

化学物質過敏症の診断・治療施設の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

化学物質過敏症は、化学物質の慢性曝露あるいは急性曝露によって引き起こされる健康障害である。日本では室内空気汚染が原因となることが多いために、「シックハウス症候群」とも呼ばれている。その症状は慢性疲労、筋肉痛、集中力低下、視覚異常、めまい、吐き気、頭痛、身体痙攣など、非常に多岐にわたっており、症状を発現させる物質や、その濃度範囲は個人によってさまざまである。症状が進行すると、多くの物質に、さらに低濃度で反応するようになり、人に近づいて会話することも、外を自由に歩くことも出来なくなる。この健康障害を診断・治療するには、通常の病院では不可能である。その理由は、診察室などの空気中に存在する汚染質が、患者の症状を発現あるいは悪化させるためであり、室内の汚染質を除去した専門の治療施設が必要であった。しかし、国内にその施設は存在せず、化学物質過敏症に苦しむ人々は、治療はもとより診断さえもされず、何の病気か分からずに苦しんでいたのが現状であった。

本論文は、日本ではじめての化学物質過敏症の診断・治療施設を実現するために、要素技術の開発から始まり、モデルルームの建設と検証実験、最終的に化学物質過敏症の診断・治療施設の建設とその性能評価を行った結果についてまとめたものである。

化学物質過敏症の治療施設では、治療施設内の汚染質目標値は TVOC 濃度で $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、NMHC 濃度で $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、パーティクル濃度はクラス 1000(粒径 $0.5\mu\text{m}$) である。目標値は外気より低いいため、汚染質の低減方法は一般居室の低減方法と異なり、換気をなるべく抑え、空気清浄と発生源対策が最も重要なポイントになる。

室内における空気汚染質の主な発生源と化学物質過敏症との関係、その除去方法などについて検討した結果、空気の浄化方法には活性炭フィルタを用いることとした。活性炭フィルタの特徴と問題点を整理したところ、いくつかの課題が浮き彫りになった。治療施設での活性炭フィルタには長寿命が要求されるため、吸着容量が大きい粒状活性炭フィルタを使用する必要があるが、発じんが大きいという問題があった。通常であれば、活性炭フィルタの2次側に HEPA フィルタを設置して発じんを除去できるが、治療施設では、HEPA フィルタから発生する汚染質が室内濃度を上昇させることが懸念された。そこで、これら2つの条件、吸着容量が大きくかつ発じんが少ない活性炭の開発を試みた。要求条件を満たすために、ケイ酸ナトリウムで表面を処理した特殊活性炭フィルタを試作し、性能評価を行った。ベンゼンに対しては同等の除去能力であり、ホルムアルデヒドに対しては、特殊活性炭の有効性を確認できた。また、発じん量は非常に少なかったが、完全には発じんをなくすることができず、HEPA フィルタを活性炭フィルタの2次側に設置できるかどうかについては、検討の余地が残された。

次に、発生源対策のために、化学物質過敏症の診断・治療施設に適合する化学物質発生量の少ない建材について詳しく検討した。施設構成建材についての測定実験を行い、その実験結果に基づき、推

奨まれるべき建材の選定を行った。治療施設の建築部材は、発生量が少ないことのほかに、患者にストレスを与えない意匠であることが重要視されていた。壁・天井についてはホーロー鋼板パネル、床については御影石を採用した。床用の目地剤には、汚染質の発生のない目地剤を開発し、それを採用することとした。ダクトや空調機などの材質は、脱脂薬剤に対する耐薬品性を考慮して SUS304 製とし、ガスケットにはテフロン製のガスケットを採用することとした。什器材料については、意匠上木材が選定条件であったが、発生量のほかに原材料納期やコストを考慮してタモまたはナラを選定した。

以上に述べた要素技術の開発結果を踏まえ、新菱冷熱工業(株)中央研究所内に化学物質過敏症の診断・治療施設のモデルルームを建設した。モデルルームは活性炭フィルタのほか、室内の汚染質濃度を常時測定する「化学物質濃度監視システム」、室内に汚染質を注入して、室内濃度を一定に制御する「化学物質注入システム」を備えている。モデルルーム内の汚染質濃度の評価を行った結果、外気の汚染の影響が大きいことが分かり、外気処理用の活性炭フィルタを設置する必要があることが分かった。低圧損のハニカム活性炭を設置した結果、治療施設の汚染質目標値に対して低い濃度を達成することができたが、外気が高濃度に汚染されている場合には、室内濃度の上昇が見られた。このことから、実際の治療施設では外気処理用の活性炭フィルタには、ハニカム活性炭ではなく特殊活性炭を使用することとした。HEPA フィルタについては、エンドシールを使用しないフィルタを開発し、活性炭フィルタの2次側に設置して汚染質の発生を測定した。その結果、汚染質が発生しないことを確認し、活性炭フィルタの2次側に設置できることを明らかにした。また、空気循環回数を42回/hに下げて濃度測定を行ったが、活性炭フィルタ出口、モデルルーム内および環気中のNMHC濃度はほぼ等しく、室内の建築部材からの汚染質の発生は無視できるほど小さいことを確認した。

続いて、モデルルームでの検証を経て、北里研究所病院内に日本初の化学物質過敏症の診断・治療施設を建設した。診断・治療施設では建設費と維持費は医療費に直結するため、これらを削減する必要がある。また、機械室の面積が制限されたことも相まって、活性炭フィルタの量を小さく、空気循環回数を約30回/hに下げることが必要であるなど、モデルルームより過酷な条件が要求された。その中でも、夏季条件では給気の湿度が高く活性炭が劣化するという最大の問題点が出てきた。この問題点に対しては、活性炭フィルタを環気ダクトに設置する対策を行った。

治療施設の建設後、施設内の汚染質濃度評価を行った結果、施設の目標値 NMHC 濃度 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TVOC 濃度 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、パーティクル濃度クラス 1000 を全て達成した。また、化学物質注入システムの試運転を行い、室内の汚染質濃度を一定濃度で制御できることを確認した。運用開始後、施設の運用管理のために長期測定調査を行った結果、フィルタ出口で VOC 濃度の目標値を超えたが、診察に影響はなく、外気用活性炭フィルタの交換を6ヶ月に1回、循環空気処理用活性炭フィルタの交換を1年に1回とした。

以上のように、本研究において日本初の化学物質過敏症の診断・治療施設のための要素技術の開発、それに基づくモデルルーム、さらに実施設を完成させた。これらの成果は空気調整工学ならびに医療施設工学上極めて有意義と考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 横 山 眞太郎

副 査 教 授 繪 内 正 道

副 査 教 授 長 野 克 則

副 査 准教授 前 田 享 史

学 位 論 文 題 名

化学物質過敏症の診断・治療施設の開発に関する研究

本論文は、日本初の化学物質過敏症の診断・治療施設を実現するために、要素技術の開発から始まり、モデルルームの建設と検証実験、最終的に実施施設の建設とその性能評価を行った結果をまとめたものである。

まず、化学物質過敏症の治療施設内の汚染質目標値として TVOC 濃度で $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、NMHC 濃度で $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、パーティクル濃度はクラス 1000 という検討結果を得た。目標値は外気より低いため、汚染質の低減方法は一般居室とは異なり、換気を抑え、空気清浄と発生源対策を重視する方針をとった。

次に、主な汚染発生源と化学物質過敏症との関係、その除去手法について検討した。浄化手法には活性炭フィルタを用いる方針とした。しかし、治療施設での活性炭には長寿命が要求されるため、吸着容量が大きい粒状活性炭フィルタを使用する必要があるが、発じんが大きいという問題点が浮き彫りとなった。従来の方式であれば、活性炭フィルタの 2 次側に HEPA フィルタを設置して発じんを除去できるが、治療施設では、HEPA フィルタからの微量汚染質が懸念された。そこで、吸着容量が大きくかつ発じんが少ない活性炭の開発を試みた。要求条件を満たすために、ケイ酸ナトリウムで表面を処理した特殊活性炭フィルタを試作し、性能評価を行った。ベンゼンに対しては同等の除去能力であり、ホルムアルデヒドに対しては、その有効性を確認できた。また、量は少ないが、完全には発じんをなくすることができず、HEPA フィルタを活性炭フィルタの 2 次側に設置できるかどうかについては、検討の余地が残された。

次に、発生源対策のために、施設に適合する発生量の少ない建材について詳しく検討した。施設構成建材についての測定実験結果に基づき、推奨されるべき建材の選定を行った。施設の建築部材は、発生量が少ないことのほかに、患者にストレスを与えない意匠であることが要求された。壁・天井についてはホーロー鋼板パネル、床については御影石を採用した。床用の目地剤には、汚染質の発生のない目地剤を開発した。ダクトや空調機などの材質は、脱脂薬剤に対する耐薬品性を考慮して SUS304 製とし、ガスケットにはテフロン製のものを採用することとした。什器材料については、意匠上木材が選定条件であったが、発生量のほかに原材料納期やコストを考慮してタモまたはナラを

選定した。

以上の要素技術の開発結果を踏まえ、診断・治療施設のモデルルームを建設した。モデルルームは活性炭フィルタのほか、室内の汚染質濃度を常時測定する化学物質濃度監視システム、室内に汚染質を注入して、室内濃度を一定に制御する化学物質注入システムを備えている。モデルルーム内の汚染質濃度の評価を行った結果、外気の汚染の影響が大きいことが分かり、外気処理用の活性炭フィルタ設置の必要性が分かった。低圧損のハニカム活性炭を設置した結果、治療施設の汚染質目標値に対して低い濃度を達成できたが、外気が高濃度に汚染されている場合には、室内濃度の上昇が見られた。このことから、実際の治療施設では外気処理用の活性炭フィルタには、ハニカム型ではなく特殊活性炭を使用することとした。HEPA フィルタについては、エンドシールを使用しないものを開発し、活性炭フィルタの2次側に設置して汚染質の発生を測定した。その結果、汚染発生がないことを確認し、活性炭フィルタの2次側に設置できることを明らかにした。また、空気循環回数を42回/hに下げて濃度測定を行ったが、活性炭フィルタ出口、モデルルーム内および還気中のNMHC濃度はほぼ等しく、建築部材からの汚染発生は無視できるほど小さいことを確認した。

続いて、日本初の化学物質過敏症の診断・治療施設を建設した。現実の施設では建設費と維持費は医療費に直結するため、これらを削減する必要があるなど、モデルルームより過酷な条件が要求された。その中でも、夏季の高湿度条件下では、活性炭の劣化が加速されるという問題点が明らかになり、その対策として、活性炭フィルタを還気ダクトに設置する方式を採用した。

治療施設の建設後、汚染質濃度評価を行った結果、NMHC濃度、TVOC濃度、パーティクル濃度の目標値を全て達成した。施設の運用管理のために長期測定調査を行った結果、フィルタ出口でVOC濃度の目標値を超えたが、診察に影響はなく、外気用活性炭フィルタを6ヶ月に1回、循環空気処理用活性炭フィルタを1年に1回交換するという指針を得た。

以上のように、本研究において日本初の化学物質過敏症の診断・治療施設のための要素技術の開発、それに基づくモデルルーム、さらに実施設を完成させた。その成果は空気調整工学ならびに医療施設工学に貢献すること大なるものがある。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。