

サーキュレーターに関する研究

—— 第一報 暖房効果に対する実験的検証 ——

田 辺 秀 明¹⁾・片 柳 雄 大²⁾・作 田 丞³⁾
茂 木 康 仁³⁾・櫻 井 康 平³⁾

1) 群馬大学教育学部技術教育講座

2) 東京工業大学資源科学研究所

3) 群馬大学教育学部技術教育講座田辺研究室 (当時)

(2013年9月18日受理)

Study on the Circulator

— 1st Report Experimental Validation on Heating Improvement —

Hideaki TANABE¹⁾, Yuuta KATAYANAGI²⁾, Takeru SAKUTA³⁾,
Yasuhito MOGI³⁾, Kohei SAKURAI³⁾

1) Department of Technical Education, Faculty of Education, Gunma University

2) Laboratory for Resource Science, Tokyo Institute of Technology

3) Department of Technical Education, Faculty of Education, Gunma University (Formerly)

(Accepted on September 18th, 2013)

1. 緒 論

地球温暖化防止の観点から一層の省エネルギーが要望されている。本学部の所属する大学荒牧キャンパスでも、省エネルギーの一環としてボイラーを用いた蒸気集中暖房から、ヒートポンプによる個別暖房に変更しエネルギー消費削減及びCO₂排出削減を行い、地球温暖化の防止を中心とした環境保全に貢献している¹⁾。

ヒートポンプによる個別暖房化により省エネルギーが実現出来た一方で、暖房の効きが悪いという不具合が報告されるようになった。これは、一つには暖房能力に余裕を持たせた（というよりは部屋によっては暖房過剰であった）ボイラーによる蒸気集中暖房時との比較によることもあるが、省エネルギー行動基準の19°Cまで室温が上昇しないという事例が多々存在する。これは、省エネルギーを念頭

においたことによる暖房能力に十分余裕度を与えないことが一因であった。このため、個々の部屋の条件により暖房不十分の事象が発生したと言えよう。

定圧下で気体は温度が高くなると密度（単位体積あたりの質量）が下がり、浮力により上昇する。これにより、暖房時には天井近傍に温度の高い空気が床近傍に低温空気が偏在することになる。天井付近が高温になっても室内の人間を暖めることには無関係であり、人間が暖を取るという暖房本来の目的からは無意味である。

暖房能力の余裕度が高い場合は、高温領域が天井近傍から人間が存在する空間まで拡大して人間を暖めることが可能であった。この状態は、人間の存在しない天井近傍の空間を人間存在空間より高温で暖めることにエネルギーが無為に消費される。温度分布も足元は冷たく頭は熱いという「頭寒足熱」とは正反対の分布であり、必ずしも好ましい状態とは言

えない。

暖房の効きを改善する方法は大別すると、暖房供給熱量の増加、室内からの放熱量の低減、暖房空間体積の減少、及び温度の均質化が存在する。

暖房供給熱量の増加は、端的に言えば空調機器の容量増であり機器交換の必要がある。この方式はまたエネルギー消費の増加をもたらす省エネルギー・環境保護に逆行する

放熱量の減少は、放熱面積の減少か断熱性の向上で可能である。前者は部屋を狭くすることを意味し使用者の合意を得ることは不可能と考えられる。後者に関しても、窓のペアガラス化・壁面の高断熱化を施行済の部屋がほとんどであり、更なる改良は困難と言える。未施行の部屋に関しても、改修計画との整合性を考慮すると即時の実現は困難と言えよう。

また、暖房体積の減少も有りうるが、これは部屋の面積減あるいは天井高の減少を意味し、実現困難と考えられる。

さらに、これらの方法は施設・設備の変更を伴い経費的な面からも即時的な実現は困難と言わざるをえない。また、前述の頭寒足熱と反対の状況になる問題の解決はできない。

これに対して、上方で温度が高く下方で温度が低いという状態を緩和あるいは均一化できれば問題は解決される。さらに一步突き進めると下に行くほど温度が高い状態が考えられるが、これは床暖房で実現されている。床暖房は施設・設備の大幅な変更を伴うので、本研究のスコープ外としたい。

室内の上下の温度差を減少する手段としてサーキュレーター(空気循環器)がある²⁾。市販されているサーキュレーターには壁掛け型³⁾と床置型⁴⁾とがある。

壁掛け型は、天井近辺の壁に設置するもので、暖房時の天井近傍の暖気を吹き下ろすことにより室温の均質化を意図したものである。

床置型は、床に置いて床付近に滞留する冷気を吹き上げることにより室温の均質化を行うものと一般には考えられている。

いずれの方式も、サーキュレーターその物の構造

は単純であり、また消費電力も少ない。サーキュレーターは適切に設置し使用することにより小電力で室温の上下不均一を解消し、冷暖房効果の促進や省エネルギーが得られる。これらのサーキュレーターからの吐出流は噴流となり周囲空気を誘引するため、下流に行くほど流速が低下し遠方へ到達しにくい。これの対策としてファンの羽根形状や吐出部ルーバー形状に工夫をこらしているが、噴流が周囲流体を誘引する本質的性質は不可避である。

さらに、サーキュレーターを用いても効果がない、等の声もしばしば聞かれる。

これは、サーキュレーターの構造が単純なこともあり、それによる空調改善機構を十分理解せずに不適切な設置や使用法に起因するものである。また、サーキュレーターという名称からただ単に空気を循環することにより室温を均質化するという考えから十分な効果が得られない例も多いと考えられる。

本報では体系的な実験を通して、サーキュレーターによる室温均質化の機構の解明を行い、効果的な設置法・利用法の指針を得ることを目的とする。

2. 実験装置および方法

2.1 供試試験空間および空調装置

実験は、本学部技術教育講座で使用している D 棟 102 室(奥行×幅×高さ=6m×6m×4m)を用いて行った。同室は前述の暖房の効きが悪い現象が生じている部屋の一つである。図 1 に供試空間の概略を示す。実験は同室据え付けの天井吊り下げ型ヒートポンプ式空調機により暖房を行い、図中①～⑥で示す 6 カ所の温度を測定することにより行った。

2.2 供試サーキュレーター

実験には図 2 に示すサーキュレーターを新たに開発して使用した。

本サーキュレーターは、送風機として図 2 の中下に見える家庭用扇風機を用いて部屋の低い位置の冷気を吸入し天井部まで誘導して吐出して室内空気の循環を行うものである。送風機からの吐出流を図 2 オレンジ色のダクトで囲むことにより周囲空気の

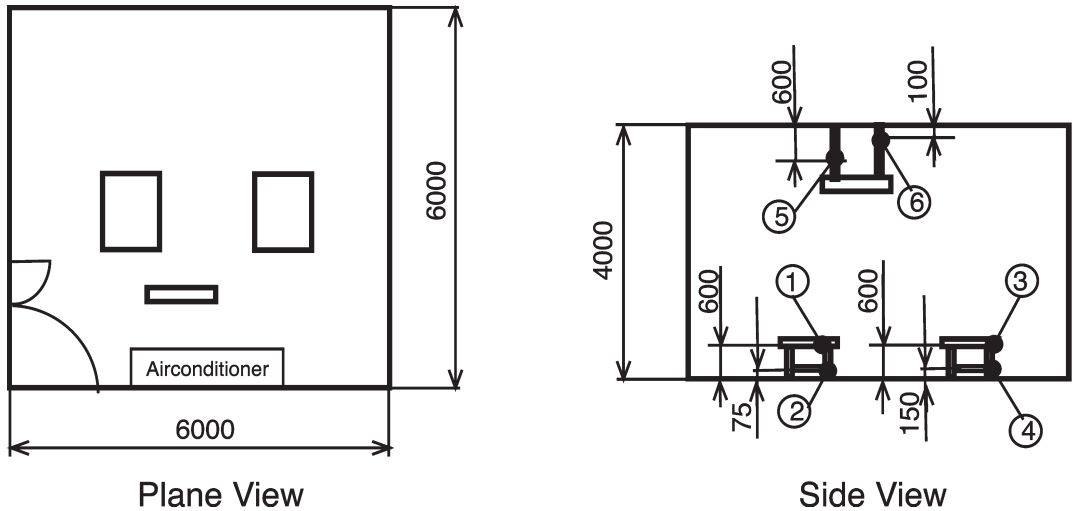


図1 供試試験空間



図2 供試サーキュレーター

誘因を排除し記述の既存サーキュレーターの問題を解決して、遠方まで到達可能とした。また、ダクト吐出部と送風機吸引部とを離すことにより、吐出空気が吸い込み側に回り込むショートカット現象を回避している。

ダクト上部端の設置仰角を変えることにより、吐出方向を水平方向、斜め上方に変化させた実験が可能であり、吐出方向の影響を調べることができる。

使用した家庭用扇風機の消費電力は38W(最大)で、空調機消費電力と比べて十分小さく本サーキュレーターによる消費電力増加は実質上無視出来る。

2.3 測定装置

温度測定は分解能0.1°C、測定範囲0~50°Cのワイヤレス式半導体温度センサーを用いて行った。センサーは予め同一温度の空間に検出部を互いに接触させて十分長い時間経過後に温度検出値を読み取り、これを用いてセンサー毎の測定値オフセットの補正を行った。

2.4 実験条件および方法

実験は表1の設定条件下で行った。表1(b)中の風量、吐出方向は風量強、吐出方向斜め上方45°をそれぞれ基準値とし、括弧中に条件を変化させて実験を行った。

空調機設定温度は、本学省エネルギー行動計画で指定されている実室温19°Cを実験中に超えないよう定めた値である。また、空調機の風量と風向は供試室の利用者がそれ以前から経験的に定め用いていた設定を継続利用した。

表 1 実験条件

空調機			サーキュレーター	
設定温度	風量	風向	風量	吐出方向
20°C	強風	下向き	強, (弱, 中,)	斜め上方 45°, (水平)

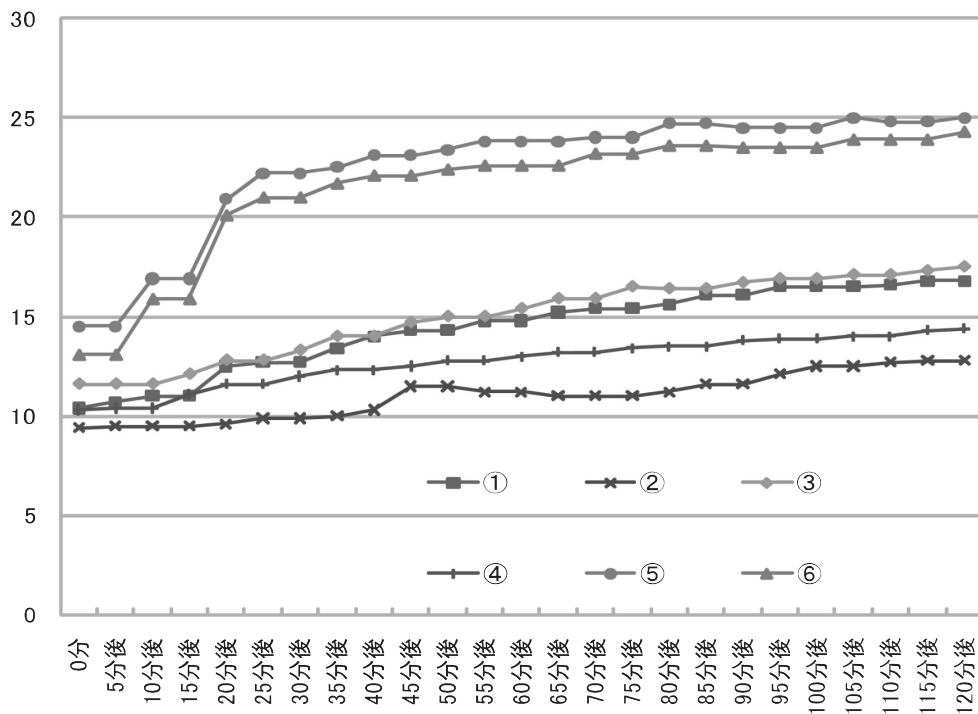


図 3 サーキュレーター非使用時の温度の時間経過の一例

実験は、十分長い時間放置してほぼ安定した状態で空調機とサーキュレーターを同時に運転を開始して、2.3の装置で5分毎に温度の測定を行うことによりおこなった。

3. 実験結果

3.1 サーキュレーター非使用時

サーキュレーターを用いた実験に先立ってサーキュレーター非使用時の温度測定を行った。図3にサーキュレーターを使用しない場合での暖房運転開始からの温度の時間経過の測定例を示す。図中の番号は図1中の○囲み数字で示した測定位置に対応する。

室内の温度は、暖房運転を開始する前から天井付

近(5,6)は高く、床付近(2,4)が低く、机の高さ(1,3)ではその中間である。これは、暖房開始以前に自然対流により生じたものである。天井付近(5,6)温度は暖房を開始すると速やかに上昇を開始するが、床付近(2,4)での温度上昇は極めて緩慢である。測定点2では暖房開始40分で1°C程度の温度上昇しかしておらず、温度も10°Cと低い値である。机の高さ(1,3)における温度は床付近よりは上昇速度は大であるが、暖房開始40分経過しても14°C程度と省エネルギー行動計画で指定された暖房温度19°Cを大きく下回る値である。計測終了時(暖房開始後120分)になっても床付近(2,4)および机の高さ(1,3)での温度は19°C未満である。本学部の授業時間が90分であることを考慮すると、暖房開始後120分経過しても指定温度に到達しない状態は利用者にとって

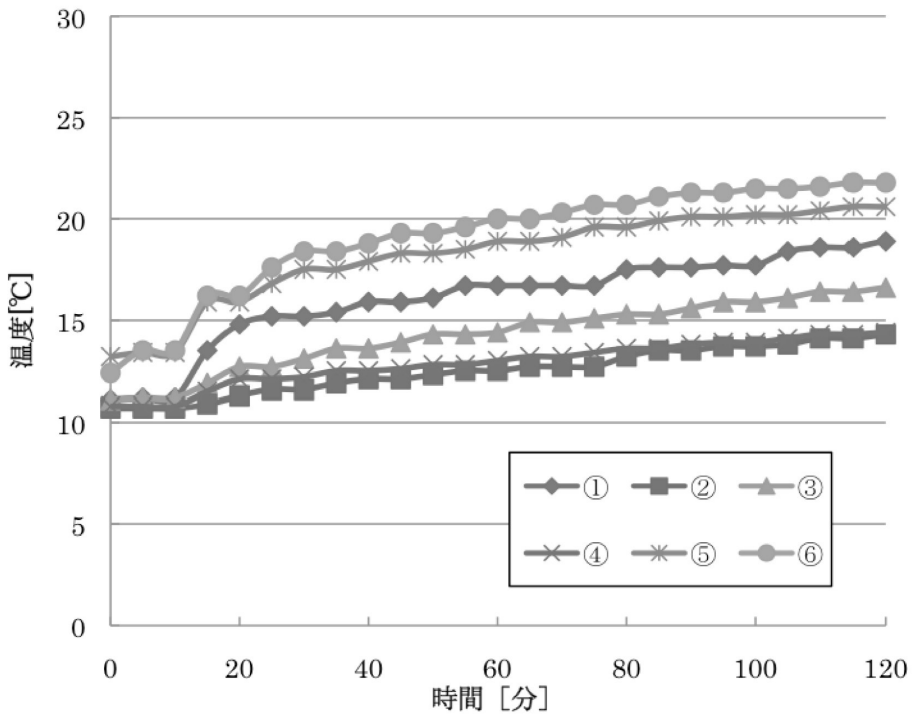


図4 サーキュレーター使用時の温度の時間経過の一例

は暖房の効きが悪いと感じるのであろう。

天井から吊り下げられた空調機の送風は下向き・強風であり、床まで到達しており、送風気に直接当たる箇所では暖気の存在が体感出来たが、それは限定されたスポット的領域に留まり、室全体としては暖房の効果が不十分なのは上記のとおりである。このことより、空調機から送られた暖気は床まで到達するが、限定されたスポット領域を暖めただけで浮力により上昇し天井付近に暖気が滞留・貯留されることがわかる。これは、暖気をただ単に下に吹き下ろすだけでは不十分であり、下においた暖気を下方に留めることが必要であることを示唆している。

当室におけるサーキュレーター無しの暖房の状況は、天井部は高温になるが、実際に人間が活動する空間の温度は省エネルギー行動計画指定値 19°C以下となる、とりわけ足元の温度は低く、より寒さを感じる状況にあると言える。

3.2 サーキュレーター使用時

サーキュレーターを標準的条件で作動させた場合の暖房開始からの各測定位置における温度の時間経過の代表例を図に示す。暖房開始後各測定位置の温度上昇が生じている。天井部(5,6)の温度が最も高く、机の高さ(1,3)、床付近(2,4)の順で温度が低くなる傾向は予備実験と同様である。

予備実験と比較すると、上下の温度の差が縮小していることが図よりわかる。天井部(5,6)の温度は予備実験と比較して低下し、床付近(2,4)の温度は上昇している。予備実験では暖房開始後40分まではほとんど温度が上がらなかった床付近(2)での温度上昇が速やかになっている。机の高さ(1)における温度上昇も予備実験では15°Cに達するのに55分程度要していたのが20分程度に短縮されており、より短時間で暖房の効果が体感されるようになった。

本研究で開発したサーキュレーターは、比較的床に近い位置で空気を吸い込む機構である。これは、床においた暖気が浮力により上昇するのに抗して

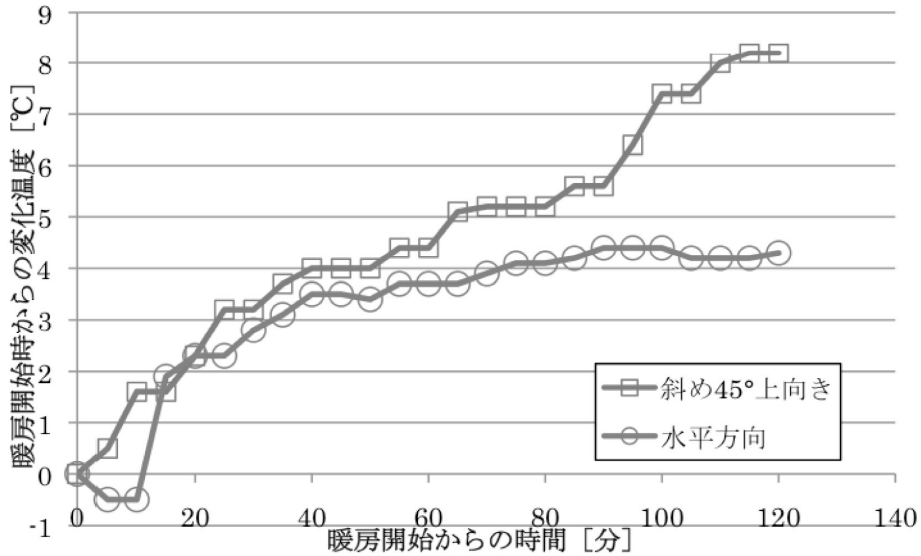


図5 サーキュレーター吐出方向を変化させた場合の机の高さ位置1における温度の時間経過

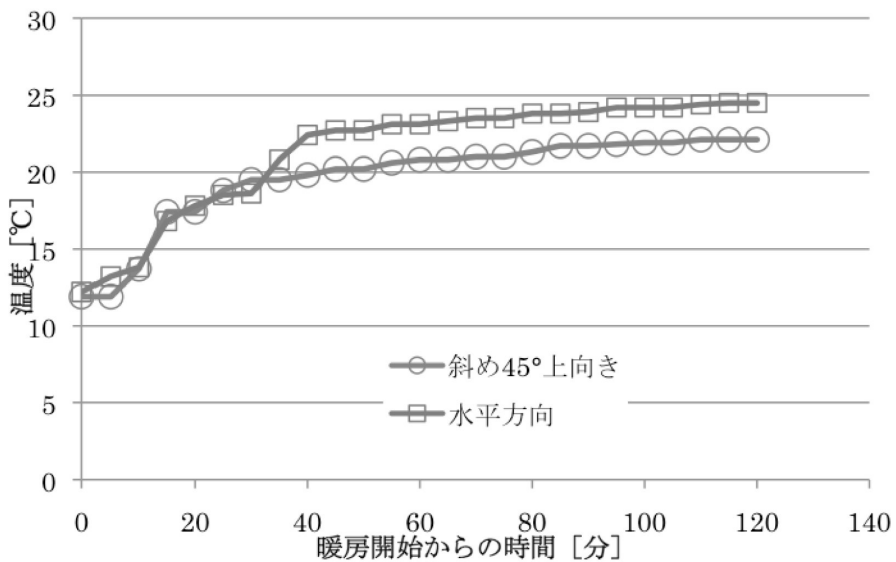


図6 サーキュレーター吐出方向を変化させた場合の天井部5における温度の時間経過

サーキュレーター吸気部に誘引することで暖気を下方に留める効果も有すると考えられる。

サーキュレーター吐出方向を変えた場合の机の高さ(1)における温度の時間経過を図5に示す。図の○は滑らかな循環を意図して天井と平行に吐出流が流れるよう水平に吐き出した場合、□は吐出流が天

井に衝突するよう斜め上方に吐き出した場合をそれぞれ示す。両者を比較すると、滑らかな循環を意図した前者よりも吐出流が天井に衝突するよう吐き出した方が暖房増強効果があることがわかる。

これは、前者の場合天井付近に存在する暖気層の下の循環流が素通りして天井付近の暖気の有する熱

を下方に移動できないこと、後者では天井付近の暖気が吐出流が衝突・混合することにより暖気の温度が下がり浮力が弱まり下方に吐出流で希釈された暖気が移動するためと考えられる。

図6に図5と同一実験で得られた天井付近(5)の温度の時間経過を示す。水平方向にサーキュレーターからの冷気を吐出した場合に対して天井に吐出流が衝突するよう吐き出した場合の方が天井付近の暖気の温度を降下出来ることがわかる。

また、天井付近の暖気がサーキュレーターからの冷気で希釈され温度が降下すると言っても、希釈後の温度は省エネルギー行動計画の設定温度よりは高い(すなわち机の高さ(1,3),床付近(2,4)より高温)ので上方からの下降流は机の高さ(1,3),床付近(2,4)に対しては暖房効果を発揮する。

4. 結論

暖房効果の向上を目的として、サーキュレーター

を開発して、室内の数カ所で温度測定を行って、その効果の調査を行った。その結果、次のことが判明した。

1. サーキュレーターを適切に使用することによりヒートポンプ暖房の有効利用が可能となる
2. 開発したサーキュレーターは低温空気を天井部まで効果的に導き、高温の空気と混合させることにより天井付近に停滞する高温空気の熱を下方に移動し上下の温度差を減少できる
3. 暖房効果の増大にサーキュレーターを用いる場合には、室内の空気を滑らかに循環させるよりは、天井部の高温空気を部屋下方の低温空気と混合させるよう低温空気を天井に衝突させる方が有効である。

文献等

- (1) 群馬大学環境報告書 2011
- (2) <http://ja.wikipedia.org/wiki/エアサーキュレーター>
- (3) 例えば <http://www.twinbird.jp/product/efd988/>
- (4) 例えば <http://www.vornado.com/circulators>

