

換気効率に対する人体周辺対流の影響の水槽実験について

第2報——自然対流と換気流の競合について

張 遼 群*¹ 本 間 宏*²

置換換気では、温度成層を利用して汚染物が高濃度に集中する位置から空気を排除することによって高い除去効率を得ている。吹出し風量が多い場合には温度成層は破壊され、室全体に吹出し気流による混合が起こり、除去効率は低下すると思われる。本研究では下向き換気、上向き換気および壁下部吹出し換気に対する人体周辺対流の影響を換気回数 0.5 ないし 10 回/h の範囲で系統的に水槽模型実験を行い、温度成層の有効に利用出来る範囲を検討した。下向き換気では換気回数が 3 回/h を超えると混合状態になった。上向き換気では換気回数 5 ないし 6 回/h 層が不明瞭になったが、自然対流が吸込み口へ直接熱を輸送する効果は依然存在した。

キーワード：自然対流・換気流・熱直接排除率・給水バイパス率・空気齢・置換換気

1. 序論

体臭除去のための必要換気量の実験で居住者一人あたり換気量を Lehmborg¹⁾らは最低 5L/s(10cfm)、Yaglou²⁾らは学童一人あたり最低 7.5L/s(15cfm)必要とした。ASHRAE の必要換気量はこれに基づいていたが、エネルギー消費を節減する目的で、有効な炭酸ガスや気体の除去装置が設けられる場合、必要外気供給量の推奨値は一人あたり 2.5L/s に減らされた³⁾。1989年にはこれが 8L/s に戻された。このことから、この値以下では室内空気を快適に維持できないことが確認されたと思われる^{4,5)}。ただしこれらの実験、実地調査では室内で空気は完全混合状態を目標にしていた。このことは、換気効率が 1 を超えないと想定しての手法であった。

これに対し北欧では必要換気量をさらに減少させるために、置換換気が開発され、普及している⁶⁾。

*¹ 豊橋技術科学大学大学院環境・生命専攻

*² 豊橋技術科学大学建設工学系 正会員

この原理は室内で換気対象が集中する部位の空気を捕そくし、排除することによって、少量の吹出し風量で完全混合と同じ量の換気対象を排除しようとするものである。換気対象が集中する原理として、居住者が代謝熱の放散によって発生する自然対流が利用される。自然対流による換気対象の集中に干渉しないように平均室温より低温で密度が大きい空気を室下部に低速で給気し、温度成層を促すために、置換換気法と呼ばれている。

置換換気法は鉛直方向温度傾斜が居住者の温冷感に悪影響を及ぼすため、室温に対する供給空気の温度差に限界があり、温度の鉛直方向の傾斜が過大になるようなあまり冷房負荷が大きな室には応用できないとされている。

他方、Li は Andersen⁷⁾と Linden ら⁸⁾のモデルを改良して、浮力支配自然換気条件でのクリアゾーン高さと中立レベル高さを予測するモデルを開発した⁹⁾。しかし置換換気には温度成層が吹出し気流により破壊され、混合に至るため、置換換気の利点が

生かされないような限界もあるものと思われる。この限界についてはあまり研究が進んでいないが、春秋期の冷暖房負荷が小さく、換気が主となる空調運転期間について、この限界を明らかにしておく必要があると思われる。さらに建築の冷暖房熱消費の節減を目的として壁体の断熱、日射熱の遮へいが急速に進行すると予想される。この場合には、上下温度差が快適性に与えることによる置換換気の限界は緩和される。一方、室内で使用される発熱を伴う機器の使用が増加して、室内で発生する自然対流は増加すると予想される。このために冷暖房負荷は小さいが、大吹出し風量を要する室への置換換気法の応用にどのような限界があるか調べておく必要があると思われる。

置換換気が行われる室内における換気対象の流動、分布、排除などの研究は実際に使用されている室内^{10,11,12)}、この換気法のために特別に構成された実験室^{13,14)}、計算機による数値解析^{15,16,17)}などにより行われてきたが、これらの手法により競合状態を系統的に検討を加えるには多大な労力を必要とするため、まだ資料がそろっていない。

この限界を調べる目的で、本研究では、第1報で報告した水槽モデルを使用し、吹出し口と吸込み口の形状と配置、吹出し風量を系統的に変化させて給気の誘引によって生じる室内気流と居住者周辺の自然対流の競合状態を検討し、換気への影響を調べた。

2. 実験装置及び手法

自然対流の影響が表れやすいと思われる小さな個室事務室を想定し、研究対象とする室の床面の寸法を4360 x 2140mm、天井高さを2400mmと仮定し、この1/5の縮尺の水槽を使用した。この水槽内で人体周辺に発生する自然対流を加熱円柱モデルで相似させるために両者のグラスホフ数を合わせ、同時に室内の換気による気流を水流で相似させるために両者のレイノルズ数を合わせて実験を行った。水槽および水流を生じさせる手法は、本報告第1報¹⁸⁾と同じである。人体モデルは、1体および2体について実験した。

本実験の第1段階では換気に対する自然対流の影響を明らかにするため、床面と天井面に直径39.2mmの円形開口を図-1に示すように2ヶ所ずつ設け、この床面開口を吹出し口とすると、天井面開口を吸込み口として上向き噴流換気、また吹出し口と吸込み口とを反対に用いて下向き噴流換気

の実験を行った。さらにこの開口の取付け面より10mmの間隔を置いて、一辺の長さ100mm、厚さ1mmのアルミ板を取り付け、上向きと下向きの拡散流換気の実験を行った。

第2段階では短辺の壁下部に高さ14mmで300、229、157mmの3つの幅の開口および直径39.2mmの円形開口を順次設けて吹出し口とし、上記の天井開口を吸込み口として吹出し速度の影響を調べた。

実験は換気回数の範囲を1回/hから8回/hまでとした。ただし、特別な実験条件では0.5回/hまたは10回/hでも測定を行った。表-1に実験を行った換気回数における吹出し風量とASHRAEの基準の一人あたり必要換気量との比、各吹出口の吹出し流のレイノルズ数を示す。壁下部開口では長方形開口の相当直径を、拡散流では周囲の隙間を長方形開口とみなし、その相当直径をレイノルズ数の代表寸法に使用した。

実験は第1報と同じく、実室で居住者が入室後、2時間の在室に相当する時間の温度変動を実時間6分間隔で記録し、諸指標の計算を行った。

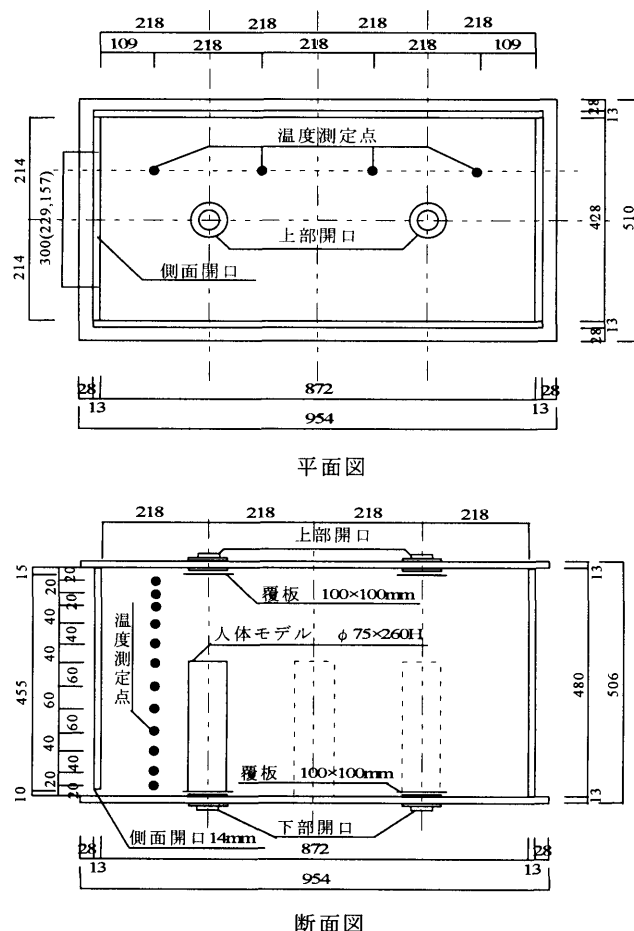


図-1 模型水槽の平面図と断面図(単位:mm)

換気効率に対する人体周辺対流の影響の水槽実験について(第2報)

表-1 各吹出し口における換気回数とレイノルズ数の関係

換気回数 [回/h]	1人あたり必要換気量との比	吹出し口の種類				
		寸法 [mm]				
		円形噴流	拡散流	壁下部開口		
		直径	10 x 400 (2個)	14 x 300	14 x 229	14 x 157
0.5	0.4	658	49	259	333	473
1	0.8	1316	98	516	667	947
2	1.6	2632	196	1033	1334	1894
3	2.3	3948	294	1550	2001	2841
4	3.1	5264	392	2067	2668	3788
5	3.9	6580	490	2548	3335	4735
6.5	5.1	8554	637	3354	4336	6156
8	6.2	10528	784	4128	5336	7576
10	7.8	13160	980	5160	6670	9470

3. 実験結果

3.1 水槽実験の有効性の検討

本実験では実際の室内の実験を水槽実験で相似させる時に必要な相似則の3条件のうち、レイノルズ数とグラスホフ数は合わせたが、プラントル数は合わせられなかった。このことにより本水槽実験では温度場が実際の室と相似にならず、温度傾斜が拡大された¹⁸⁾。このことが換気効率にどのように影響し、またこの実験結果から実室の換気効率への人体周辺対流の影響を類推出来るかどうかの検討を次の方法で行った。

多くの研究者により、置換換気で種々の熱源が存在する室の換気効率に関する実大の室における実測結果が空気齢を指標として報告されている。これらを用いて、本研究の上向き拡散換気および開口幅300mmの壁下部吹出し換気の温度変動から全室平均空気齢を算出して、既存の論文の実大の室の実験結果のうち、条件が似ている実験の結果と比較した。本研究におけるこれらの換気方式における換気回数別全室平均空気齢を図-2に示す。

Yuanらの実大の実験室実験で床上から低速吹出し、天井吸込みの室の空気齢をSF₆をトレーサガスとして測定した結果が報告されている¹⁹⁾。この実験での空気齢は、論文には高さ別空気齢が示されているが、これより全高さの重み付き平均空気齢を求めた。同様にTanabeら²⁰⁾、Akimotoら²¹⁾の測定結果から室全体の平均空気齢を求めた。これらの実験の条件を表-2に示し、これらの空気齢を図-2に追加記入する。同図中に完全混合を仮定した名目時定数の逆数の1/2を名目空気齢としてその換気回数による変化も破線で示す。この図中でTanabeら、

Akimotoら、Yuanらの実験による空気齢は名目空気齢よりやや長く表れた。本実験の空気齢は名目空気齢の上下に分布した。換気回数5回/h付近では既存の文献の実験結果結と本水槽実験の結果はともに名目換気よりやや長く表れたが、これらの偏差はほぼ同じと思われた。

この比較から本水槽実験の熱排除の効率は実室のトレーサガス法による換気効率とほぼ同じになると考えられるので、本水槽実験で求めた熱排除の効率から実室の換気効率に対する自然対流の影響を推定できると思われる。このことから本水槽実験の結果に基づいて置換換気の性状を求め、その限界を検討することは有効と思われる。

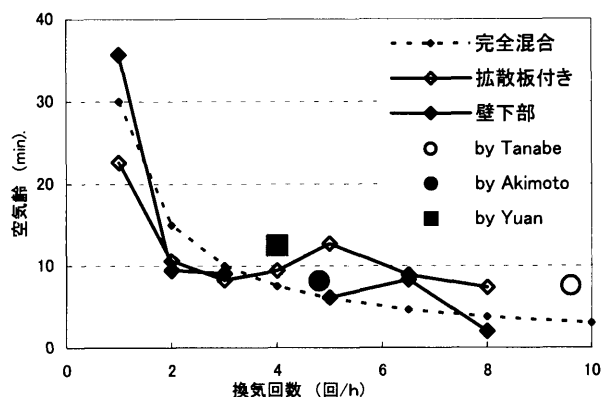


図-2 実室と水槽実験の空気齢の比較

表-2 各研究の実験条件

	Tanabe らの研究	Akimotoらの 研究	Yuanらの 研究	本実験	
				置換換 気	上向き換 気
実験 室寸 法 (m ³)	6.3×5.1 ×2.6	6.3×5.1× 2.6	5.16×3.65 ×2.43	4.36×2.14×2.4	
給気 口	床式空気 供給ユニ ート(3 個)	透過性カー ペット有する多 孔床	床上の右壁 に1個(0.5m ×1.1m)	床上の 短辺壁 に1個 (1.5m× 0.07m)	床に円形開口 2個(φ 0.196m)、拡散 板あり
排気 口	天井(2 個)	天井(2個)	天井の中央 (1個)	天井(2 個)	天井(2個)、 拡散板あり
モデル の数	マネキン 1体	マネキン1体	箱型(0.4m× 0.35m× 1.1m)2体	円柱型1体 (φ0.375m×1.3m)	
熱源	1278W	800W(25W/m ²)	モデル: 25W ×3×2 PCs: 108W+173W 蛍光灯: 34W ×6	19.5W/m ²	
トレ ーサ	SF ₆	SF ₆	SF ₆	熱	
換気 回数	9.6回/h	4.8回/h	4回/h	0.5~10回/h	

3・2 諸換気条件における上下温度差の時間変化

図-3-a, b, cに人体モデル1体の下向き拡散流換気で、それぞれ換気回数 1,4,8 回/hの実験の各温度測定高さにおける4測定点の平均無次元温度上昇(第1報参照、以下無次元は省いて記述する)の時間変化を示す。換気回数 1 回/hの場合、上下温度差は存在したが、下部の温度も実験開始約 0.5 時間より上昇した。実験開始 2 時間後(実時間)には下部の温度上昇は 1 に達し、上部では 1.4 に達した。換気回数 4 回/hの場合では上下温度差は拡大し、実験終了時には下部で約 1.0、上部で約 1.8 に達した。換気回数 8 回/hの場合(図-3-c)、温度成層は不明確になり、同時刻の最高と最低の温度差は 0.6 程度に縮小したが、ほとんどすべての高さで温度が 1 を超えた。

図-4-a, b, cに人体モデル1体の上向き拡散流換気で、それぞれ換気回数 1,4,8 回/hの実験の温度分布の推移を示す。換気回数 1 回/hの場合、高さ 1.9m の測定点を境に、温度が明確に分離し、この境界以下では温度上昇はほとんど生じなかった。またこの境界より上部ではほぼ均等な温度で、2 時間後には温度は約 1 になった。換気回数 4 回/hの場合、最上部の温度は測定開始後すぐに 1 を超えたが、それ以下の高さの温度は 1 に達せず、高さ 1.9m 以下ではほとんど上昇しなかった。換気回数 8 回/hでは温度が不規則に変動し、全体の平均温度差は約 0.6 であった。また最下部の温度は 0.4 と 0.8 の間で変動した。下向き換気では換気の流れと人体モデルの自然対流が互いに逆向きで強い循環が生じたため、上向き換気よりも少ない換気回数から混合が始まったためと思われる。上向き換気では低温の流入水は室下部に停滞し、循環が生じ難かったため高い換気回数まで温度成層が維持されたものと思われる。

図-4-a に示したように、上向き換気で換気回数 1 回/hでは床上 1.9m までは水温はほとんど上昇しなかった。一方、実際の室内では空気温は第1報の図-1 に示したようにほぼ室高さ全体に渡って連続的に上昇する。これは水槽実験ではプラントル数が空気の約 10 倍のため、自然対流の影響が大きく現れたためと思われる。このため、水槽実験で換気回数の低い領域では呼吸域の換気効率は過大に表れる危険を含むと思われる。

3・3 熱直接排除率

ここでは 2 時間の実験の平均値を採り上げる。人体モデル1体で下向き換気の実験の直接熱排除率を換気回数を横軸として図-5 に示す。下向き換気では、

吹き出し口と吸込み口に拡散板のあるなしにかかわらず、直接熱排除率は常に負となり、熱は上部に流れ、吸込み口に直接到達しなかったことを示す。換

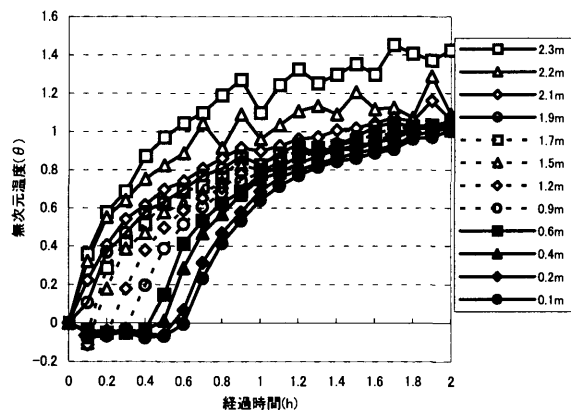
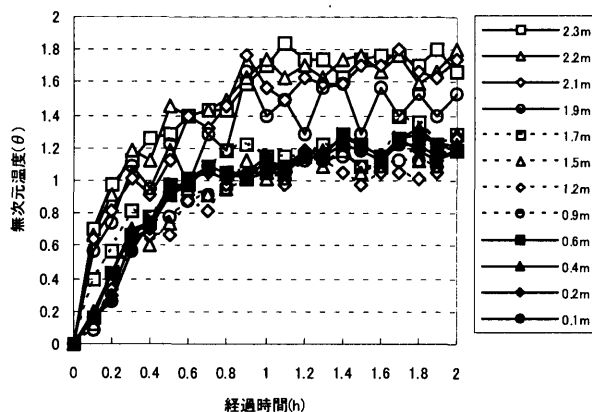
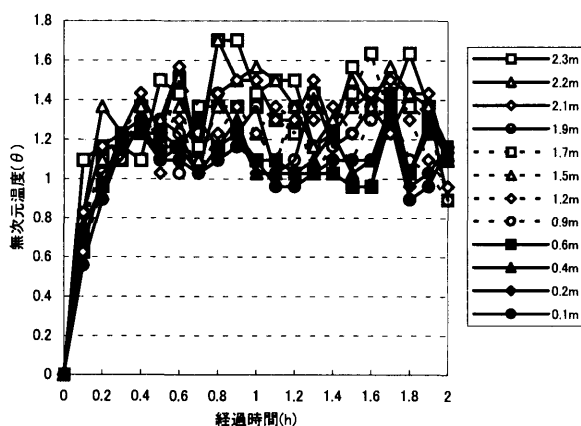
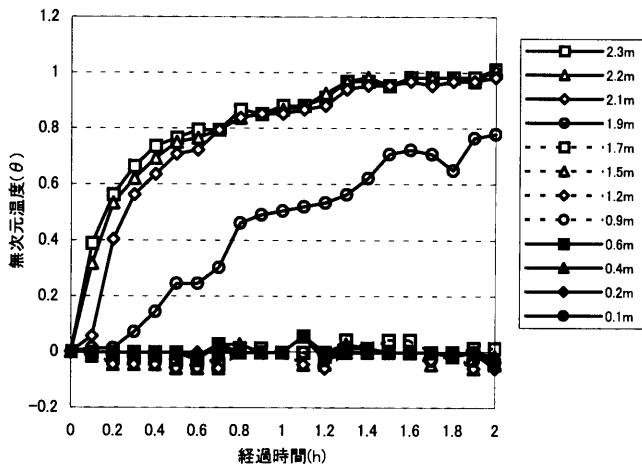
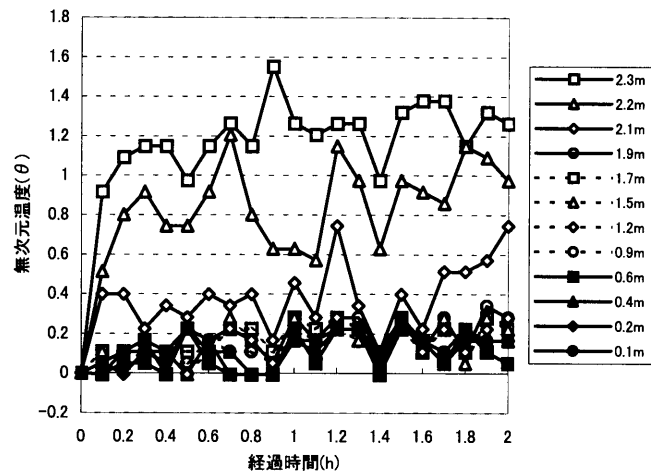
a $n=1$ 回/hb $n=4$ 回/hc $n=8$ 回/h

図-3 下向き換気時各高さの無次元温度の時間的变化(吹き出し口、吸込み口ともに拡散板あり、モデル1体)

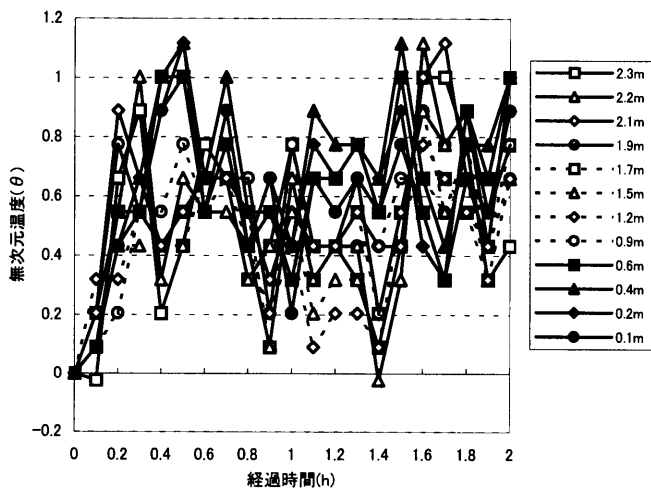
換気効率に対する人体周辺対流の影響の水槽実験について(第2報)



a $n=1$ 回/h



b $n=4$ 回/h



c $n=8$ 回/h

図-4 上向き換気時各高さの無次元温度の時間的变化 (吹出し口、吸込み口ともに拡散板あり、モデル1体)

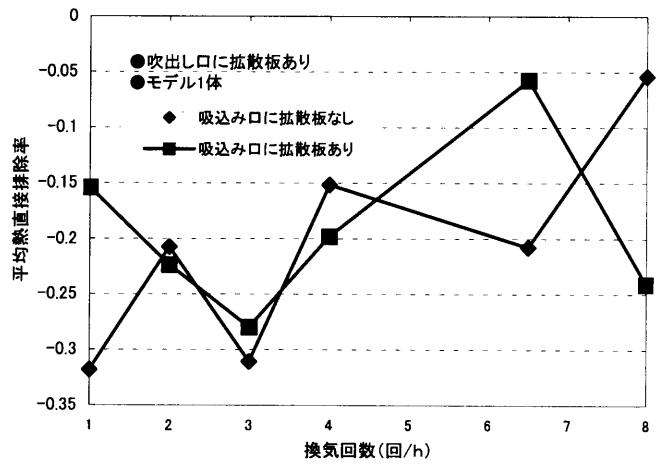


図-5 下向き換気時の換気回数に伴う熱直接排除率変化

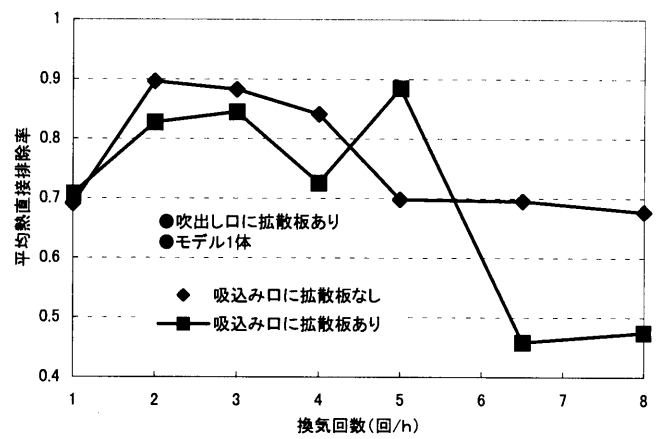


図-6 上向き換気時の換気回数に伴う熱直接排除率変化

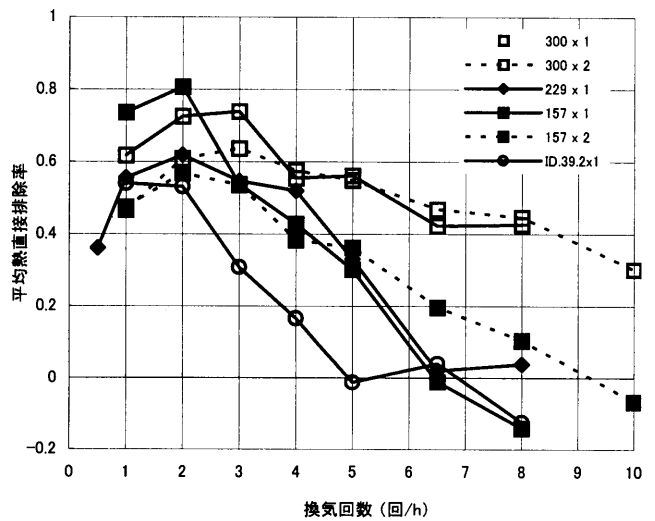


図-7 換気回数による壁下部吹出しの熱直接排除率の変化

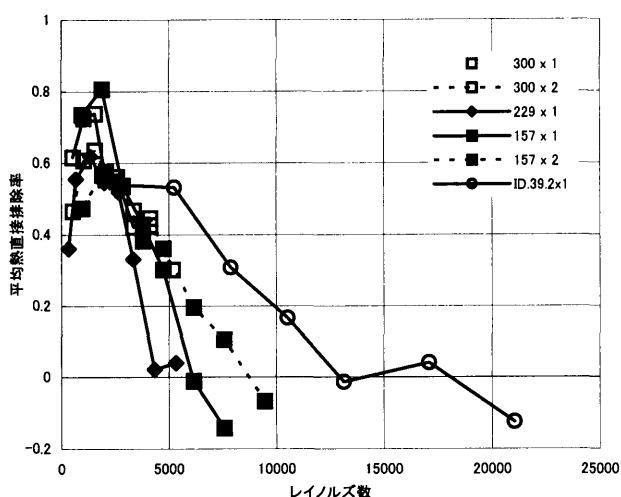


図-8 Reによる壁下部吹出しの熱直接排除率の変化

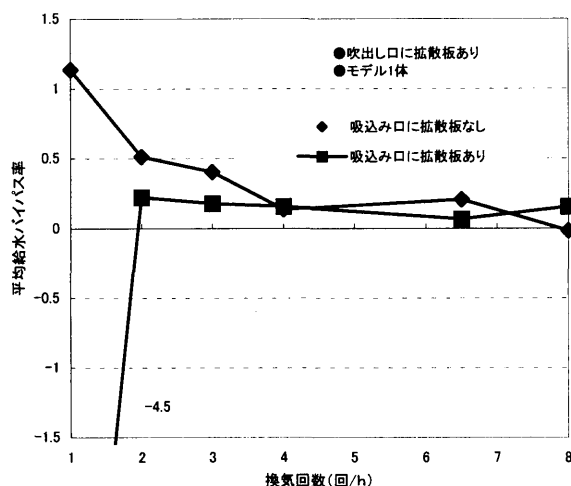


図-9 下向き換気時の換気回数に伴うバイパス率の変化

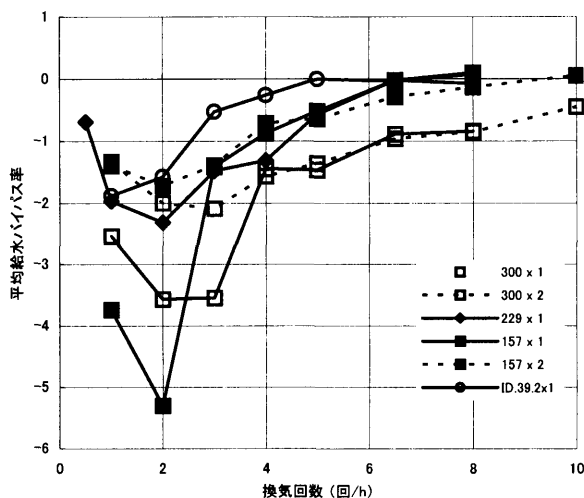


図-10 換気回数による壁下部吹出しの換気バイパス率の変化

気回数の増加とともに緩やかに負から0に近づいたことは混合が強まり、自然対流がこれに運ばれて床上の吸込み口に到達しやすくなったと思われる。

図-6は人体モデル1体で上向き拡散吹出しの実験の直接熱排除率を示す。吸込み口に拡散板がある実験では、人体モデルの発熱の40ないし90%が直接吸込み口に到達した。拡散板がない実験では、70ないし90%が直接吸込み口に達した。

図-7は壁下部吹出し換気、人体モデル1体の実験の熱直接排除率を示す。換気回数2回/hまでは吹出し口の大きさにかかわらず、40ないし80%の熱が直接排除されたが、これ以上の換気回数ではこの比率が徐々に減少した。この減少は吹出し口が小さく、吹出し速度が速いほど急であった。この実験の直接熱排除率を吹出し口におけるレイノルズ数を横軸にとって示すと図-8のようになる。この図から、熱の吸込み口への到達はレイノルズ数が小さい場合、自然対流に強く影響され、レイノルズ数が大きくなるに従って、吹出し気流の影響力が卓越することが分かる。

3.4 給水バイパス率

人体モデル1体の各換気方法における実験開始から2時間の平均給水バイパス率は次のようであった。下向き換気の給水バイパス率を図-9に示す。換気回数1回/hでは吹出し口形状によって給水バイパス率は大きく異なった。拡散板がある場合には給水バイパス率は負の値となり、給水が天井に沿って広がり、直接吸込み口に到達しなかった。拡散板がない場合には給水バイパス率は正となり、給水の多くが直接吸込み口に到達し、熱排除に貢献しなかった。換気回数3回/hでは拡散板のあるなしにかかわらず、給水バイパス率は正になり、給水の一部は熱を吸収せず、直接吸込み口に到達した。これ以上の換気回数では換気回数の増加とともに給水バイパス率は正の側から0に近づき、混合が強くなったことが分かる。上向き換気の給水バイパス率は-20から0の間で非常に不規則な値を示した(図省略)。これは自然対流が天井付近に滞留し、給水の吸込み口への直接の到達を妨げたためである。上向き換気や、下向き換気でも自然対流の影響を受けやすい、換気回数が少なくかつ拡散吹出し口による換気に対してはこの指標は不適當であろう。

壁下部吹出し実験の給水バイパス率を図-10に示す。

給水バイパス率は吹出し口の寸法によってやや異なるが、換気回数2ないし3回/hのとき、最も大きな負の値を示し、自然対流が天井の吸込み口付近

換気効率に対する人体周辺対流の影響の水槽実験について(第2報)

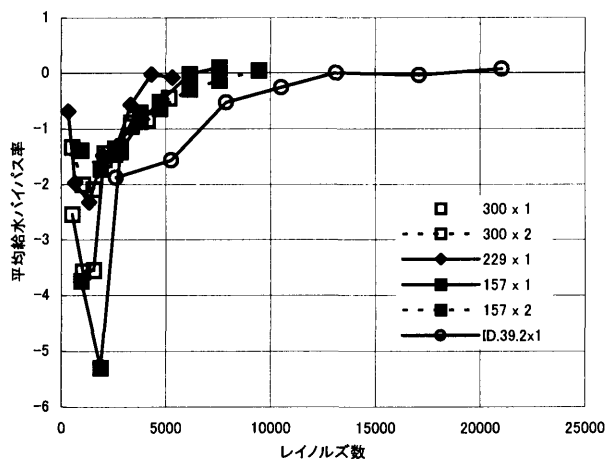


図-11 Reによる壁下部吹出しの換気バイパス率の変化

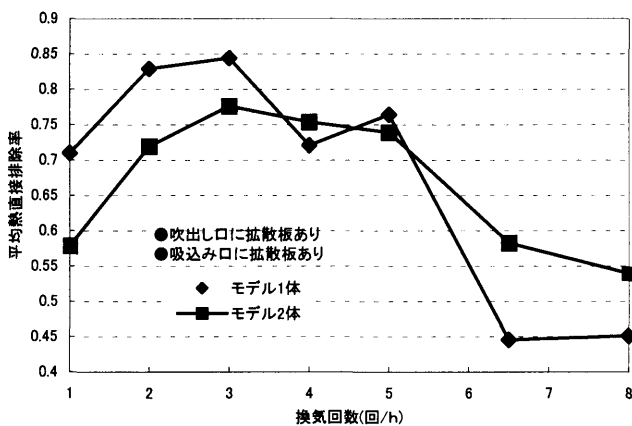


図-12 上向き換気時のモデル数による熱直接排除率

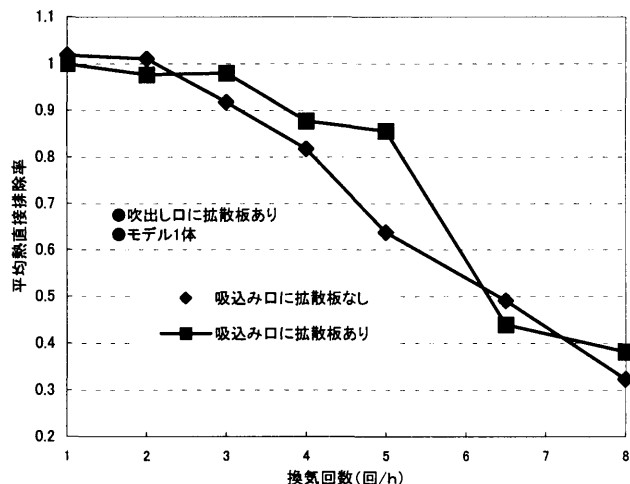


図-13 上向き換気時の換気回数に伴う呼吸域の熱直接排除率の変化

に停滞し、給水の吸込み口への到達が妨げられたことが分かる。これ以上の換気回数では給水バイパス率は負の側から除々に0に近づき、温度成層が除々

に破壊され、混合状態への移行を示した。実験中に人体モデルから注入したインクの流れの観察では自然対流と給気流の境界面は換気回数が低い場合には水平であったが、換気回数の増加につれて開口の反対側の面が高い傾斜面となり、換気回数5回/h以上では面が不明瞭となった。給水バイパス率を吹出し流のレイノルズ数を横軸としたグラフに描くと図-11のようになり、レイノルズ数の増加と共に自然対流の影響が減少して、吹出し流の影響が増加する様子が分かる。

3.5 上向き換気および壁下部吹出し換気の特徴

天井付き吸込み口の場合、自然対流により上昇した空気は天井下に滞留し、吸込み口から排除される。この時、吹出し風量が自然対流の流量より少なければ天井下に出来る高温の層は厚くなり、吹出し風量の増加とともに薄くなる。自然対流が室上部に滞留し、明確な境界層を形成し、その下部で吹出し流が循環するとすれば、循環の強さは吹出し流の連行力と下部の容積によって定まる。上部と下部の境界面は循環が強ければ破壊されて、室全体の混合状態に移行する。混合状態に入った後では置換換気の利点は減殺されると予想される。

人体周辺の自然対流の流量は約40L/s・人であり^{22, 23)}、この流量は本実験では換気回数6.4回/hの吹出し風量に相当する。吸込み口が境界層上部のみより吸い込み、また上下の境界が強固ならば、人体モデル1体の場合、換気回数6.5回/hまで、2体の場合、13回/hまでは熱直接排除率は上昇すると思われる。図-12で人体モデル1体と2体で拡散上向き換気の熱直接排除率を比較する。1体の場合、換気回数5回/hまでは直接熱排除率が0.7以上であり、6.5回/h以上では0.4に低下した。2体の場合、(1体の場合の4回/hの不規則な低下を無視すれば、)換気回数5回/hまでは1体の場合よりやや低いが、6.5回/h以上では高くなり、換気回数の増加とともに緩やかに減少した。図-13は上向き拡散換気で床上1.5mまでの呼吸域内の測定点の平均温度変動より求めた熱直接排除率を示す。換気回数が小さい場合には全体の平均熱排除率より高い値を示したが、換気回数8回/hではより低くなった。

これらのことと、図4-cのように換気回数8回/hでも全体の温度上昇が完全拡散の場合より低いことから、本実験の換気回数の範囲内では、水槽全体が混合状態になっても、自然対流は依然、熱を上方へ運ぶ影響力を保ったものと思われる。

4. 結論

本実験で上向き換気の空気齢を温度を基に算出した値と、既存の論文に発表された実大の室における実験の空気齢は似た値を示したことから、換気対象物一般の排除効率の検討に本水槽モデル実験の熱排除の効率を適用できるものと思われる。水槽実験は装置が小型であること、生じる温度差が室内より拡大されること、トレーサや換気対象物質の濃度測定に比べて、温度測定は容易で連続測定も可能であること等の利点がある。

本実験の換気回数 8 回/h までの範囲では人体周辺に生じる自然対流は熱を上方に輸送する明確な影響力を示した。熱直接排除率は、上向き換気または壁下部吹出し・天井吸込み換気では正の値となり、下向き換気では負の値となった。このことから室下部への低速拡散吹出し・天井吸込みは換気回数 8 回/h に達しても換気効率上有利であることが分かった。温度分布では水槽全体に混合が生じているように見える換気回数が大きな場合でも、自然対流はこの流れを横切って熱を上方へ運ぶ効果を持っていることが分かった。

現在、住宅や事務室では発熱する機器の使用が増えている。今後、対流熱源が多数存在する室内への上向き換気方式の適用を検討する必要があるだろう。

参考文献

- 1) Lehmborg, W.H., A.D. Brandt, and K. Morse: A Laboratory Study of Minimum Ventilation Requirements: Ventilation Box Experiments, Transactions 41, ASHVE, 1935, pp. 157-170
- 2) Yaglou, C.P., E.C. Riley and D.I. Coggins: Ventilation Requirements, Transactions 42, ASHVE, 1936, pp. 133-162
- 3) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1977, p. 13. 21
- 4) Downing, C.C: Classroom Indoor Air Quality vs. Ventilation Rate, ASHRAE Transactions, vol.99, 1993 Pt. 2, pp. 1099-1103
- 5) ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1989, p. 26. 17
- 6) Svensson, A.G.L., Nordic Experiences of Displacement Ventilation Systems, ASHRAE Transactions, 95(2), 1989, pp. 1013-1017
- 7) Andersen KT: Theoretical considerations on natural ventilation by thermal buoyancy, ASHRAE Transactions, vol 101(2), 1995, pp. 1103-1117
- 8) Linden P. et al: Emptying filling boxes: the fluid mechanics of natural ventilation, J Fluid Mech, vol 202 1990, pp. 309-335
- 9) Yuguo Li: Buoyancy-driven natural ventilation in a thermally stratified one-zone building, Building and Environment, vol. 35, 2000, pp. 207-214
- 10) 深尾仁、大黒雅之、市原真希、田辺新一: 床吹出空調と天井吹出空調システムを用いたオフィスの室内環境比較実測、日本建築学会計画系論文集、第 519 号、1999.5、pp. 55-62
- 11) 藤田尚志、酒井寛二、鎌田元康: 床吹出しシステムにおける室内温度プロファイルの予測 床吹出し空調システムに関する研究 その 1、日本建築学会計画系論文集、第 498 号、1997.8、pp. 57-63
- 12) Skaret, Eimund: Displacement Ventilation, ROOMVENT 87 (Stockholm) vol.S-5, 1987
- 13) Kim, I.G. and H. Homma: Distribution and Ventilation Efficiency of CO₂ Produced by Occupants in Upward and Downward Ventilated Rooms, ASHRAE Transactions 98, 1992 Pt. 2, pp. 242-250
- 14) Kim, I.G. and H. Homma: Possibility for Increasing Ventilation Efficiency with Upward Ventilation, ASHRAE Transactions 98, 1992 Pt. 2, pp. 723-729
- 15) Li, Yugo and L. Fuchs: Numerical Prediction of Airflow and Heat-radiation Interaction in a Room with Displacement Ventilation, Energy and Buildings, 20, 1993, pp. 27-43
- 16) 伊藤一秀、加藤信介、村上周三: 換気効率指標の数値解析検証用の 2 次元室内気流実験 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 534 号、2000.8、pp. 49-56
- 17) 徐鳴、山中俊夫、甲谷寿史、東本文明: 置換換気される室内において冷却・加熱壁面が温度および汚染物濃度の鉛直分布に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、第 544 号、2001.6、pp. 17-23
- 18) 張遵緯、本間宏: 換気効率に対する人体周辺対流の影響の水槽実験について 第 1 報—天井付排気口と居住者の位置関係について、空気調和・衛生工学会論文集 NO. 81, 2001.4, pp. 71-79
- 19) Yuan, Xiaoxiong et al.: Measurements and Computations of Room Airflow with Displacement Ventilation, ASHRAE Transactions vol. 105, 1999 Pt. 1, pp. 340-352
- 20) Tanabe, Shin-ichi & Ken-ichi Kimura: Comparisons of ventilation performance and thermal comfort among displacement, underfloor, and ceiling based air distribution systems by experiments in a real sized office chamber, 5th International conference on air

換気効率に対する人体周辺対流の影響の水槽実験について(第2報)

distribution in rooms, ROOMVENT 96, July 17-19, 1996, pp. 299-306

21) Akimoto, Takashi, T. Nobe, S. Tanabe & K. Kimura: Floor supply displacement air conditioning: Laboratory experiments, ASHRAE Transactions vol. 105, 1999 Pt. 2, pp. 739-749

22) Homma, H. & M. Yakiyama: Examination of free

convection around occupant's body caused by its metabolic heat, ASHRAE Transactions vol. 94, 1988 Pt. 1, pp. 104-124

23) Mundt, E.: The performance of displacement ventilation systems, Dissertation, Dept. of Building service engineering, the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1996, p. 67

(2001年9月28日 原稿受付)

Effect of Metabolic Heat of Occupant in A Water Tank Ventilation Effect Test Part 2 Concurrent effect of natural and forced convections

by Lin-wei Zhang^{*1} and Hiroshi Homma^{*2}

Key Words: Natural Convection, ventilation rate, heat direct evacuation ratio, ventilation bypass ratio, age of air, displacement ventilation

The natural convection around an occupant body caused by its metabolism was examined how it influences on ventilation. The research object was a small office room with one or two occupants. The examination was performed with a water tank. The Reynolds number and Grashof number in the tank were equalized to those of the research object to simulate the forced ventilation and the natural convection, respectively. Ventilation efficiency indexes were calculated from the temperature change in the tank which was caused by the heated occupant's model. The examined ventilation patterns were downward and upward ventilations and wall bottom supply. The inlets and the outlets were examined with and without diffuser plates. The tested ventilation numbers were ranged from 0.5 to 10 air changes per hour.

The applicability of the water tank method, which failed in simulating the Prandtl number of the real object room, was examined by comparing the ages of air in the present experiment with the experimental results of real rooms in existing literatures. The water tank method was found to be applicable because the ages of air in the method and the real room agreed reasonably well.

The influence of the natural convection was tested by introducing two ventilation efficiency indexes. One of

*1 Graduate school of engineering, Toyohashi University of Technology

*2 Professor, Ph.D., Toyohashi University of Technology

which was a heat direct evacuation ratio (HDER). This index indicates the rate of the produced heat, which did not mixed in the tank water. The second index was a ventilation bypass ratio (VBPR). This index suggest the rate of the ventilation flow, which did not contribute to transport the heat out of the tank.

The downward ventilation of an air change number of larger than three ach had a negative HDER, and a positive VBPR. This indicates that the natural convection stagnated in the upper part of the tank, and difficult to be evacuated by the ventilation. The upward ventilation had a positive HDER and a negative VBPR throughout the examined ventilation numbers. natural convection concentrated in the upper part of the tank and evacuated smoothly by the ventilation. On the other hand, the supplied ventilation was blocked by the natural convection layer to reach the ventilation outlet in this flow pattern. The thermal stratification was clearly observed in the test of the lower ventilation numbers. The thermal stratification was broken by the entrainment flow of the forced ventilation as the ventilation number increased. The wall bottom supply indicated almost the same characters to the upward ventilation. In the later two ventilation patterns, the natural convection was found to keep its influence in transporting the heat to the ceiling outlets, and evacuated the occupant body heat directly, even when the thermal stratification was broken in a ventilation number of 8 ach.

(Received September 28, 2001)