

博士(工学) 吉岡誠記

学位論文題名

建築空間における室内空気質の評価と  
空気調和設備による制御に関する研究

学位論文内容の要旨

1970年代を転機に、室内空気質 (Indoor Air Quality:IAQ) に関する多くの問題が注目されるようになってきた。

その背景のひとつには、化石燃料の枯渇や  $\text{CO}_2$  排出量の削減などといった地球環境問題が要請する省エネルギー性向上の観点から、建築空間における高気密化技術の実用が助長され、それに伴い換気量が減少したことが挙げられる。また室内空気質に関する問題は対象となる室内空気汚染物質や建築物の用途、使用状況、使用者などの条件によって非常に多岐にわたり、各種建築物においては適切な室内環境に調整するため、それらの条件にあわせた換気や室内空気汚染物質の除去などを、空気調和設備により機械的に行うことなどが重要となる。

その一方で、民生業務部門の消費エネルギー増加に関連付けられるように、建築分野、とりわけ建築設備の使用にかかる省エネルギー化は重要な課題となっている。

以上のように、各種建築物における空気調和設備の設計と運用計画は、消費エネルギーの抑制と、適切な室内環境の維持という両面をより綿密に考慮する必要があると考えられ、本論文はそれらを念頭に室内空気質の評価と空気調和設備による室内環境の制御方法に関する検討を行い、その成果をまとめたものである。

はじめに、室内空気質の評価として実際の建築物における室内空気質の多元測定を行うとともに、測定データを集計・解析した。対象は北海道の各種住宅(木造住宅、R-2000仕様住宅、ブロック造住宅、RC造住宅、パッシブ換気仕様住宅)をはじめとして、札幌市内主要病院における病室、札幌市介護老人保健施設に加え、省エネルギー型住宅や災害時復興新築住宅などに及ぶ。これらのデータ解析の結果、全体的に冬期の低湿度傾向が確認され、病院の病室や保健施設など中央空調方式を採用している建物ほどその傾向がとりわけ顕著である結果も確認された。室内環境における低湿度傾向は、目や鼻腔、咽頭などの粘膜の乾燥、損傷により細菌やウィルスに対する抵抗力を低下させる可能性がある。また、地下室やブロック造住宅などでは自然放射性物質の濃度がやや高く、また換気量の減少が予想される冬期には特に高濃度になりやすいということがわかった。このように、北海道内における冬期の加湿量不足および換気量不足の傾向が実測調査から推察された。

第3章および第4章では、室内空気質の多元測定結果をふまえ、冬期の施設内感染や室内環境悪化による健康影響がとりわけ懸念される病院等の医療施設や高齢者施設に着目し、室内空気質とそれに関連する空気調和設備や環境管理についての考察を行った。

まず第3章では北海道内の各地域の病院を対象に設備設計に関するデータの収集と集計・解析から、設備システムの構成や運用方法の違いとそれによる室内環境との因果関係についての知見をまとめた。ここでまとめた設備データは、北海道内の100床以上を有する主要34病院を対象にその建築図面から設備計画と設計に必須と思われる項目について抽出、デジタル化したものである。このデータから、対象病院のほとんどで病室における湿度制御が外調機のみによっていたこと、および前述の環境測定を実施した札幌市内主要病院の病室についても全て外調機による加湿のみであったことから、冬期の湿度を適切なレベルで確保するため、外調機での加湿に加え、給気の2次処理における加湿プロセスの追加、または局所的に加湿器を個別設置するなどの必要性が浮き彫りになった。また、加湿方式についての集計では、病院という性質上、ほとんどの病院で中央蒸気式を

採用していたことから、加湿装置の増設には省エネルギー型の加湿方式に関する検討も必要であると考えられた。

第4章では、使用者による室内環境管理の実態を把握するため、全国6地区の特別養護老人ホームおよび介護老人保健施設を対象にした室内衛生環境確保に関するアンケート調査に参加して得られた結果についてまとめた。この調査は、北海道、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府、福岡市の1479件の特別養護老人ホームおよび介護老人保健施設に発送し、648施設からの回答を得たものである。このデータの集計から、特に室内温度・湿度に関しては定期的な測定を実施するなどで注意を払っているものの、実際には「室間温度差」「加湿能力不足」「無加湿設備」を温度・湿度の維持管理上の問題点としている施設が全体の41%、34%、21%となっており、また臭気の問題についても全体の62%の施設から改善が必要である問題として挙げていることがわかった。このように、施設内環境の維持管理の重要性や施設環境向上への意識が見受けられたが、施設の維持管理者を専任しているのは全体の15%であることから、設備等の施設管理に不慣れな職員による対応や、他施設との兼任業務のため管理が行き届かないなどの状況が見受けられ、専任の職員を配置することが望まれた。一方で温度や湿度、臭気に関する問題点については特に、高齢者施設という用途を鑑み、計画・建設段階における設備的な対応の充実化が重要であると考えられた。

第5章では、室内空気質の制御方法の検討や評価に有用であると考え、汚染物質濃度やその室内空間分布をシミュレートするためのプログラム開発を行った。本論文では、予測精度と簡易性の観点から、対象空間における物質移動のモデル化をコンパートメントモデル(単室あるいは多数室)と濃度分布モデルの3種類に分類し、それに対応するプログラムを開発した。応用例として、コンパートメントモデルによる計算プログラムと自然放射性物質であるラドンとその娘核種の崩壊過程に関するプログラムを組み合わせて、屋内ラドンとラドン短寿命娘核種濃度のシミュレーションを実施した。過去の実測調査を計算条件のモデルとし、その実測結果とシミュレーション結果を比較検討した結果、良く一致しており、本プログラムが実用に供しうることを確認した。このようなプログラムは、各種建築物の計画時などにおいて、換気をはじめとする空気調和設備の適切な運転管理の評価に有用であると考えられた。

第6章では、多元測定調査や設備データの解析などから得られた知見をもとに、空気調和設備における室内空気質の制御方法の要点についてまとめた。そして本論文において多く見受けられた冬期の低加湿量とそれに伴い懸念されるインフルエンザなどの感染症防止を念頭に、加湿・滅菌の複合システムの開発に新しく取り組んだ。これは、すぐれた殺菌剤として食品分野で多く利用されている極低濃度次亜塩素酸水を加湿水として用いるシステムであり、湿度レベルの保持と同時に室内浮遊微生物の失活効果をねらったものである。これを、局所式加湿器を利用した場合と中央空調方式にて利用した場合の両方に実際の導入を模擬した試験を行った。前者では導入の前後で浮遊細菌数が30%～50%程度の範囲内での減少が確認され、また後者でも30%～70%程度の減少であったことから、本システムが室内微生物の制御に効果を有することが確認された。また、試験においては加湿ドレン水中に細菌が検出されなかったことから、熱エネルギーを用いない加湿方式として病院などの医療施設への適用も可能であると考えられる。さらに、中央方式への導入では、極低濃度次亜塩素酸水の供給機構以外は従来設備のほとんどをそのまま使用できるため、導入における費用は廉価である。このことは室内環境に関連する問題のいずれについても、それを解決するための手法を研究開発し、現実に広く実践するためには非常に重要である。

このように、本論文では室内環境とそれに関連する設備や環境管理についての多くの調査データを集計・解析した結果から、室内空気質に関連する問題点を明らかにするとともに、その問題点を解決するための空気調和設備の計画・運用方法の検討を実施した。その中で、設備システムの適切な運転管理・計画への適用を念頭に置いたシミュレーションプログラムを開発しその有効性を示した。また、新しい加湿・滅菌複合システムの開発に取り組み、実際の設備への導入試験までを実施することで、本論文における調査結果から実際に多く見受けられた加湿量不足およびそれによるインフルエンザなどの感染症防止に対し有効なシステムであることを示した。さらに、現実的な導入と運用の可能性もあわせて示した。

以上のように、本論文により空気調整工学における室内空気質の評価と制御に関する有用な成果を得たといえる。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 横山 真太郎  
副査 教授 長野 克則  
副査 教授 羽山 広文  
副査 准教授 前田 享史

## 学位論文題名

### 建築空間における室内空気質の評価と 空気調和設備による制御に関する研究

現在、各種建築物における空気調和設備の設計と運用計画において、消費エネルギーの抑制と適切な室内環境の維持という両面をより緻密に行う必要がある。本論文はそれらを念頭に室内空気質の評価と空気調和設備による室内環境の制御法に関する検討を行い、その成果をまとめたものである。

はじめに室内空気質の多元計測を行うとともに、測定データを集計・解析した。対象は各種住宅、病院、介護老人保健施設などに及ぶ。解析の結果、全体的に冬期の低湿度傾向が確認され、病院や保健施設など中央空調方式の建物ほどその傾向が顕著である結果も確認された。室内環境における低湿度傾向は、呼吸器系粘膜の乾燥、損傷により細菌やウイルスに対する抵抗力を低下させる可能性が高い。また、地下室やブロック造住宅では自然放射性物質の濃度が高く、換気量抑制が起こる冬期には特に高濃度になっている現況がわかった。以上、冬期の加湿量不足および換気量不足の傾向が実測データ解析から推察された。

第3章では北海道内の各地域の病院設備に関するデータの収集と集計・解析を行った。設備構成や運用方式の違いとそれによる室内環境との因果関係について考察した。ここでの設備データは、北海道内の100床以上を有する主要34病院を対象にその建築図面から設備計画と設計に必須と思われる項目について抽出、デジタル化したものである。対象病院のほとんどで病室における湿度制御が外調機のみによっていたこと、および前章の環境測定を実施した札幌市内主要病院についても全て外調機による加湿のみであったことから、冬期の湿度を適切なレベルで確保するため、外調機での加湿に加え、給気の2次処理における加湿プロセスの追加、または加湿器を個別設置するなどの必要性が浮き彫りになった。また、加湿方式については、病院という性質上、ほとんどが中央蒸気式を採用していたことから、加湿装置の増設には省エネルギー型の方式に関する検討が必要であると考えられた。

第4章では、使用者による室内環境管理の実態を把握するため、全国6地区(北海道、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府、福岡市)の1479件の特別養護老人ホームおよび介護老人保健施設を対象にした室内衛生環境確保に関するアンケート調査を行い、648施設からの回答結果についてまとめた。特に室内温度、湿度に関しては定期的な測定を実施するなどで注意を払っているものの、実際には「室間温度差」「加湿能力不足」「無加湿設備」を温度・湿度の維持管理上の問題点としている施設が全体の41%、34%、21%となっており、また臭気の問題についても全体の62%の施設から改善が必要としていることがわかった。このように施設内環境維持管理の重要性や施設環境向上への意識が見受けられたが、施設管理者を専任しているのは全体の15%であることから、設備等の管理に不慣れな職員による対応や、他施設との兼任業務のため管理がおろそかになるなどの状況

が見受けられ、専任の配置が望まれた。一方で温度や湿度、臭気に関する問題点については、高齢者施設という用途を鑑み、計画・建設段階における設備的な対応が重要であると考えられた。

第5章では、室内空気質の制御方法の検討や評価に有用であると考え、汚染物質濃度やその室内空間分布を予測するためのプログラム開発を行った。予測精度と操作の簡易性の観点から、対象空間における物質移動のモデルコンパートメントと濃度分布モデルに分類し、それぞれに対応したプログラムを開発した。応用として、コンパートメントモデルによる計算プログラムと自然放射性物質のラドンとその娘核種の崩壊過程に関するプログラムを組み合わせて、屋内ラドンとラドン短寿命娘核種濃度のシミュレーションを実施した。シミュレーション値と実測値を比較検討した結果、良く一致しており、本プログラムが実用に供しうることを確認した。このようなプログラムは、各種建築物の計画時などにおいて、換気をはじめとする空気調和設備の適切な運転管理の評価に有用であると考えられた。

第6章では、多元計測や設備データの解析の知見をベースに、空気調和設備における室内空気質の制御方法について検討した。前章までの冬期の低加湿量とそれに伴い懸念されるインフルエンザなどの感染症防止を念頭に、新たに加湿・滅菌の複合システムを開発した。具体的には、食品分野で活用されている極低濃度次亜塩素酸水を加湿水として用いるもので、湿度レベルの保持と同時に室内浮遊微生物の失活効果を実現したものである。局所方式と中央空調方式にて利用した場合の双方について実際の導入を想定した試験を行った。前者では導入の前後で浮遊細菌数が30%～50%程度の範囲内での減少が確認され、また後者でも30%～70%程度の減少であったことから、本システムが室内微生物の制御に効果的であることが確認された。また、全試験において加湿ドレン水中の細菌が皆無であることがわかり、熱エネルギー消費を伴わない加湿方式として病院などの医療施設への適用が可能との結論を得た。さらに、中央方式では、極低濃度次亜塩素酸水の供給機構以外は従来設備をそのまま使用できるため、導入費用が廉価となると考えられる。このことは室内環境問題のいずれについても、それを解決するための手法として、現実に広く実践できる可能性を示したといえる。

これを要するに、著者の本論文により空気調整工学における室内空気質の評価と制御に関する有用な成果を得た。よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。