

ダクト式空調機を利用した放射冷暖房システムの開発

滝澤 勇輝^{*1} 小野 幹治^{*1}

概 要

現在、一般的に適用されている放射冷暖房システムについては、天井面に放射パネルを設置し、冷温水を流すことによって金属パネルの表面温度を制御するシステムが主流となっている。放射冷暖房は、対流式空調に比べて、まだまだ適用件数は少ない。その理由の1つとして、放射冷暖房は、対流式空調に比べ、金属パネルや熱源等、イニシャルコストがかかることが挙げられる。

本報では、集合住宅、介護老人福祉施設の適用を対象とし、放射冷暖房を一般的な建材、設備機器等を用いて低コストで提供可能な2タイプのシステムを提案し、冷房時のシステムの性能の把握を行った。

夏期における非定常熱・水分収支計算により、天井表面温度は、終日を通して室温より低く、提案したシステムの室内は、冷放射の環境となった。放射式冷房の冷房負荷は、集合住宅を対象としたシステムは、対流式冷房に対し、12%程度、介護老人福祉施設を対象としたシステムは、8%程度低い結果となった。

Development of a radiant cooling and heating system using an air-conditioner with a duct.

Abstract

Most current radiant cooling and heating systems work by pouring cold and warm water to control the temperature of a metal panel. However, radiant cooling and heating system have relatively few installations compared to air-conditioning systems. One of reason for this is that the initial cost is high.

This paper examines two types of low cost radiant cooling and heating system using common building materials and equipment, etc. One is a radiant cooling system for multi-family housing, the other is a radiant cooling system for nursing facility for the elderly people. The performance of the system under cooling conditions is understood.

As a result, two types of the system became cold radiant. The cooling load of the radiant cooling system for multi-family housing is reduced by 12% compared with an air-conditioning system. The cooling load of radiant cooling system for nursing facility for the elderly people is reduced by 8% compared with an air-conditioning system.

キーワード：放射冷房、熱回路網法、熱水分同時移動、集合住宅、介護老人福祉施設

*1 建設本部 環境エンジニアリングセンター

§1. はじめに

放射冷暖房は、一般的な対流式空調で問題とされる「上下温度分布」の解消や「不快気流感」を防ぐことが可能であり、快適性に優れている。また、居室内外の空気温度差の圧縮による空調負荷軽減の効果を持つ空調システムとして期待されている。

現在、一般的に適用されている放射冷暖房システムについては、天井面に放射パネルを設置し、冷温水を流すことによって金属パネルの表面温度を制御し、適切な室内温熱環境にするシステムが主流となっている。放射冷暖房は、快適性、空調負荷軽減に優れた特徴を持つが、対流式空調に比べて、まだまだ適用件数は少ない。その理由の 1 つとして、放射冷暖房は、金属パネルや熱源等、インシャルコストがかかることが挙げられる。

本報は、集合住宅、介護老人福祉施設の適用を対象とし、放射冷暖房を一般的な建材、設備機器等を用いて低コストで提供可能な 2 タイプのシステムを提案し、冷房時のシステムの性能の把握を行った結果を報告するものである。

§2. システムの提案

2.1 タイプ A（集合住宅における放射冷暖房システム）

集合住宅のようなスペースに限りのある建物においては、低コストの他、容易な潜熱処理、機器の設置スペースの縮小化が求められる。

図 1 にタイプ A のシステム図を示す。提案するシステムは、ダクト式空調機によってロフト内空気を冷却することで天井表面を冷放射面とする。適度な熱伝導性・透湿性を持つ材質の天井材を用いて、居室内の湿気を吸湿することで、潜熱についてもロフト内のダクト式空調機が処理する。1 住戸 1 台の空調機と一般的な建築材料のみでシステムが構成される点を特徴としている。なお、頭寒足熱の環境を提供するため、冬期においては床暖房の使用を想定している。

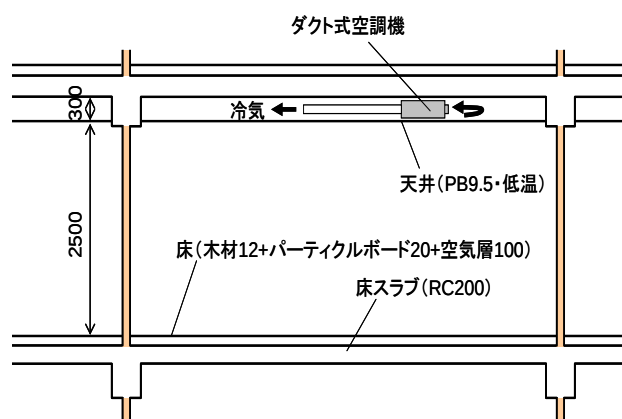


図 1 タイプ A システム図

2.2 タイプ B（介護老人福祉施設における放射冷暖房システム）

在宅介護が困難な要介護者に対し、健康管理、入浴、排せつ、食事等の介護その他の日常生活上の世話を行なう介護老人福祉施設の多床室では、室内の鉛直室温分布や空調機噴出噴流による気流感が、入所者の QOL 向上の阻害要因として問題視されている。放射冷暖房システムの導入は、これらの課題解決の一助となり、また、臭気対策のため一般病室レベルの換気量が推奨される当空間においては、内外空気温度差の圧縮による空調負荷軽減効果も期待されている。

図 2 にタイプ B のシステム図を示す。提案するシステムは、ダクト式空調機によってロフト内空気を冷却することで天井表面を冷放射面とし、天井面に設置された定風量ファンによって居室内空気とロフト内空気を循環させることで、潜熱についてもロフト内のダクト式空調機が処理する。外調機が設置されていない施設においても、1 室 1 台の空調機と一般的な建築材料のみでシステムが構成される点を特徴としている。なお、介護老人福祉施設は、集合住宅とは異なり、滞在者は仰臥位の時間が多いため、天井暖房を行っても頭熱足寒の環境になりにくいとし、暖房期においても同システムの使用を想定している。

§3. タイプ A の性能把握

集合住宅の住戸への導入を想定したマクロモデルによる夏期の非定常熱・水分収支計算をもとに、「天井表面の放射冷却効果」、及び、「空調負荷の削減効果」について検討した。

3.1 計算概要

本システムによる「天井表面の放射冷却効果」、及び、「空調負荷の削減効果」を把握するため、放射式冷房と一般的なエアコンを用いた対流式冷房の 2 ケースについて、熱・水分収支計算を行い、両者の比較を行った。

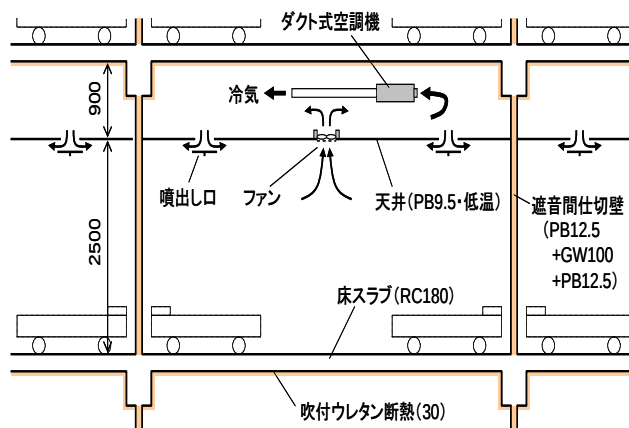


図 2 タイプ B システム図

本計算は、熱回路網法を用い、天井材のみハイグロスロピック領域における非定常熱水分同時移動として計算を行った。松本らによる熱水分同時移動の基礎式¹⁾を式(1)、(2)に、境界条件を式(3)、(4)に示す。

図3に対象建物モデルを示す。対象建物モデルは、延べ床面積 77 m²の積層型集合住宅を想定し、熱損失係数を 1.62 W/m²K とした。

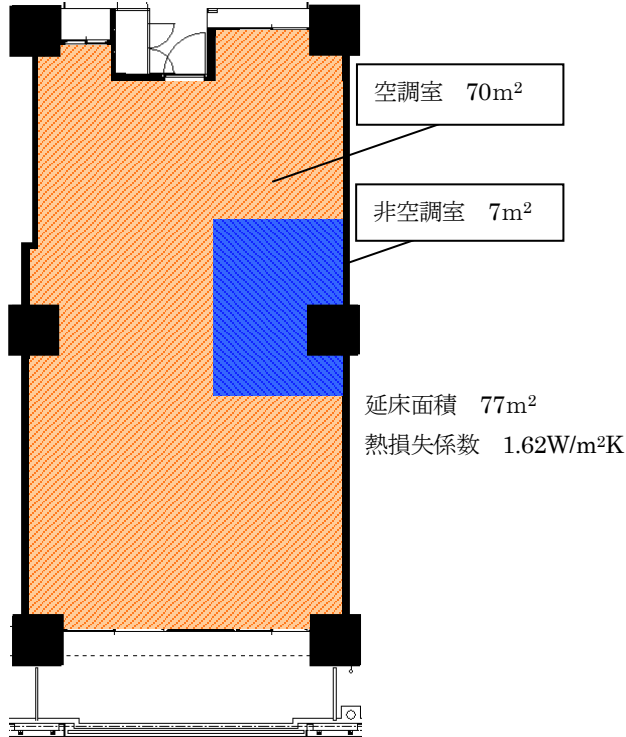


図3 建物対象モデル

図4に計算モデルの回路図を示す。計算モデルの天井材、床材、スラブの空間分割はそれぞれ 10、2、4 分割とし、各部位表面で空気層との対流、対称面との放射、各部位内部で、上下の節点との熱伝導を考慮している。

天井材の熱・水分収支式

$$\text{水分} \quad (\phi_0 \gamma' + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} - \nu \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda'_x \nabla^2 X \quad (1)$$

$$\text{熱} \quad -r\kappa \frac{\partial X}{\partial t} + (c\rho + r\nu) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T \quad (2)$$

境界条件

$$\text{水分} \quad -\lambda'_x \frac{\partial X}{\partial n} = \alpha'_x (X_0 - X) \quad (3)$$

$$\text{熱} \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha (T_0 - T) \quad (4)$$

X : 絶対湿度(kg/kgDA)

T : 温度(°C)

Φ_0 : 空隙率(m³/m³)

γ' : 空気密度(kgDA/m³)

λ'_x : 湿気伝導率(kg/ms(kg/kgDA))

λ : 熱伝導率(W/mK)

α : 熱伝達率(W/m²K)

α_x : 湿気伝達率(kg/m²s(kg/kgDA))

r : 相変化熱(J/kg)

c : 質量比熱(J/kgK)

ρ : 密度(kg/m³)

κ : 絶対湿度変化に対する含水率勾配(kg/m³(kg/kgDA))

ν : 温度変化に対する含水率勾配(kg/m³K)

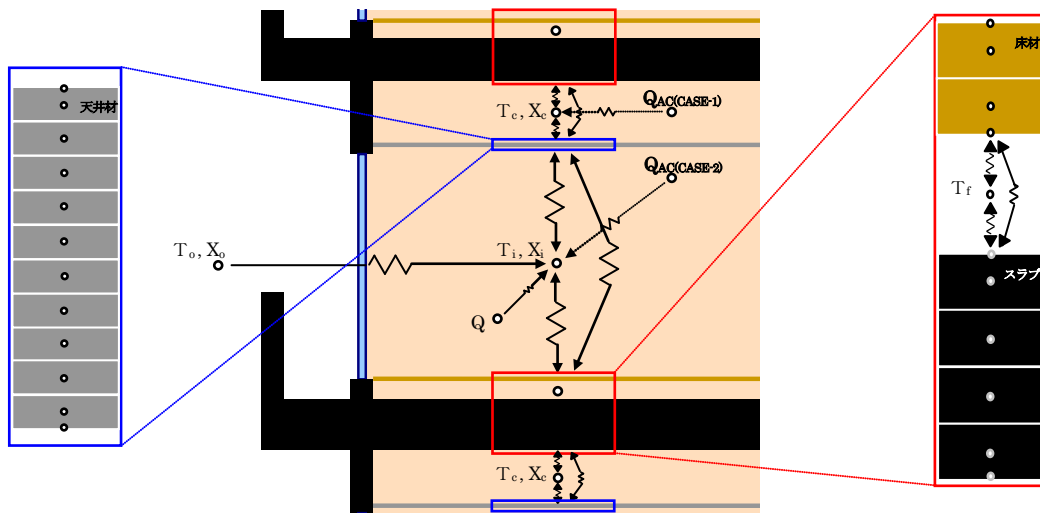


図4 回路図

以下に計算概要を示す。

- 計算モデル :放射式冷房・対流式冷房
- 計算間隔 :0.1h (後退差分法)
- 計算期間 :5月～10月
- 換気回数 :0.5 回換気
- 空調機仕様 :2.8kW 24時間運転
- 気象データ:東京都標準年拡張アメダス気象データ²⁾
- ※1 時間未満の分割点を Lagrange 補間法で内挿
- 対流熱伝達率:上向き $4.64 \text{ W/m}^2\text{K}$ 、下向き $2.32 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 【放射式冷房】空調稼働時のロフト空間 $10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 放射熱伝達率: $4.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ ³⁾
- 空調制御 :居室作用温度(26°C 以下)
- 居室負荷 : 家族構成、部屋、在室時間等文献⁴⁾引用
- その他 :バルコニーの影響を加味し、日射、夜間放射は考慮していない。居室内の家具等は計算対象外とした。対流式冷房を放射式冷房の作用温度と同値に制御した。空調機の顕熱処理能力と潜熱処理能力の割合 7:3とした。 κ 、 ν は、文献⁵⁾、⁶⁾より、石膏ボードの吸湿・放湿の平衡含水率曲線を作成し、それらを平均したものより算出した。

3.2 計算結果

図5に各ケースにおける代表日3日間(8月14日～8月16日)の(a)グローブ温度、(b) 室内温度、(c) 床表面温度、(d) 天井表面温度、(e) 室内相対湿度、7月～9月の3ヶ月間の(f)室内相対湿度の非超過確率を示す。

図5(b)より、放射式冷房の室内温度は、対流式冷房と比べ、終日を通して高い。図5(c)、(d)より、放射式冷房の床、天井表面温度は、対流式冷房と比べ、終日を通して低く、また、放射式冷房の床・天井表面温度は、日中、常に室内温度より低い。図5(e)、(f)より、室内相対湿度の非超過確率が中央値(50%)の時、放射式冷房の室内相対湿度は80.0%、対流式冷房の室内相対湿度は77.2%となり、約3%の差が見られ、終日を通して約3%の差が見られる。また、図5(f)より、室内相対湿度が80%を超える確率は、放射式冷房が約50%、対流式冷房が約30%となった。

以上より、放射式冷房の室内は冷放射の環境となった。しかし、室内相対湿度は、常に快適範囲であるとは言えない。これは、室体積に対して室内顕熱負荷が少なく、空調機の除湿が十分にされていないためであると考えられる。

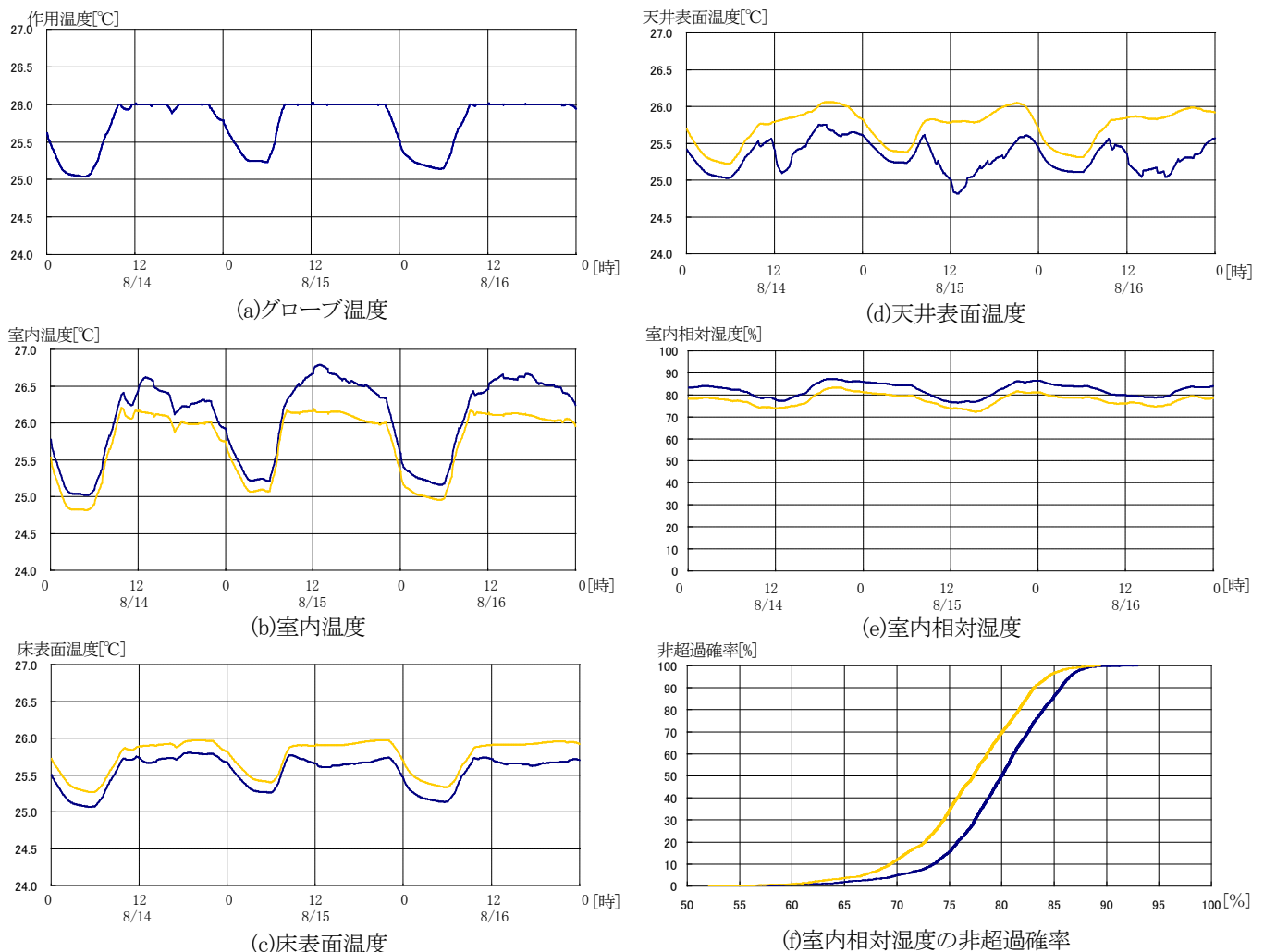


図 5 計算結果 — 放射式冷房 — 対流式冷房

図6に各ケースの7～9月の顕熱・潜熱負荷の積算値を示す。図6より、放射式冷房の顕熱負荷は、換気による負荷が軽減されるため、対流式空調より12%程少ない。また、本計算モデルにおいて、潜熱負荷は顕熱負荷に比例するため、放射式冷房の潜熱処理量は対流式冷房より減少する。この影響は、室内相対湿度の3%程度の差に表れている。

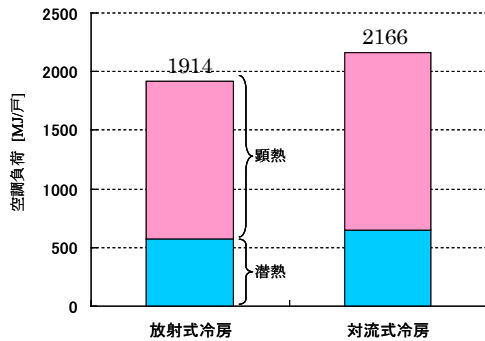


図6 各ケースの7～9月の顕熱・潜熱負荷 積算値

§4. タイプBの性能把握

介護老人福祉施設の4床室への導入を想定したマクロモデルによる夏期の非定常熱・水分収支計算をもとに、「居室内空気とロフト内空気の最適循環風量」、「天井表面の放射冷却効果」、及び、「空調負荷の削減効果」について検討した。

4.1 計算概要

本システムによる「天井表面の放射冷却効果」、及び、「空調負荷の削減効果」を把握するため、本システムによる放射式冷房と一般的なエアコンを用いた対流式冷房の2ケースについて、熱・水分収支計算を行い、両者の比較を行った。

図7に基準階平面図(放射式冷房)を示す。図中の斜線部を計算対象室とする。なお、計算対象室上下、東西側の境界においては、対象室と同様の室が連続しているものとし、また、居室北側の境界は、空調された廊下に面しているものとし、熱移動がないものとして計算を行った。

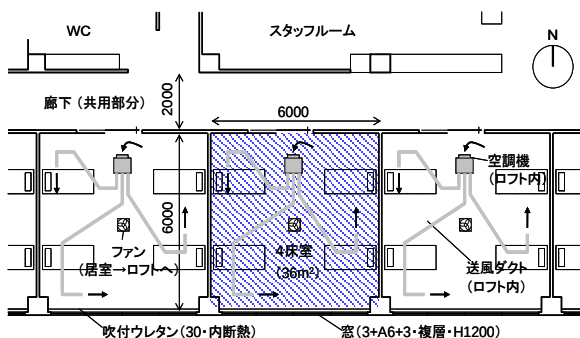


図7 基準階平面図

以下に計算概要を示す。

- 計算モデル : 放射式冷房・対流式冷房
- 計算間隔 : 0.1h (後退差分法)
- 計算期間 : 5月～10月
- 居室寸法 : B6,000mm×W6,000mm×H2,500mm
- 換気回数 : 2.0 回換気
- 空調機風量 : 10.0 m³/min
- 空調稼動時間: 24 時間運転
- 気象データ: 東京都標準年拡張アメダス気象データ [2]
- ※1 時間未満の分割点を Lagrange 補間法で内挿
- 対流熱伝達率: 上向き 4.64 W/m²K、下向き 2.32 W/m²K
- 【放射式冷房】空調稼動時のロフト空間 10 W/m²K
- 放射熱伝達率: 4.70 W/m²K [3]
- 空調制御 : 居室作用温度 (26℃以下)
- 居室相対湿度 (60%以下)
- 居室負荷 : 顕熱負荷 500W、潜熱負荷 0.24kg/h
- その他 : 南面日射、夜間放射を考慮した、居室内の家具等は計算対象外とした

4.2 最適循環風量

室温と放射面の温度との差が最も大きく、且つ、結露の発生がない状態が居室空気とロフト内空気の最適な循環風量となる。

図8に循環風量と計算期間中の最大負荷時の居室の室温、相対湿度60%時の室内露点温度、天井表面温度、ロフト内空気温度の関係を示す。

居室の室温と天井表面温度の差は、循環風量が少ない程大きい。また、居室の露点温度と空調稼動時、計算対象内において最低温度となるロフト内の空気温度との交点は、循環風量 7 m³/min/室であった。以上より、最適循環風量は、7 m³/min/室となる。

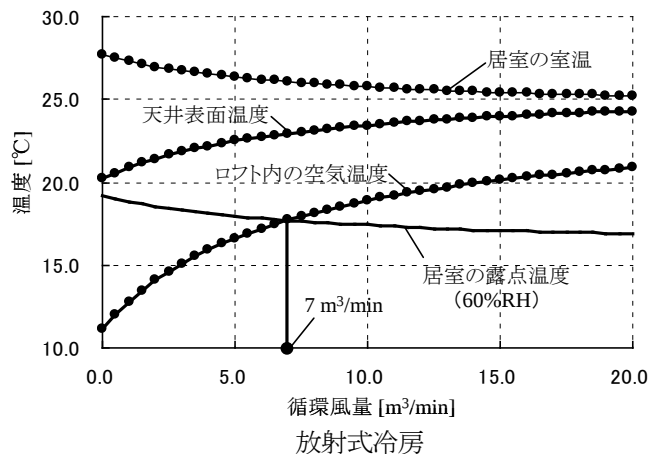


図8 循環風量と各温度との関係

4.3 計算結果

図 9 に居室空気とロフト内空気の循環風量 $7 \text{ m}^3/\text{min}$ の時の 6 月 26 日(年最初の真夏日)～9 月 8 日(年最後の真夏日)の日平均室温、床・天井表面温度を示す。

6 月に室温より床・天井表面温度が高い期間が見られる。これは、作用温度が 26°C 以下となるため、空調機は稼働せず、日射により、床・天井表面温度が上昇するため、冷放射の環境にはならない。一方、7 月、8 月の 2 ヶ月間の天井表面温度は、室温より 1.5°C 程度低く、冷放射の環境となる。

4.4 冷房負荷

図 10 に居室空気とロフト内空気の循環風量 $7 \text{ m}^3/\text{min}$ の時の 6 月 26 日～9 月 8 日の冷房負荷を示す。

放射式冷房の冷房負荷は、対流式冷房の冷房負荷に対し、顕熱負荷、潜熱負荷共に 8% 程度低い。また、換気、外皮熱貫流に起因する負荷については、対流式冷房の負荷に対し、顕熱分で 10% 程度、潜熱分で、60% 程度低い。これは、放射式冷房が、対流式冷房に比べ、天井表面温度を低温に、室温を高温にすることによって、換気および外皮熱貫流によるロスが減少したためである。

§5. 結論

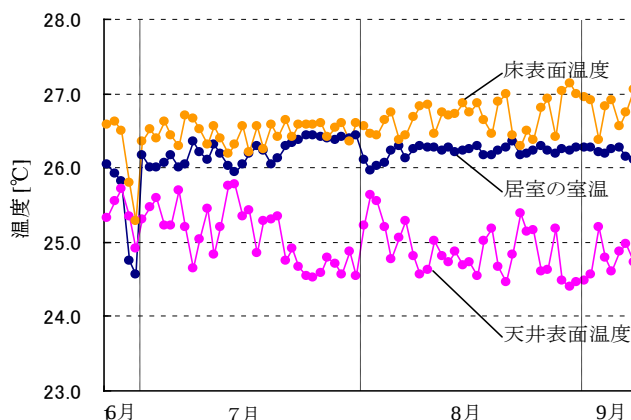
本報では、集合住宅および介護老人福祉施設の 4 床室を想定した放射冷暖房システムを提案し、夏期における非定常熱・水分収支計算により、「天井表面の放射冷却効果」、及び、「空調負荷の削減効果」、「居室内空気とロフト内空気の最適循環風量」について、検討を行った。以下に今回得られた知見を示す。

○タイプ A

- ・8 月の代表日(8 月 14 日～8 月 16 日)の天井表面温度は、終日を通して室温より低く、冷放射の環境となった。
- ・室内の相対湿度について、対流式冷房との差は軽微であった。しかし、室内相対湿度は、常に快適範囲であるとは言えない。これは、室体積に対して室内顕熱負荷が少なく、空調機の除湿が十分にされていないためであると考えられる。
- ・放射式冷房の冷房負荷は、対流式冷房に対し、12% 程度低い。

○タイプ B

- ・室温と放射面温度の差が最も大きく、且つ、結露の発生がない最適な居室とロフト空間の空気の循環量は $7 \text{ m}^3/\text{min}/\text{室}$ であった。
- ・7 月、8 月の 2 ヶ月間の天井表面温度は、室温より 1.5°C 程度低く、冷放射の環境となった。
- ・放射式冷房の冷房負荷は、対流式冷房に対し、8% 程度低い。



放射式冷房

図 9 室、床・天井表面温度の日平均値 (6/26～9/8)

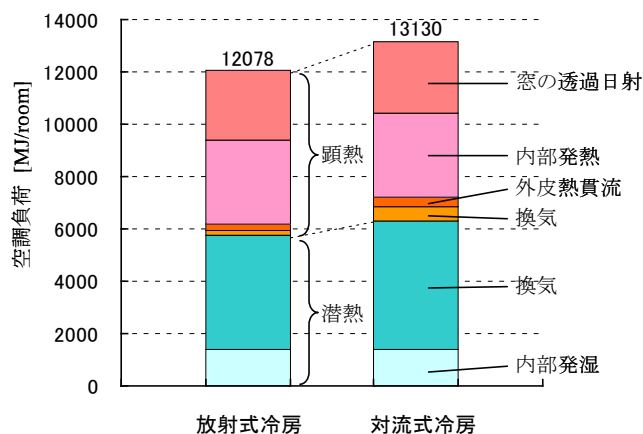


図 10 冷房負荷 (6/26～9/8)

参考文献

- [1] 松本衛 : 新建築学大系 10 第 3 章, 彰国社, 1984
- [2] 赤坂他 : 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2000
- [3] 木村健一: 建築設備基礎, 国際人間環境研究所, 2011.4
- [4] 財) 建築環境・省エネルギー機構: 「住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費方法の解説」第 3 章
- [5] 日本建築学会: 建築材料の熱・空気・湿気物性値, 丸善株式会社, 2001
- [6] 大澤他 : 多孔質建築材料内の局所非平衡性に関する研究 第 7 報, 日本建築学会大会梗概講演集(近畿) 1996

ひとこと

今後は、「上下温度分布」、「不快気流感」のない空間がより求められる医療施設の多床病室において、低コストで提供可能な放射冷暖房システムの提案を行いたいと考えています。



滝澤 勇輝