

## エアコンと放射パネル併用時の熱環境解析手法を用いた最適運用方式の提案 Proposal of Optimal Operation Method for Air Conditioners and Radiation Panels Using Thermal Environment Analysis Method

正 会 員   ○山本 竜大 (久留米工業大学)   正 会 員   尾崎 明仁 (九州大学)

正 会 員   李 明香 (立命館大学)

Tatsuhiko YAMAMOTO\*<sup>1</sup>   Akihito OZAKI\*<sup>2</sup>   Myonghyang LEE\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> Kurume Institute of Technology   \*<sup>2</sup> Kyushu University   \*<sup>3</sup> Ritsumeikan University

Local temperature distribution occurs when air conditioners with strong advection directionality, such as air conditioners, are used in residences. On the other hand, the radiation panel can form a comfortable thermal environment without drafts because of the lack of local temperature distribution. However, in spaces with large volumes, it is preferable to use air conditioning and radiant panels together. In this study, a case study of the heat distribution method is carried out and an optimum operation method for the combination of an air conditioner and a radiation panel is proposed.

### 緒言

SDGs の取り組みにより建築分野においても各国が省エネルギーな技術開発を推進している [1]。Energy Information Administration, Residential Energy Consumption Survey(RECS)はアメリカの住宅で消費される電力は、エアコンの消費電力が 17%、家庭の消費エネルギーでは 12%を占めていると公表している[2]。特に、94%の世帯がエアコンを利用している高温多湿地域では、エアコンの家庭のエネルギー消費は 27%である。また、アジア諸外国の高温多湿地域における消費エネルギーは、エアコンが 56%を占めており[3]、冷房需要の見込まれる地域は複数存在する。Summary of Analysis Using the National Energy Efficiency Data Framework (NEED)は 2011 年から 2018 年までのイギリスのエアコン需要台数の調査では、年々増加傾向にあり、2018 年には約 20 万台に到達すると報告している[4]。エアコンは移流の指向性が強く作用するため局所的な温度成層が形成される。

近年では、放射空調の導入による均一な温度成層の形成が注目されている。例えば事務所ビルでは、天井放射空調の導入が増加傾向にあり、様々な研究がなされている [5-7]。対流と放射を効率良く行う設備としてチルドビームが挙げられる。チルドビームは空調機から供給された一次空気を利用し、室内空気を誘引することで熱交換を図るアクティブチルドビーム (ACB) と天井放射と対流空調を期待するパッシブチルドビーム (PCB) が存在する。PCB に関しては Energy Simulation (ES) を用いた非定常計算や Computation Fluid Dynamics (CFD) を用いた定常解析による評価が行われており、知見が集積されつつあ

る[8]。住宅での放射空調の評価に関しては単体の利用では、CFD による定常解析が行われているが[9-10]、非定常解析に関する知見が十分ではない。CFD による定常解析が主流である理由としては放射パネルのモデル化が容易では無い点が挙げられる。床暖房の機器モデルを組み込んだ非定常解析も行われているが、連続した大空間を対象としていないため、現在の開放的な室空間には適用が難しい[11]。また、住宅では放射パネルとエアコンなど複数の設備機器が導入されることが多く、併用する利用方法も考えられる。住宅では、PCB のようなシステムを持つ放射空調は主流ではないため、個別に導入される事例が多く見受けられる。消費エネルギーの観点から考えると、歴史の古いエアコンはトップランナー制度の導入効果もあり、COP が非常に高いため高効率な空調機である。一方で放射パネルは、省エネ性は冷媒を供給する機器のヒートポンプの性能に依存し、性能もエアコンほど高くは無いのが現状である。このような背景を踏まえると放射パネルのみに依存した運転方法は望ましくないと考えられる。しかし、実際にエアコンと放射パネルを併用した際の温度成層に着目した検討は行われてはいるが、CFD を用いた定常解析に限定される[12]。近年の SDGs の取り組みを考慮すれば、省エネを指標として評価するのが望ましいが、省エネ性のみを指標としてしまうと熱環境が劣悪でも達成要件を満足させてしまう恐れがあるので快適性の指標を取り込むことが必要である。快適性と省エネ性のトレードオフの関係に着目したケース検討はオフィス为例に取れば加藤らの研究などが存在するが[13]、住宅では CFD による定常解析に限定される。

快適性と省エネ性を評価する際に空間の温熱感に係る分布の影響を考慮するにはCFDを用いるが、経時変化を追従したい場合にはESを用いるのが望ましい。吹き抜け空間などに代表される上下左右に連続した空間をモデル化するにはゾーン分割する必要がある。ゾーン分割した際の熱環境を予測する方法としては熱源の足し合わせにより各熱源の熱的な寄与率を計算するCRI[14-15]やゾーンの熱収支によりマクロな熱分配量を計算する熱分配法[16]が存在する。熱分配法は、複数の熱源の影響を考慮した非定常解析が可能であるが、放射空調を利用するにはCFDで放射計算を行わない関係から計算工程に工夫が必要である。

本研究では、エアコンと放射パネル併用時の熱環境解析手法を用いてケース検討を行い、快適性と省エネ性を満足する連続した大空間の最適運用方式を提案する。

## 1. 提案手法の方法と実測条件

### 1.1 提案手法の概要

本研究では、動的熱負荷計算ツールTHERB for HAMを用いて計算を行う[17]。提案手法では、熱分配法を拡張することで放射パネルとエアコンを併用する際の熱環境を精緻に予測する。熱分配法では、放射計算はTHERBで行うため、対流式空調であるエアコンを併用する際とは方法が異なる。THERBで放射計算を行うので、熱量を投入しない基準状態を作成するには放射パネルを稼働させない必要が生じる。具体的な熱分配法の拡張の詳細に関しては既報を参照されたい[18]。

### 1.2 対象建物の概要

解析対象は、人工気象室内に建設された実大実験住宅である。実験住宅の断熱性能は省エネルギー地域区分4～7地域におけるZEH基準値( $U_A=0.6[W/m^2 \cdot K]$ )を達成する。対流式空調機(1F居住領域と2F廊下)と放射空調パネルに加えて床暖房が敷設されている。

## 2. 提案手法によるケース検討

### 2.1 ケース検討の概要

熱分配法を用いて快適性と省エネ性を満足する運用方式を決定する目的でケース検討を行う。

### 2.2 検討内容および条件

エアコンの消費電力量計算には、電力中央研究所が開発した機器特性モデル[19]を用いる。今回の検討では、設定湿度は60%で計算した。ケース検討を表1に示す。エアコンは2Fと1F(北)、放射パネルの台数を変数としている。THERBの計算条件を表2に示す。対流熱伝達率の連成は熱分配法では、計算負荷の観点から時変性を考慮することが難しい関係から連成していない。相対湿度は60%としているが、機器特性モデルの計算した除湿量をTHERBに連成することは行っていないため、潜熱負荷の精度に改善の余地がある。放射パネルは夏季に利用するため、対象期間を7月22～25日とした。

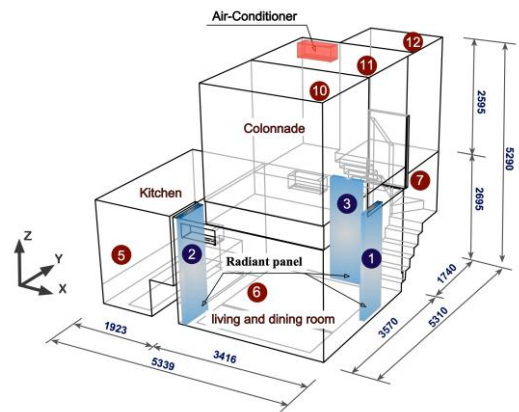


図1 解析モデルおよびゾーン分割

表1 検討ケース

ケース	使用する空調機		
	2階 AC	1階 AC	放射パネル
case1	○		3台
case2		○	3台
case3	○		2台 (パネル1と3)
case4		○	2台 (パネル1と3)
case5	○		1台 (パネル3)
case6		○	1台 (パネル3)

表2 THERB 計算条件

項目	条件
計算期間	7/22-25
計算時間間隔	1分間隔
建物位置	東京
建物方位角	南
気象データ	拡張アメダス東京標準年(2001-2010)
換気回数	0.7回/h
在室者など	なし
対流熱伝達率	4.0W/m <sup>2</sup> K
相対湿度	60%

表3 CFD 計算条件

項目	条件
CFD コード	STAR-CCM+ 12.04.11
乱流モデル	低 Re 型標準 k-ε モデル
メッシュ数	約425万メッシュ y+<1
壁面境界条件	THERB 計算値

### 2.3 検討結果および考察

#### (1) 熱量拡散係数の比較

ケース間のエアコンの熱量拡散係数の比較を図2に示す。2Fエアコンが稼働するケースはRoom11の値が大きくなる。パネル枚数を減らすことでエアコンの投入熱量が減少した結果Room11の値は低くなっている。1Fのエアコンを稼働させる場合はRoom6の値が大きいが、パネル台数の影響は殆どない。ケース間の放射パネルの熱量拡散

係数の比較を図3に示す。Room6の熱量拡散係数がどのケースでも大きい値を示しているが、2Fのエアコン稼働させた方が小さい値を示す。これは1Fのエアコン稼働させたことによって移流の攪拌が発生し、Room6での熱量拡散係数の値が大きくなったと考えられる。

### (2) 機器特性モデルの入力条件

図4に外気温度の経時変化を示す。代表的な真夏日で、25日の方が1°C程度ピーク温度は高い。図5に機器特性モデルに入力する熱負荷の経時変化を示す。1Fエアコン稼働の方が熱負荷は低い。パネル台数に依存して熱負荷は大きくなっている様子が見受けられる。パネル台数が少ない方が熱負荷は大きい。

### (3) 消費電力量の比較

図6に7/24-7/25における積算消費電力量を示す。パネル台数が多いと消費電力量が大きい。パネル台数の減少に伴い、エアコンの熱負荷が上昇する。エアコンの処理負荷と放射パネルの消費電力にトレードオフの関係が見られた。消費電力の観点では、パネル1台稼働が理想的である。

### (4) PMVの比較

図7にPMVの累積頻度と累積時間率を示す。パネル台数多いケース1、2ではRoom5と6が冷えすぎており-1.0程度の値を示している。パネル台数少ないケースではPMVが中立の値を示しており、バラつきが少ない結果が得られた。

エアコン2F稼働のケースの方が中立に近い値を示す結果が得られた。これは、エアコンによる供給熱量がRoom6に対して過剰であるためだと考えられる。

## 2. 結言

本研究では、エアコンと放射パネルの併用時の熱環境解析を予測する熱分配法を利用して快適性と省エネ性に着目したケース検討を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 省エネ性を満足させるには容積に対するパネル台数に留意する必要がある。
- 2) 快適性を満足させるにはパネル台数に留意する必要がある。
- 3) 今回の建物モデルに対するパネルの最適枚数は1台であると考えられるが、1Fエアコン稼働の場合はRoom11が1.0~1.5の範囲となり中立では無い値を示した。

ケース検討結果を踏まえた今後の展望を以下に示す。

- 1) 放射パネルの除湿と機器特性モデルの除湿量をTHERBに連成することによる潜熱負荷予測精度の改善が必要である。
- 2) 放射パネルの運用実態に即した制御の導入による消費電力量の改善を図る。
- 3) 機器特性モデルを導入し、熱分配法の汎用性を高める。

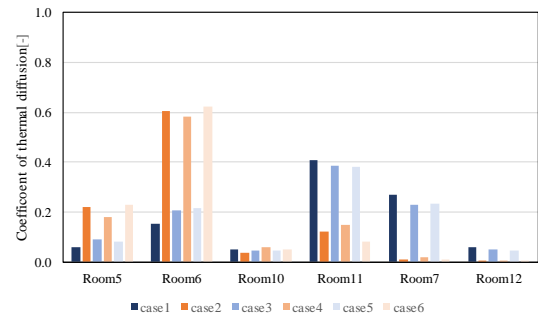


図2 エアコンの熱量拡散係数

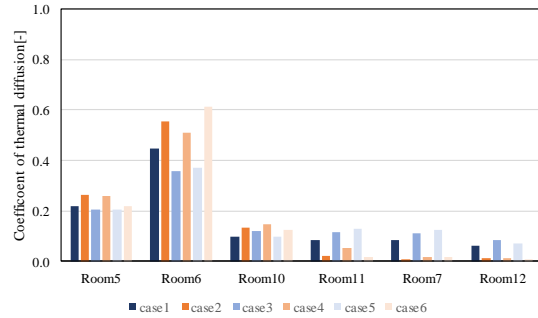


図3 放射パネルの熱量拡散係数

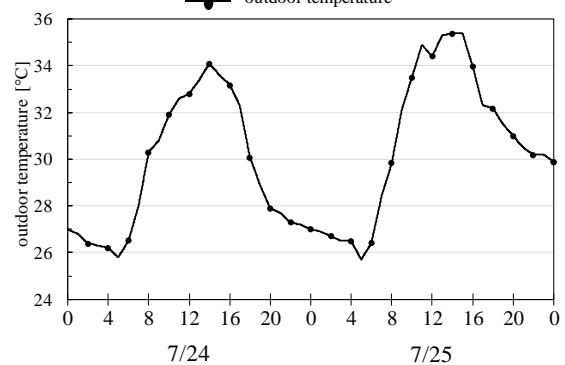


図4 外気温度の経時変化

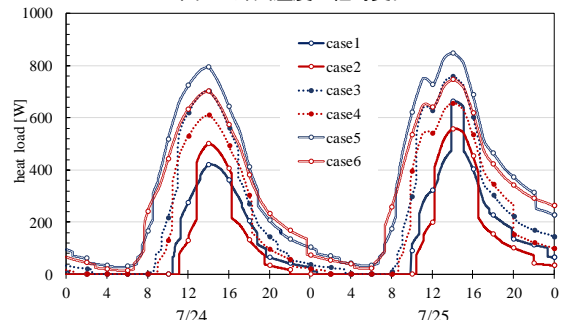


図5 熱負荷の経時変化

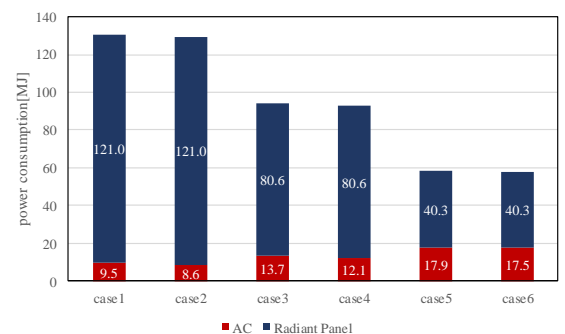


図6 積算消費電力量

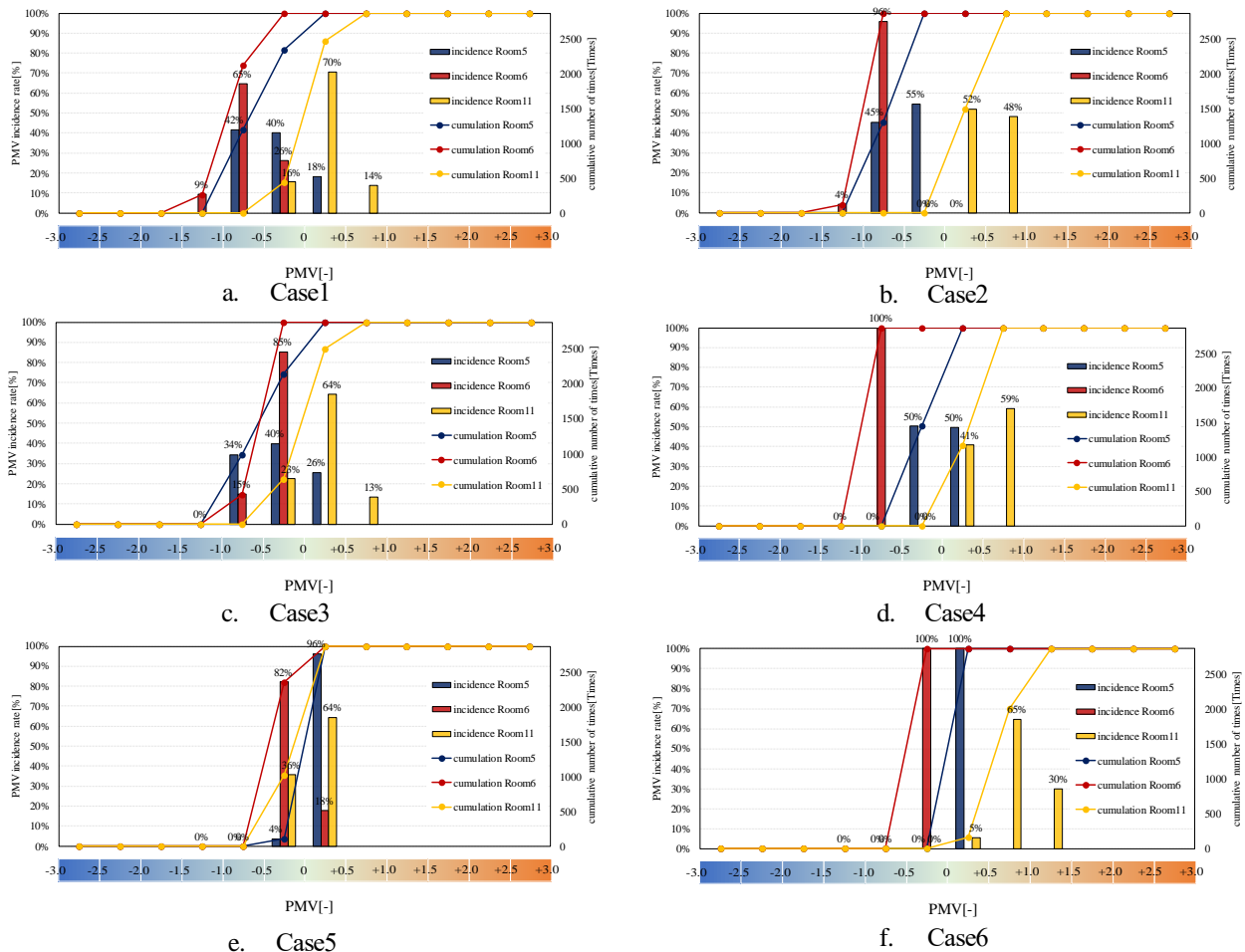


図7 PMVの出現率と累積時間率

- 4) エアコンと放射パネルの投入熱量の比率を変更したケースが不足している。今後の課題として検討する。
- 5) 精緻な計算方法を用いた対流熱伝達率の連成の影響を確認する。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K235590001 の助成を受けて実施された。記して謝意を表する。

参考文献

- 1)SDGs, URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (accessed May 20,2020)
- 2)U.S. Energy Information Administration, Residential Energy Consumption Survey (RECS), 2015. URL: <https://www.eia.gov/consumption/residential/> (accessed May 20, 2020).
- 3) KWONG, Q. J., Adam, N. M. & Sahari, B. B. 2014. Thermal comfort assessment and potential for energy efficiency enhancement in modern tropical buildings: A review. *Energy and Buildings*, 68, 547-557.
- 4)UK National Statistics, Summary of Analysis Using the National Energy Efficiency Data Framework (NEED), 2019. URL:<https://www.gov.uk/government/statistics/national-energy-efficiency-data-framework-need-report-summary-of-analysis-2019> (accessed May 20, 2020)
- 5) R.K. Strand, K.T. Baumgartner, Modeling radiant heating and cooling systems: integration with a whole-building simulation program, *Energy Build.* 37 (4) (2005) 389-397.
- 6) T. Weber, G. Jóhannesson, An optimized RC-network for thermally activated building components, *Build. Environ.* 40 (1) (2005) 1-14.
- 7) L. Ferkl, Š. Jan, Ceiling radiant cooling: comparison of ARMAX and subspace identification modelling methods, *Build. Environ.* 45 (1) (2010) 205-212.
- 8) W. Shan, D. Rim, Thermal and ventilation performance of combined passive chilled beam and displacement ventilation systems, *Energy Build.* 158 (2018) 466-475 Supplement C
- 9)Mohamed M, Matthieu L, Sylvie L: Constructural design of flow channels for

- radiant cooling panels, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol 145, (2019)106052
- 10)Jeongil Kim, Shinsuke Kato, Study on radiation panel cooling system with natural cross ventilation under a non-uniform thermal environment, *iNTA-SEGA 2009*, INTA00047-00064, 2009
- 11) Jeongil Kim, Hideaki Nagano, Mengyin Wan, Shinsuke Kato, Toshiaki Omori, Evaluation of thermal sensation under the non-uniform thermal environment - Estimation of the equivalent temperature by the experiment, *The Fourth International Conference on Human-Environment System 2011*, ICHEs 2011, pp.109-114, 2011
- 12)金子幸樹, 玄英麗, 飯塚悟, 齋藤輝幸, 久野 覚: 住宅における放射冷暖房の導入に関するシミュレーション検討 (その1) エアコン単独、放射パネル単独、エアコン+放射パネル併用型の比較, 日本建築学会学術講演梗概集, 中国, 2017年8月
- 13)吉富透悟,加藤伸介, 張偉榮, 関根賢太郎, 佐藤大樹, 黄孝根: PMVの空間分布・時間変動特性に着目した従来型空調との比較 内部発熱直接処理型空調における冷房期オフィス室内の温熱環境評価 その1, 日本建築学会環境系論文集, 第81巻, 第723号, 2016年5月, pp.429-437
- 14) S.Kato,S.Murakami,H.Kobayashi: New Scales Assessing Contribution of Heat Sources and Sinks to Temperature Distributions in Room by Means of Numerical Simulation,Proc, ROOMVENT94, fourth international conference on air distribution in rooms, Krakow, Poland1994.6.pp.1-19.
- 15) W.Zhang,K.Hiyama,S.Kato,Y.Ishida: Building energy simulation considering spatial temperature distribution for nonuniform indoor environment, *Building and Environment*, 2013.2, pp.89-96
- 16) T.Yamamoto, A.Ozaki, M.Lee: Colonnade Space through Coupled Energy Simulation and Computational Fluid Dynamics, *energies* 12(13),2019
- 17)Ozaki, A. Combined Simulation of Heat and Air and Moisture on the Hygrothermal Environment and 645 Heating / Cooling Load, *International Building Performance Simulation Association*, 19-26, 2005.01.
- 18)山本竜大, 尾崎明仁, 李明香: ES と CFD の連成による放射パネルと家庭用エアコン併用時の熱環境解析手法の開発、空気調和・衛生工学会大会、札幌、2019年9月
- 19)Ueno T, Kitahara H, and Miyanaga T. 2014. Development of Heat Source Characteristic Model of Air Conditioner for Residential Buildings, *Proceedings of ROOMVENT 2014*, Sao Paulo, Brazil.