

内 3-33

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

「Assessment of Perceived Air Quality for Estimating
Ventilation Requirements in Buildings」

(建築物の必要換気量算定のための知覚空気質評価に関する研究)

申請者

岩下 剛

GO IWASHITA

建設工学専攻建築環境研究

平成 3 年 12 月

理 1525 (1782)

本研究の目的は必要換気量算定のために人間の知覚する空気質を評価することである。

欧米や日本のような先進国の人々は生活時間の80%以上を室内で過ごしているために、室内空気汚染及び換気が在室者に及ぼす影響は大きい。しかし従来、室内空気の健康や快適性へ及ぼす影響に関する研究は特殊な汚染物質の発生する工場等の労働環境におけるものが多く、オフィスや住居、学校等を想定したものは少ない。日本においては室内環境を一酸化炭素(CO)濃度10ppm以下、二酸化炭素(CO₂)濃度1000ppm以下、浮遊粉塵濃度0.15mg/m³以下にするように記述した、いわゆるビル管理法があるが、建材から放たれるホルムアルデヒドや揮発性有機化合物が主な空気汚染源となっているような室においては、ビル管理法の基準を守るだけでは快適な空気環境が得られない。

工業衛生の分野では、衛生学者が、工場等における工業生産過程で発生する有毒な化学物質の一つ一つに対して、その許容最大濃度を定めてきたが、この許容値は単一の化学物質とそれが人間の健康に及ぼす影響の関係に基づいている。しかし住宅やオフィス等の非工業環境では、各々の化学物質が上記の許容値以下の濃度であっても、在室者がその空気環境を「受け入れられない」と知覚することがあり、この工業衛生における基準は快適性の観点からは不十分であると思われる。本研究は、対象とする室が上記した工業衛生環境の許容空気環境基準を満たしているという前提のもとで、なお「受け入れられない」、「いらいらする刺激がある」等の申告があるような環境における空気質を快適性の面から調査するものである。

1973年に起きた石油危機以降、省エネルギーが推進され、建築物の換気量は大幅に引き下げられ、すきま風の侵入を抑える気密性の高いビルが建てられるようになった。それゆえ室内で発生したタバコ煙や体臭等による室内空気汚染は増加し、また、揮発性物質を含む新建材の使用による空気汚染もみられるようになった。ここで、また、換気量を引き上げれば、より良好な室内空気質を得られるようになるが、空調換気が建築物のエネルギーに占める割合は大きく、多大な換気量はエネルギーの浪費である。換気設計を行う際には省エネルギーと許容できる空気質のバランスを考慮することが重要であり、本研究はこのような背景に基づき、被験者実験をとおして実際の換気設計に供しうる基礎技術的知見を提示する

ことを目的としている。

本論文は6章により構成されており、以下にその要旨を述べる。

第1章は、「序論」として、本論文の目的と背景を述べ、近年欧米で報告されている「シックビルディングシンドローム」について記述している。これは、オフィス・住宅・会議室などにおいて、むかつき・吐き気・めまい・食欲減退・頭痛等を訴える居住者が急増するという現象であり、世界保健機構(WHO)でも正式に取り上げられた。シックビルと報告された建築物の空気環境の多くは空気環境基準を満たしており、化学物質濃度も低濃度であるが在室者が不快と申告している。人間の室内空気にたいする感覚を調査することによって必要換気量算定を試みる研究は1930年代に米国のYagiouらによって行われており、近年では米国のCainらやデンマークのPangerらによって行われている。ここでは、Pangerが提案した、人間によって知覚される空気汚染物質の発生強度を評価するための単位であるオルフ(olf)と、知覚空気汚染の度合いを表す単位であるデシポル(decipol)について述べている。

第2章は「体臭による空気汚染制御のための必要換気量」と題し、換気量と被験者の不快者率の関係について考察している。まず、国立公衆衛生院の室内空気環境実験室に、のべ54名の日本人男女大学生を在室させ、彼らから放たれる生体発散物質(体臭)によって汚染された実験室の空気を様々な換気量のもとで、のべ107名の日本人大学生に嗅がせ、その感覚を申告させた。この実験結果から、室内空気を嗅いだ被験者(判定者)のうち、その空気を「受け入れられない」と申告した人間の割合である不快者率とCO₂濃度との関係、及び不快者率と在室者一人当たりの換気量との関係をそれぞれ求めた。その結果、米国暖房冷凍空調工学会の換気基準が定めた許容空気質基準である不快者率20%はCO₂濃度995ppmに相当することがわかった。また不快者率20%を満たすためには7.1 l/s・人(25.6m³/h・人)以上の換気量が必要となった。

Fangerの提案した知覚空気質評価のための単位であるolfとdecipolはデンマーク人の被験者を用いて行った実験に基づいて求められたものであるので、第2章では、Fangerの実験結果と本実験で得られた結果との比較も行った。本実験で得

られた不快者率と1olf当たりの換気量との関係は、Fangerのものによく一致した。これよりolf、decipolの単位は日本人の被験者を用いた研究にも適用できうると考えられる。

第3章は、「ナイーブパネルの使用」と題し、空気環境実験に用いる空気質判定者（パネル）を選定する際に用いる嗅覚テストについて記述した。ここでは、このナイーブパネルを用いて室内空気汚染物質発生量の加法性を調査する実験を行った。まず、早稲田大学空気環境実験室において、リノリウム、ビニールカーペット、ラッカー仕上げ板、タバコ煙、体臭を単独に暴露し、それによって汚染されている室内空気の汚染度を142名のパネルに評価させた。これによって得られた不快者率から各知覚空気汚染物質の発生量（olf値）を求めた。次に上記の汚染物質を2種類組み合わせさせた状態で実験室に暴露し、パネルの申告から、組み合わせた汚染源の発生量を算出した。組み合わせた状態で測定した知覚空気汚染物質発生量と、単独で得られた各知覚空気汚染物質の発生量を合計したものとの関係を求めた結果、両者の相関は高く、知覚空気汚染物質発生強度の加法性が示された。

また、第3章ではナイーブパネルを用いて、室内空気温度が臭気感覚へ及ぼす影響を調べるための実験も行った。空気温度の知覚空気質への影響に関しては、「空気汚染源の発生量の変化」と「人間の臭気感覚自体の変化」の2つが考えられる。ここでは、温度レベルを20℃、23℃、26℃といういわゆる温熱快適域に設定し、それぞれの環境のもとで空気汚染源（タバコ煙、生体発散物質）を発生させ、温度によって知覚空気質評価がどのように変化するかを検討した。その結果、生体発散物質を空気汚染源として用いた実験タイプでは、温度変化による有為な臭気感覚の変化がみられなかった。それに対し、タバコ煙を空気汚染源として用いた実験では空気温度の臭気感覚への有為な影響がみられ、温度が上昇するとともに許容度が低くなる傾向が得られた。

第4章は、「訓練パネルを用いた知覚空気汚染度分布の評価」と題し、室内空気質をFangerの提案した知覚空気汚染度の単位decipolで申告するように訓練されたパネルを用いて、室内各点の空気汚染度の分布を評価する方法を提案した。実

験に先立ち、パネルは参照ガスである4つの濃度段階のアセトンガスにたいする不快度と知覚空気汚染度のdecipolとの関係が理解できるように訓練された。実験中にもこの参照ガスは実験室の前室に設置され、パネルはタバコ煙によって汚染された実験室内空気の知覚レベルを、decipol値のわかっている参照ガスと比較しながら、decipol値を用いて申告した。実験室にはほぼ同じ高さに3つの測定点が設けられており、パネルは各測定点の空気を吸引チューブ及びディフューザーを通して嗅いだ。また、トレーサーガス（SF₆）を実験室内で発生させ、各測定点のトレーサーガス濃度から局所空気齢を算出した。空気齢とは新鮮空気が室内に供給されてから経過した時間のことであり、ある点の局所空気齢はその点における局所換気回数に相当する。4段階の換気回数のもと、上記の実験を行った結果、低換気回数の実験タイプを除いて、測定点の局所空気齢と知覚空気汚染度との相関は高くなった。しかし、換気方式を変化させ、測定点を上下方向に設置した実験においては、空気齢の分布と知覚空気汚染度の分布に違いがみられた。室内空気室分布の評価には単にトレーサーガスを用いて換気効果を調べるだけでなく、実際に知覚される空気汚染度の分布を検討することも重要であると考えられる。

第5章は、「知覚空気汚染度の空気清浄器評価への適用」と題して、従来、粉塵除去の効率等で評価されてきた空気清浄器の効果を、知覚空気汚染物質除去という観点から評価する方法を提案した。一般住宅向けに市販されている5種類の空気清浄器をそれぞれタバコ煙によって汚染された空気環境実験室に設置した。実験は空気清浄器を運転しない状態のセッションIと清浄器を運転するセッションIIから構成されており、実験中は10分おきに訓練パネルが室内空気質のレベルをdecipol値で申告した。空気清浄器運転時と非運転時の粉塵濃度から清浄器の粉塵除去の効率を求めるのと同様に、清浄器運転・非運転状態のdecipol値より、清浄器の知覚空気汚染物質除去の効率を算出した。その結果、空気清浄器の知覚空気汚染物質除去の効率は、粉塵除去効率とは著しく異なっていることがわかり、ほとんどのタイプの清浄器において、知覚空気汚染物質除去効率は粉塵除去効率よりも低い値を示した。

第6章は、「建材による知覚空気汚染」と題し、カーペット・ラバー等の一般住居やオフィスなどで多く用いられている建材による知覚空気汚染度に関する3種類の実験を行った。第1節では、容積の異なる2つの実験室(3リットルと1030リットル)においてカーペット、ラバー、チップボードから放たれる単位表面積当たりの知覚空気汚染物質発生量(olf/m^2)を、訓練パネルの申告する知覚空気汚染度(decipol値)を用いて算出した。その結果、容積の小さい実験室で得られた単位表面積当たりの知覚空気汚染物質発生量の方が、大きい容積の実験室で得られた発生量も著しく大きな値が得られた。この2種類の実験室は換気量は等しくなっているが、換気回数及び室内気流速が異なっているため、この2つのファクターが発生量に与える影響について調査した。2種類の実験室の室内気流速を等しくし、換気回数だけを変えた実験では、2つの実験室における単位表面積当たりの知覚空気汚染物質発生量に有為な違いはみられなかった。しかし、換気回数を等しくし、室内気流速のみを変えた実験では、気流速の速い実験室で得られた発生量の方が、気流速の遅い状態で得られたものよりも有為に大きい値を示した。

そこで、第2節では建材表面の風速が知覚空気汚染物質発生量に及ぼす影響を考察するために、4段階の表面風速を設けた4個の測定箱を用意し、チップボード・カーペット・ラバー・ゴザについてその知覚空気汚染物質発生量の変化を測定した。その結果、全ての建材が、表面風速が増すにつれ単位表面積当たりの知覚空気汚染物質発生量(olf/m^2)が増大する傾向がみられた。これは風速が増すにつれ、知覚空気汚染物質の移動係数が大きくなる現象によるものと考えられる。

第3節では、ラバーを設置した実験室に暴露された在室者の嗅覚疲労に関する実験を行った。4段階の濃度レベルのラバーによる知覚空気汚染に暴露された在室者の知覚空気質申告(臭気強度、許容度、目・鼻・喉への刺激)は暴露時間とともに鈍化し、室内空気をより良好と感じるようになった。タバコ煙に関する既往の研究では、臭気感覚に比べ刺激は鈍化しにくいという報告がされているが、ここで用いたラバーの場合、刺激度も鈍化する傾向がみられた。