

空調機によるオフィスの生産性向上技術

折戸真理*
古橋拓也*

Technology of Productivity Improvement in Office by Air Conditioner

Mari Orito, Takuya Furuhashi

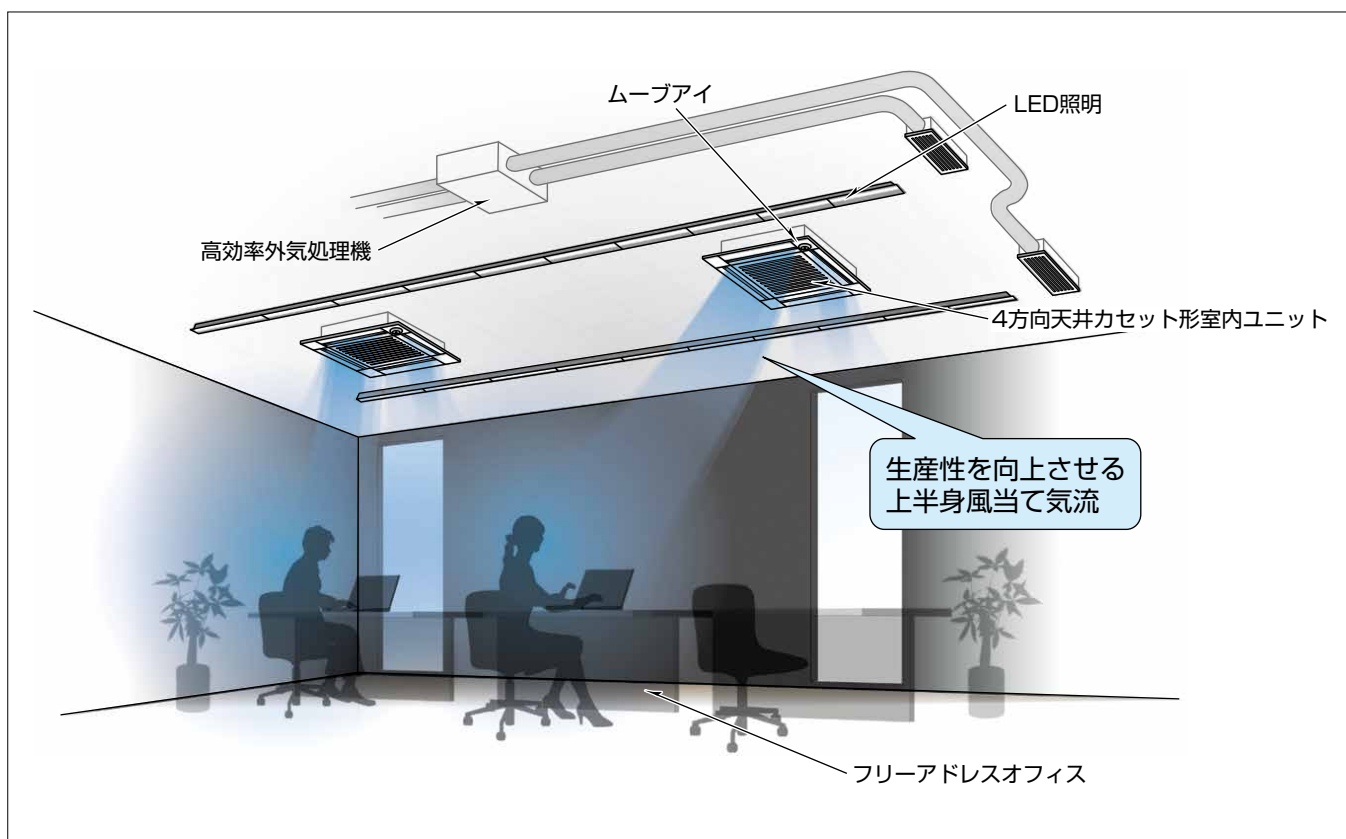
要旨

日本では少子高齢化の進展に伴う労働生産人口の減少によるGDP(Gross Domestic Product)の低下が懸念されており、労働者の生産性の向上が望まれている。労働者の健康維持の観点からも、生産性向上や快適性に配慮したオフィスの実現が注目されている。当社はZEB(net Zero Energy Building)達成のための省エネルギーと、生産性・快適性の向上を実現することで、高付加価値なオフィス空間を作るとともに、オフィスワーカーのウェルビーイング向上への貢献を目指している。

現在、三菱電機では空調機の気流で与える感覚刺激がオフィスワーカーの覚醒状態に及ぼす影響を検証している。その実現手段として、4方向天井カセット形室内ユニット

の風向調整機能を生かした気流制御によって、省エネルギーを損なわずに生産性と快適性の高いオフィスの実現を目指している。

今回、生産性に対する感覚刺激の有効性と脳波等の生理情報の相関性に注目し、被験者試験で、生産性を作業成績、温冷快適感を主観申告で計測したほか、脳波計測によって人の生理状態を評価した。その結果、空調機の風向調整機能によるゆらぎ気流で人の上半身を刺激することによって脳の活動強度が増加し、生産性が向上することを明らかにした。また同時に、主観申告の結果から温冷快適性の改善も確認できた。



省エネルギーと生産性・快適性の向上を実現するオフィス空間

パッケージエアコンの4方向天井カセット形室内ユニットの風向調整機能によって、人の上半身にゆらぎ気流を当てることで省エネルギーと生産性・快適性向上を両立させる。フリーアドレスオフィスでもムーブアイで室内の人の位置を検知することで、オフィス内での気流の吹き分けを実現する。照明でサーカディアンリズムを考慮した光の制御や高効率外気処理機によって外気を清浄化して室内に取り込むことで、オフィスワーカーのウェルビーイングも向上する。

1. ま え が き

日本は世界一の超高齢化社会で、少子化の進行とともに今後、労働生産人口の減少によるGDPの低下が懸念されている。政府は“働き方改革”を通じて、生産性向上の取組みを支援する助成金制度を設けるなどの政策を行っており、国としても生産性向上を望んでいる。労働者の健康維持という観点からも、生産性向上に配慮した企業の取組みは注目されている。

当社ではこれまで、ZEB達成に向けた様々な省エネルギー技術開発に取り組んでおり、生産性向上についても、快適性と両立に視点を置きながら技術開発に取り組んでいる。しかし一般的に、夏季は空調の設定温度を高くするほど省エネルギーになるが、快適性とトレードオフの関係になる。今回、省エネルギーを損なわずにオフィスワーカーの高い快適性と生産性を実現する手段を検討することにした。

2. 気流による感覚刺激の効果

2.1 空調機で実現する気流

オフィス空間にある機器として空調機に注目し、当社では空調機の気流で与える感覚刺激がオフィスワーカーの覚醒状態に及ぼす影響を検証している。既往研究⁽¹⁾で、室温28.5℃の夏季温熱環境でも、ファン等の採涼手段を併用することで温熱満足度の改善によって生産性が向上する可能性が示されている。一方、気流の当たり方が強くなるほど予測平均温冷感申告(PMV)は寒い側へシフトし、温冷快適性も低下する。そのため、空調機によって生産性を向上させるためには、人の温冷快適性が高い状態になる範囲で気流制御を行う必要がある。

2.2 試験方法

気流による感覚刺激が生産性に与える影響を検証するため、当社施設で送風機を使用した被験者試験を実施した。被験者は夏季オフィスを想定した半袖シャツとパンツスーツ(0.5clo^(注1)相当)の服装とし、27名(男性：16名、女性：11名)でデータを取得した。生産性は情報処理作業として課したクレペリン作業(制限時間内に加算作業を繰り返す情報処理作業能力評価法)の回答数によって評価することにし、表1に示す温熱環境で、12分間2セットの課題による作業を行った。他に生理指標として脳波計測、心理指標として空気調和・衛生工学会温冷感小委員会提案の9段階の温冷感及び5段階の温冷快適感に関するアンケートを実施した。

脳波はMind Wave Mobile(NeuroSky社)を用いて左前頭前野部位(Fp1)(図1)をサンプリング周波数512Hzで計測した。(株)電通サイエンスジャムの感性分析システム“感性アナライザ^(注2)”によって、取得した脳波データの周波

表1. 試験条件

条件	温度(℃)	気流
A	28	なし
B	28	あり(下半身) ^(注3)
C	28	あり(上半身) ^(注3)
D	25	なし

(注3) 送風機で調整

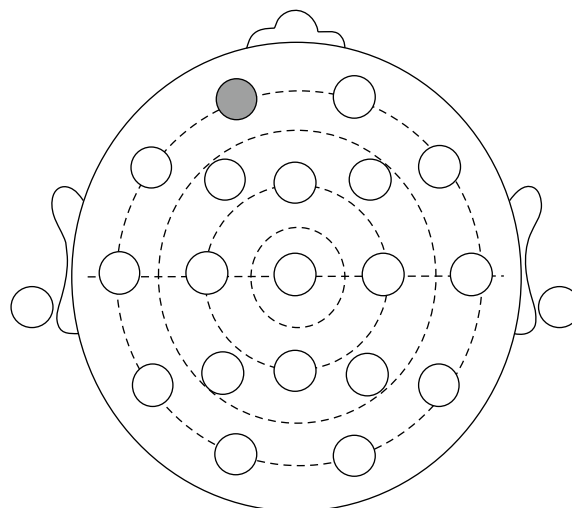


図1. 国際10-20法でのFp1

数変換を行い、周波数の振幅スペクトルの組合せから独自のアルゴリズムで得られる指標によって評価を行った。

作業中の脳波から、時系列データの乱雑さや不規則性の尺度であるサンプルエントロピー(以下“脳波強度”という)⁽²⁾を算出した。脳波強度の値が大きければ脳波は不規則で乱雑であり、刺激を受けて活動強度が増加した状態と考えられる。

(注1) clo(クロー)値は衣類の熱抵抗を示し、暖かさの目安となる。
(注2) 感性アナライザは、(株)電通サイエンスジャムの登録商標である。

2.3 身体の部位刺激に対する効果

試験結果を図2に示す。生産性を評価するために取得したクレペリン作業の回答数には個人差があるため、式(1)で正規化した。 y_n は各被験者の正規化後の作業成績、 x_n は各被験者の表1に示す各条件での回答数、 X_n は各被験者の全条件の平均回答数を表す。

$$y_n = \frac{x_n}{X_n} \dots\dots\dots (1)$$

28℃環境で、気流のない条件Aに対し、上半身に気流を付加する条件Cでは生産性が向上した(図2(a))。一般的に25℃環境は28℃環境に比べて生産性が高いと言われているが、28℃環境でも、気流による感覚刺激で生産性向上の効果がみられた。

脳波強度は生産性と同様の傾向を示し、28℃環境で上半身に気流を付加する条件Cで最も高かった(図2(b))。一般に、脳に入力された感覚刺激は視床を経て前頭前野部位に反映される。夏季オフィスを想定した服装の場合、下半

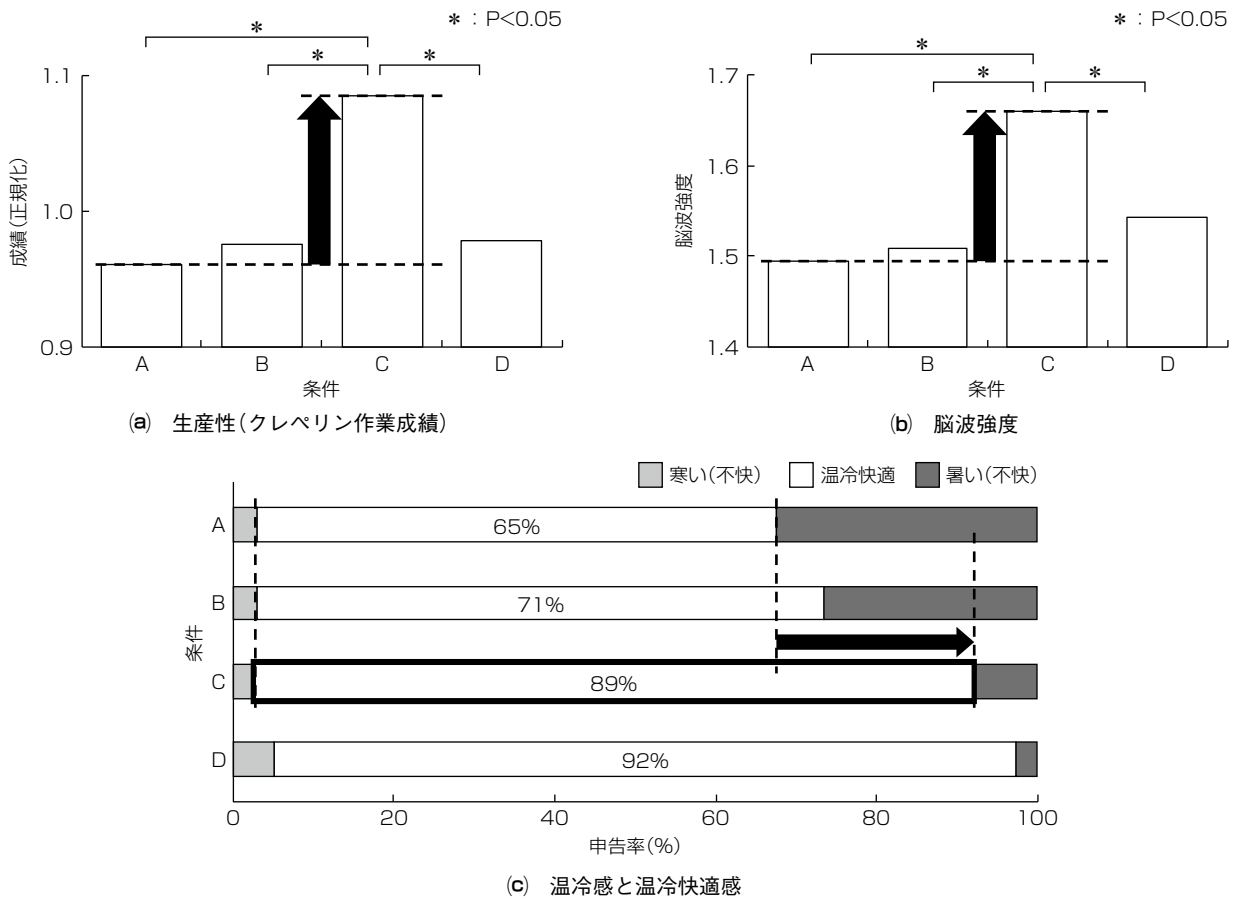


図2. 作業成績と脳波の関係

身に比べて上半身は肌に直接気流が当たりやすいため、送風による感覚刺激がより強く脳に伝わったと考えられる。

温冷感と温冷快適感のクラスタ分析を行った結果、暑い又は寒いほど温冷快適感是不快であった。図2(c)は、寒いかつ不快、涼しい～温かいかつ快適(以下“温冷快適”という)、暑いかつ不快の3段階で示した結果であり、28℃環境では上半身に気流を付加する条件Cで温冷快適の申告が最も多く、25℃環境とほぼ同等であった。

28℃環境でも上半身への気流付加によって、生産性向上と温冷快適性の維持が可能であったことから、これを空調機の気流制御技術に応用することにした。

3. 空調機によるゆらぎ気流の効果

3.1 空調機によるゆらぎ気流の実現

当社パッケージエアコンの4方向天井カセット形室内ユニットは、上下方向と吹出し口内に配置した左右風向調整翼(ルーバ)による左右方向の気流を吹き分ける機能を持っており、ムーブアイで人の位置情報を検知し、空調機のルーバで上半身への気流付加を実現する。また、ルーバを

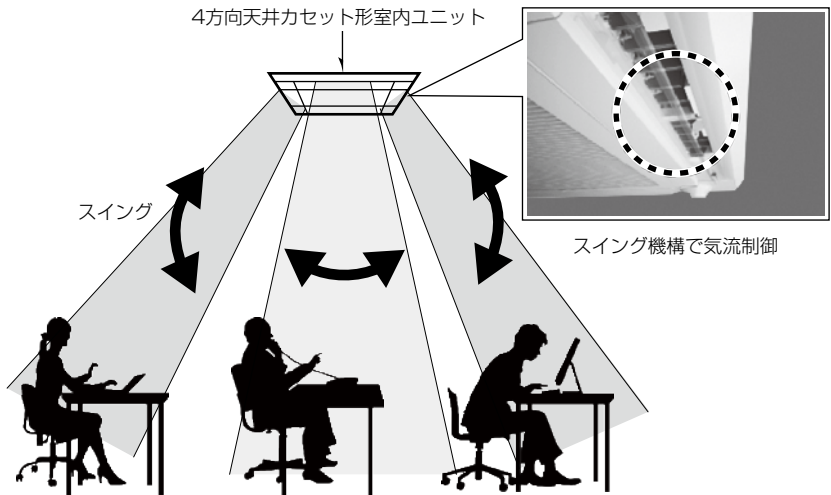


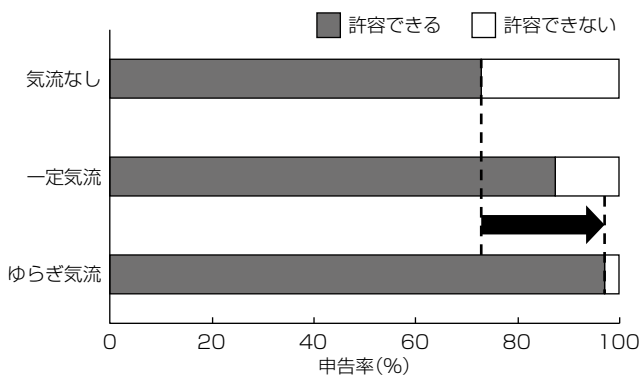
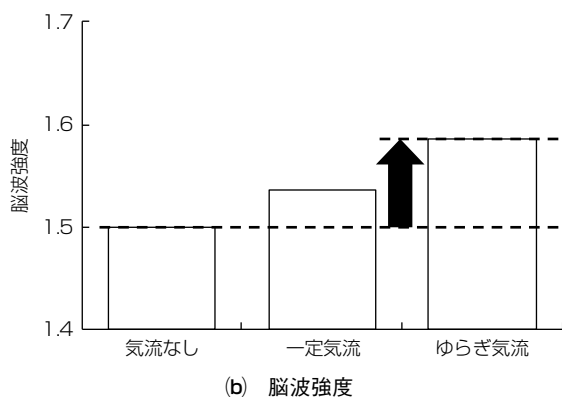
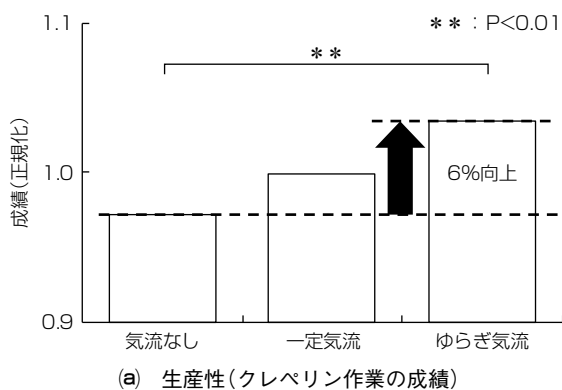
図3. 空調機によるゆらぎ気流のイメージ

動かし続けることで上半身への不規則なゆらぎ気流を付加できる(図3)ため、感覚刺激の増大が期待される。

3.2 ゆらぎ気流による効果

夏季省エネルギー基準である28℃環境で、空調機のスイング機構による上半身へのゆらぎ気流の効果を被験者試験によって評価した。気流なし、上半身への一定気流、上半身へのゆらぎ気流の3条件を23名(男性：17名、女性：6名)で実施した。

結果を図4に示す。上半身にゆらぎ気流を付加した条件



(c) 温熱環境に対する許容度

図4. ゆらぎ気流の効果

では、気流なしの条件に比べて成績が有意に6%向上し、上半身への一定気流を当てた場合よりも生産性が向上した(図4(a))。

脳波強度は、生産性と同様の傾向を示した(図4(b))。上半身に一定気流を付加した条件に比べてゆらぎ気流条件で脳波強度が高いのは、感覚刺激が不規則になる点が要因と考えられる。

心理指標として温冷感、気流感、及びその快適感を総合した温熱環境に対する許容度を取得した結果、上半身にゆらぎ気流を付加した条件の許容度が最も高かった(図4(c))。

以上の結果から、28℃環境での空調機のゆらぎ気流は、気流なしの環境と比べて生産性と温冷快適性が向上し、25℃環境とほぼ同等の温冷快適性が得られることが

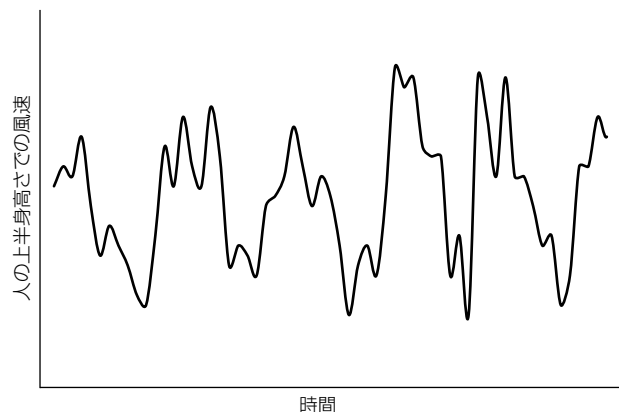


図5. 人位置でのゆらぎ気流の風速変化

分かった。

オフィス内の人に対しては、図5のような空調機のゆらぎ気流を付加することで風の緩急を感じる効果も与えることができる。人に当たる気流の風速変化を快適範囲に抑えることで、人はゆらぎ気流を心地よい刺激と捉え、生産性向上と温冷快適性の改善が実現可能になる。

4. むすび

当社では国連の“持続可能な開発目標(SDGs)”達成への貢献に向け、ZEB関連技術の実証棟を建設している。ZEBへの取組みはSDGsの17の目標のうち、エネルギーや環境対策等の四つの目標達成に寄与する。本稿で述べた知見を製品に応用することで、さらに健康と働きがいに関する二つの目標達成に寄与する。

当社の空調機はムーブアイによって人の位置と温度情報が分かるため、フリーアドレスオフィスのように席レイアウトが決まっていないオフィスでも快適感を損なわない気流吹き分けを行うことができる。省エネルギーによるCO₂排出抑制で環境保全に貢献することに加え、オフィスで働く人の快適性と生産性を向上させることで残業時間を削減し、健康的なオフィス空間を提供する“ウェルビーイング”の実現に向けて開発を継続していく。

この開発に当たり脳波解析及び被験者試験で多大なご協力をいただいた慶應義塾大学満倉教授及び学生被験者に感謝する。

参考文献

- (1) 空気調和・衛生工学会：快適な温熱環境のしくみと実践 (2019)
- (2) Richman, J. S., et al. : Physiologica Timeseries Analysis using Approximate Entropy and Sample Entropy, American journal of physiology-Heart and circulatory physiology, 278, No.6, 2039~2049 (2000)