

## 四国支店新社屋における省エネ施策の効果と夏期室内環境実態の評価

川上 梨沙 太田 昭彦 浅野 勝弘 竹内 啓祐 熊野 直人 村上 宏次 長谷部 弥 大西 由哲  
(技術研究所) (関西支店) (関西支店) (関西支店) (技術開発部) (技術開発部) (技術研究所) (技術研究所)

### The First Year Achievement of Energy Saving in New Shikoku Branch Building, and Evaluation on Actual Indoor Environment in Summer.

Risa Kawakami, Akihiko Ota, Katsuhiko Asano, Keisuke Takeuchi,  
Naoto Kumano, Koji Murakami, Hisashi Hasebe and Yoshinori Ohnishi

清水建設株式会社四国支店新社屋は、BCPの強化と中規模オフィスビルのZEBモデルとなることを目指し、様々な技術を導入した。本論文では、導入した技術の1つである、新たな空調・換気システム“S-ラジシステム・ライト”における省エネ効果と、そのシステムによって形成された夏期冷房時の室内環境の実態を紹介する。具体的には、四国支店新社屋では空調・換気用途で従来システムを利用した場合に比べて約47%の省エネを達成し、室内環境に対する満足者率は60%前後で、不満足者率は20%以下であった。

New Shikoku Branch building has introduced various technologies for improving BCP (Business Continuity Planning) and saving energy. This paper describes an effect of the new air conditioning system, known as the 'S Radiant System Lite', which is technology introduced to realize energy conservation. Also, it is explained how the actual indoor environment formed by this system was evaluated by the occupants. Specifically, the air conditioning and ventilation system of this building achieved energy savings of about 47% compared with the conventional system. In addition, the satisfaction rate for the indoor environment was over 60%, and the rate of unsatisfactory people was less than 20%.

#### 1. はじめに

2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、2030年までに新築建物平均でのZEB実現を目指すことが明記されており、在室者の快適性を損なわずに省エネを実現するビルの建設は国全体で取り組むべきとされる。特に中規模オフィスビルのZEB化は、概算では技術的に可能とされているが、まだ実例が少ない。その背景には積極的な技術革新への挑戦が少ないという現実もさることながら、建築と設備を総合的に設計し、かつ統合制御の技術導入を行っているモデル建物の不足、補助金の導入等によるZEB化の付加価値を印象づける事業モデルの不足、等が挙げられる。

そこで、中規模オフィスビルである四国支店新社屋(写真-1)は災害時活動拠点として機能するようBCPを強化するだけでなく、ZEBモデルビルとなることを目指し、外皮高断熱化、地中熱・

自然通風の利用、高効率機器の利用のほか、新たな空調システム“S-ラジシステム・ライト”を導入した。本稿では、これら導入技術に関する初年度省エネ実績と、S-ラジシステム・ライトによる夏期冷房時の室内環境実態について報告する。



写真-1 建物全景(北面・東面)

## 2. 四国支店新社屋

### 2.1 建築概要

本建物は高松市に位置し、支店機能を有すると共に、関連会社事務所を集約したオフィスビルである(表-1)。1階は駐車場を兼ねたピロティと入館ロビーがあり、2階から4階までがオフィスフロアとなる。図-1に3階平面図を示す。オフィスの南面・東面・北面ではLow-εペアガラスファサードとなり、東面では庇の他に有孔折板金属パネル(写真-1、2)が日除けとして作用する。一方、オフィスフロアの西側中央にはエコボイド(写真-3)と名付けた中庭空間があり、室内空間への採光と通風性能の向上を狙って計画されている。また、通風による自然換気を中間期に行うことを想定し、室内に取り込むのに適切な外気条件時に室内各所に設置した自然換気有効表示灯(写真-4)を点灯させることで、在室者へエコボイドを含めた開口部の開閉を促した。

本建物にはその他にも様々な省エネ技術やBCP技術を導入したが、それらのうち空調システムの一つとして空調面積の約60%で採用したS-ラジシステム・ライトについて本稿で紹介する。

### 2.2 S-ラジシステム・ライト

#### 2.2.1 構成としくみ

S-ラジシステム・ライトは、天井内に設置する冷却装置(以下“チルドビーム(CB)”と呼ぶ/写真-5)と、“有孔金属天井パネル”の2つで構成される。これは、冷水を流したCBによって天井内空気を冷却し、天井パネル表面から天井下の人体表面に対する放射と、天井パネルの開口部を通じて居室側へ滲み出てきた自然対流によって空調を行うシステム(図-2)である。

原則としてインテリアゾーンでの使用を想定し、天井パネルとCBの最終仕様は、技術研究所内に

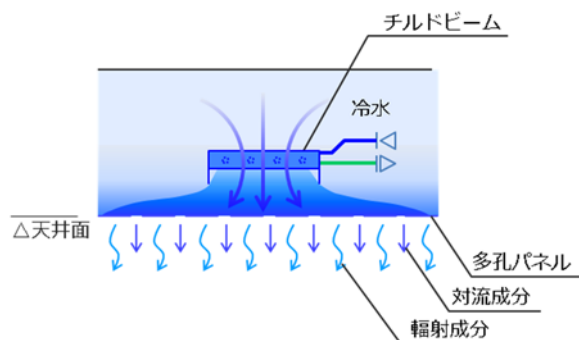


図-2 S-ラジシステム・ライト概念図

表-1 建物概要

所在地	香川県高松市寿町2-4		
敷地面積	1072.30 m <sup>2</sup>	延床面積	2488.62 m <sup>2</sup>
構造	RC造、柱頭免震構造		
階数	4階	主用途	事務所
竣工	2016年2月		

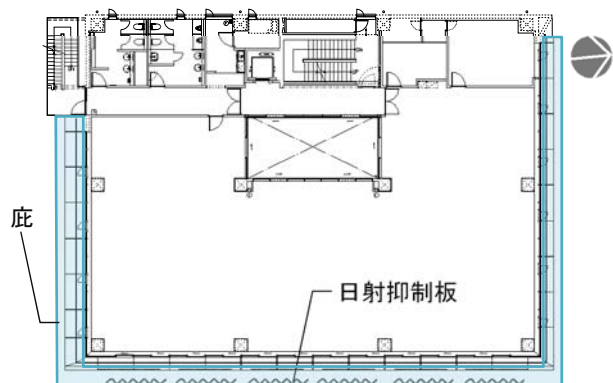


図-1 3階平面図



写真-2 日射抑制板

写真-3 エコボイド



写真-4 自然換気有効表示灯



写真-5 チルドビーム(CB)

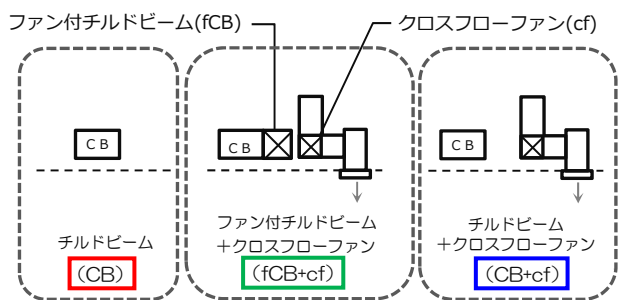


図-3 チルドビームとファンの組み合わせ

作成した実大モデルルームにおける性能確認実験<sup>2, 3)</sup>を経て決定している。ただし本建物では、インテリアゾーンの負荷処理だけでなく、ペリメータゾーンの負荷処理にも当システムを活用した。特に暖房時には、温水をCBに流して得る天井内暖気を居住域へ効率的に送り出すことを目的として一部のCB周りに2種類のファンを設置し、有効活用を試みた。ファンとCBの組み合わせを図-3に、ファンの稼働条件を表-2に示す。

なお、S-ラジシステム・ライトは顕熱負荷を処理する装置であるため、潜熱負荷の処理として別途デシカント処理が可能な水配管レス調湿外気処理機を天井内に設置した。また、中間期においては自然換気有効表示灯の点灯と同時にS-ラジシステム・ライトは自動的に停止する。

### 2.2.2 導入メリット

S-ラジシステム・ライトは水搬送であり、空気搬送よりも搬送動力の削減が期待できる。また、ファンレスであるため気流速度が小さく、すなわち在室者への不快気流が発生しにくいと考えられる。加えてファン騒音の低減が可能である。更にCBの集約化によるコスト低減や、配管接続箇所数の削減、建築天井工事との完全分離の点で施工性が向上する。

### 3. 初年度省エネ実績

本稿では、本建物における初年度(2016年4月~2017年3月)の省エネ実績を一次エネルギー消費量または月別消費電力にて示す。実績値は、本建物に導入したクラウド式BEMSから測定データを抽出し、算出した。初年度実績値に対する比較として、基準仕様の空調・換気システム(電気式空冷ヒートポンプパッケージ+全熱交換機方式)を本建物に導入した場合の予想値<sup>注1)</sup>(以下、“基準値”と呼ぶ)と、本建物の設計計画時の予想値<sup>注1)</sup>

表-2 ファンの稼働条件

室温	Low ← → High		
冷房	f	OFF	
	cf	OFF	ON弱 ON強
暖房	f	ON	OFF
	cf	ON強 ON弱	OFF

f: ファン付CBのファン、cf: クロスフローファン(図-3参照)

(以下、“計画値”と呼ぶ)の2つの数値を用いる。

### 3.1 年間一次エネルギー消費量

図-4に、建物全体の年間一次エネルギー消費量<sup>注2)</sup>の基準値を100%とした場合における計画値と初年度実績値の割合を示す。空調・換気システムを基準仕様から「S-ラジシステム・ライト」と「個別パッケージシステム」に変更したほか、前述の通り様々な省エネ技術を導入し計算した結果、計画値の削減率は基準値に対し55.2%(再生可能エネルギーの一つである太陽光発電量を含めると63.2%)となり、50%以上の削減にあたるZEB Readyを達成していた。そして初年度の実績値は、基準値に対して58.5%(太陽光発電量を含めると68.7%)の削減を実現し、計画値を超える省エネを達成した。

一方、空調・換気用途<sup>注3)</sup>に要した年間一次エネルギー消費量のみを見ると、基準値(1,411,739MJ/年)に対し、計画値では約55%の削減率を予想していた。しかし、初年度の実績値は746,986MJ/年となり、約47%の削減率であり、空調・換気用途に要した一次エネルギー消費量の実績値は計画値を達成することができなかった。

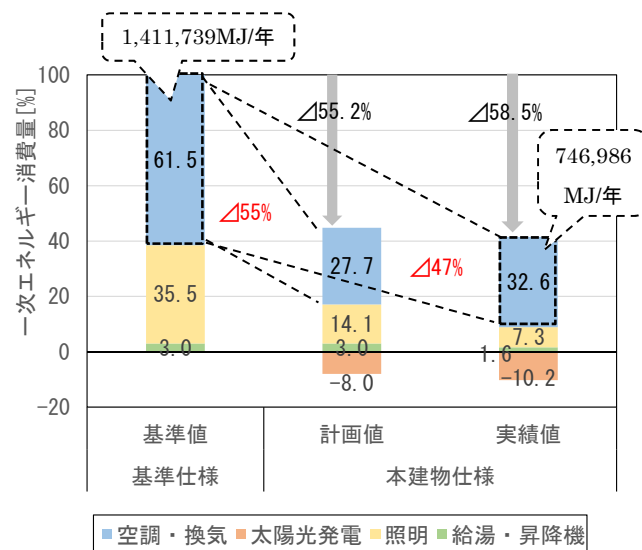


図-4 建物全体の年間一次エネルギー消費量

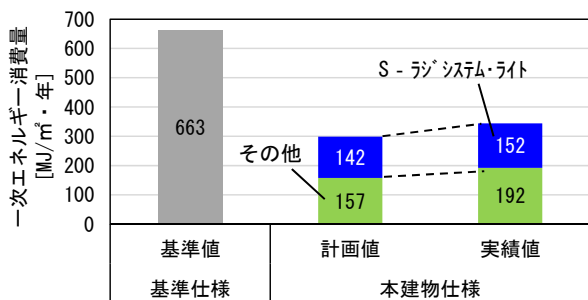


図-5 建物全体の空調・換気用途における年間一次エネルギー消費量

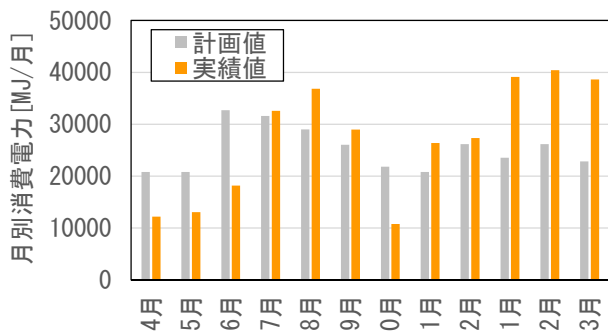


図-6 S-ラジシステム・ライトにおける月別消費電力の計画値と実績値

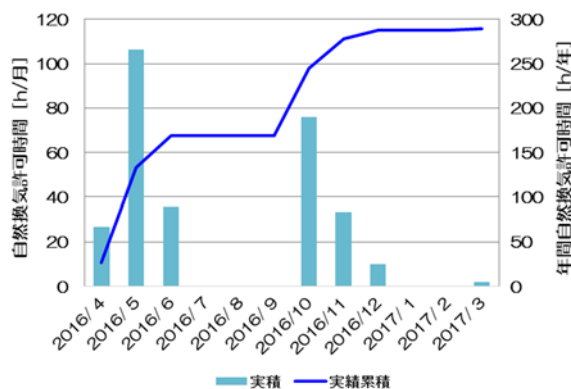


図-7 自然換気有効表示灯点灯時間<sup>注4)</sup>

### 3.2 S-ラジシステム・ライトの省エネ実績

図-5 に建物全体における単位面積あたりの空調・換気用途分の年間一次エネルギー消費量を、図-6 に空調・換気用途のうちS-ラジシステム・ライトに関する設備(地中熱ヒートポンプ、熱源水ポンプ、冷温水一次ポンプ、冷温水二次ポンプの合計値。水配管レス調湿外気処理機は除く)のみにおける月別消費電力を示す。

図-5 より、建物全体の空調・換気用途における年間一次エネルギー消費量の実績値は、計画値より約  $45\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$  大きくなった。そのうち、S-ラジシステム・ライトに関する設備による増加分は約  $10\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$  であった。

次に、図-6 より、S-ラジシステム・ライトに関する省エネ実績値が計画値より悪化した時期は自然換気を行っていた中間期(図-7)ではなく、冷房を行っていた夏期と暖房を行っていた冬期にあるとわかる。特に1月から3月期は実績値が計画値の約1.5倍となった。このように実績値が計画値を大きく上回った主な原因の一つとしてポンプ類やバルブ類の調整不足があり、運用2年目にて是正後の検証を再度行う予定である。

## 4. 室内環境の快適性の検証

前章にて初年度省エネ実績を示し、本建物では基準仕様の場合よりも年間一次エネルギー消費量で68.7%の削減を達成したことを紹介した。一方、省エネ対策を行ったことで、在室者に対する室内環境の質を損なってはならない。そこで本章では、S-ラジシステム・ライトを用いた夏期冷房時の室内環境の実態を調査した結果を、前進の放射空調システムであるS-ラジシステムを採用した本社屋との夏期実測結果<sup>4)</sup>と比較しながら報告する。

### 4.1 測定方法

2016年7月19日から7月29日において外気象(空気温度、相対湿度、日射量)と併せて、3階居室内の空気温度や相対湿度、気流速度、グローブ球温度、PMVのほか、天井内の空気温度やCBへの冷水温度・流量および室内各所の表面温度を計測した。各種測定点を図-8に示す。また、同時期に在室者に対して自席周りの室内温熱・光・音環境や知的生産性に関するWEBアンケートを実施した。本稿では温熱快適感や満足度および知的生産性に対し得られた評価を紹介する。

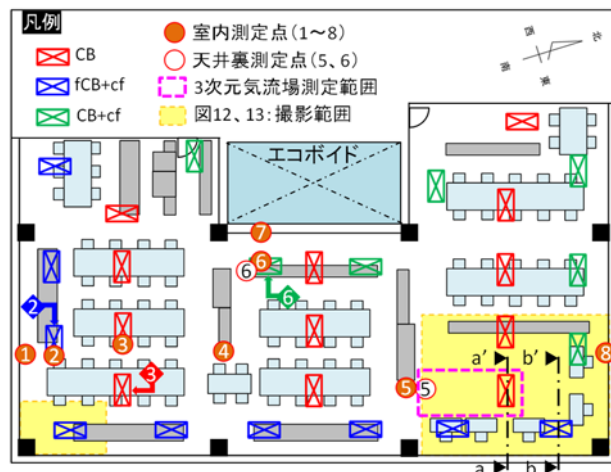


図-8 CB位置と測定点平面位置(抜粋)

## 4.2 物理環境測定結果

### 4.2.1 空気温度

図-9 にペリメータに位置する CB 直下の測定点②と、インテリアに位置する CB 非直下の測定点⑤における代表日 2016 年 7 月 29 日の日中 4 時間ごとの垂直温度分布を示す。CB 稼働中の居住域(h=0~1500mm)の空気温度の上下差は 0.1~0.5℃となった。これは、同等の外気条件であった 2012 年 8 月 2 日における本社屋(図-10)での上下差が 0.1~0.6℃であったことと比較しても、大きな上下差は無いと言える。

次に、図-11 に床上高さ 1100mm 地点における本建物と本社屋の空気温湿度の 1 日の経時変動を示す。本社屋における日中(8:30~17:10)の空気温度は 27.3~27.8℃<sup>註5)</sup>、一方本建物では特にペリメータ位置(測定点②)において 25.0~27.7℃とやや変動幅が大きくなった。これは本建物のペリメータでは、クロスフローファンによる対流の影響が、室内空気温度の変動に現れたと考えられる。

### 4.2.2 CB 稼働時の天井表面温度

図-12、13に天井面の熱画像を示す。CBの稼働によりCB直下の天井面の表面温度は20~21℃、

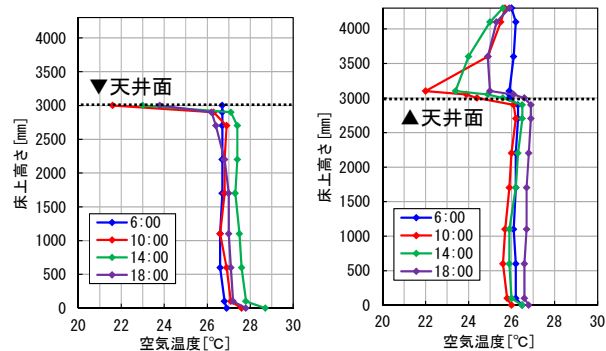


図-9 四国支店新社屋 垂直温度分布  
(2016/7/29, 左:測定点②, 右:⑤)

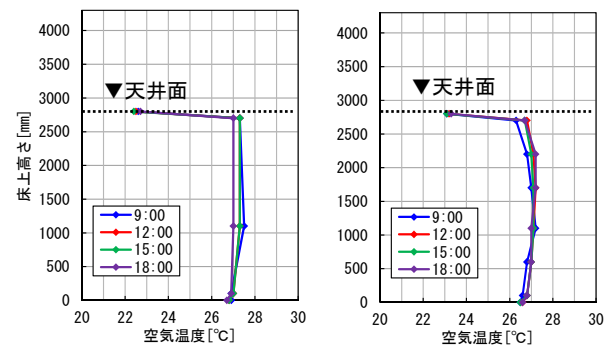


図-10 本社屋 垂直温度分布 4)に基づき作成  
(2012/8/2, 左:インテリア, 右:ペリメータ)

CB の中心から半径約 2m の範囲も 23℃となることが確認された。一方、CB から 2m 以上離れた位置の天井表面温度は 27℃前後であった。すなわち全ての CB が稼働していた場合、3 階空調空間の約 74%の天井表面温度が 20℃から 23℃となり、居室の多くの場所で放射冷却効果を得ることが出来ると言える。

### 4.2.3 PMV

図-14 に居住域の代表的な温熱環境実測値として、測定点③(h=1100mm)における PMV (予想温冷感申告値/着衣量 0.6clo、代謝量 1.2met と仮定)の経時変動を示す。0.17 から 0.95 の間(暑くも寒くもない~やや暖かい相当)で変動した。

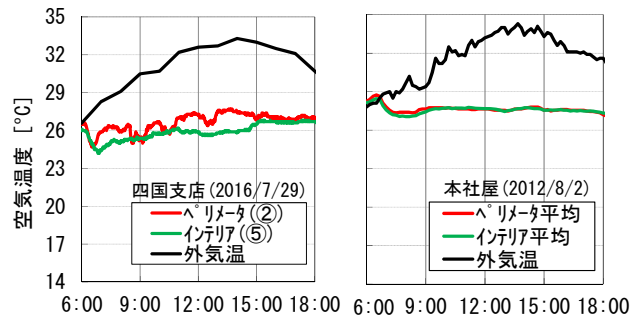


図-11 空気温湿度の経時変動  
本社屋グラフ(右)は4)に基づき作成

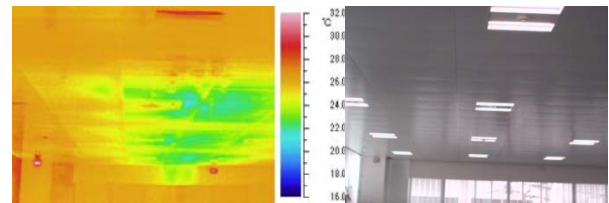


図-12 北東部 (2016/7/19 8:21 撮影)

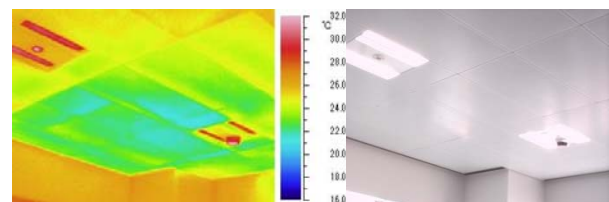


図-13 南東隅部 (2016/7/19 8:32 撮影)

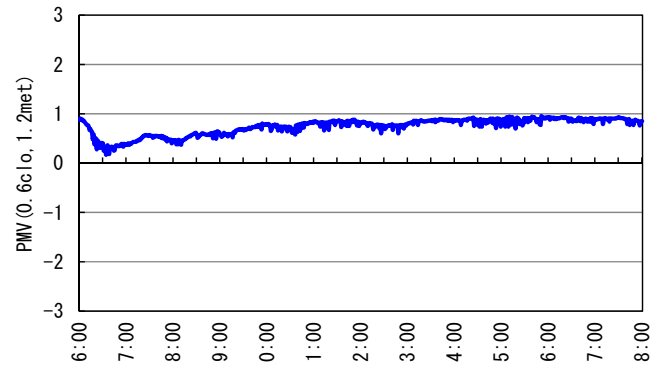


図-14 測定点③における PMV (2016/7/29)

### 4.3 在室者アンケートによる室内環境評価

WEBアンケートは在室者55名に配布した。回収率は75%(41名)、男女比は6:4となり、年齢は50代が約49%と最も大きい比率を占める。

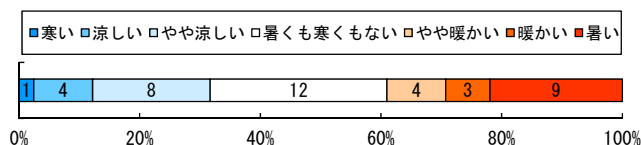


図-15 主観申告温冷感 TSV (N=41)

#### 4.3.1 温熱環境に対する申告

図-15に主観申告温冷感、図-16に温熱快適感の質問に対して選択された回答比率を示す。主観申告温冷感では「寒い」から「暑い」まで幅広い回答があったものの、「快適である」と回答した人は半数を超えた。また、温熱環境に対する満足度(図-17)の質問にて不満寄りの回答をした人の割合は20%以下、満足寄りの回答をした人は60%を超えた。これは本社屋(図-18)における温熱環境に対する満足度(56%)と同等である。

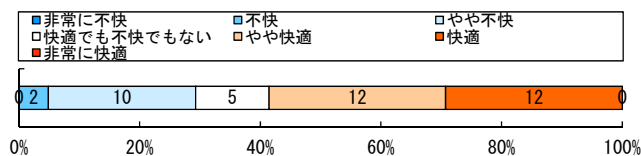


図-16 温熱快適感 (N=41)

#### 4.3.2 在室者の主観的知的生産性への影響申告

図-19、20に知的生産性に関する質問<sup>6)</sup>に対して選択された回答比率を示す。“集中のしやすさ”や“コミュニケーションのとりやすさ”は「しやすい」「ややしやすい」の回答が60%以上となった一方で、“創造的活動のしやすさ”は「どちらでもない」が半数を占めた。また、室内環境による知的生産性への寄与度は、半数以上が「±0:変化を与えない」と答え中央値となった一方で、「+:向上させた」という回答も34%の在室者から得られた。更に、本建物夏期における知的生産性の寄与度の回答分布は、本社屋夏期における回答分布の間に有意<sup>注6)</sup>な差は認められなかった。したがって、夏期冷房時の室内環境が在室者へ与える知的生産性への寄与度において、S-ラジシステム・ライトとS-ラジシステムには差がなかったと考えられる。

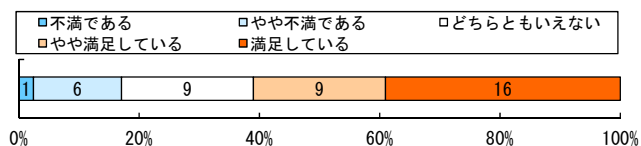


図-17 温熱環境に対する満足度 (N=41)

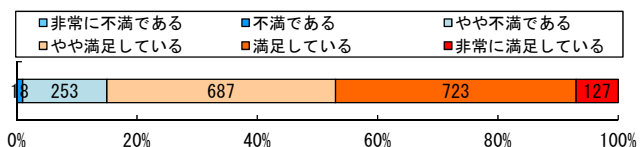


図-18 本社屋の温熱環境に対する満足度 (夏期) (N=1808) 4)に基づき作成

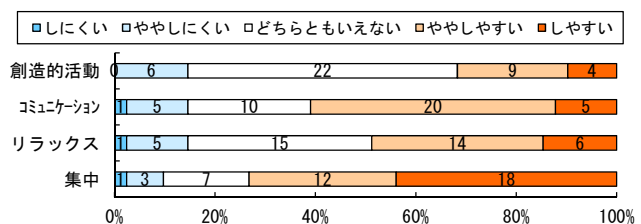


図-19 室内の知的生産性に関する主観評価 (N=41)

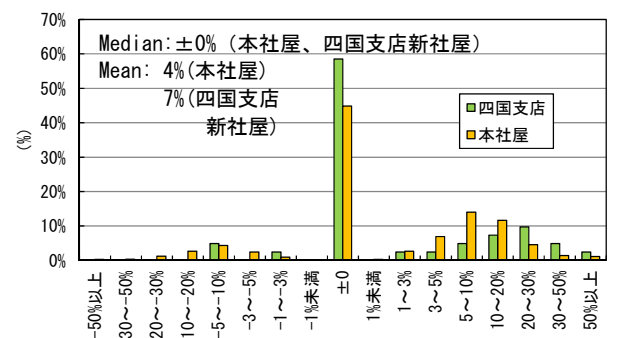


図-20 知的生産性への寄与度

(N=41/1808) 一部4)に基づき作成

## 5. まとめ

四国支店新社屋は、BCPの強化と中規模オフィスのZEBモデルとなることを目指し、様々な技術を導入した建物である。本稿では、導入した技術の1つであるS-ラジシステム・ライトでの省エネ効果と、そのシステムによって形成された夏期室内環境の実態を評価した結果を紹介した。

本建物では、基準仕様の場合と比べて通年の建物全体の一次エネルギー消費量で約58.5%の省エネを達成し、ZEB Readyを実現した。一方、空調・換気の用途に限ると約47%の省エネを達成したものの、計画時の約55%の削減率には至らなかった。この点

において是正項目は既に明らかになっており、2年目以降の運用で改善する見込みである。改善結果は、計画値の計算条件の精査と併せて今後紹介する予定である。

また、夏期冷房時における室内環境は、予想温冷感申告値PMVにて0.17から0.95の間(暑くも寒

くもない～やや暖かい相当)で変動し、温熱環境に対する在室者の満足者率は60%を超え、不満足者率は20%以下であった。また、本稿では扱わなかった冬期暖房時および中間期時における室内環境の実態については既に検証を行っており、別途他の機会でご報告する。

## 謝辞

本建物における環境測定およびWEBアンケートの実施においては、四国支店に在籍する皆様に多大な御協力を戴いた。ここに深謝の意を表す。

## 注

- 1) 予想一次エネルギー消費量の算出には「The Best Program」を使用した。なお、BESTでの計算においては建物使用時間を休店日である土日祝や夏期・年末年始の特別休暇日を除いた8:00~21:00までとしているため、実績値においても休店日のエネルギー消費はゼロとしている。但し、時間については予冷・予熱運転等も行うため24時間を実績値の対象としている。
- 2) コンセント負荷を除く
- 3) 空調・換気以外の用途での月別一次エネルギー消費量結果については参考文献5を参照とする。
- 4) 実際に在室者が居て、開口部を開放することが可能な8時~21時の時間内のみを対象とした。
- 5) 本社屋では、室内空気の空調設定温度がインテリアゾーンで27℃、ペリメータゾーンで28℃であり、インテリアペリメータ共に26℃設定であった本建物と異なる。
- 6) Mann-Whitney U-Test:  $P > 0.05$

## <参考文献>

- 1) 太田昭彦ら：“地方中核都市における環境配慮型中規模オフィスに関する研究(第1報)”，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.277-280, 2016.9
- 2) 熊野直人ら：“地方中核都市における環境配慮型中規模オフィスに関する研究(第2報)”，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.281-284, 2016.9
- 3) 村上宏次ら：“地方中核都市における環境配慮型中規模オフィスに関する研究(第3報)”，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.285-288, 2016.9
- 4) 荒井義人ら：“ZEBを目指した都市型超高層オフィスの研究(第1~10報)”，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.93-132, 2013.9
- 5) 太田昭彦ら：“地方中核都市における環境配慮型中規模オフィスに関する研究(第4報)”，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.333-336, 2017.9
- 6) (財)建築環境省エネルギー機構：“誰でもできるオフィスの知的生産性測定 SAP 入門”，テツアドー出版, 2010.1