

熱帯地域における天井扇併用型外調機システム下の人体反応に関する研究

Human Response Studies on a Dedicated Outdoor Air System with Ceiling Fans in the Tropics

三原 邦彰 Kuniaki Mihara

1. 背景

2016年に締結されたパリ協定において、地球温暖化を1.5℃以内に抑えるため、建物の省エネルギーが求められている。また、SDGsにおいても建物は人にとって健康で快適なものでなければならないとされており、今後は省エネルギーかつ快適な建物が要求される。2018年9月に竣工したシンガポール国立大学のデザイン環境学部棟のSDE4は、学校建築としてシンガポール初のゼロ・エネルギー・ビルであり、次世代の省エネルギー空調として、天井扇併用型外調機システムが導入されている。天井扇併用型外調機システムは、外調機と天井扇を組み合わせる方式であり、運用方法次第で、比較的容易に熱帯・亜熱帯地域の省エネルギー空調として展開できると考えられる。SDE4においては、室温を27℃に設定し、天井扇からの気流によって温熱快適性を保つことを意図している (Fig.1)。本研究では、①シンガポールでは通常、冷房の設定温度が24℃であるが、室温を上昇させ、天井扇の気流の効果で温熱快適性を保てるか、②室温上昇によるエネルギー削減と天井扇を使用することによるエネルギー増加によりどの程度の省エネルギー効果が得られるかについて、実験、実測調査、シミュレーションを用いて検討した。

2. モックアップルームにおける被験者実験

SDE4建設中に天井扇併用型外調機システムを導入したモックアップルームにおいて、遷移状態および定常状態の温冷感を調査するため、被験者実験を実施した (Fig.2)。実験ケースは、温度が24℃、27℃、30℃の3ケース、相対湿度は60%、天井扇の速度 (オフ、中速、高速) を変えた3ケース、実験室への入室前の歩行距離を変えた2ケース (高代謝、低代謝) の計18ケースである。被験者は19歳から25歳の学生26名 (男性13名、女性13名) で、すべてのケースに参加し、温熱快適性を申告した。被験者の着衣は軽装の夏服 (0.3 clo) であった。

遷移状態の温冷感は27℃、30℃で天井扇の風速の効果により、25分以内に定常状態に達した。また、遷移状態において温熱快適性と温冷感が高い相関関係にあった。被験者の好みの温冷感は、代謝量が落ち着くにつれて「涼しい (-1.87)」から「やや涼しい (-0.77)」に時間共に変化した (Fig.3)。温

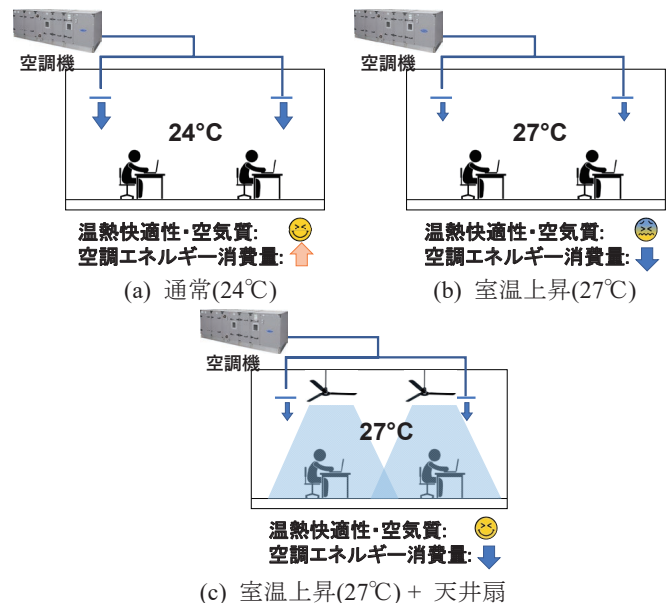


Fig.1 天井扇併用型外調機システムのコンセプト
(Concept for Dedicated Outdoor Air System with Ceiling Fans)

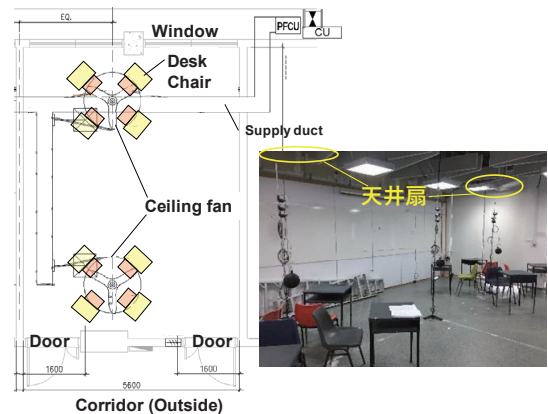


Fig.2 モックアップルームと測定の様子
(Indoor Environmental Measurement at Mock-Up Room)

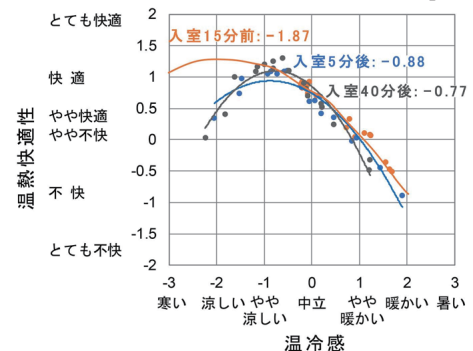


Fig.3 温冷感と温熱快適性の関係 (遷移状態)
(Thermal Sensation vs Thermal Comfort under Transient Condition)

冷感が定常に達した状態において、27℃で天井扇が中速(0.94 m/s) の場合に温熱快適性、温熱受容度、空気質受容度が最も高い結果であった (Fig.4)。

3. 実測調査

SDE4 の 5 階のデザインスタジオにおいて、2019 年 2 月 14 日から 2019 年 3 月 21 日の 5 週間、実測調査を行った (Fig.5)。大学 1 年生から 4 年生の延べ 192 名が温熱快適性に関するアンケートに答えた。アンケートは授業開始から温冷感が定常状態に達した 1 時間後に実施した。学生の着衣は軽装の夏服 (0.35 clo) であった。スタジオの室温は 27℃に制御され、相対湿度は 60%であった。天井扇は在室者を検知して、中速で稼働した。

実測調査の結果、80%以上の在室者が温熱快適性、気流感、室内空気質を受け入れられると申告した (Fig.6)。天井扇併用型外調機システムを導入した実際の建物において、室温 27℃で天井扇がある場合に在室者が温熱快適性・室内空気質に満足していることを確認した。

4. シミュレーションによる省エネルギー効果の検討

標準的な 3 階建てのオフィスビル (延床面積 2480 m²) を想定し (Fig.7)、空調のエネルギー消費量をエネルギーシミュレーションプログラム “IESVE” により求めた。外皮性能や機器効率はシンガポールの省エネルギー基準のグリーンマークに準拠して決定した。計算ケースはモックアップ実験で満足度の高かった 24℃天井扇なし、27℃天井扇中速運転、30℃天井扇高速運転の 3 ケースである。

室温 24℃から 3℃上昇させることにより、空調負荷が削減され、熱源とファンのエネルギー消費量がそれぞれ 12.8kWh/m²年、11.4kWh/m²年、削減された。一方、天井扇を稼働させることによるエネルギー消費量の増加は 1.9kWh/m²年であったため、空調システム全体で 25.8%のエネルギーが削減された (Fig.8)。

5. 結 論

一般的に省エネルギーと温熱快適性の両立は相対する関係にあるが、本研究により、天井扇併用型外調機システムにおいて、室温 27℃で天井扇を利用した場合、80%以上の在室者の温熱快適性を満たすことが示された。また、空調のエネルギー消費量は従来の空調システムに比べて、25.8%削減できると試算された。本研究で得られた知見を基に、熱帯地域の省エネルギー空調システムとして、様々な建物へ提案・活用されるものと期待される。

キーワード: 外調機, 天井扇, 気流, 温熱快適性, 熱帯

Keywords : dedicated outdoor air system, ceiling fan, air movement, thermal comfort, tropical climate

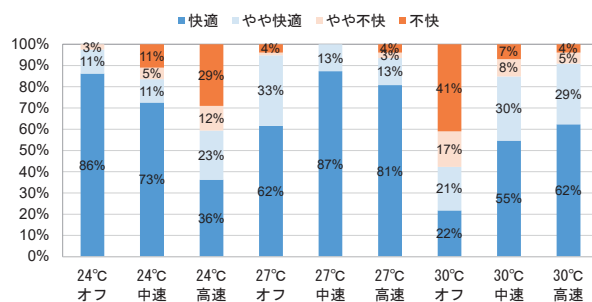


Fig.4 温熱快適性の申告結果 (低代謝量)
(Thermal Comfort Votes under Low Initial Metabolic Rate)

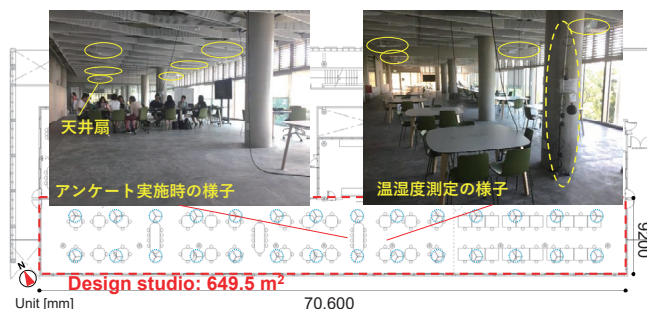
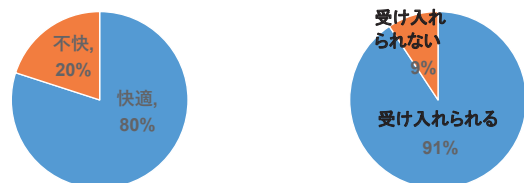


Fig.5 SDE4 5階平面図と測定の様子
(Floor Plan on Level 5 at SDE4 and Measurement Location)



(a) 温熱快適性 (b) 知覚空気質
Fig.6 アンケート調査の結果 (SDE4)
(Thermal Comfort and IAQ Acceptability at SDE4)

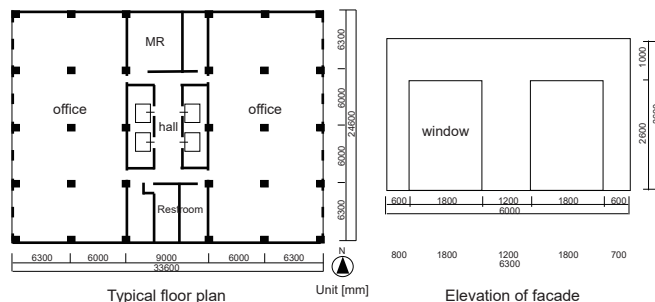


Fig.7 解析対象のオフィスビルモデル
(Typical Floor Plan of the Hypothetical Building Model)

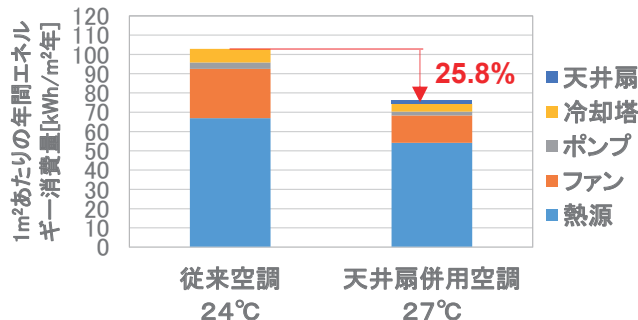


Fig.8 空調エネルギー消費量の計算結果
(Annual Energy Consumption per Total Floor Area for HVAC System)