

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
A Study on the Evaluation of All Air Induction and Radiation Cooling/Heating System
Analysis of the indoor thermal environment at heating experiment in 2012

学生会員 ○闫 寒月 (名古屋大学) 技術フェロー 齋藤 輝幸 (名古屋大学)

技術フェロー 久野 覚 (名古屋大学)

Hanyue YAN*¹ Teruyuki SAITO *¹ Satoru KUNO*¹

*¹ Nagoya University

For improving thermal comfort and energy conservation, all air induction and radiation cooling/heating system is developed and used in buildings. In this paper, an experiment was performed in winter of 2012 to investigate the heating performances of this system. Three radiation units and a conventional air conditioner have been set up in the same room and compared. As a result, radiation unit was able to lead to uniform room temperature profile and to improve thermal comfort. The influence of heat supply decrease in this system was confirmed by reducing the operation of radiation units.

はじめに

近年、多くの建築では快適性が求められ、エネルギー消費量も急増している。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が開発され、導入されている。これは、空調機の給気圧力を利用して室内空気を誘引混合し、中温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。図1に吹出ユニット断面図を示す。

本報では2012年に実施した実験に基づき、「全空気式誘引放射空調方式」の暖房性能について種々の検証を行い、室内温熱環境や熱性能について検討する。

1. 実験内容

1.1 実験期間及び場所

暖房実験は2012年1月～2012年3月に、名古屋大学工学部5号館空調環境実証実験室において実施した。

1.2 実験室概要

実験室の寸法は7.5m(d)×3.75m(w)×2.6m(h)で、北側に窓を有する。天井に3台の全空気式誘引放射ユニット(以下、放射ユニットと呼ぶ)と4台のライン形LED照明器具を併設し、居住域の放射温度に応じて温水ボイラーからの温水流量を制御するため、天井面中央に放射温度センサーが設置されている。

温水ボイラーから供給された温水は天吊埋込型ファンコイルユニット(FCU)へ送られる。同FCUでは室内からの還気を加熱し、放射ユニットへ供給している。また、同実験室の窓側には放射ユニットとは別に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)

が設置されており、従来型空調方式と比較することが可能となっている。

1.3 実験条件

(1) 設定条件

本報は、放射ユニットが暖房設定温度20℃、22℃、24℃及びエアコンの20℃設定条件について検討する。加えて、放射ユニットの場合、吸込み口位置を上方と下方のいずれか一方としたため、全部7条件について検討する。

(2) 台数制御

3台の放射ユニットの運転/停止は個別に設定することができる。一定時間が経過し、室温がほぼ安定した時に、手動で1～2台を停止することにより、送風動力や供給熱量を変化させ、エネルギー消費量や室内温熱環境への影響を検討する。

1.4 計測装置

実験室内に4本のポールを立て、それぞれのポールに設置された12カ所の測定点によって、室内上下温度を計測した。また床上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することとした。壁面温度は各面3点(高さ0.5m、1.3m、2.1m)で計測した。

各放射ユニットについては、温度15点、湿度測5点を計測した。内訳は、FCUからの給気温度3点、湿度1点、放射ユニットからの吹出し温度3点、湿度2点、放射ユニットへの誘引空気温度6点、湿度2点、放射ユニットのパネル表面温度3点である

一方、エアコンの吹出・吸込温湿度はそれぞれ3点測定した。そして、流量センサーによって、FCUへの温水流量を記録した。

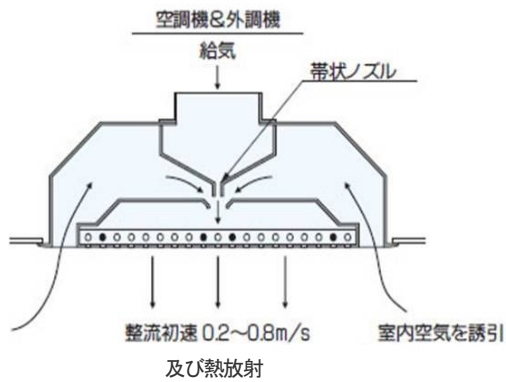


図-1 吹出ユニット断面図

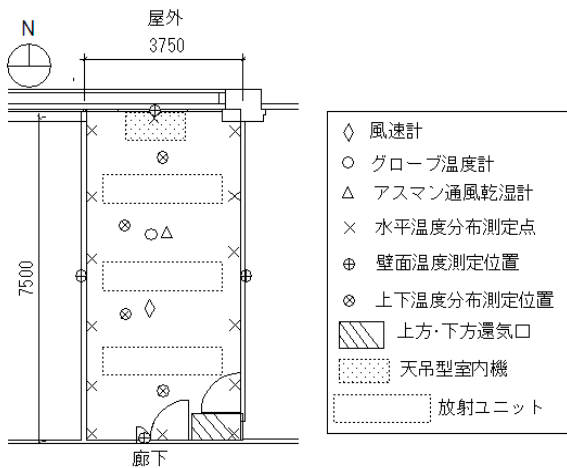


図-2 実験室の測定位置

表-1 室内温熱環境測定項目

測定項目	測定場所	測定機器	間隔
グローブ温度	実験室中央1ヶ所	マルチ温湿度	30秒
アスマン温湿度	実験室中央1ヶ所	ロガー+高精	
放射ユニット温湿度	1台毎に5ヶ所×3台	度デジタル温	
エアコン吹出・吸込温湿度	吹出口・吸込口各3ヶ所	湿度センサー	
放射ユニット温度	1台毎に10ヶ所×3台	データロガー	30秒
上下温度分布	実験室内4ヶ所×上下12点	+T型熱電対	
水平温度分布 (床上1.1m)	実験室内18ヶ所		
壁面温度	実験室内壁面4ヶ所×上下3点		
床面・天井面温度	実験室内各4ヶ所		
室内気流速度	実験室中央1ヶ所	風速計	30秒
FCU温水温度	FCU温水入口、出口各1ヶ所	PI100测温 挿孔体	30秒
FCU温水流量	FCU温水入口	流量センサー	30秒

2. 実験結果

2.1 室内温熱環境の経時変化

図3は外気温約10℃、設定温度22℃における放射ユニットの場合のグローブ温度、アスマン乾球温度、SET*

とPMVの経時変化を示す。SET*とPMVの計算では代謝量1.2met、着衣量0.69cloとした。グローブ温度はアスマン乾球温度より約2℃高く、SET*とグローブ温度はほぼ一致している。

計測結果を見ると、放射ユニット1~2台を停止すると室温やPMVはやや低下している。また、アスマン乾球温度が20℃以上となると、ISOの推奨値 $-0.5 < PMV < 0.5$ を満足することができる。

2.2 アスマン乾球温度とグローブ温度

アスマン乾球温度とグローブ温度の関係を図4に示す。3台の放射ユニット運転時、室温が安定した状態において、アスマン乾球温度とグローブ温度の間に約1.5℃の温度差が見られる。これは放射効果によるものであり、壁面や床面が暖まるためと考えられる。

一方、同程度の外気温度と設定温度において、エアコンではアスマン乾球温度とグローブ温度がほぼ一致している。以上より、同程度の乾球温度の場合、放射ユニットによって、より暖かく感じる室内環境を与えることができると言える。

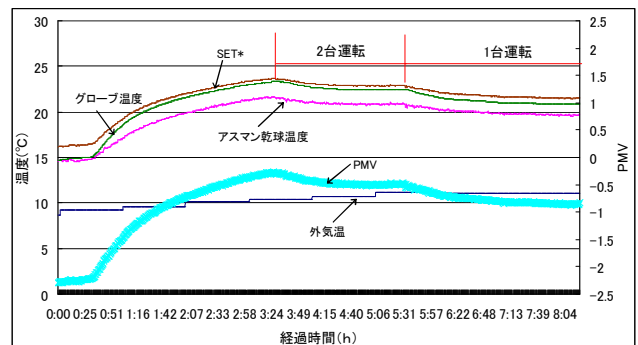


図-3 室内温熱環境の経時変化

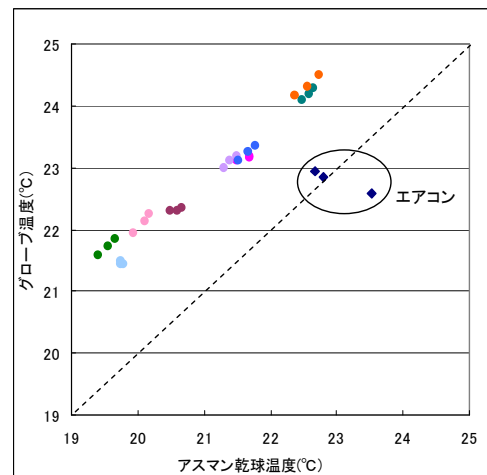


図-4 アスマン乾球温度とグローブ温度の関係

2.3 表面温度変化

図5は各面3点計測した壁面温度の経時変化を示す。北側は外気側、また窓を有するため、北壁面の温度は最も低い。放射ユニット1~2台を停止しても床上0.5mで計測した壁面温度は一定であるが、壁面の上方における

温度は低下している。

図6は床面、天井面及び放射パネル表面温度の経時変化を示す。床面と天井面温度は各4点、各放射ユニットのパネル表面温度は3点計測された。放射ユニット運転前後を比較すると、床面温度は最大4℃上昇している。また、窓側の床面温度はドア側よりやや低いことが分かる。台数制御すると、天井面温度とパネル温度の経時変化はほぼ一致し、やや低下している。

2.4 上下温度分布

図7は設定温度20℃、外気温約8℃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。放射ユニットの運転台数を3台→2台→1台と変化させると、天井面温度は徐々に低くなり、床面温度はほぼ一定であるため、上下温度差は小さくなる。一方、対応する時点のエアコンの場合は、天井面温度はあまり変わらないものの床面温度はやや高くなる。また、床面温度は放射ユニットの場合より低くなり、床上～0.3mの区域において温度変化が大きくなるため、在室者が足元を寒いと感じやすいと考えられる。

図8は設定温度22℃、外気温はそれぞれ10℃、12℃の条件下、ドア側に設置された吸込み口の位置(上方あるいは下方)による室内の上下温度分布への影響を示している。上方吸込みでは高さ2m、下方吸込みでは高さ1.7m以下となると、温度変化は緩やかになる。また下方吸込みの場合、高さ2m以下において、放射ユニットの台数制御に伴う上下温度差の変化が比較的大きくなっている。床上0.1m～1.1mの温度差については、下方吸込みの方がやや大きく、ISOに推奨された3℃以内を満足することができない可能性がある。

2.5 水平温度分布

室温が安定状態で、床上1.1mにおける18カ所の30分間平均値を用いた室内水平温度分布を図9に示す。実験室の東・西側の壁面周囲の温度が最も高い。それに対し、最も温度が低い領域は窓側に近い所である。また、ドアの西側において温度の低い所がある。放射ユニットの運転台数を3台→2台→1台に変更すると、気温は0.5～1℃毎に低くなる事が分かる。

一方、エアコンの場合では、最も温度が低い領域は同様に窓側に近い所であるが、中央から周囲へ徐々に温度が下がり、温度勾配は放射ユニットの場合に比べて、大きくなっている。

以上より、放射ユニットや天井面全体からの放射効果によって、周囲壁面も温まり、均一な室内水平温度分布を形成することが期待できる。

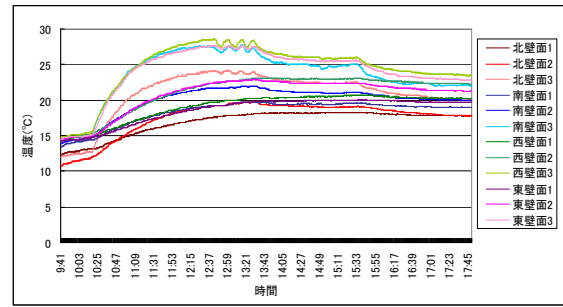


図-5 壁面温度分布

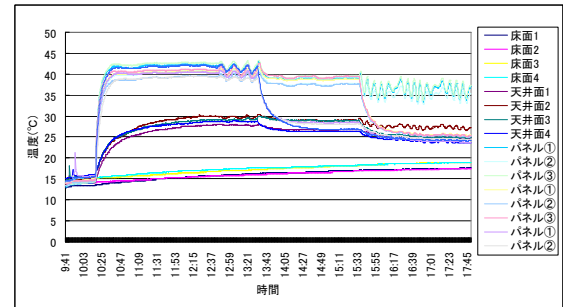


図-6 床面、天井面とパネル表面温度

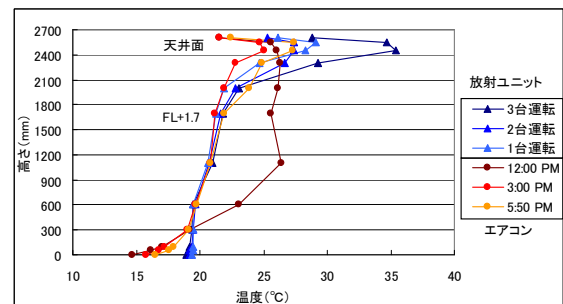


図-7 二つの空調方式による鉛直温度分布

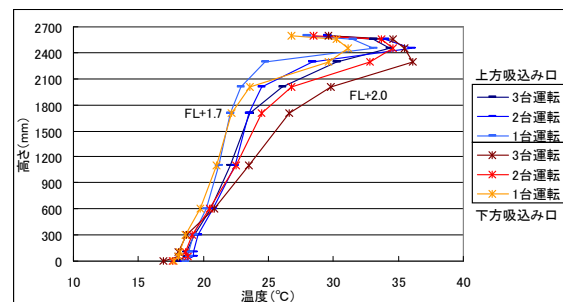
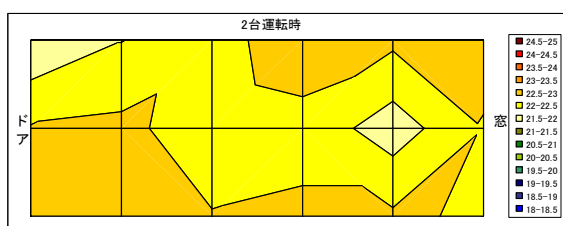
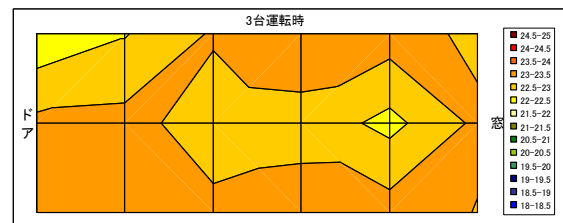


図-8 上・下方吸込口による鉛直温度分布



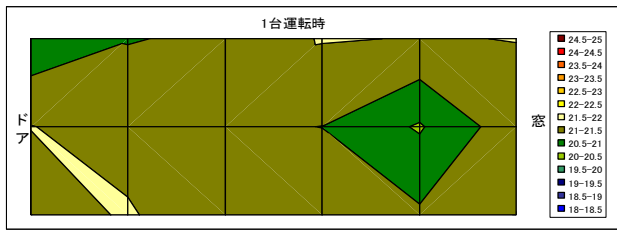


図-9 放射ユニットの台数制御による水平温度分布

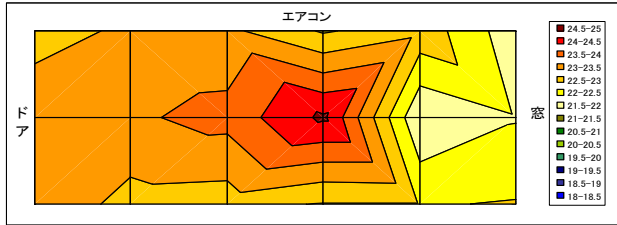


図-10 エアコン場合の水平温度分布

2.6 誘引ユニットの誘引率

誘引比 η は一次空気量 G_1 に対する二次空気量 G_2 の割合で表される。表 2 は 3 台の放射ユニット (No.1~No.3) を利用した暖房時の各ユニットの給気、誘引、吹出し温度の平均値を示す。FCU からの 47~48°C 高温給気は誘引された室内空気と混合して、天井パネルより 42~45°C 程度で吹出している。誘引比は式(1)から計算される。

$$G_1 t_1 + G_2 t_2 = G_3 t_3 \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $G_1 + G_2 = G_3$ より

$$\eta = G_2 / G_1 = (t_1 - t_3) / (t_3 - t_2)$$

G_1 、 G_2 、 G_3 はそれぞれ給気量、誘引量、混合吹出し風量を表し、 t_1 、 t_2 、 t_3 はそれぞれの温度である。計算された放射ユニット 3 台の誘引空気量と送風量の比「誘引比」の平均値は 0.63 である。

表-2 各放射ユニットの誘引比

放射ユニット	FCUからの給気温	ユニットからの吹出し温度	誘引温度	誘引比
No.1	47.89	44.74	39.37	0.59
No.2	47.16	42.56	35.51	0.65
No.3	46.86	42.51	35.77	0.65

2.7 温水流量と供給熱量

FCU の入口水温-出口水温の差と流量から、供給熱量が計算される。図 11 は入口水温が 80°C と 70°C の条件下で、それぞれの温水流量と熱量の経時変化を示す。放射ユニットを 3 台運転する時、FCU の入口水温を 80°C から 70°C へ低下させると、同じ熱量を供給するため温水流量が多くなる。放射ユニット 1 台を停止すると、入口水温は変わらずに、出口水温は 6~8°C 低下し、流量と熱量とも大幅に減少する。さらにもう 1 台停止すると、出口水温と流量は再び低下し、温水の流量制御によって、出口水温と流量の変動が激しくなっていることが分かる。ただし、本システムは本来、供給温水温度 55°C で設計されており、放射ユニット 1 台運転時に温水流量等の変動が大きいのは、入口水温が高すぎるためである。

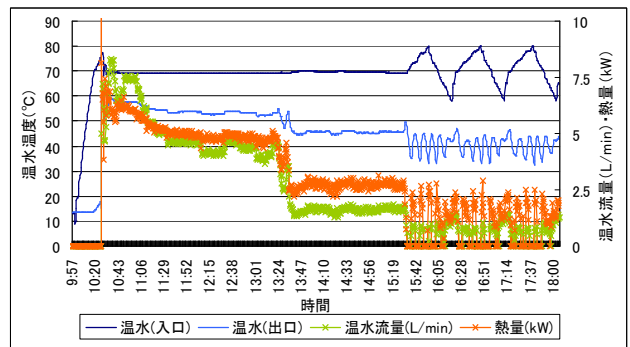
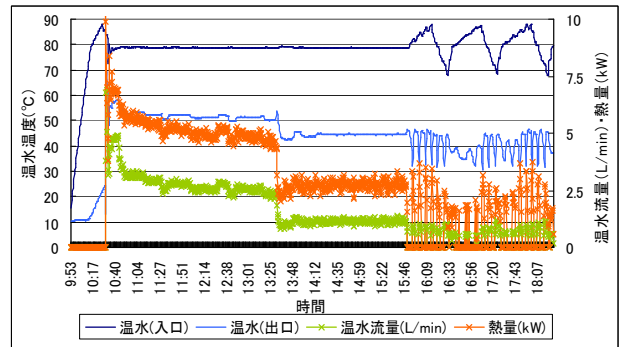


図-11 温水流量及び供給熱量の経時変化

3. まとめ

本報では、放射ユニットと従来型エアコンが設置された実験室において各空調方式による室内温熱環境や流量等を測定し、放射ユニットの温熱環境制御や熱性能について検討した。

放射ユニットでは、周囲壁面や天井面全体が温まるため、居住域において均一な室内温度分布を形成することが期待できる。そして、放射効果により、グローブ温度はアスман乾球温度より約 2°C 高くなり、同じ乾球温度の場合に従来型エアコンよりも暖かく感じる室内環境を与えることができると言える。また、放射ユニットの運転台数を 3 台→2 台→1 台に変更すると、それに応じて供給熱量は減少するが、床面温度や室温はほぼ一定であることを確認した。

今後は、放射ユニットの放射及び整流による供給熱量、換気に伴う排気熱量を確認する必要がある。また、夏期の冷房性能を検討していく。

謝辞

本研究は木村工機株式会社より大きな協力を得たものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

1) 勝田高司, 後藤滋, 寺沢達二: 誘引型吹出口ユニットの性能について, 日本建築学会論文報告集第 100 号, pp55-62, 1964. 7