

夏期における全空気式誘引放射空調の評価に関する研究

A study on evaluation of an All-air Induction Radiant Air Conditioning System in summer

学生会員 ○岡 寒月 (名古屋大学)
正会員 久野 覚 (名古屋大学)

正会員 齋藤 輝幸 (名古屋大学)

はじめに

近年、多くの建築では快適性が求められ、冷暖房システムが広く導入されている。しかし、対流式冷暖房において長時間滞在した時に冷風・温風が直接身体に当たると、不快や気流にストレスを感じることもある。そこで、空調用エネルギーの削減と快適性の改善を目指し、全空気式誘引放射空調方式(以下、放射ユニットと呼ぶ)が開発され、導入されている。放射ユニットとは、空調機の給気圧力を利用して室内空気を誘引混合し、その空気で放射プレートを冷却/加熱した後、パネルより熱放射しつつ、整流して吹出すものである。吹出しユニットの断面図を図 1 に示す。本報では同一実験室に設置された放射ユニットと従来型空調方式の冷房性能比較に基づき、放射ユニットによる温熱環境及び心理的効果について検証する。

1. 実験概要

1.1 実験期間・場所

冷房実験の実施期間は 2012 年 7 月~9 月である。名古屋大学工学部 5 号館空調環境実証実験室にて実施した。

1.2 実験装置・設定条件

実験室寸法は 7.5m(d)×3.75m(w)×2.6m(h)で、北側に窓を有する。天井に 3 台の放射ユニットを併設し、窓側には 1 台のパッケージ型エアコンの天吊型室内機(以下、エアコンと呼ぶ)を設置した。

冷房設定温度は放射ユニット 24℃、26℃及びエアコン 24℃、26℃である。加えて、放射ユニットの場合、吸込口位置による気流分布への影響を検討するため、吸込口の位置を上方と下方のいずれかに切り替えて実験を行った。また、室温が安定した時に手動で放射ユニットを 1~2 台停止することにより、供給熱量を変化させ、室内温熱環境への影響について検討した。

1.3 計測方法

図 2 に示すように、実験室内の 4 本のポールに設置された測定点によって室内上下温度を計測した。壁面温度は各面 3 点(高さ 0.5m、1.3m、2.1m)で計測した。床上 1.1m における 18 ヶ所の測定点より、実験室の水平温度分布を確認した。高精度デジタル温湿度センサーにより、グローブ温度、アスマン乾球温度、相対湿度を室中央で計測し、各放射ユニットのノズル温度、パネル表面温度、吹出し温度、吸込み温度も計測した。また、室内の気流、PMV なども測定・記録した。

2. 実験結果

2.1 室内温熱環境の経時変化

図 3 は外気温 30~32℃、設定温度 26℃における放射ユニットの場合の室内温熱環境の経時変化を示す。代謝量は 1.2met、着衣量は 0.5 とした。風速が極めて小さい放射ユニットでは SET*、グローブ温度はアスマン乾球温度よりそれぞれ 1℃、0.5℃

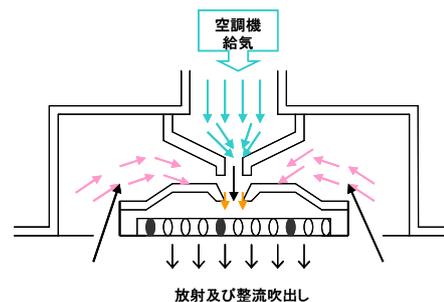


図 1 放射ユニットの断面図

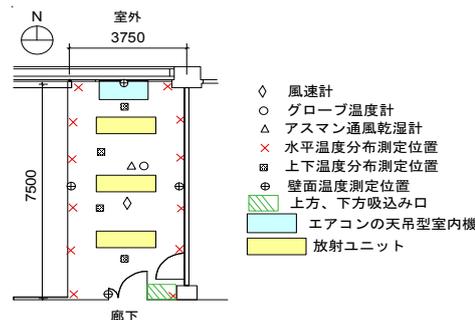


図 2 実験室の測定位置

上昇した。また、SET*は25~27℃の間で変動し、PMVは0~0.7の範囲で変化していた。運転台数を減少させても室温やPMVなどはほぼ安定しているが、1台運転時では室温がやや高くなった。

2.2 上下温度分布

図4は設定温度26℃、外気温約30℃における放射ユニットとエアコン運転時、それぞれの室中央の鉛直温度分布を示す。放射ユニットは室内空気を誘引混合することにより吹出温度がやや高くなった。一方、エアコンの場合は給気温度が低いため、床上0.6mにおける気温は24℃まで低下した。

図5は設定温度26℃における吸込口位置による上下温度分布への影響を示す。外気温は上方吸込時約30℃、下方吸込時約33℃であった。上方吸込時に鉛直温度がより緩やかになることが分かる。下方吸込では床上1.1m以下の気温がやや低くなり、温度変化が若干大きくなったが、既報¹⁾に示す暖房時より上下温度差は大幅に小さくなった。

2.3 表面温度分布

図6、図7は放射ユニット設定温度26℃の場合における壁面温度、および床面、天井面とパネル表面温度の経時変化を示す。南壁面(廊下側)と北壁面(外気側)の温度はやや高く、ドア上方(南壁面3)で最も高くなった。放射ユニットの運転台数を変更しても壁面温度はあまり大きく変化しないものの、運転を停止した南側の壁面温度が上昇し、北壁面温度はやや低下した。

図7を見ると、放射ユニット3台運転時では、給気温度の変化により、パネル温度が20~24℃で変動し、運転台数を減らすとパネル温度の変化範囲は大きくなり、1台のみ運転時では16~24℃となった。一方、運転台数の減少に関わらず、床面と天井面はほぼ一定の温度を維持した。

2.4 水平温度分布

床上1.1mにおける18カ所の測定値を用い、室温が安定した状態の30分間平均値に基づく室内水平温度分布を図8に示す。室温が最も低い領域は室中央であり、放射ユニットではドア側及び窓側は1℃ほど高くなったが、エアコンでは窓側と室中央の間に約3℃の温度差が見られた。放射ユニット

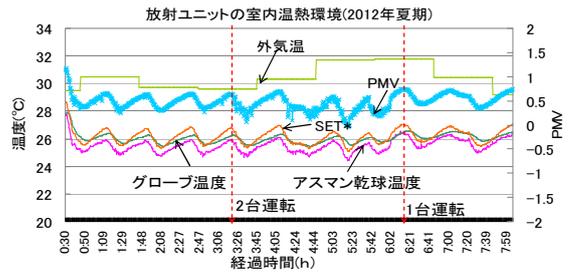


図3 放射ユニットの室内熱環境の経時変化

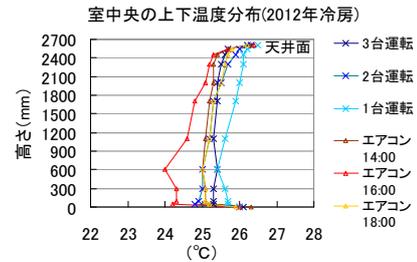


図4 各空調方式による上下温度分布

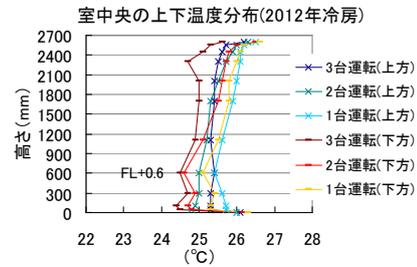


図5 上方・下方吸込と上下温度分布

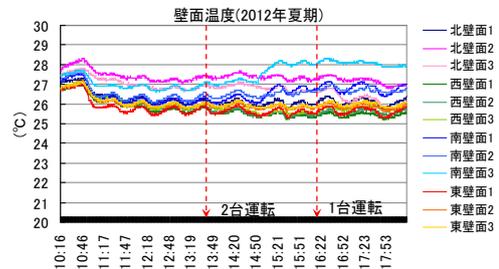


図6 壁面温度の経時変化

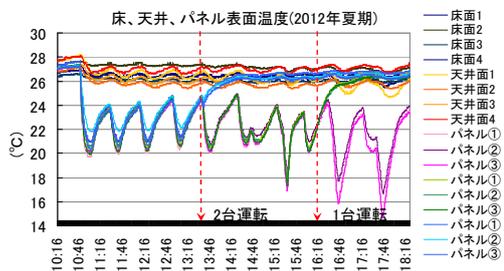


図7 床面、天井面とパネル面温度

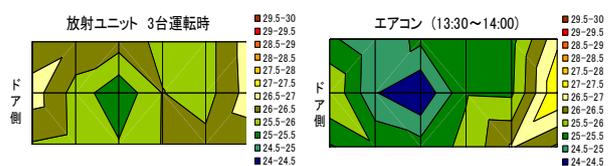


図8 水平温度分布(左図:放射ユニット、右図:エアコン)

では、均一な室内水平温度分布を形成することが期待できる。

2.5 温熱環境の関係

図 9~図 12 に示す各点は室温が安定した状態の 30 分間における 2 分毎の平均値である。凡例の○は放射ユニット、×はエアコン時であり、青色は設定温度 24°C、赤色は設定温度 26°C の場合を表す。図 9 は SET* と風速、図 10 は PMV と風速の関係を示す。エアコンでは室温変動範囲がより大きく、また気流が速いため、放射ユニットに比べ、同じ設定温度における SET* が 3~5°C 低くなり、PMV は寒い側となった。一方、放射ユニットでは気流がなく PMV は -0.5~+0.5 となり、ほぼ中立な温熱環境となった。

図 11 は室中央に置いた机上のグローブ温度から求めた MRT と窓側床面温度の関係を示す。同じ MRT 範囲において、放射ユニットはエアコンに比べ床面温度はやや低下し、Tsp=26°C ではその温度差が大きくなっていった。これより、冷房時では床面全体からの放射効果を得られる可能性があると言える。図 12 はアスман乾球温度と相対湿度の関係を示す。設定温度が高くなると、両者の相対湿度は近づいているが、Tsp=24°C の場合では放射ユニットの相対湿度は 60% ぐらいであり、エアコンは 70% 以上であるため、夏期では放射ユニットの方が湿度を下げやすいと言える。

2.6 各空調方式による供給熱量の比較

図 13 に外気温が同程度の実験日における放射ユニットとエアコン場合の供給熱量の経時変化を示す。放射ユニット水側の供給熱量は FCU の入口-出口水温差と流量から、エアコンの供給熱量は吹出し-吸込み温度差と吹出し風量から算出した。エアコンでは給気温度の変動により、SET* のばらつきが大きいいため、SET* の 10 分平均値を用いた。放射ユニットの台数制御に伴う供給熱量の大幅な低下は見られなかった。また、放射ユニットとエアコンはほぼ同程度の熱量を供給し、運転時間とともに供給熱量がやや低下する傾向が見られた。

2.7 放射ユニットからの供給熱量

放射ユニットからの供給熱量の割合を明らかに

するため、3 台運転時の放射及び整流による供給熱量をそれぞれ確認する。ここでは、総供給熱量 Q を FCU 吸込み温度、給気温度と給気量から算出し、対流熱量 C は室温、吹出し温度と吹出し風量から算出した。放射熱量については、放射熱量 $R = \text{総供給熱量 } Q - \text{対流熱量 } C$ より算出した。なお、外気導入は行っていない。

図 14 を見ると、運転時間とともに、総供給熱量と対流熱量がやや低下するが、放射熱量はほぼ一定であり、150~200W を維持している。図 15 は対流熱量及び放射熱量が総供給熱量に占める割合を表す。放射熱量は総供給熱量の 13% を占めた。

3. 心理申告実験

温熱要素が在室者の温熱感覚に与える影響を把握するため、心理申告実験を行った。

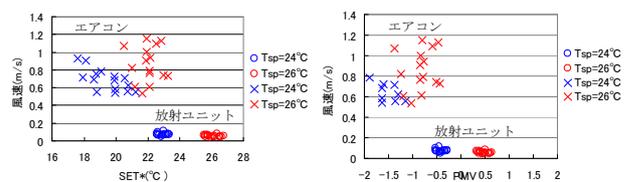


図 9 SET* と風速

図 10 PMV と風速

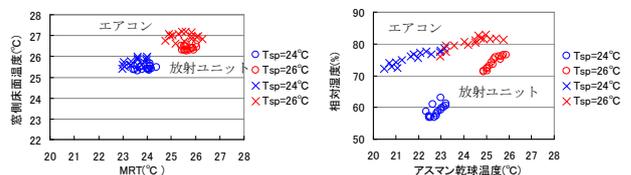


図 11 MRT と床面温度

図 12 乾球温度と相対湿度

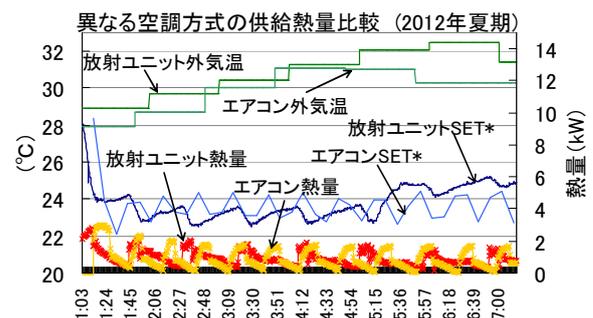


図 13 放射ユニットとエアコンの供給熱量

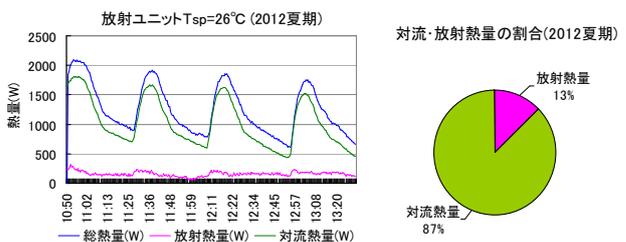


図 14 供給熱量の経時変化

図 15 供給熱量の割合

3.1 実験概要

2012年夏期の心理申告実験の実施期間は8月16日~30日であり、放射ユニットの設定温度は26°Cと27.5°C、エアコンは26°Cと28°Cの4条件とした。また、前室はエアコンで26°C設定とした。心理申告内容については、7段階の寒暑感・涼暖感・快適感に加え、気流感、湿度感、満足感、室温に対する希望、計9点の部位別寒暑感を申告した。表1は被験者の属性を示す。

3.2 実験手順

被験者の女性大学院生8人を2グループに分け、順次実験を行った。被験者は前室で約30分滞在した後、最初の心理申告を行い、実験室へ移動した。実験室内では60分間椅座安静状態で9回の心理申告を行った。

3.3 実験結果

3.3.1 SET*と心理申告

図16~図18はSET*と「寒暑感」「快適感」「気流感」の関係を示す。各点は心理申告が安定した時点のグループ別平均値を表す。放射ユニットではSET*が23~27.5°Cの範囲において、寒暑感にはほぼ中立であり、多数の被験者はやや快適と申告した。一方、エアコンではSET*が大幅に低下して20~24°Cの範囲となった。図17を見ると、放射ユニットのSET*はエアコンより高くても、同等な熱的快適性を得られた。図18に示す気流感は、放射ユニットでは「感じない」~「やや感じる」、エアコンでは「感じる」~「非常に感じる」と申告された。

3.3.2 部位別寒暑感申告

図19は設定温度26°Cにおける部位別寒暑感申告を示す。放射ユニットの場合にはほぼ中立と申告されたが、エアコンの場合ではSET*が低いため、全体的に「やや寒い」側に申告され、また、各部位別の申告が大きく異なり、特に上腕・前腕・下腿において最も寒い側に申告された。

4. まとめ

放射ユニットとエアコンによる室内温熱環境を比較した。放射ユニットでは均一な室内温度分布を形成し、また、不快な気流を解消しつつ、熱的快適感を向上させることを確認した。

表1 2012年夏期被験者属性

身長 (cm)	体重 (kg)	放射ユニット(clo)		エアコン(clo)	
		26°C	27.5°C	26°C	28°C
158±5.6	50±5.9	0.34±0.05	0.31±0.05	0.30±0.06	0.33±0.07

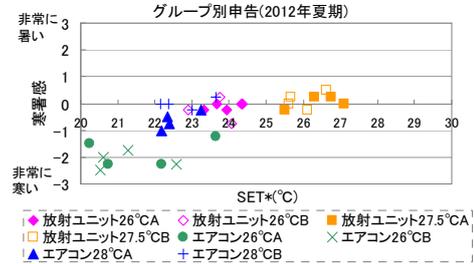


図16 SET*×寒暑感

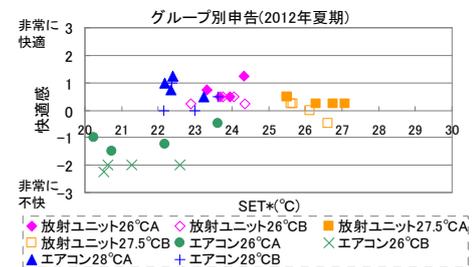


図17 SET*×快適感

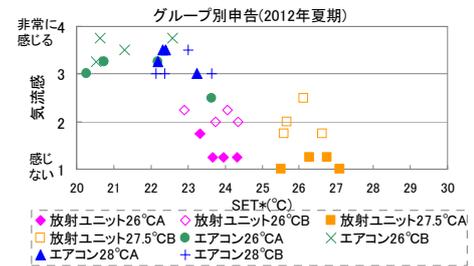


図18 SET*×気流感

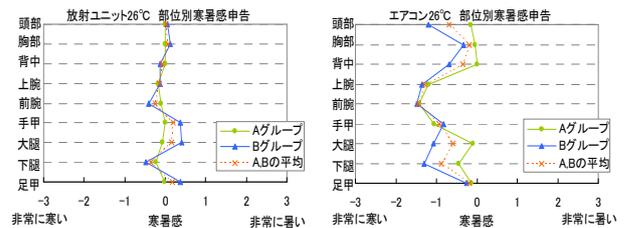


図19 設定温度26°C場合の部位別寒暑感申告

(左図は放射ユニット、右図はエアコンの場合を示す)

【謝辞】

本研究の実施にあたり木村工機株式会社より大きな協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

1) 冨月 寒月, 齋藤輝幸, 久野覚: 全空気式誘引放射空調の評価に関する研究 2012年の暖房実験に関する室内温熱環境の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, P.1919-1922, 2012