

## 自然エクセルギーを活用した放射冷暖房システムに関する研究 その1：夏季放射冷房時の人体エクセルギー分析と室内環境評価

正会員 ○長谷川 巖<sup>1\*</sup> 正会員 伊藤 浩士<sup>1\*</sup>  
正会員 三山 毅<sup>1\*</sup> 正会員 宿谷 昌則<sup>2\*</sup>

放射冷暖房 人体エクセルギー PMV  
モニタリング調査 デシカント空調 井水利用

### はじめに

近年、オフィスの先進的な環境技術の導入が重要度を増している。Dビルでは、光と熱の放射環境調整により、快適性を維持しながら負荷低減する最先端技術を導入し、長野の井水や地中熱・外気（風・浮力）のような自然エクセルギーを最大限活用する計画とした。本報では夏季の放射冷房時における人体エクセルギー分析と室内環境評価について述べる。

### 1. 建物概要

Dビルは最先端の環境配慮オフィスとして、長野市内に2013年3月に竣工した5階建の本社ビルである。図1に外観を示す。平面形状は東西に長く、主開口部は南・北面に限定し、日射負荷低減に配慮した。中央部に吹き抜け空間を設けて奥行の小さいオフィスとし、自然採光や自然換気に有利な計画とした。図2に吹き抜け空間、図3にオフィス基準階平面、図4にオフィス内観を示す。

場所：長野県長野市  
延床面積：9,851.74m<sup>2</sup>  
敷地面積：4,939.34m<sup>2</sup>  
地上5階建  
免震構造  
2013年3月竣工



図1 外観

図2 吹き抜け空間

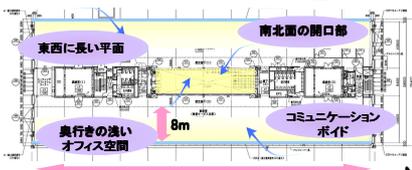


図3 オフィス基準階平面



図4 オフィス内観

### 2. 環境・設備計画概要

#### 2.1 空間全面の放射を整える放射冷暖房

オフィス空間は、天井・床・窓それぞれの放射熱環境を調整することで、人への快適性を整える計画とした。

天井は、アルミパンチングパネルに、井水と熱交換した冷水を通して、冷放射による冷房を行う。パネル裏面は断熱している。室内側に面発光して明るさ感を高めるスクリーンライトの発熱体を天井裏に配置し、光と冷放射は室内側、照明発熱は天井裏に出し、放射環境を整える計画とした。

床は、空気をフロアカーペットから染み出す床染み出し空調とし、新鮮外気を居住域に供給するとともに、床面の放射冷却（または加熱）効果も意図した。

窓は、冬季は特に北側の Low-e 発熱ガラスを発熱し、冬場の放射環境を調整する。夏季・中間期は、曇天判断によるブラインド自動角度制御により直達日射を遮蔽しつつ、エアバリアファンにより窓廻りの熱除去を行う。

#### 2.2 自然のエクセルギーを活かす設備

井水を汲み上げ、天井の放射冷房、ヒートポンプに使用した後に、トイレの洗浄水として利用する。冬季には敷地内の無散水融雪としても利用する。

外気は、免震層を經由して空調機へ取り入れ、地中熱によるクールヒートトレンチ効果により負荷を低減する。デシカント空調で除湿を行うことにより、顕熱処理は中温冷水（12℃送水）化し、熱源 COP を向上させる。また、熱源の排熱をデシカント材の再除湿に利用する。

中間期には、換気窓を自動制御によって開放し、自然換気と放射冷房とを併用するハイブリッド制御を行う。

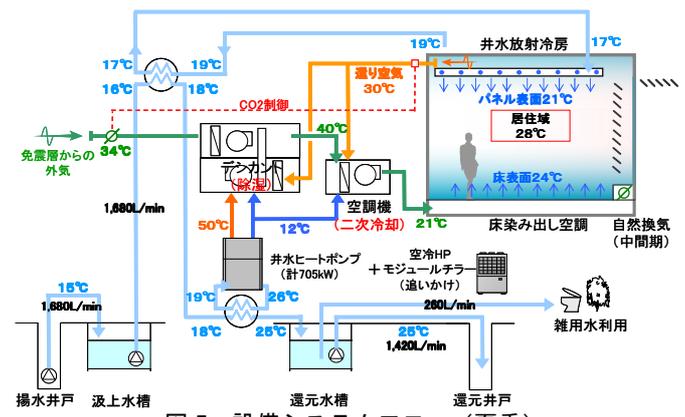


図5 設備システムフロー（夏季）

### 3. BEMS データによる室内環境分析（夏季）

#### 3.1 運用の経緯

Dビルでは、竣工当初は、徹底してエネルギー使用量を抑えるために、夏季にデシカントローターによる除湿を行わずに、放射冷房の運用をしていた。そこで、特に夏季の室内環境と快適性について着目し評価を行った。

#### 3.2 室内環境の推移

図6に各フロアの室内環境の変動（7/26）を示す。室温は26℃前後を推移していたが、湿度は65%程度と高めであった。また、天井表面・床表面の冷却により、周壁平均温度は空調時間帯にて概ね室内空気温度より1~2℃低めとなっており、放射冷房効果が得られていた。高湿度であるが、測定値に基づき算出したPMVは±0.5の範囲内であった。

#### 4. モニタリング調査（夏季）

##### 4.1 調査概要

室内環境の推移と執務者の快適性ととの相関を確認するため、全執務者約 700 名中、特定の 96 名（2 階 36 名、3 階 49 名、4 階 8 名）を対象に、モニタリング調査を行った。調査は、一般的な温冷感の段階的な申告調査ではなく、許容できる室内環境を把握することを目的とし、対象期間中（2013/7/16～26）に「暑い」「寒い」と感じた場所と時間のみを記録してもらった。

##### 4.2 調査結果

図 7 に各階の「暑い」「寒い」と感じた人数の推移（7/26）を示す。全フロア共通の傾向として、出勤時と昼休み後の、比較的汗をかいて室内に戻ってきた時間帯に、暑いという申告が多かった。これは、PMV 値が快適範囲にあったこととは異なる。2 階は日射の影響や人員密度が小さいため、「寒い」側の回答が多かった。

#### 5. 人体エクセルギーによる分析

##### 5.1 人体エクセルギー理論の適用

前述のとおり、PMV 指標による評価では、放射冷房が人体に与える影響を評価しきれない場合があり、人体のメカニズムに基づく評価が必要と考えた。ここでは、人体エクセルギー理論による評価<sup>1)</sup>を行った。人体エクセルギー理論では、食事等によりエクセルギー源が入力され、消費されて熱エクセルギーを生み、対流・放射、発汗・呼吸などによる外部環境とのやりとりにより体温を維持するという、人体におけるエクセルギーの「流れ」と「消費」を具体的に表現出来る。身体への負担が少ない室内環境は、エクセルギー消費が小さくなる。

図 8 に夏季の 26℃設定オフィスビルを想定し、周壁平均温度と相対湿度の組み合わせと人体エクセルギー消費の関係を示す。周壁平均温度が 24℃程度（室温-2℃）の条件で人体エクセルギー消費が特に小さい傾向にある。この室内環境は放射冷房を行わなければ実現することができず、放射冷暖房がエクセルギー消費の小さいシステムであることと対応する。相対湿度が高いほど発汗成分が減り、人体エクセルギー消費は小さい傾向にあった。

##### 5.2 D ビルでの人体エクセルギー収支

図 9 に示すような人体エクセルギーの収支を様々な条件で算出した。表 1 にその結果を示す。26℃50%の対流空調の一般ビル（Case1）と比較し、放射冷房を行う D ビル（Case2）は人体エクセルギー消費が小さい。一方で高湿度のため、汗の蒸発による人体からのエクセルギー放出は 0.09 W/m<sup>2</sup>と少ない。Case3 のように相対湿度 50%まで除湿すると、発汗成分を増しつつ、対流空調よりもエクセルギー消費は 2.12W/m<sup>2</sup>と小さくできる。また、Case4 のように通風や空調機の送風量を増加により、風速を 0.2m/s まで高めれば、エクセルギー消費は 1.90W/m<sup>2</sup>とさらに小さくでき、皮膚表面温度も 33.7℃と下がり、涼しく感じる。夏季に放射冷房を行う際には、通風や適度な除湿により汗の蒸発を促しつつ、快適な室内環境とすることが重要である。

#### まとめ

- 1) モニタリング調査結果より、PMV 指標は快適範囲内でも、汗の蒸発不足により不快に感じる場合があった
- 2) 放射冷房システムによって、対流空調と比較して人体エクセルギー消費の小さい室内環境としていた
- 3) 湿度調整や通風により、汗の蒸発を促しつつ人体エクセルギー消費をさらに小さくすることができる

##### 参考文献

- 1) Masanori Shukuya, Exergy - Theory and Applications in the Built Environment, 2013, Springer
- 2) 伊藤浩士, 長谷川巖, 宿谷昌則 井水を利用した放射冷暖房システムのエクセルギー評価に関する研究 その 1 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2013 (長野), pp.433-436
- 3) 第 9 回建築設備シンポジウム 日本建築学会, 環境工学委員会, 建築設備運営委員会主催

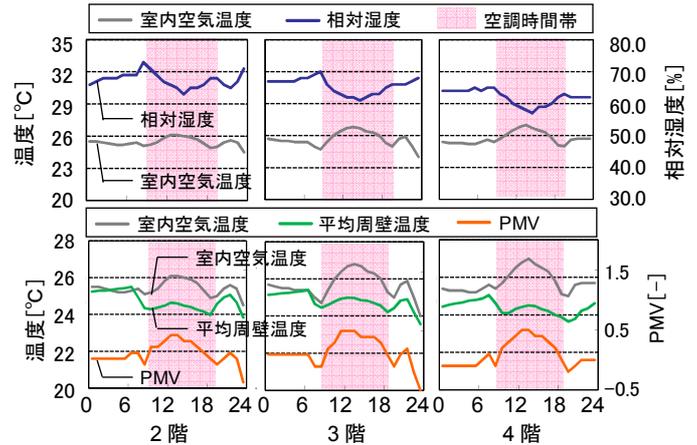


図 6 室内環境の変動（2013/7/26）

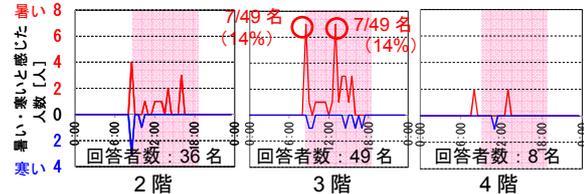


図 7 暑い・寒いと感じた人数の変動（2013/7/26）

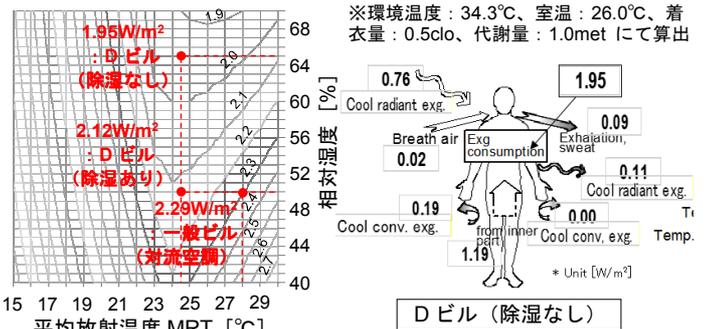


図 8 人体エクセルギー消費の分布 [W/m<sup>2</sup>] ※

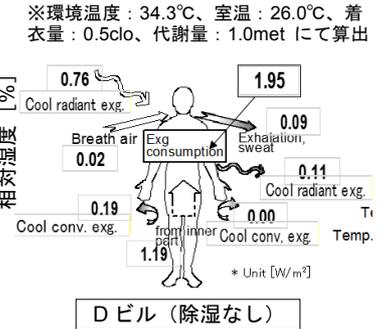


図 9 人体エクセルギー収支<sup>1)</sup> (26℃、65%、MRT24.5℃)

表 1 人体エクセルギー消費

Case	建物	方式	MRT °C	相対湿度 %	風速 m/s	発汗 W/m <sup>2</sup>	エクセルギー消費 W/m <sup>2</sup>	皮膚表面温度 °C
1	一般ビル	対流	28.0	50	0.05	0.30	2.29	34.2
2	Dビル	放射	24.5	65	0.05	0.09	1.95	33.9
3		放射	24.5	50	0.05	0.18	2.12	33.9
4		放射	24.5	65	0.20	0.08	1.90	33.7

\*株式会社日建設計

\*\*東京都市大学

\*Nikken Sekkei Ltd.

\*\*Tokyo City University