

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：37115

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23559

研究課題名（和文）ESとCFDの連成による放射パネルとエアコン併用時の最適運用方法に関する研究

研究課題名（英文）Study on optimum operation method when combined with radiant panel and air conditioner by coupling of ES and CFD

研究代表者

山本 竜大（Yamamoto, Tatsuhiro）

久留米工業大学・工学部・助教

研究者番号：30849188

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：近年住宅の高断熱化が進んでおり、導入される設備機器の性能も向上している。特に住宅で利用されている一般的な設備機器はエアコンである。エアコンは効率良く室内を空調可能であるが、局所的な温度分布が発生する懸念もある。そこで床暖房や放射パネルの様な放射を利用した空調方式の採用が増加傾向にある。本研究では、増加傾向にある夏期の放射パネルとエアコンの併用時の運用方式に関して検討を行った。まず、エアコンと放射パネル併用時の熱環境解析手法を開発し、精度検証を行った。その上で、ケース検討を行い省エネと快適性を同時に満足する運用方式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したエアコンと放射パネル併用時の熱環境解析手法は住宅を対象として精度検証が行われたが、その応用範囲は広く商品開発の場面やオフィスビルを含む建築設計での活用が期待出来る。また、ケース検討の結果は現状のエアコンと放射パネルの併用時の運用方式に理想形に一石を投じる内容となっており、現代の住宅における設備機器の併用の在り方に関して検討を行う事が出来た。特にZEH基準の断熱性能の高い住宅における最適な運用方式に関して検討が行えたため、社会に対する波及効果は高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, homes have become more insulated, and the performance of the equipment installed has also improved. In particular, a common piece of equipment used in homes is air conditioning. Although air conditioners can efficiently air condition a room, there is a concern that local temperature distribution may occur. Therefore, the use of air conditioning systems that utilize radiation, such as floor heating and radiant panels, is on the rise. In this study, we examined the operation method of air conditioning combined with radiant panels during the summer season, which is on the increase. First, a thermal environment analysis method for the combined use of air conditioning and radiant panels was developed and verified for accuracy. Then, case studies were conducted and an operation method that simultaneously satisfies both energy conservation and comfort was proposed.

研究分野：建築環境工学

キーワード：エアコン 放射パネル 対流熱伝達率 ES CFD 連成解析 快適性 消費電力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究当初の背景としてまず、エアコンと放射パネル併用時の熱環境解析手法の開発を行う事が挙げられる。エアコン単体での利用が主流であった過去はあるが、今や放射パネルの台頭によって状況は大きく変動している。しかしながら、エアコンは効率が非常に良く現代でも活躍しており、放射パネルとの併用の最適解に関しての知見が必要である。エアコンと放射パネル併用時の省エネと快適性を同時に満足する運用方式はまだ明らかとなっていない。

2. 研究の目的

本研究の主たる目的は「エアコンと放射パネル併用時の最適運用方式」に関する知見を得る事である。具体的に述べるとすれば、快適性と省エネ性を兼ね備えた運用方式を模索する事を目標としている。その理由として居住者は金銭的な部分と空間の快適性に関して同時に満足する事が理想であると考えられるからである。

以上のエアコンと放射パネルの併用時の運用方式の知見に関しては、多く検討がなされていないのが現状である。また、行われている検討も定常解析に限定される。計算時間を制約するのは流体解析のメッシュ数の多さに起因するが、放射計算に Energy simulation (ES) を用いる事で計算時間を大幅に短縮する事が可能である。一方で、ES では、空間をマルチゾーンに分割した際の対流成分の計算が困難であるといった特徴を有しており、相互に補完の関係にある。即ち、ES と Computational Fluid Dynamics (CFD) の連成解析を行う事が望ましい。本研究最大の特徴は、ES において一定の精度を保ったまま対流と放射の非定常解析を可能とする解析手法を考案している点である。放射計算を ES で行い、計算時間を短縮して非定常解析を可能とする本研究課題は高い独創性と社会的な有用性を有していると考えている。

3. 研究の方法

連成のフロー図を図 1 に示す。前提として、提案手法は流水式放射パネルの計算アルゴリズムが組み込まれている必要がある。

STEP1 では、ES で放射空調の流水温度や流量を設定し、エアコンの設定温度を入力することで熱負荷と表面温度が算出されることが理想であるが、本研究では、実測値を境界条件として与えるため実験住宅の実測が該当する。

STEP2 では、CFD の供給熱量を ES の計算値である熱負荷を利用して設定する。この際、吹き出し風量の設定が必要となるが、実験値がある場合は、実験値を用いる。実験値が無い場合は吹き出し風量は定格値を用いる。吹き出し角度に関しても実験により把握されていることが望ましいが、エアコン形状のモデル化にも依存するため、吹き出し面積の設定などは慎重に行う必要がある。ここで計算された対流熱伝達率は STEP3 で実験値を用いた CFD 解析結果を熱負荷計算時の対流熱伝達率として受け渡して精緻な熱負荷および表面温度を算出する。本章では、表面温度に関しては建物モデルの精度検証として利用する。提案手法の精度検証で利用するのは、STEP5 のエアコンの投入熱量である。

STEP4 では、STEP2 で得られた流れ場を固定した上で、エアコンと放射パネルに対して個別に熱量を投下した際の流れ場を作成する。この際、エアコンの投入熱量を 0W とした上で、放射パネルの稼働を OFF にした流れ場を用意し、これを基準状態と呼称する。基準状態と個々の設備機器の投入熱量分の熱輸送の偏差を取る事によって熱輸送の係数を算出する。本研究では、この係数を熱分配比と呼称する。

STEP5 では、エアコンと放射パネルの時々刻々の投入熱量に熱分配比を乗じることによって各ゾーンの供給熱量として室温を計算する。

精度検証では、CFD の境界条件の多くに実測値を用いている。ケース検討では、境界条件を全て計算値で算出するため、若干の解析誤差は許容する必要がある。従って、相対評価を目的として、対流熱伝達率は $4 [W/m^2K]$ の慣用値を用いた。建物モデルの妥当性は一定の範囲で確保されているが、一部温度成層が発生する部分に関しては対流熱伝達率の参照温度に差異が生じることから実測値を追従していなかった。これは、ES 特有の問題であるとも言えるため、本研究の検討範囲外とする。しかし、相対評価であることや精度検証時の基準状態に計算結果を用いていたことを考慮すれば、計算結果に基づくエアコンと放射パネルの最適運用方式の提案には大きな影響は無いと考えられる。

ケース検討では、空調機の吹き出し温度や吹き出し風量は実測値を用いて CFD の境界条件としていた。ケース検討において、風速に関しては風量に定格値を用いており、吹き出し温度は式

(1) を用いて THERB の計算した熱負荷を元に吹き出し温度を収束計算により算出している。なお、投入熱量に関しては精度検証の結果を踏まえて 2F の熱負荷の計算値を用いている。1 階に関しては 1 階の THERB の熱負荷を利用している。

$$q_t = v \cdot \gamma \cdot A_{air} (T_{air} - T_{su}) \quad (1)$$

ここで、 q_t : エアコンの投入熱量[W]、 v : 吹き出し風速[m/s]、 C_{air} : エアコン吹き出し空気の比熱[J/kg · K]、 A_{air} : エアコンの吹き出し口面積[m²]、 T_{air} : 吹き出し口空気温度[K]、 T_{su} : 吸い込み口空気温度[K]

解析のフローに関しても図 2 に示す通り、精度検証時と比較して変更が加えられている。STEP1 で壁体表面温度や熱負荷を計算し、その計算値を用いて STEP2 の計算を行う。ここで注意すべきなのは今回の検討では、時刻変動性を考慮した際の膨大な計算負荷や、相対比較である事を熟考し、このような判断を下した。なお、精度検証時には対流熱伝達率を 4W/m²K の慣用値とした場合でも実測値を一定の範囲で追従していたことも理由の一つとして挙げられる。

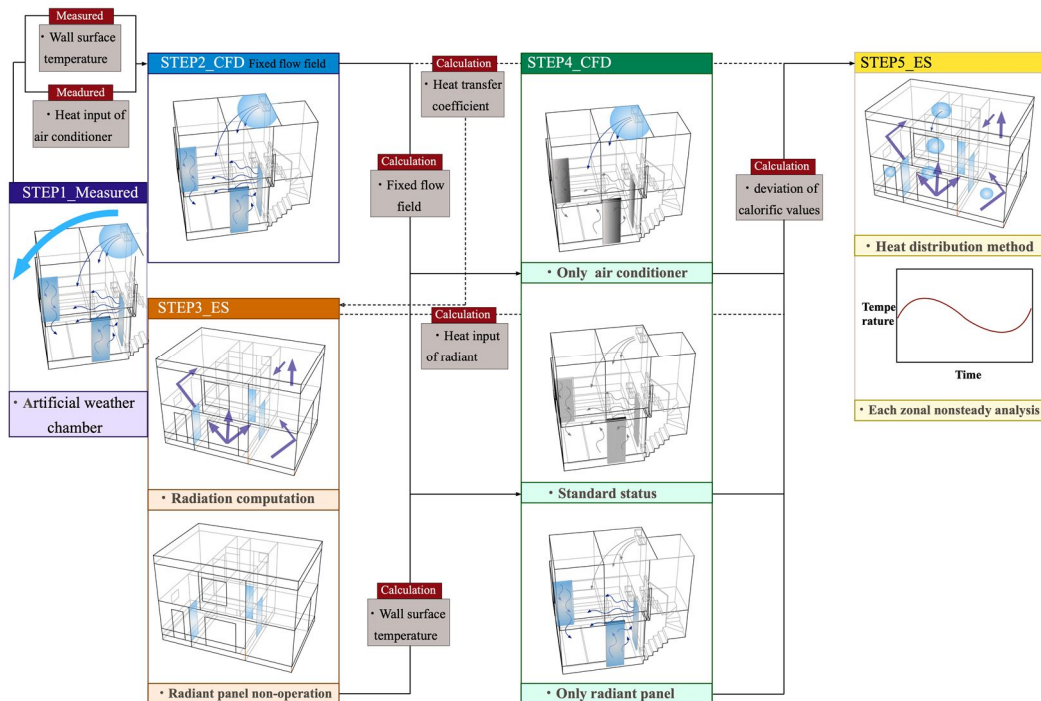


図 1 熱環境解析手法の精度検証時の連成解析フロー

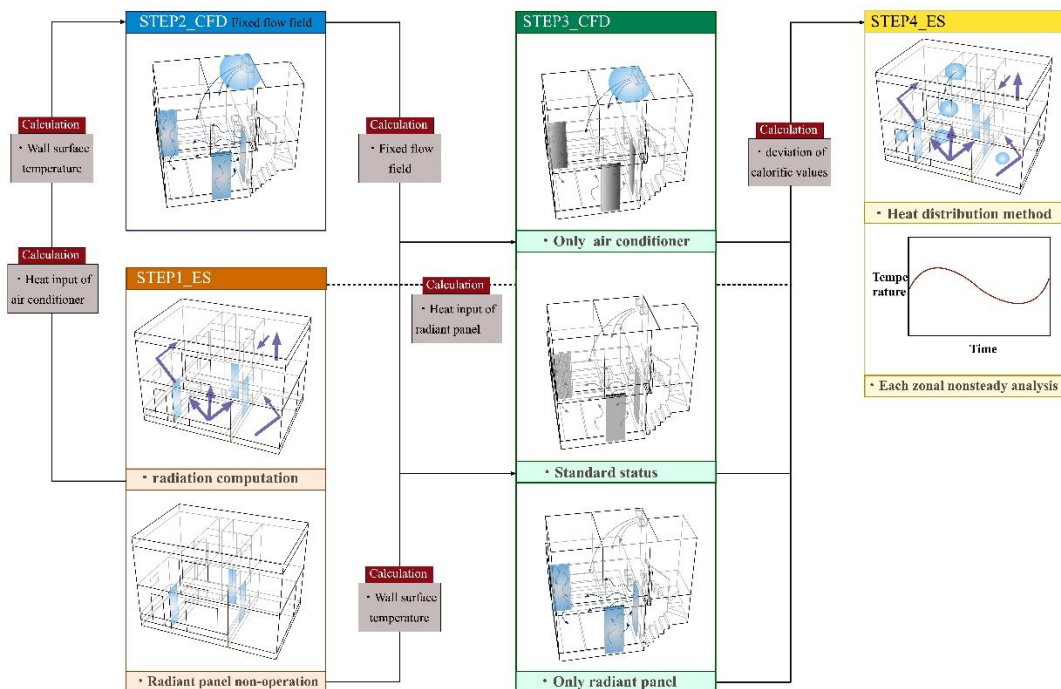


図 2 提案手法の計算値のみを用いた解析フロー

4. 研究成果

ケース検討は Case1 ~ Case4 までの 4 ケース行った。Case1 毎に送水温度を 7、11、15 [°C] に設定した。パネル台数は Case1 が 3 台、Case2 が 2 台、Case3 と Case4 が 1 台となっており、Case4 に関しては 1 階にエアコンが設置されている。図 3 および図 4 に快適性と省エネ性の検討結果を示す。以下、結果を端的に要約する。

- (1) 放射パネルの台数としては 3 台だと居住領域である Room5 と Room6 を過剰に冷却してしまう恐れがあることが示された。しかし、送水温度を上げることによって PMV の値は中央値を示すようになってきている。しかし、Case1 では、すべての Case で消費電力は Case2 ~ Case4 と比較して高い値であることが示された。積算消費電力量の相対的な比較による考察は行いが、その微妙な差の価値に関してはエネルギー分野によるものが大きいいため、本研究での議論の対象の範囲外であると判断される。
- (2) Case3 と Case4 では、相対的に積算消費電力は低い値を示している。しかし、Case4 ではエアコンのドラフトの影響による不快感というのは無視できないものがある。更に、2 階の快適性は良くないため、全館空調の台頭する現代においては、適していない運用方式であると考えられる。従って、省エネ性と快適性を考えれば Case3 が妥当である。流水温度に関しては議論の余地を残していると考えられる。
- (3) 基本的に快適性は 7 段階評価の範囲内に収まっていた。これは、高断熱住宅であるからである。このような現在に即した空調および放射空調の併用時の熱環境解析手法を用いたケース検討は、一定の有効性があると考えられる。エアコンと放射パネルを併用することが理想的なのかに関しては十分な議論が必要であると考えられる。

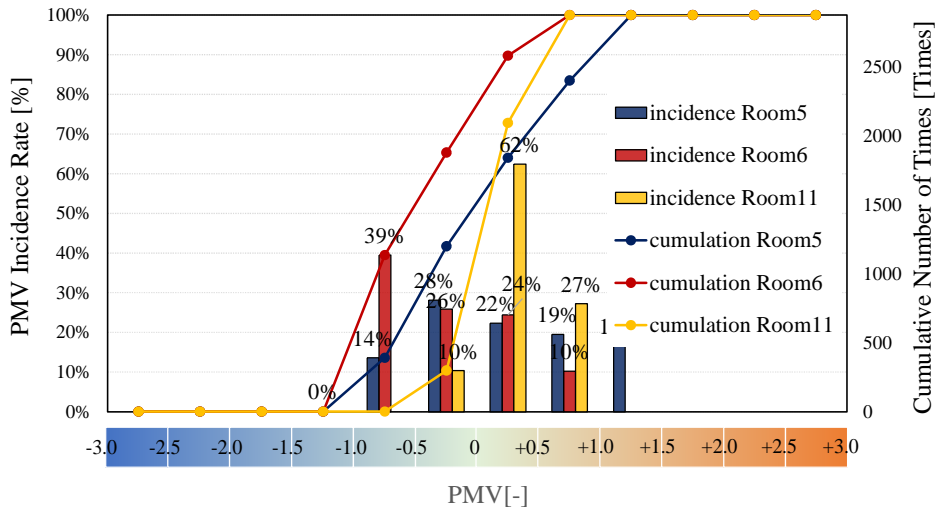


図 3 パネル一台、送水温度 7 [°C]、流量 1.5 [L/min] の際の PMV 出現率と出現回数

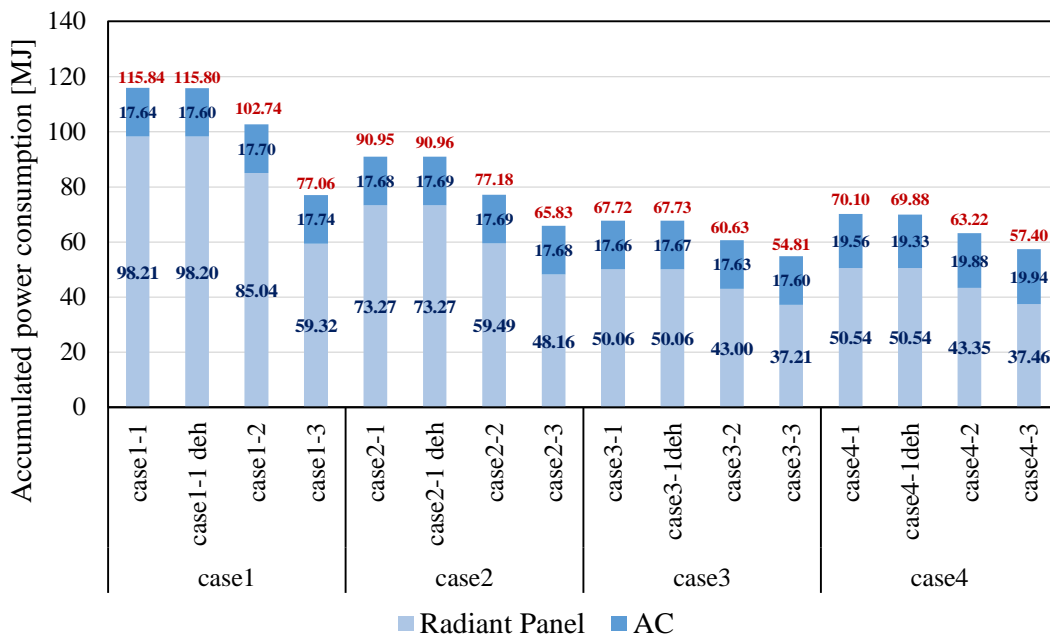


図 4 空調機の二日間の積算消費電力量の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamamoto Tatsuhiro, Ozaki Akihito, Lee Myongyang, Aratsu Keigo, Fukui Ryo	4. 巻 207
2. 論文標題 Development of a non-stationary thermal environment analysis method for combined convection and radiation air conditioning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 108559 ~ 108559
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.buildenv.2021.108559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 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
2. 発表標題 山本竜大, 尾崎明仁, 李明香
3. 学会等名 空気・調和衛生工学会大会（遠隔開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福井遼, 尾崎明仁, 李明香, 山本竜大
2. 発表標題 吹抜を有する住宅における対流・放射空調を併用した効率的な冷房方式の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福井遼, 尾崎明仁, 李明香, 山本竜大, 荒津慶吾
2. 発表標題 エアコンと放射パネル併用時におけるESとCFDの連成による熱環境非定常解析手法の開発
3. 学会等名 建築学会九州支部研究報告, 福岡
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本竜大, 尾崎明仁, 李明香, 荒津慶吾, 福井遼
2. 発表標題 熱分配法の拡張による変動する放射環境に対応する強制対流場の非定常解析手法の確立
3. 学会等名 日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本竜大, 尾崎明仁, 李明香
2. 発表標題 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
3. 学会等名 空気・調和衛生工学会大会(遠隔開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本竜大, 尾崎明仁, 李明香, 福井遼
2. 発表標題 エアコンと放射パネル併用時の熱環境解析手法の高度化
3. 学会等名 建築学会九州支部研究報告, 福岡
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福井遼, 尾崎明仁, 李明香, 山本竜大, 荒津慶吾
2. 発表標題 エアコンと放射パネル併用時におけるESとCFDの連成による熱環境非定常解析手法の開発
3. 学会等名 建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------