

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文審査報告書

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

2004年 3月

日本におけるオフィスの湿度基準として、“建築物における衛生的環境の確保に関する法律(ビル管理法)”があり、湿度は40%RH~70%RHに保たれるべきであるとされている。米国では、米国暖房冷凍空調学会(ASHRAE)の温熱環境基準ASHRAE Standard 55-92において低湿度基準を絶対湿度4.5g/kgと定めている。また、空気環境基準ASHRAE Standard 62-2001では、相対湿度の推奨値を30%~60%としている。これらの湿度の下限値は、冬季の低湿度気候を想定して設定されている。しかし、夏季や中間季の低湿度基準に関しては科学的根拠がないのが現状であり、これらの季節においては、湿度がビル管理法で定める40%RH以下でも在室者の快適性に対して問題のない場合があると考えられる。一方、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。空気汚染化学物質の中には、在室者の粘膜を刺激するものがあり、在室者が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唆されている。加えて、在室者自身のアレルギー体質、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の問題が生じている。

本研究では、このようなオフィス空間での現状をふまえ、夏季及び中間季における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検討している。加えて、極めて低湿度となる航空機内部環境測定を行っている。従来の研究では湿度が在室者の温熱感覚に及ぼす影響のみが評価されているのに対し、本論文は、室内空気汚染化学物質、在室者のコンタクトレンズ装用や体質といったことを考慮しながら、湿度が在室者に及ぼす影響を検討したものとして意義があると評価される。

本論文は7章より構成され、英語で記述されている。以下に審査の要旨を述べる。

第1章「General Introduction」では、本論文の研究目的を示し、関連文献の調査を行っている。熱的中立条件においては、湿度が温熱感覚に及ぼす影響は小さいが、在室者の粘膜や皮膚の乾燥といった非温熱影響も併せて評価すべきであるということを示し、本研究の明確な位置付けを行っている。

第2章「Eye Comfort of Subjects Wearing Contact Lenses at Low Humidity During the Summer Season」では、延べ148名を用いた被験者実験を行うことによって、夏季の低湿度環境がコンタクトレンズ装用者及び非装用者の快適性に与える影響について検討している。曝露環境を熱的中立状態となると予測される標準新有効温度(SET*)に設定し、相対湿度を30%、40%、50%、70%の4条件とした。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いという実験結果が得られている。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見られている。一方、相対湿度によるまばたき許容時間の差は小さいことが示されて

いる。ビル管理法で定められている低湿度基準より低い湿度条件で実験を行い、熱的中立に近い 30%~70%の相対湿度条件では、湿度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を立証した点は高く評価できる。

第 3 章「Thermal Comfort and Productivity under Humidity Conditions with Different Indoor Air Quality Levels in Summer and Winter」では、異なる空気質レベル及び湿度の組合せが在室者の快適性及び知的生産性に与える影響を検討するために延べ 242 名の被験者を用いた実験を夏季と冬季に行っている。等 SET*条件で、30%、50%、70%の相対湿度条件を設定している。ホルムアルデヒドに着目し、室内空気汚染源として市場流通品の繊維板を選定した。各湿度条件において建材を設置した汚染空気条件と未設置でさらに空気清浄機を用いた清浄空気条件を比較している。汚染空気条件では、ホルムアルデヒドが親水性の化学物質であるため、環境の相対湿度が下がるとホルムアルデヒド気中濃度は低下した。汚染空気条件では同じ相対湿度の清浄空気条件と比較して入室時の被験者の知覚空気質評価は低いことが示されている。一方、清浄空気条件では相対湿度が低い条件で知覚空気質評価が高くなる結果が得られている。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するとしている。冬季では、ホルムアルデヒドの粘膜刺激が確認されている。低湿度環境では、ホルムアルデヒドの気中濃度を低減でき、在室者の知覚空気質を向上できるといった低湿度の優位性を示した貴重な実験と言える。

第 4 章「Effects of Relative Humidity and Absolute Humidity on Subjective Comfort and Productivity」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ている。25.4℃、30%RH、0.6clo 条件を標準条件として、SET*を一定としながら絶対湿度及び相対湿度を変化させ合計 6 条件を設定し、延べ 105 名の被験者を用いて夏季に実験を行っている。被験者申告が定常となった時の全身乾湿感、全身湿度快不快感、目・鼻の快不快感の申告値は、絶対湿度と良い相関が示された。ビル管理法及び ASHRAE Standard 62-2001 では相対湿度、ASHRAE Standard 55-92 では絶対湿度で湿度基準が示されており、絶対湿度と相対湿度のどちらが適切であるかこれまで明確ではなかったが、本研究により、熱的中立条件では、絶対湿度が被験者の心理量に及ぼす影響は相対湿度よりも大きいことが示された点で非常に意義ある研究といえる。

第 5 章「Limiting Criteria for Human Exposure to Extremely Low Humidity」では、熱的中立で相対湿度が 5% ~ 35% という極めて湿度が低い環境に被験者を曝露した時の快適性及び知的生産性を検討している。実験条件として、22℃一定で 5% RH、15% RH、25% RH、35% RH の清浄空気条件及び、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 でカーペットとリノリウムで汚染された条件を設定している。本章で示した実験はデ

ンマーク工科大学にて行われ、延べ 236 名のデンマーク人被験者が参加した。被験者を、Normal 群、Sensitive (花粉症等、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している。被験者の乾燥による不快感は超低湿度環境の 5%RH 条件下でも小さい結果が得られている。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する結果が得られている。まばたきの回数は超低湿度環境で増加する傾向が示されている。超低湿度環境では作業成績が低下する結果が得られている。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ている。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ることが分かっている。被験者の不快感は 5%RH という超低湿度環境でも小さく、デンマーク人に関しては 25%RH までなら生理量に関しても湿度の悪影響は小さいと示した等、今後の日本人に関する超低湿度影響の研究に対して極めて有益な実験結果と認められる。

第 6 章「Humidity and Air Temperature in Aircraft Cabins」では、内部空間の低湿度が指摘されながら、正確な実測例の少ない航空機内における温湿度測定を行っている。航空機は飛行中、内部の気圧が地上と比較して低くなるため、測定に使用した温湿度センサが低気圧環境で使用可能かどうかを確認する実験を行っている。基準器としたアスマン通風乾湿計と、複数の高分子系相对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ている。その結果、高分子電気抵抗式相对湿度センサ及び高分子静電容量式相对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ということを示している。従来、センサ測定値をそのまま使用している研究が多いが、本研究では、低湿度における補正式と低気圧環境下での使用可能性を確認した上で、実測調査結果を示している点で評価に値する。

第 7 章「Conclusive Summary」では、各章の結果を総括している。

以上を要するに、本論文は、湿度の温熱的な側面のみではなく、在室者のコンタクトレンズ装用やアレルギー体質及び室内空気質までを考慮しながら在室者の乾燥感や知的生産性に関して検討を行ったものであり、今後の室内快適環境範囲の設定にも大きく貢献すると考えられる。

本論文は建築環境学の発展に大きく寄与するものであり、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2004 年 2 月

審査員(主査)	早稲田大学理工学部	教授	工学博士(早稲田大学)	田邊 新一
	早稲田大学理工学部	教授	工学博士(早稲田大学)	尾島 俊雄
	早稲田大学理工学部	教授	工学博士(早稲田大学)	長谷見雄二
	早稲田大学理工学部	助教授	博士(工学)	草鹿 仁