

# 鹿島 KI ビル ZEB 化改修実証試験 Renovation Technology for Kajima KI Building towards the Net-Zero Energy Building

鹿島建設株式会社 建築設計本部 設備設計統括グループ  
KAJIMA CORPORATION, Architectural Design Division Mechanical and Electrical Engineering Department

平岡 雅哉  
Masaya HIRAOKA

キーワード：ZEB (Net-Zero Energy Building)、改修技術 (Renovation Technology)、性能評価 (Performance Evaluation)、空調システム (Air-conditioning System)

## 1. はじめに

改正省エネルギー法や東京都条例などの建築物の CO<sub>2</sub> 排出量への規制が段階的に強化され、建築主を中心に建物の省エネルギーに対する関心が高まっている。これまで、自社新築案件を中心に環境配慮建築のモデル化を推進してきたが、ストック重視の観点から既存ビルの省 CO<sub>2</sub> 化技術を整備するに至った。

今回、自社施設である KI ビルの一部を対象として、居ながら短工期改修で ZEB (ゼロ・エネルギー・ビル) 化を目指した改修工事を実施し、開発した要素技術の実証試験を実施した。本報では、改修工事及び適用技術の概要と導入した空気放射空調システムの事前評価結果と竣工後の性能評価について報告する。

## 2. 改修計画

### 2.1 建物・工事概要

改修工事を行った KI ビルは、1989 年に建設された、地下 1F・地上 9F 建、延床面積 29,468m<sup>2</sup> のオフィスビルである。今回、6 階事務室エリアについて、フロア約 1,000 m<sup>2</sup> のうち、その 1/2 である 500m<sup>2</sup> にて改修工事を実施した (図 1)。改修エリアの内観写真を図 2 に示す。

改修による省エネルギー効果の目標値は、空調・照明・コンセントを合わせた改修エリアの年間一次エネルギー消費量を、図 3 に示すように非改修エリア比で 50%削減と設定している。目標の検証確認は、改修エリア／非改修エリアについて電力等のエネルギー消費量を用途別 (照明、空調、コンセント) に計測する計画である。両者は同じフロアで同じ業務形態であることから、開発技術の導入による節電・省エネルギー効果を定量的に把握が可能と考えており。

また今回の改修工事は、オフィス市場に展開する際にテナントが入居した状況での居ながら工事を想定し、当社の夏季休暇 9 日間で実施した。PC や什器などはそのまま、櫓状に足場を組んで施工を行った。(図 4)

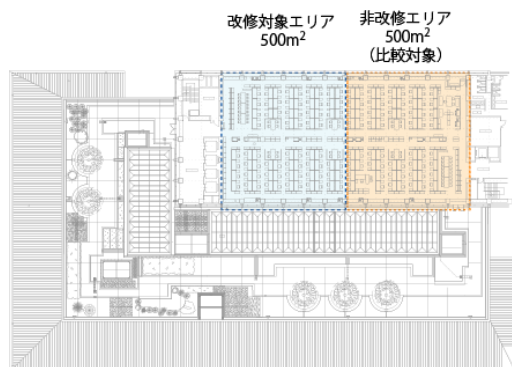


図 1 KI ビル 6 階平面図



図 2 改修エリア内観

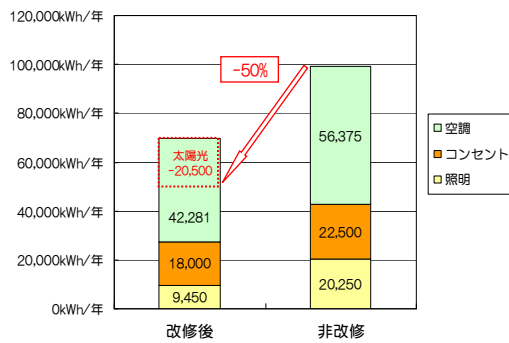


図3 改修による年間エネルギー消費量目標試算



図4 改修工事 実施状況

## 2.2 適用技術と全体システム

本件での主な適用技術を図5に示す。

太陽光発電による電力をリチウムイオン蓄電池にて充放電することで電力供給を安定的に行う「スマート充放電制御システム」をはじめ、「人密度検知人感センサーによる空調・照明制御」、「空気放射空調システム（湿度処理分離デシカント空調機と対流促進型空気放射）」、「グリッド天井対応の明るさ感演出 LED 照明」、「エネルギーのリアルタイム見える化」、「汎用タブレット端末を利用したオフィス環境の最適化アプリ」などの技術を導入している。



図5 適用技術 全体システム図

## 2.3 空気放射空調システムの概要

図6に空気放射空調システムを示す。本システムは、外気処理をヒートポンプデシカントパッケージ、室内負荷処理をビル用マルチ（高顕熱型）室内機にて行う。

室内機からの給気に天井面に設置したアルミ製のパンチング吹出口を使用することで、対流と放射を併用した空調を行い、冷房時は高めの設定温度でも冷涼な体感温度が得られることを意図している。また湿度制御を外気処理系統にて単独で行い、冷房時は室内設定温度を高く、暖房時は低く設定しても適度な湿度を保持することにより快適性が維持され、省エネルギーを図っている。

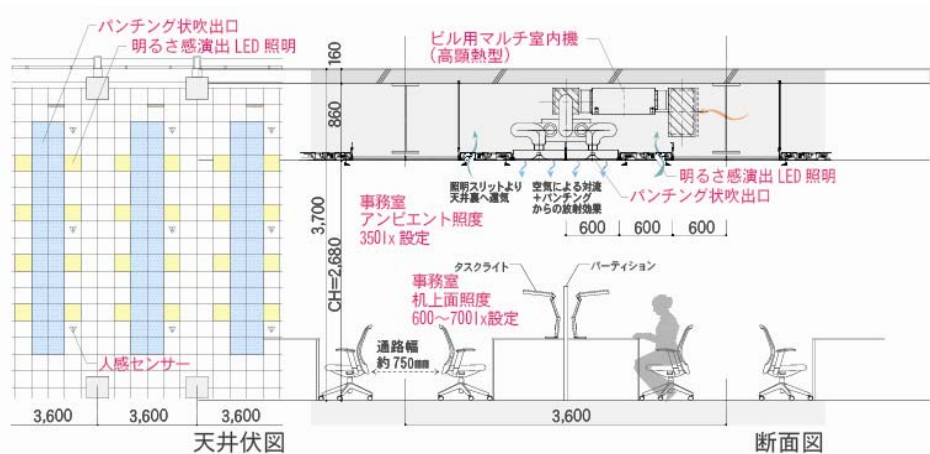


図6 空気放射空調システム概要

### 3. 空気放射空調システムのエネルギー評価

#### 3.1 解析概要

改修エリアに導入する空気放射空調システムについて、事前検証としてエネルギー評価を行った。非改修エリアの既存空調であるセントラル熱源方式（地域冷暖房・蒸気吸収冷凍機+AHU・FCU）、一般的な空冷ビル用マルチ方式（EHP+外気処理パッケージ）と比較し、その性能を評価した。

表1に解析条件を示す。解析ツールは、負荷計算にMICRO-PEAK、MICRO-HASP系のツール、エネルギー計算にはLCEMを使用した。対象面積は改修エリア500m<sup>2</sup>とし、既存システムの能力をベースとして機器選定を行った。季節設定は、夏期：6/1～9/30、中間期：4/1～5/31・10/1～11/30、冬期：12/1～3/31とした。

#### 3.2 解析結果

年間でのエネルギー消費量結果を図7、月別での結果を図8に示す。年間積算の一次エネルギー消費量として、既存空調（地域冷暖房・蒸気吸収冷凍機+AHU・FCU）との比較で40%、空冷ビル用マルチ方式（EHP+外気処理パッケージ）と比較し25%減少する結果となった。また月別の結果を見ると、負荷の少ない中間期は差異が少ないものの、熱源・PACが運転するピーク時（特に冷房）では削減効果が大きいことが確認され、採用した空調システムの有効性が示された。

表1 各ケースの設定条件・機器性能

		AHU, FCU 蒸気吸収冷凍機	EHP+ 外調機	ヒートポンプ+シカト パッケージ+ 高顕熱EHP
機器単体COP (一次エネルギー換算)	冷房	1.39	1.47	1.66
	暖房	0.87	1.45	1.49
外気量		2000m <sup>3</sup>	2000m <sup>3</sup>	2000m <sup>3</sup>
			外気処理PAC	DESICA
室内機		10,000m <sup>3</sup> ×1台 #400×24台	7.1kW×4台×4	5.6kW×5台×4
室内設定温度、湿度	夏期	26℃ 50%	26℃ 50%	28℃ 40%
	冬期	22℃ 40%	22℃ 40%	20℃ 40%

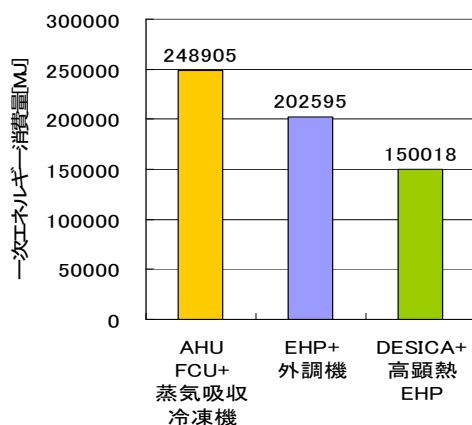


図7 年間エネルギー消費量評価

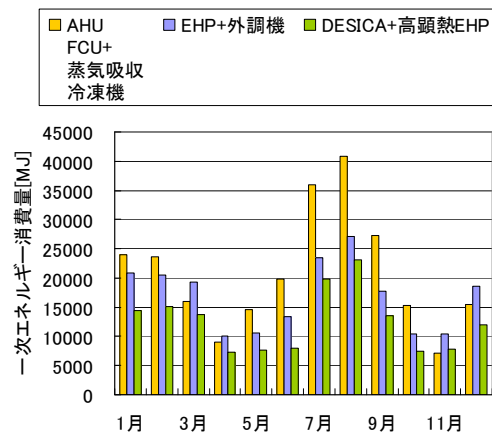


図8 月別エネルギー消費量評価

### 4. 実験・シミュレーションによる室内環境予測

空気放射空調システムにおける室内環境性能を事前検証するため、①吹出口モックアップによる気流性状確認、②CFDによる室内環境評価を実施した。以下にその結果を示す。

#### 4.1 吹出口モックアップによる気流性状確認

##### (1) 概要

空気放射型吹出口の気流性状及びパンチング表面における放射冷却効果を確認するため、環境試験室において実寸にてモックアップを作成し、性能試験を実施した。

パンチング吹出口は1枚当たり600mm×600mm<sup>□</sup>（アルミ製）であり、開口率5.5%とした。試験体

は吹出口 4 枚を 2×2 グリッドで配置し、吹出風量 35m<sup>3</sup>/h（一枚当たり）、吹出温度 16℃、室内温度 28℃にて測定した。

## (2) 試験結果

気流の可視化結果を図 9、パネル表面温度の測定結果を表 2 に示す。4 枚同時に吹出すと、中央部が負圧となることで気流が相互に誘引され、居住域（FL+1.2m）での残風速が 0.4m/s 程度となった。またパネル表面温度は、ダクトからの吹出気流が直接当たるパネル中央部では 17.5℃と低く、端部では 20.5℃とばらつきがあるものの、パネル表面の冷却効果が確認された。

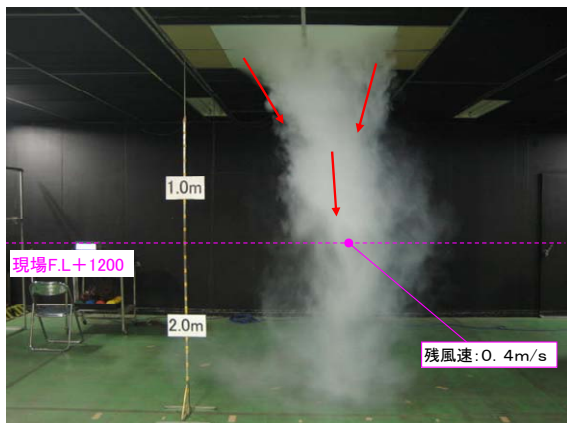


図 9 可視化試験 状況

表 2 パネル温度測定結果

温度測定点	吹出温度	周囲温度	パネル端部①	パネル中央部	パネル端部②
温度(°C)	15.7	27.7	20.5	17.5	20.5
吹出温度差(°C)	—	12.0	4.8	1.8	4.8

## 4.2 CFD による室内環境評価

### (1) モデル・解析条件

計算モデルを図 10、解析条件を表 3 に示す。6 階事務室の個人席周りを再現したモデルとし、天井照明や家具・パーティション、PC、タスクライト等を配置した。計算領域は 1,800(X)×1,800(Y)×2,680(Z)（中心にて対象境界を使用し、1 座席分のみ解析）とし、人体は円筒形状にてモデル化を行った。

空調方式は、開発したパンチング吹出口による方式（以下、空気放射方式）と一般的なアネモ吹出口による方式（対流方式）の 2 ケースとし、室温 28℃設定とした。

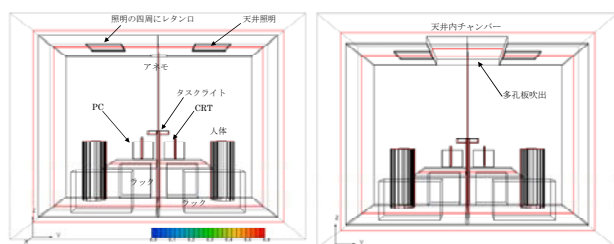


図 10 計算モデル（左：対流方式、右：空気放射方式）

表 3 解析条件

乱流モデル：	低レイノルズ数モデル
境界条件：	吹出口 105m <sup>3</sup> /h、22℃
発熱条件：	人体 1 50W
	PC 42.5W
	CRT 24.2W
	タスクライト 34W
	照明 53W
	多孔板面実験における圧力損失値を与えた
	照明発熱については、50%を放射成分として
	床面・机上面に与えた
	各表面の長波放射率：0.9

### (2) 解析結果

図 11 に MRT（平均放射温度）、図 12 に気流分布の解析結果を示す。

図 11 より、対流方式では照明・PC 等からの発熱影響を受け、人体周辺での MRT が 30℃近くまで上昇している。空気放射方式ではパンチング吹出口の放射冷却により、28～28.5℃と 1℃以上低下していることが確認され、空気放射方式の効果が示された。

図 12 を見ると、空気放射方式ではモックアップでの確認と同様、気流が相互に誘引され、パーティションに当たり人体側へ流れて循環流を形成している様子が確認された。



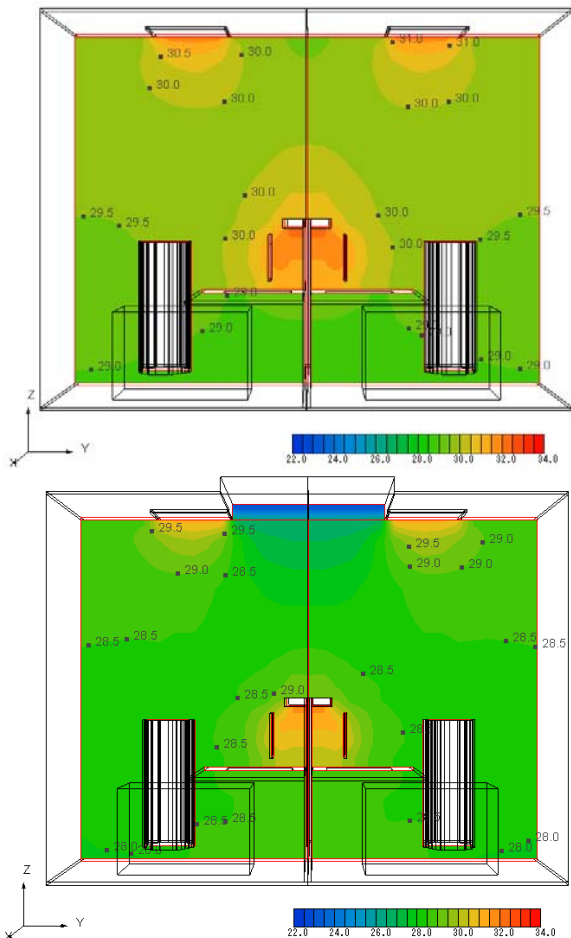


図 11 MRT 解析結果

(上：対流方式、下：空気放射方式)

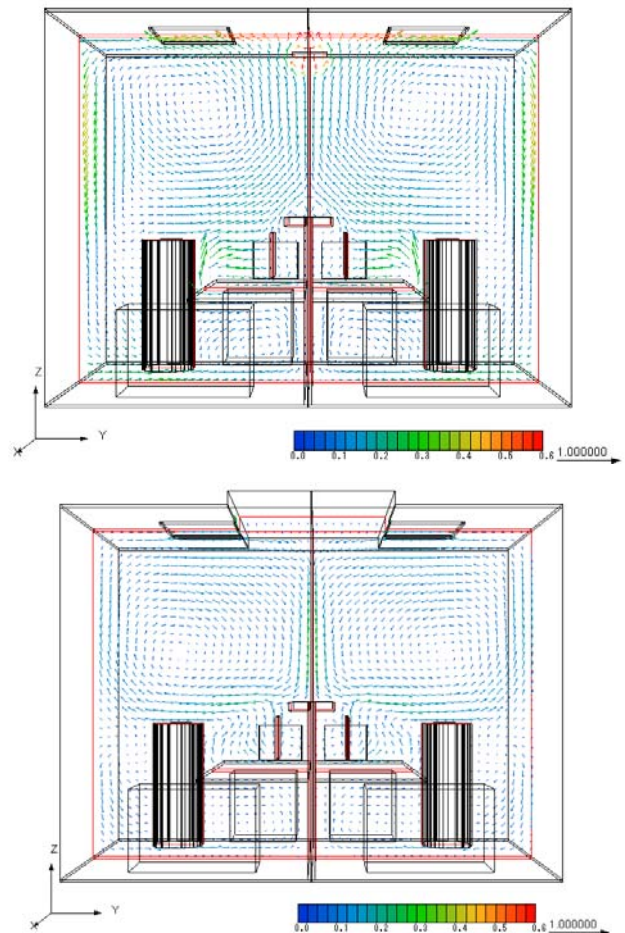


図 12 気流分布解析結果

(上：対流方式、下：空気放射方式)

## 5. 測定概要と結果

測定場所は、改修工事を実施した KI ビル 6 階事務室エリアにて実施した。

測定項目を表 4、測定ケースを表 5 に示す。改修エリア・非改修エリア各々にて、室内温度・湿度、風速などの項目で、夏期は 2011 年 9 月 5 日（月）～22 日（木）、冬期は機器設置：2012 年 1 月 10 日（火）～3 月 2 日（金）まで連続測定を行った。夏期では、節電時の運用などを考慮し、設定温度・照度を変えたケースを設定した。

また温度・風速などの分布を確認するため、代表日において移動計測を実施した。室内の測定位置、測定状況を図 13・図 14 に示す。

### 5.1 夏期（冷房）測定結果

夏期結果は、代表として Case2 (27℃設定) より 9/7 の結果を中心に述べる。

#### (1) 外界気象条件

9/4～10 の外気温湿度・日射量を図 15 に示す。代表日である 9/7 は、最高気温 30℃、日射量 1,000lx (最大) と典型的な晴天日であった。

#### (2) 室内温度分布

図 16 に改修エリア・非改修エリアの上下温度分布、図 4 に移動測定による平面温度分布を示す。改修エリアでの室温は室使用開始前で 27℃程度、空調時間帯で 25～26℃程度と、設定温度に対してやや低め、居住域 (FL+0.1～1.7m) での上下温度分布は 1℃未満とさほど大きくない結果となった。またグローブ温度は室温とほぼ同値であり、照明器具や窓面からの熱放射の影響がパンチング面からの放射冷却でキャンセルされたと考えられる。非改修エリアでは、空調時間帯で 26～27℃となっており、改修エリアよりやや高めとなった。但し、平面温度分布をみると、全体ではほぼ同等の温度環境

であったと考えられる。

(3) パネル・吹出口周り温度（改修エリア）

図 18 にパンチング吹出口のパネル表面／チャンバ内・吹出近傍の空気温度を示す。室内機が運転している状態では、チャンバ内の空気温度・パネル温度（上下共）は 18℃となっている。その他の天井面・壁面と比較して 8～9℃下がっている事から、居住者への放射冷却効果は得られていると考える。

(4) CO<sub>2</sub>濃度（改修エリア）

図 19 に 9/4～11 の CO<sub>2</sub>濃度を示す。夜間では 400ppm、日中の室使用時間帯では 800～900ppm となっており、ビル管法の基準値（1,000ppm）は満足されている。また、移動測定で確認した平面分布も、概ね 800～900ppm であった。

(5) PMV

図 20 に PMV の時系列変化を示す。PMV の算出条件は 0.6clo, 1.2met とした。改修エリアの PMV は 0.0 程度であり、望ましい環境であったと考えられる。対して、非改修エリアでは 0.5 程度とやや高い値であった。

(6) 座席周り 鉛直方向環境分布

図 21 に改修エリア・吹出近傍の温度・風速分布を示す。冷房運転時（低温吹出の場合）では、吹出温度 16.2℃に対して居住域（FL+1.1m）の温度が 25.3℃、グローブ温度は 25.9℃となっている。また風速は、パンチング吹出口の下部では 0.2～0.3m/s 程度の気流が見られた。これは、吹出気流が中央で合流したためであり、近傍では上下温度分布がつきやすい状況であったと考えられる。

(7) 表面温度熱画像

図 22 にサーモカメラによるパネル表面温度の熱画像を示す。冷房吹出時のパネル表面温度は 18～21℃程度、天井表面温度は 26～27℃程度である。また風量バランスやチャンバ形状などの影響で、吹出口パネルに温度分布が生じている状況が確認された。

表 4 測定項目

項目	測定場所	使用機器	測定数
(1)外気条件	① 外気温度	屋上（隣接建屋）	T型熱電対
	② 全天日射量	屋上（隣接建屋）	日射計
	③ 屋外風向・風速	屋上（隣接建屋）	風向風速計
(2)室内環境 (連続測定)	① 室内温度	天井表面 (FL+2.68m) FL+2.58, 2.2, 1.7, 1.1, 0.6, 0.1m 床表面	T型熱電対
	② グローブ温度	FL+1.1m	グローブ温度計
	③ 室内湿度	FL+1.1m	温湿度ロガー
	④ 空調吹出温度	パネル中央 (非改修はアネモ吹出口)	T型熱電対
	⑤ 放射パネル温度	パネル中央 (非改修はアネモ吹出口)	表面センサー (T型熱電対)
	⑥ PMV	FL+1.1m	サーマル コンフォート メータ
	⑦ CO <sub>2</sub> 濃度 (夏期のみ)	FL+1.1m	CO <sub>2</sub> 濃度計
	⑧ 粉塵濃度 (夏期のみ)	FL+1.1m	粉塵濃度計
	⑨ 吹出温度分布 (改修エリアのみ)	パネル入口側・出口側	T型熱電対
	⑩ 在室人員 (改修エリア・ 夏期のみ)	改修エリア全体	人感センサー
	⑪ 窓周り温度 (冬期のみ)	空気温度: FL+1.7, 1.1, 0.1m グローブ温度: FL+1.1m 窓表面温度	T型熱電対 グローブ温度計 表面センサー (T型熱電対)
(3)室内環境 (移動測定)	① 室内温度分布	(図1参照)	T型熱電対
	② 室内風速分布	(図1参照)	熱式風速計
	③ CO <sub>2</sub> 濃度 (夏期のみ)	(図1参照)	CO <sub>2</sub> 濃度計
	④ 表面温度熱画像	放射パネル面・室内壁面等	サーモカメラ
	⑤ 吹出風量分布	パネル入口側・出口側	熱式風速計
	⑥ 座席近傍 温度・風速分布	(図1参照)	T型熱電対 熱式風速計
	⑦ MRT (天井面・床面)	(図1参照)	MRT計
	⑧ 在室人員	改修・非改修エリア全体	目視

表 5 測定ケース

ケース設定	日程	照度	空調 設定温度	パネル 設定温度	
夏期 (冷房)	Case1	2011/9/8～9	350 Lx	26℃	20℃
	Case2	2011/9/5～7	350 Lx	27℃	20℃
	Case3	2011/9/20～22	250 Lx	27℃	20℃
	Case4	2011/9/15～16	250 Lx	28℃	20℃
冬期 (暖房)	Case1	2012/1/10～3/2	350 Lx	24.5℃	28℃

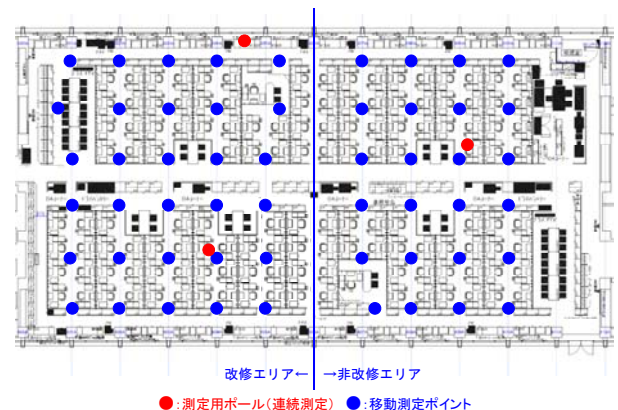


図 13 室内測定位置（連続・移動測定）



図 14 測定状況

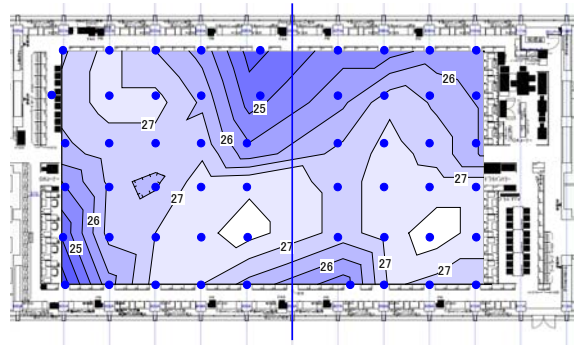


図 17 室内平面温度分布 (冷房時、FL+1.1m)

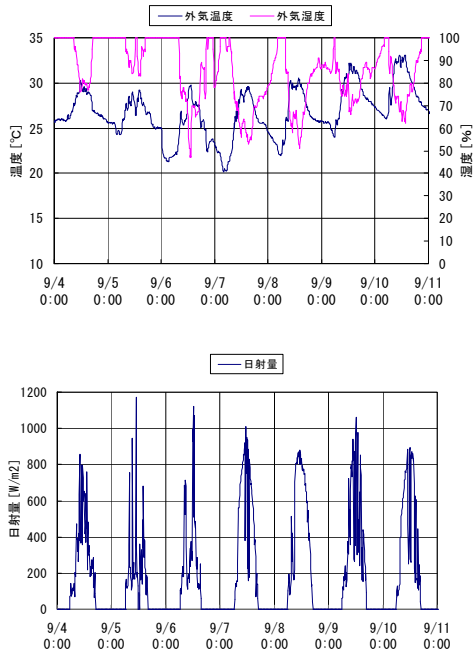


図 15 外界気象条件

(9/4~11、上：外気温湿度 下：日射量)

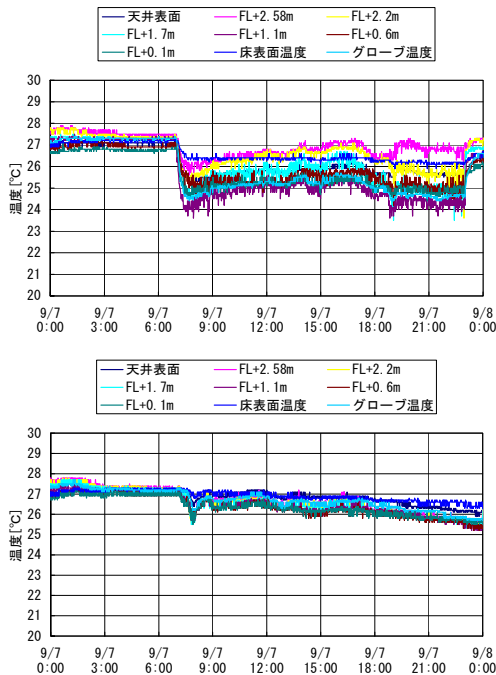


図 16 室内上下温度分布

(冷房 Case2、上：改修 下：非改修)

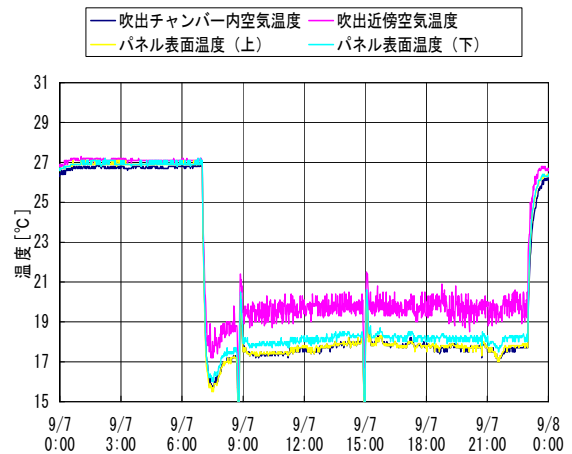


図 18 パネル・吹出口周り温度

(冷房 Case2、改修エリア)

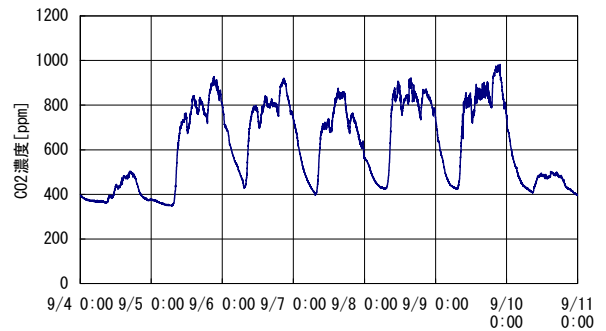


図 19 CO<sub>2</sub> 濃度 (冷房時、改修エリア)

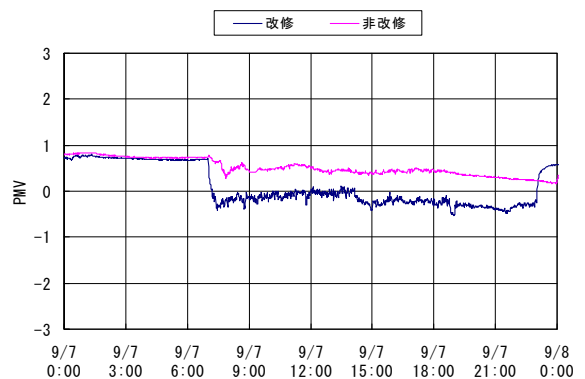


図 20 PMV 比較 (冷房 Case2)

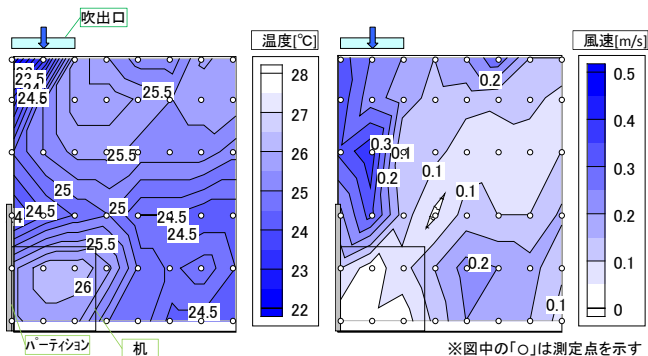


図 21 座席周り断面環境分布  
(冷房 Case2、左：温度 右：風速)

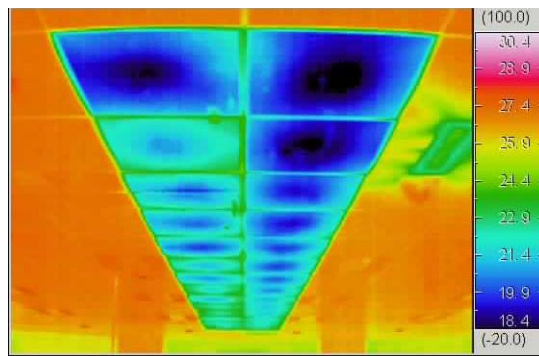


図 22 放射パネルの表面温度熱画像（冷房時）

## 5.2 冬期（暖房）測定結果

冬期結果は、代表として 2/12～18 の結果を述べる。

### (1) 外界気象条件

2/12～18 の外気温湿度・日射量を図 23 に示す。最高気温は晴天日 8～10℃、曇天日 4℃程度、最低気温は 0～2℃であった。日射量は晴天日で最大 700lx であった。

### (2) 上下温度分布

図 24 に改修・非改修エリアの上下温度分布を示す。改修エリアの室温は 23～24℃程度となっている。天井近傍温度（床上 2.58m）は吹出温度の影響により、最高 30℃程度まで変動していることがわかる。非改修エリアは 1℃程度高く、天井近傍から床面の温度は概ね 24～27℃の間で変動している。

### (3) パネル・吹出口周り温度（改修エリア）

図 25 にパンチング吹出口のパネル表面／チャンバ内・吹出近傍の空気温度を示す。室内機が運転している状態では、チャンバ内の空気温度・パネル温度（上下共）は最高で 35℃であるが、吹出温度は 26℃程度であることから、吹出された暖気は室内空気とすぐに混合していることが分かる。また温度上昇は、空調開始～午前中が中心で、午後は等温吹出となっている場合が多い。その場合、パネル温度は吹出温度とほぼ同等となっている。

### (4) PMV

図 26 に改修・非改修エリアの PMV (1.0clo, 1.2met, 1.2kPa) を示す。改修エリアの PMV は 0.7～1.0 程度であり、非改修エリアの 0.6～0.7 程度よりやや高いが、暖房時の室内環境はほぼ同等であった。

### (5) 表面温度熱画像

図 27 に吹出パネル表面温度の熱画像を示す。吹出温度高温時のパネル表面温度は 29℃程度、天井表面温度は 26℃程度であり、冷房時と比較すると温度差は小さい傾向である。

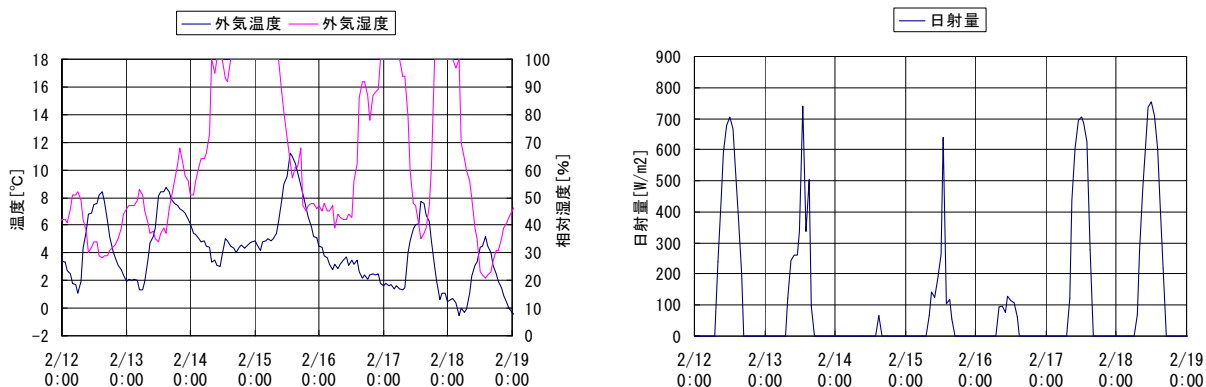


図 23 外界気象条件（2/12～18、左：外気温湿度 右：日射量）



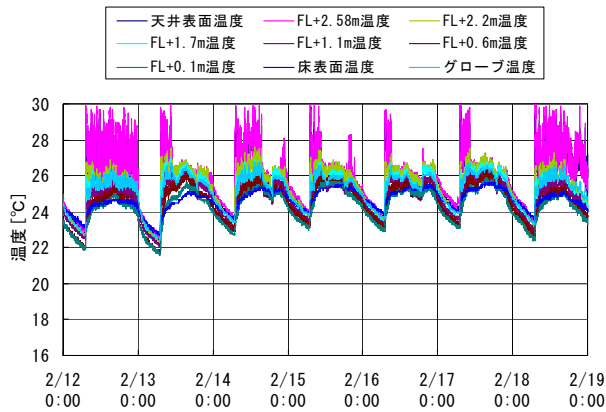


図 24 室内上下温度分布  
(暖房時、上：改修 下：非改修)

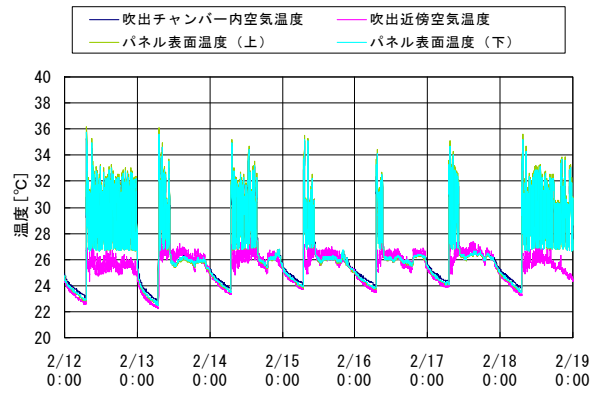


図 25 パネル・吹出口周り温度  
(暖房時、改修エリア)

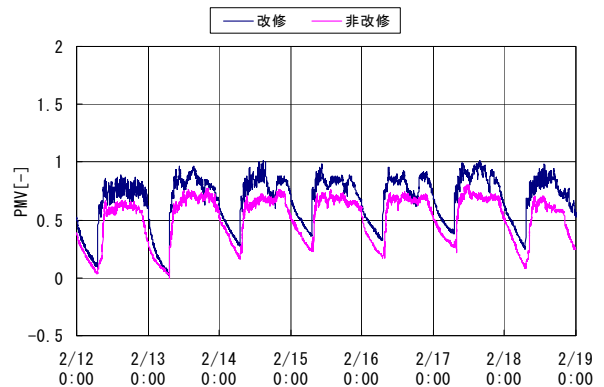


図 26 PMV 比較 (暖房時)

## 6. まとめ

KI ビルにおいて実施した Z E B 化改修工事及び開発技術の概要、空気放射空調システムの事前評価を実施した。エネルギー消費量、室内環境の両面から、空気放射方式の有効性を確認した。

また、夏期・冬期の室内温熱環境を検証した。温度・気流・放射環境について、冷房時の温熱環境を室全体・座席周りについて測定し、パンチング吹出口による放射冷却効果を確認した。今後は、既存システムと比較したエネルギー消費量の分析・検証を進めていく予定である。

本開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「省エネルギー革新技術開発事業（電力需給緊急対策）」より助成を受けた、「次世代電力マネジメントシステムを活用した既存オフィスの Z E B 化技術の研究開発」の一環として実施された。

### 【謝辞】

本システムの構築や共同研究に当たり川瀬貴晴教授（千葉大学）、各種適用技術についてダイキン工業（株）、オムロン（株）、パナソニック電工（株）、東光電気（株）、協立エアテック（株）など関係各位に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を示します。

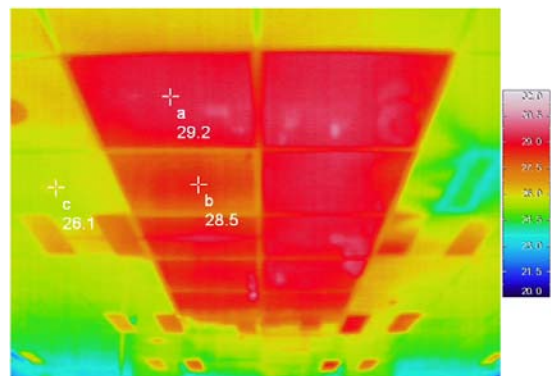


図 27 放射パネルの表面温度熱画像 (暖房)