

# 全空気式誘引放射整流空調と対流空調における作業効率の比較

## A comparison of work efficiency between all-air induction radiant air-conditioning and convective air-conditioning

4.環境工学 - 99.その他

空調方式 被験者実験 心理評価  
作業性

正会員 同 ○萩谷 玲香\* Reika Hagiya  
齋藤 輝幸\*\* Teruyuki Saito

### 1. はじめに

現在の冷暖房システムの主流である対流空調は、室内の温度ムラが大きい、風が直接当たり気流や不快を感じるなどの問題を生じることがある。一方、水方式の放射空調は直接気流を発生させないため、不快感や気流感の問題はなくなり、室内の温度ムラも緩和される。しかし、日本の夏は温暖湿潤気候であるため、水方式の放射システムは冷房時に表面結露しやすく、冷却能力が足りないなどの課題もある。

そこで、日本の気候に適した全空気式誘引放射整流空調(以下、誘引放射空調と呼ぶ)が開発され、オフィスや学校、医療施設などに導入されている。誘引放射空調とは、一般的な放射空調方式のように水を冷媒としておらず、空調機からの冷温風を利用した放射効果を併用する空調吹出しユニットである。図1に誘引放射吹出ユニットの断面図を示す。空調方法としては、空調機からの給気圧力により室内空気を誘引し、供給空気と誘引された空気を混合させ、アルミ製フィンおよび放射整流パネルにより気流を分散・整流して放射整流パネルを加熱・冷却した後室内へ吹出す。

これまでに誘引放射空調が温熱環境や快適感に及ぼす影響についての研究<sup>1)2)</sup>は行われているが、作業性にどのような効果があるかは明確となっていない。そこで本研究では、一般的な対流空調と誘引放射空調を導入した場合について作業性の違いを検討することを目的とし、2019年8月に行った被験者実験の結果を報告する。

### 2. 実験概要

#### 2.1. 実験室概要

実験は京都府木津川市にあるけいはんなオープンイノベーションセンター内のMC-Lab(メタコンフォート・ラボ)で行った。前室、実験室(A室、B室)の平面図を図2に示す。A室、B室の寸法は同一であり、A室にはVHS型の吹出口が4台、B室には誘引放射空調吹出ユニット

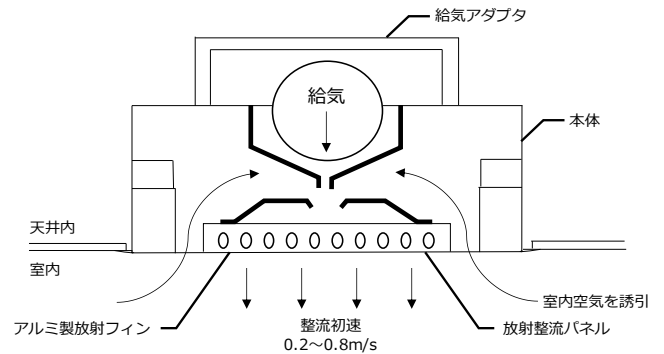


図1 誘引放射吹出ユニット断面図

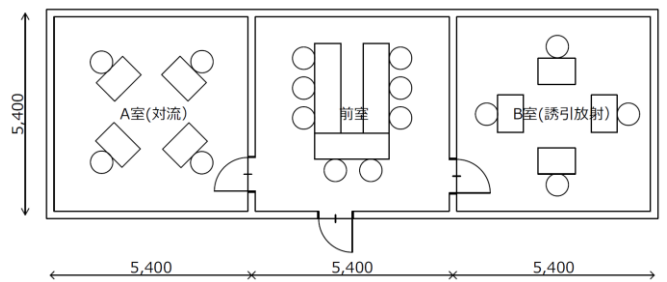


図2 実験室平面図

が4台設置されている。合計吹出風量はA室、B室ともに800 m<sup>3</sup>/hである。各実験室内には図2に示す通りお互いが向かい合うように机を4つ配置した。A室においては、各座席に被験者が着席した時に頭部付近の風速が約0.3m/sになるように配置した。机上面照度は実験前に測定し、約500 lxとなるよう調整した。

#### 2.2. 実験条件

被験者実験は2019年8月27日~30日に行った。実験条件を表1に示す。被験者は各実験日で20代の男性8名とした。着衣は下着、半袖シャツ、長ズボン、靴下、ビジネスシューズを指定し、推定着衣量は約0.6cloである。

実験室の設定温度は、温熱的に中立である26℃とやや

\* 名古屋大学大学院環境学研究科 博士前期課程  
\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.  
Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

暑い28°Cの2条件とした。

被験者は1日1回、午後に実験に参加した。前半2日間と後半2日間それぞれに参加した8名のうち、3名は同一人物である。

### 2.3. 実験方法

図3に実験プロトコルを、表2に測定項目を示す。

被験者は前室で45分間待機している間に実験の説明を受け、実験中に行う作業の練習などを行った。その後4人1組でA室、B室それぞれに入室し、着席して実験を行った。最初の室で60分間実験を行った後、最初入室した室とは反対の実験室に入室し、同様に実験を行った。また、実験室に入室する順番の影響を均すため、表3に示すように実験日程を組んだ。

物理量はそれぞれの実験室で1台のPMV計とCO2濃度計を用いて測定した。

生理量として皮膚温と心拍を測定し、皮膚温の測定箇所は額、胸、手甲の3箇所とした。また心拍測定結果の評価には、ストレス指標となるLF/HF比を用いた。

心理評価にはSD尺度を用いた温熱環境評価5項目、作業性評価5項目から成る心理申告用紙を用い、実験室内で各4回の計8回回答させた。評価項目を表4に示す。各評価は1~7の7段階で行わせ、1と7は「非常に〇〇」、4は「どちらでもない」、3と5は「やや〇〇」としている。室温希望については「下げてほしい-そのままでよい-上げてほしい」の3段階、気流感、疲労感については4段階の片側の評価とした。

作業効率の評価には「足し算」「単語推定」「数独」の3種類を用い、図3に示すスケジュールに従って被験者にそれぞれ10分間行わせた。「計算」は1~20までの3つの数字の足し算であり、できるだけ速く回答するように指示した。「単語推定」は、5文字または6文字の単語から1文字抜いてばらばらに並び替えた問題から、元の単語を推定する作業である。制限時間内中は、答えが分からない問題も考え続けるように指示した。「数独」は1回の作業で4問用意し、答えが分かる場所を埋めていくように指示した。

### 3. 物理環境測定結果

PMV計による温湿度、PMV値、風速の最大値、最小値、平均値、標準偏差を表5に示す。

温湿度の結果を見ると、26°C条件、28°C条件ともに両方の室で設定条件に近い温湿度が保たれていたことが分かる。したがって、以下の分析には全てのデータを用いることとした。

### 4. 生理量測定結果

図4(a)、(b)に各測定箇所の皮膚温経時変化を示す。0分

表1 実験条件

期間	被験者	設定温度		湿度	机上面照度	代謝量	着衣量
8/27, 28	男性 8名	26°C	中立	50%RH	500lx	軽作業 1.1met	約0.6clo
8/29, 30	男性 8名	28°C	やや暑い	40%RH			

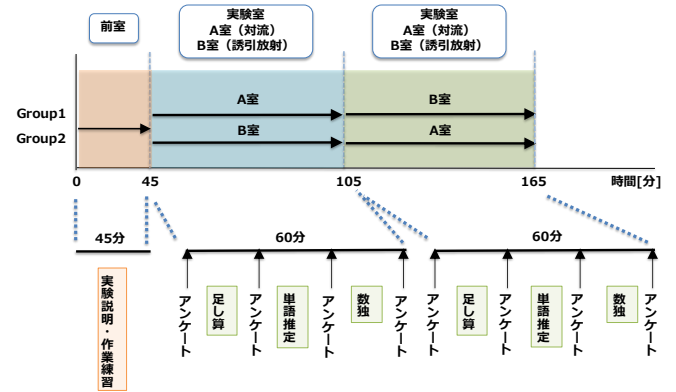


図3 実験プロトコル

表2 測定項目

測定項目		測定機器	測定間隔
物理量	室内温湿度	PMV計	1分
	風速		
	グローブ温度		
	PMV		
	CO2濃度	CO2濃度計	
	机上面照度	照度計	
生理量	皮膚温	皮膚温計	1分
	心拍(LF/HF比)	心拍計	1秒
心理量	温熱環境評価	心理申告用紙	図3参照
	作業性評価		
作業量	足し算	専用用紙	図3参照
	単語推定	専用用紙	
	数独	専用用紙	

表3 実験日程

実験室内環境条件		室温26°C、相対湿度50%		室温28°C、相対湿度40%			
実験室		A室(対流)	B室(誘引放射)	A室(対流)	B室(誘引放射)		
8/27	1室目	Group1 (被験者A,B,C,D)	Group2 (被験者E,F,G,H)	/			
	2室目	Group2	Group1				
8/28	1室目	Group2	Group1				
	2室目	Group1	Group2				
8/29	1室目	/				Group3 (被験者A,B,C,I)	Group4 (被験者J,K,L,M)
	2室目					Group4	Group3
8/30	1室目			Group4	Group3		
	2室目			Group3	Group4		

表4 評価項目

評価項目		評価項目	
温熱環境評価	寒い-暑い	涼しい-暖かい	
	不快-快適	乾いている-湿っている	
	室温希望		
作業性評価	会話をしにくい-しやすい	リラックスしにくい-しやすい	
	文字を読みにくい-読みやすい	集中しにくい-しやすい	
	疲れている-疲れていない		

時以前は前室滞在時であり、60分を境に被験者が入れ替わっている。

26℃条件、28℃条件時ともに、対流と誘引放射条件間で額や胸部に大きな差はないが、実験室1室目入室時のみ手甲に皮膚温差が見られる。これは、1室目の誘引放射条件では前室での皮膚温差が維持されたためであり、2室目の対流条件への入室時には手甲の皮膚温は気流によって低下し、2室目誘引放射条件との差がなくなった。また、図は省略するが、本実験においてLF/HF比についての一定の傾向は見られなかった。

### 5. 心理量測定結果

図5(a), (b)に温熱環境評価項目の3項目について、全被験者の平均値を示す。両条件間に有意差が見られたものに印(\*\*1%有意、\*5%有意、△10%有意)をつけている。

寒暑感を見ると、26℃条件では対流条件において寒い側の評価となっており、2室目においてその傾向が顕著である。逆にやや暑い28℃条件では、2室目において気流のない誘引放射条件で暑い側の評価となっている。物理環境測定結果を見ると、室温差はほとんどないため、これは気流の影響であると考えられる。1室目ではほとんど差は出なかった。

快適感については寒暑感に差は出ているものの、28℃条件の2室目を除いて両条件間にほとんど差は見られなかった。また28℃条件の2室目においても、寒暑感と比較して差は小さく、やや暑かった誘引放射条件でもそれほど不快には感じられなかったと考えられる。

気流感については26℃条件、28℃条件において対流条件で気流を感じる側の評価となっており、大きな差が出る傾向にあった。

図6(a), (b)に作業性評価項目の3項目について、全被験者の平均値を示す。両条件間に有意差が見られたものに上記と同様の印をつけている。

26℃条件では【疲労感】に有意傾向が見られるものの、その他の項目で両条件間にほとんど差はなかった。

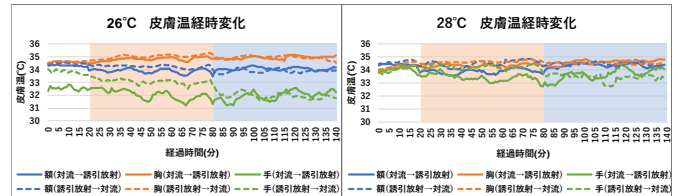
28℃条件は、26℃条件よりも評価差が大きくなり、対流条件でより高い評価となる傾向にあった。これは、28℃条件がやや暑い環境であったため、対流空調での気流が快適に感じられた影響であると考えられる。一方、2室目の【疲労感】のみ誘引放射条件のほうが高い評価となっている。このことから、室温がやや高くても気流のない環境であれば、長時間滞在しても疲労感を感じにくい可能性を示唆していると考えられる。

### 6. 作業効率の結果

作業効率の結果については個人間の差が大きく、単純な全被験者の平均に基づく分析だけでは傾向を見誤る可

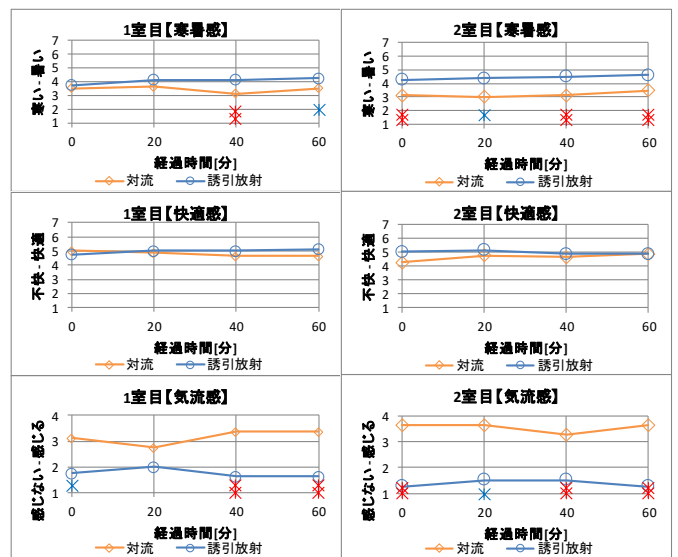
表5 温湿度・PMV値・風速

測定日	設定温度	空調条件	温度[℃]			湿度[RH]			PMV[-]			風速[m/s]		
			最大	最小	平均(SD)	最大	最小	平均(SD)	最大	最小	平均(SD)	最大	最小	平均(SD)
8/27	26℃	対流	26.5	25.7	26.1(0.21)	54.0	49.1	51.0(1.11)	0.59	0.18	0.44(0.10)	0.21	0.0	0.08(0.05)
		誘引放射	26.5	25.5	25.9(0.25)	53.0	49.0	51.1(1.03)	0.74	0.32	0.57(0.08)	0.17	0.0	0.05(0.02)
8/28	26℃	対流	26.5	25.7	26.1(0.23)	55.1	50.1	52.3(1.34)	0.59	0.12	0.42(0.11)	0.24	0.0	0.09(0.05)
		誘引放射	26.4	25.4	25.9(0.31)	54.9	49.9	52.3(1.19)	0.71	0.17	0.55(0.10)	0.20	0.0	0.06(0.03)
8/29	28℃	対流	28.4	27.4	28.0(0.26)	46.7	42.2	44.5(1.08)	1.12	0.58	0.94(0.11)	0.25	0.0	0.08(0.04)
		誘引放射	28.7	27.5	28.1(0.36)	45.6	40.6	43.3(1.46)	1.30	0.81	1.13(0.11)	0.20	0.0	0.06(0.03)
8/30	28℃	対流	28.4	27.3	28.0(0.27)	48.4	43.1	45.8(1.10)	1.12	0.65	0.96(0.11)	0.19	0.0	0.07(0.04)
		誘引放射	28.7	27.3	28.1(0.38)	46.7	41.5	44.1(1.48)	1.33	0.90	1.15(0.10)	0.13	0.0	0.05(0.02)

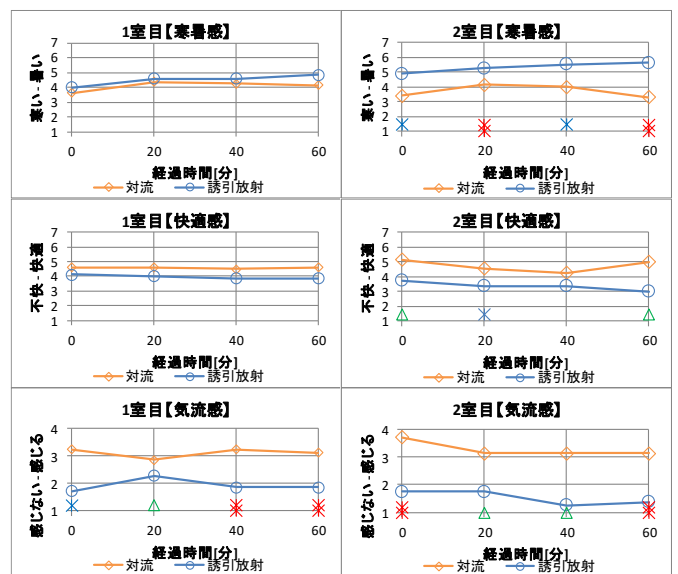


(a)26℃条件 (b)28℃条件

図4 皮膚温経時変化



(a)26℃条件



(b)28℃条件

図5 温熱環境評価

能性が考えられた。

そこで被験者間の個人差をなくして比較するため、以下の式により回答数、正答率について相対化した。相対化した回答数、正答率を回答数比、正答率比とする。

$$\text{回答数比} \cdot \text{正答率比} = \frac{\text{各被験者の各条件での回答数} \cdot \text{正答率}}{\text{各被験者の平均回答数} \cdot \text{正答率}}$$

回答数比、正答率比の全被験者の平均を図 7(a)、(b)に示す。

26℃条件を見ると、回答数比は対流空調において後半の作業で低下するが、誘引放射空調では逆に上昇する傾向が見られた。また、正答率比についても同様の傾向が見られた。

28℃条件を見ると、回答数比は両条件とも変動の仕方は似ているが、1室目の数独を除いて誘引放射空調の方がやや高い割合となっていることが分かる。また正答率比についても同様の傾向が見られた。

主観評価では作業性にほとんど差は見られなかったが、実際の作業量を見ると有意差は現れないものの、両条件間でやや差が見られる結果となった。

## 7. まとめ

温熱環境評価は、快適感にほとんど差は出ないが、主に2室目において寒暑感に差が出る傾向にあった。計測された温湿度にほとんど差はなかったため、この差は気流の主観評価からも読み取れるように、気流の影響であると考えられる。

作業性の主観評価は、両条件間にほとんど差は見られなかったが、やや暑い条件では気流のある対流条件で高い評価となる傾向にあった。

作業効率は有意差は出ないものの、回答数比、正答率比ともに誘引放射条件で高くなる傾向にあった。

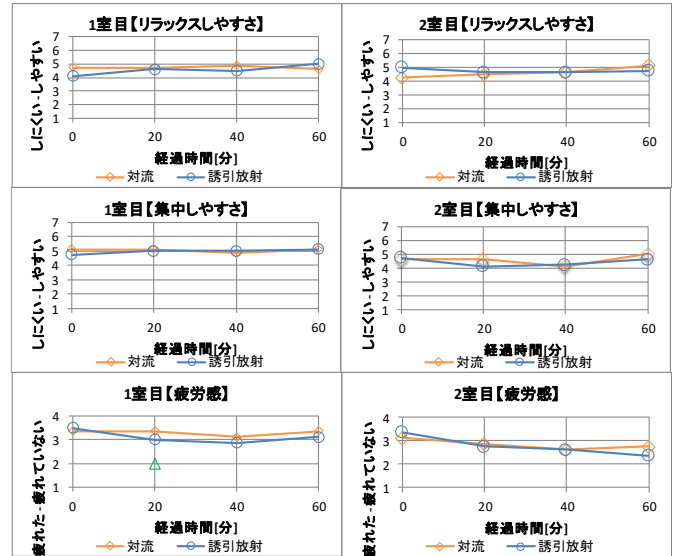
今後は冬期実験も行い、同様の傾向が見られるか検討する予定である。また、音が作業性に与える影響についても検討する予定である。

## 謝辞

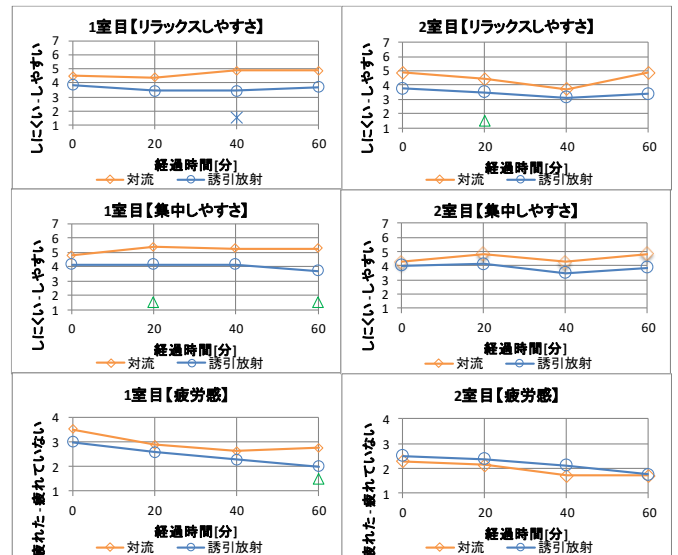
本研究における実験の実施にあたり、けいはんなリサーチコンプレックス推進プログラム様には多大なるご支援を頂きました。また実験に参加頂いた被験者の皆様に種々のご協力を頂きました。心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 丸山 茜，齋藤 輝幸：夏期屋外から入室後における全空気式誘引放射空調の熱的快適性評価に関する研究—その1 温冷感・快適感の経時変化—，環境工学II(2014)，461-462, 2014-09-12, 日本建築学会
- 丸山 茜，齋藤 輝幸：全空気式誘引放射整流空調による講義室暖房時の快適性評価，第39回人間-生活環境系シンポジウム報告集，33-36, 2015-11-20

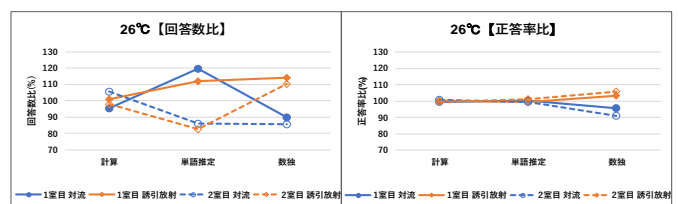


(a)26℃条件

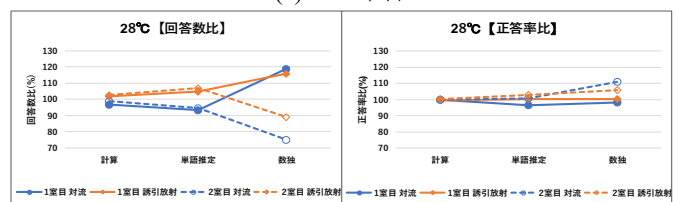


(b)28℃条件

図6 作業性評価



(a)26℃条件



(b)28℃条件

図7 作業性結果