

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

Effects of Low Humidity
on Human Comfort and Productivity

低湿度環境が在室者の快適性・知的生産性
に与える影響に関する研究

申請者

堤 仁美

Hitomi

Tsutsumi

建設工学専攻 建築環境研究

2003年11月

本研究では、夏季・中間季における熱的に中立な低湿度環境が、在室者の快適性及び知的生産性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。

オフィスにおける現行の湿度基準として、日本では、ビル管理法がある。同法により、オフィスの湿度は40%RH~70%RHに保たれるべきであるとされている。一方、欧米では、ASHRAE(米国暖房冷凍空調学会) Standard 55-92で低湿度基準を絶対湿度4.5g/kg(20.5 /30%RH)と定めている。ASHRAE Standard 62-2001では、相対湿度の推奨値を30%RH~60%RHとしている。しかし、これらの湿度の下限值は、冬季の低湿度気候を想定して設定されており、夏季における低湿度基準の科学的根拠はないのが現状である。一方、空調設備システムの技術向上により、氷蓄熱空調システムを用いた低温送風空調システム等、夏季に低湿度を実現することのできる空調システムが実用化されている。また、中間季の外気冷房によっても室内湿度が低下する可能性がある。建築内部空間では、建築物の高気密化、新建材の使用により、空気汚染化学物質の濃度が高くなるという問題が生じている。空気汚染化学物質は、在室者の粘膜を刺激し、在室者はこれを湿度による乾燥感と認識する可能性があることが示されている。加えて、在室者自身のコンタクトレンズ装用による目の乾燥感や不快感及びドライアイ症候群等の問題が生じている。

このようなオフィス内空間の現状をふまえ、低湿度環境が在室者の快適性・知的生産性に及ぼす影響を評価・検討した。また、低湿度であると指摘されながらも実測例の少ない航空機内部環境測定を行い、飛行中に、乗客・乗務員がどのような環境に曝露されているかを把握した。

本論文は7章で構成されている。

第1章では、本研究の位置づけと目的を明確にした。また、本研究に関連する文献研究を行った。

第2章では、夏季の低湿度環境がコンタクトレンズ装用者および非装用者の快適性に及ぼす影響について検討した。実験は2000年夏季に早稲田大学温熱環境室内にて計37名のコンタクトレンズ装用者・非装用者を被験者として行われた。全条件でSET*(標準新有効温度)が25.2の熱的中立条件とした。30%RH、40%RH、50%RH、70%RHの4つの湿度条件を設定した。環境の湿度及びコンタクトレンズ装用が在室者の皮膚温、温熱感覚に与える影響は小さかった。本実験で設定した湿度条件間では全身乾湿感申告値に有意差は見られなかった。50%RH以上の環境下では湿度の上昇に伴い皮膚水分量も増加したが、皮膚水分量と全身乾湿感の結びつきは見られなかった。コンタクトレンズ装用者群は非装用者群よりも目の乾燥感増加に伴う不快感増加が大きかった。全条件、全被験者群において、目の乾燥感は、全身乾燥感よりも強かった。ハードコンタクトレンズ装用者は裸眼被験者と比較してまばたき許容時間が短くなる傾向があった。しかし、全被験者群とも環境の湿度によるまばたき許容時間の有意差は生じなかった。本実験で

設定したような条件下では、低湿度環境そのものよりもコンタクトレンズ装用が被験者の目に大きな影響を及ぼすことが分かった。

第3章では、異なる空気質レベルの湿度環境が在室者の熱的快適性及び知的生産性に及ぼす影響を検討するための被験者実験を行った。同条件・同手順で夏季と冬季に実験を行い、季節差を比較した。実験は、両季節とも健康な大学生年齢の男女18名ずつの被験者を用い、2001年夏季及び冬季に早稲田大学温熱環境室にて行われた。全条件でSET*を25.2とし、30%RH、50%RH、70%RHの3湿度条件を設定した。室内空気汚染源としてホルムアルデヒドを選定し、各湿度条件に対して、市場流通品のMDF建材を用いた条件と空気清浄機を用いた条件を設定した。ホルムアルデヒド放散源のある環境では、放散源の量が同じであっても環境の相対湿度が下がればホルムアルデヒド気中濃度は低下した。これは、ホルムアルデヒドが親水性の化学物質であることに起因する。ホルムアルデヒド放散源のある環境では、入室時の知覚空気質は低かった。一方、清浄空気環境では湿度の低下により知覚空気質は上昇した。冬季では、ホルムアルデヒドによる目・喉・鼻への粘膜刺激が確認された。一方、夏季ではホルムアルデヒドによる粘膜刺激は確認されなかった。皮膚水分量はホルムアルデヒド気中濃度より環境の相対湿度に強く影響を受け、環境の相対湿度が上昇すると皮膚水分量も増加した。空気質が悪い環境下では注意集中が困難になるとの訴えが増加し、作業成績も低下した。冬季の作業成績は空気質よりも環境の相対湿度に影響を受け、高湿度環境下で作業成績が上昇した。夏季ではわずかではあるが、低湿度環境で正答スピードが向上した。夏季に比べて冬季では、目の乾湿感の経時変化が小さかった。冬季では皮膚水分量の湿度環境による差は夏季より小さかった。加えて、冬季のまばたき許容時間測定値は夏季よりも短かった。

第4章では、相対湿度と絶対湿度が在室者に及ぼす影響の差について検討した。SET*を25.2一定条件とし、25.4、30%RH、0.6clo条件を基準に、相対湿度と絶対湿度をそれぞれ絶対湿度一定条件および相対湿度一定条件で変化させることにより、合計6条件を設定し、被験者実験を行った。実験は、健康な大学生年齢の男女15名を用いて2002年夏季に早稲田大学温熱環境室にて行われた。定常時の全身乾燥感、全身湿度快不快感、目・鼻の快不快感の申告値は、絶対湿度と高い相関が見られた。皮膚水分量及び口腔粘膜水分量に対する絶対湿度・相対湿度の影響の差は確認できなかった。本実験で設定したような条件では、作業成績、まばたき許容時間の差は見られなかった。相対湿度が上昇すると自覚症状しらべの総合訴え率は低下した。思考の困難さに関する申告では、第1回目の加算テスト終了時は、絶対湿度が高い条件で「思考が困難になる」傾向があった。一方、実験開始180分後の申告値では、相対湿度の上昇に伴い思考の困難さが軽減すると分かった。

第5章では、熱的に中立で相対湿度が5%～35%という極度の低湿度環境に被

験者を曝露した時の快適性・知的生産性を検討した。被験者実験は、デンマーク工科大学 室内環境・エネルギー国際研究所内の人工気候室にて 2001 年 4 月～6 月に行われた。実験条件は、22℃一定で、5% RH、15% RH、25% RH、35% RH 及び、絶対湿度一定の 18℃/19% RH、22℃/15% RH、26℃/11% RH と比較のための 22℃/35% RH の計 8 条件を設定した。なお、前者は清浄空気環境であり、後者はカーペットとリノリウムにて汚染されていた。清浄空気、汚染空気の条件にそれぞれ 30 名のデンマーク人被験者が参加した。被験者は、実験中、熱的に中立な状態になるように各自の着衣を調節していた。被験者は各温湿度条件に設定された人工気候室内でオフィスワークを模擬した作業を 5 時間行った。被験者は、Normal 群、Sensitive（花粉症等、経験的に環境の湿度に対して敏感であると申告した被験者）群、コンタクトレンズ装用者群に分類された。乾燥による被験者の不快感は湿度の低下に伴い増加したが、不快感は 5% RH 条件下でも小さかった。5% RH 及び 15% RH 条件では、25% RH 及び 35% RH 条件より目の涙液層が有意に乾燥していた。まばたきの回数は湿度の低い環境で増加した。低湿度環境では作業成績が低下する結果が得られた。まばたきの増加により視覚情報取得が妨げられたことによる可能性が示唆された。全身乾燥感、目・鼻の乾燥感に関して、Sensitive 群は非 Sensitive 群よりも湿度低下と温度上昇に強い影響を受けた。

第 6 章では、内部空間の低湿度が指摘されながら、オフィス環境と比較すると実測例の非常に少ない航空機内における温湿度測定を行った。航空機は飛行中、内部の気圧が地上と比較して低くなるという特徴がある。実測に用いた温湿度センサは 101.3kPa での使用を想定しており、低気圧環境下での使用が可能かどうかを確認するためのキャリブレーション実験を早稲田大学温熱環境室にて 1999 年に行った。基準器としたアスマン通風乾湿計と、高分子電気抵抗式相対湿度センサ及び高分子静電容量式相対湿度センサを真空デシケータ内に入れ、気圧を下げた条件下で両者の測定値を比較した。その結果、高分子電気抵抗式相対湿度センサ及び高分子静電容量式相対湿度センサを用いて低気圧環境下で測定を行う際には、気圧補正を行う必要はないことが分かった。ただし、低湿度環境で測定誤差が生じるため、補正式を求めた。また、実際の航空機内環境実測結果より、国際線では温度は 25℃程度に保たれるものの、機内の湿度は離陸時に低下し、飛行中は 20% RH 以下にまで達する結果が多く見られた。

第 7 章では、各章の研究結果を総括した。人工気候室における被験者実験結果より、不快感等は環境の絶対湿度の影響を受けていた。夏季・中間季の日本のオフィス空間では、湿度が 30% RH 程度まで低下しても、被験者の不快感は小さいことがわかった。また、このような環境では、低湿度による被験者の作業成績の低下等は見られなかった。ホルムアルデヒド気中濃度低減、知覚空気質向上といったよい面での低湿度影響も確認された。ただし、コンタクトレンズ装用者や花粉症等の在室者は環境の湿度に対して敏感であることが分かった。