法を提案

表3 BIM と連携した CFD 解析条件

室温設定	外気処理+放射冷房	28[°C]
換気条件	デシカント外気処理	2[回/h]
発熱条件	人員密度	0.2[人/m ²]
	人体顕熱	67[W/m ²]
	OA機器発熱 (モタPC本体)	20[W/m ²]
	照明発熱	2.6[W/m ²]
放射冷房条件	パネル表面温度	23.5[°C]
微気流付与	線状制気口分散配置 (100m ³ /h/m)	6[回/h]
解析ソフト	汎用気流解析ソフト: STREAM ver11 乱流モデル: 標準k-εモデル	
BIMデータ	建築: revit architecture ver2012 設備: CADWe'll Tfas IV	

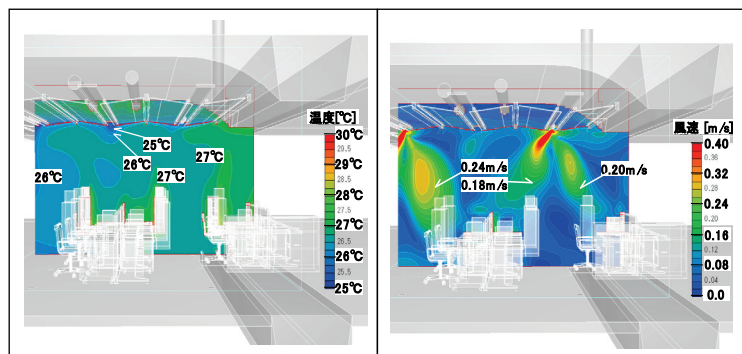


図12 BIM と連携した CFD 解析 微気流併用放射冷房 (左: 温度分布、右: 気流分布)

また盛夏には放射冷房に微気流を付加して執務室全体に緩やかな風を与えて快適性向上を図った。BIM と連携した CFD 結果を図 12 に、CFD 解析条件を表 3 に示す。BIM と連携して制気口配置や風量を検討した気流分布図からは、居住域で 0.2m/s 程度の微気流分布となることを確認した。温度分布図からはパネルが下に凸となる部位で気流吹出しのない隙間から、低温域の下降が確認できる。

これは図 13 に示す実験結果より、照明の下部の上下温度分布は 0.6°C 程度であるのに対して、吹出しのない下に凸の隙間の直下では上下温度差が解消しており、緩やかな下降流により空気の拡散が促進された様子が伺える結果を得た。

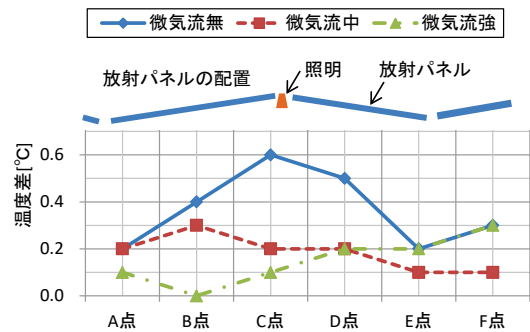


図 13 放射パネルと上下温度差の傾向

6. 快適域の拡大

微気流を併用した放射空調において、作用温度緩和と快適域の分布を調べるために行った延べ 89 人による被験者実験結果^{1,2)}を図 14 に示す。ASHRAE の快適範囲³⁾は 26°C 設定の場合でのみ満たすが、微気流を付加することで 75[%]以上が快適と回答する範囲は高い室温側に拡大し、27°C 設定でも執務者の快適性が保たれることを示唆する結果を得た。

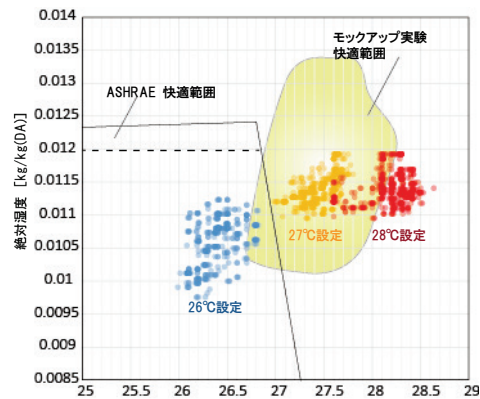


図 14 模擬空間での被験者実験による快適域の拡大

7. 執務室 CO₂濃度での空気質検証

竣工後 1 年間の基準階 CO₂濃度の散布図を図 15 に示す。デシカント空調機での CO₂制御を伴う最少外気導入時に平均 707[ppm]、中間期外気冷房時で平均 651[ppm]を示した。1,000[ppm]の制御目標値以下に保ちながら、CO₂濃度の面から良好な空気質を保って運用されていることを確認した。

8. 温度緩和による省エネルギー効果

本建物固有の特性値として空調設定温度を 1[K]緩和することでの省エネルギー効果を図 16 に示す。冷房に関しては 1[K]の緩和で 23.3[MJ/h]の 1 次エネルギー削減となり、暖房時の 1[K]の緩和は 32.4[MJ/h]の削減となる。省エネ活動への協力に対する対価を明示することは、居住者の理解を深め、自発的省エネ活動への啓蒙効果が期待される。

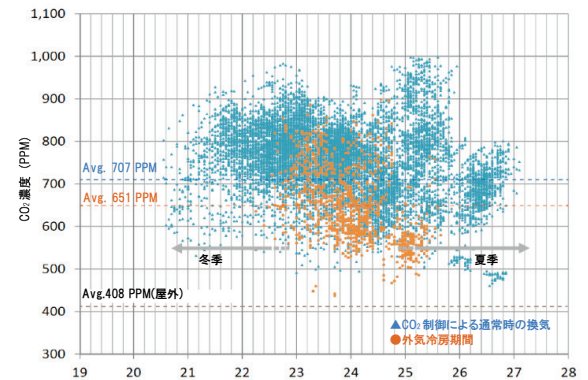


図 15 デシカント外調機と外気冷房による室内空気質維持

9. 年間エネルギー消費量の計画値と実績の比較

設計時に energy+を用いたシステムシミュレーションにより目標を設定した。ASHRAE ベースラインに対して、シミュレーションにより定めた目標計画値と、運用時 1 年間のエネルギー消費実績データの比較を図 17、図 18 に示す。図 17 より、各月とも実績値が計画値を下回る運用を実現しており、図 18 に示す通り、1 年間の実績値はベースラインから 30%減の 960[MJ/m²年]となった。この値は東京都省エネカルテ (平成 26 年度公表) の事務所の基準値からは 63%の削減に相当する。

10. BEMS データによる省エネルギー効果分析

本建物ではエネルギー消費実績の他、採用した省エネルギー技術の効果をも BEMS により随時演算し把握している。図 19 に 2016 年 4 月～2017 年 3 月の 1 年間の月別エネルギー消費実績と、省エネルギー技術を採用しなかった場合のエネルギー消費量予測を基準値として示す。冷房エネルギー消費の増加する夏期に基準値と実績値の差が大きくなっており、エネルギー消費が抑えられていることを示す結果となった。

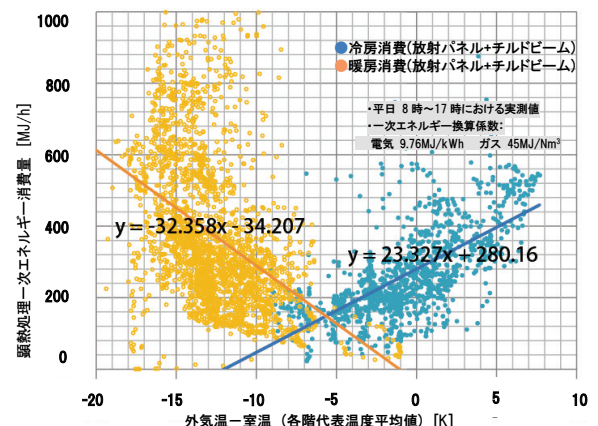


図 16 建物固有の室温緩和による省エネルギー効果

図 19 での各月の基準値と実績値の差は、導入された要素技術による省エネルギー効果の積み上げとなるが、その内訳を図 20、図 21 に示す。

中間期にはエネルギー消費量自体が小さく、省エネルギー量も少なくなっている。一方で盛夏や厳冬期には省エネルギー量が大きくなる傾向が示された。特に盛夏に注目すると、西面ファサードシステムでの日射遮蔽による外壁の負荷削減効果が大きいことが分かる。

次いで室内温度緩和効果が大きく、これは微気流併用放射空調によって夏期に快適性を保ったまま 28℃設定を実現し、冬期には放射暖房とチルドビームの温風運用でペリメータ負荷を効率よく処理することで 20℃設定を実施した結果といえる。

更に放射パネルへの供給を見据えて、冷水 13℃d→18℃、温水 32.5℃→37.5℃dとすることでヒートポンプ熱源の効率を向上したことによる省エネ効果も計上されている。

本建物の熱源設備は電気式空冷ヒートポンプチラーとガスヒートポンプチラーによる複数エネルギーによっている。

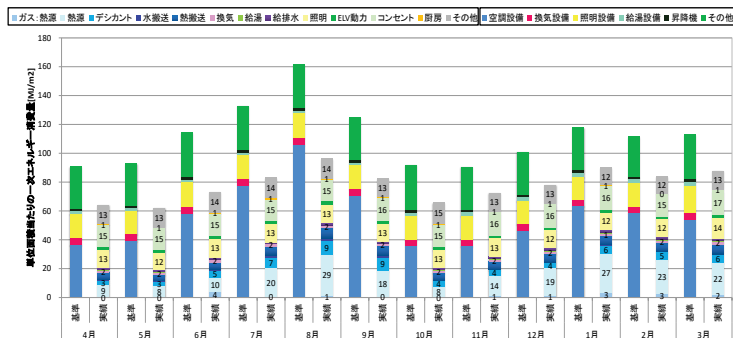


図 19 エネルギー消費実績と非対策時逆算値 (2016 年 4 月～2017 年 3 月)

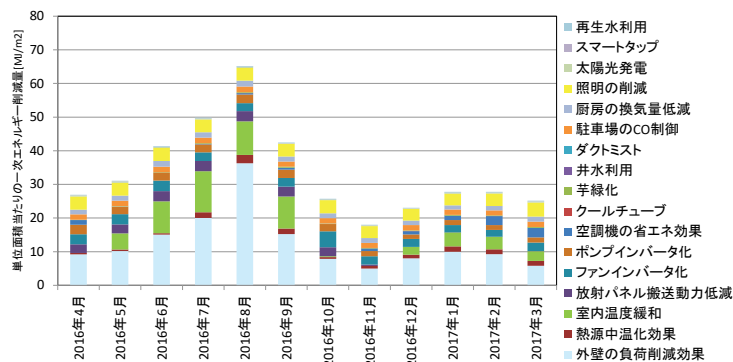


図 20 採用要素技術毎の月別省エネ実績 (2016 年 4 月～2017 年 3 月)

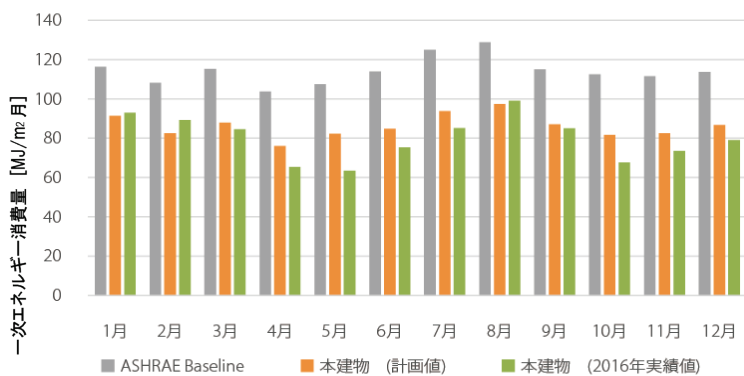


図 17 エネルギー消費のベースラインと目標に対する実績

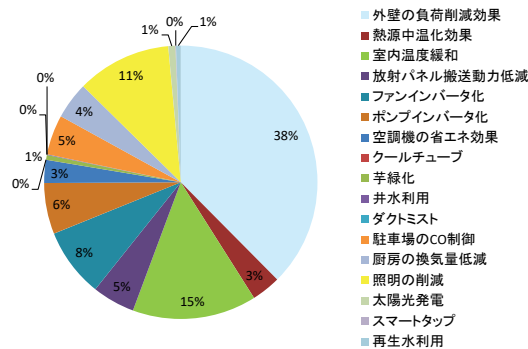


図 21 採用要素技術毎の年間省エネ実績の内訳

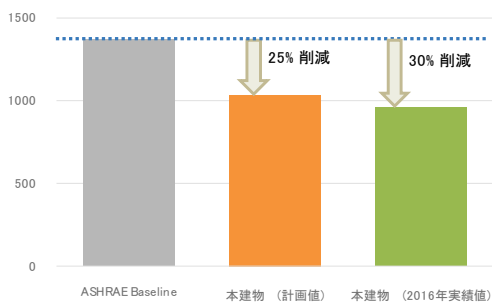


図 18 ベースラインからの削減見込みと実績

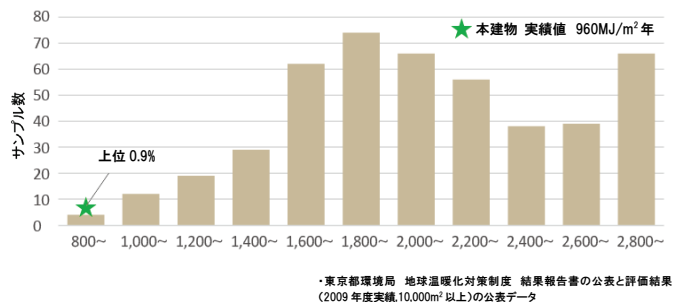


図 22 東京都省エネカルテにおける省エネ実績位置付け

・東京都環境局 地球温暖化対策制度 結果報告書の公表と評価結果 (2009年度実績, 10,000㎡以上)の公表データ

ファンインバータ効果が10月や4、5月の中間期に多く計上され、外気冷房の効果が確認された。給気ファンと還気ファンを持つ全熱交換器付ヒートポンプデシカント外調機と比べて給気をファンでアシストする本建物の外気冷房方式の省エネ効果が明らかにされた。

また図 21 に示すように、本建物のエネルギー消費実績値は、東京都が 2009 年度実績をもとに公表⁴⁾している延床面積 10,000[m²]以上の業務ビルの中で、単位床面積当たりのエネルギー消費量が少ない建物の上位 0.9[%] に位置付けられ、高い省エネ性能を示す結果となった。

11. まとめ

室内外の両面から放射環境を調整する計画の概要を示した。性能検証結果として微気流併用による快適域の拡大について、また1年間運用データによる空気質とエネルギー消費実績、各種省エネルギー効果の実績、ならびに東京都における業務用建築の中でのエネルギー消費密度の位置付けについて明らかにした。

謝辞

本取組に当たり多くのご協力を頂いた YKK 不動産株式会社、YKK 株式会社、YKK AP 株式会社、並びに関係者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 水出喜太郎、一ノ瀬雅之ら：微気流を併用した放射冷暖房を行うオフィスの温熱環境に関する実験研究（第1報）～（第4報）、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集、2014年9月
- 2) 本郷太郎、一ノ瀬雅之ら：微気流を併用した放射空調を行う都市型環境建築の性能検証（第1報）～（第4報）、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集、2016年9月
- 3) ASHRAE：Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2010
- 4) 東京都環境局：地球温暖化対策制度 結果報告書（2009年度実績）公表データ