

論文の内容の要旨

論文題目 パッシブ吸着建材による室内空気中の
化学物質濃度低減対策に関する研究

氏 名 安宅 勇二

本論文は、パッシブ吸着建材の濃度低減性能試験法を開発し、横並びの性能評価ができる試験法を実験ならびに計算流体力学（Computational Fluid Dynamics：CFD）により検証する。また、パッシブ吸着建材の持続性能を評価する方法として吸着等温線を測定し、実際の室内濃度付近での吸着量を評価する。さらに、CFD 解析を行なう際に必要なパラメーターである有効拡散係数の測定法について検討を行なう。

「シックハウス問題」が大きな社会問題としてクローズアップされ始めたのが、1996年頃である。それ以来、特に建材などから放散されるホルムアルデヒドやトルエンなどの揮発性有機化合物（VOCs：Volatile Organic Compounds）による室内空気汚染が大きな問題とされてきた。このシックハウス問題がクローズアップされて以来、約 8 年の間にとれられてきたシックハウス問題への対応は、過去に例をみないほど積極的かつ迅速なものである。厚生労働省（当時厚生省）が 1997 年にホルムアルデヒドに関する室内の濃度指針値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示し、現在まで 13 物質の VOCs に関する濃度指針値を示している。さらに 2002 年には建築基準法が改正され、翌 2003 年 7 月に施行されている。この改正建築基準法では、クロルピリホスの使用を禁止し、ホルムアルデヒドに関しては内装仕上げの制限や機械換気設備の設置義務化などが始まった。また、それに伴い 2003 年 1 月に建築材料などから放散される化学物質濃度測定のための JIS A 1901 -小形チャンバー法- が制定されている。化学物質は、その便利さのために我々の日常生活の中で極めて広く利用されている。化学物質を全く使用せずに住宅やビルなどを建てることは、ほとんど不可能となっている。この化学物質の使用は、建物の品質を大きく向上させ、居住環境の大幅な改善にも大きく貢献している。現在のシックハウス問題は、便利さゆえに多用された化学物質がもたらした副作用ともいえる。また、シックハウス問題の背景には、地球環境問題の観点から省工

エネルギーが強く求められていることも挙げられる。この要求を満たすために、建物の高气密化、高断熱化が急速に進められてきた。しかし、室内空気質を考慮しなかったため、換気量の大幅な低下を招き、室内空気汚染を進行させることになってしまった。

国土交通省では、2000年度に全国約4,600戸の住宅を対象にして室内空気環境の実態調査を行なっている。その結果、ホルムアルデヒドの室内濃度が厚生労働省の指針値を超える住宅が、実に27.3%もあることが明らかにされた。トルエンに関しても、指針値を超える住宅は、12.3%もあった。その後の継続調査では、室内化学物質濃度は低下傾向にある。しかしながら、化学物質濃度は夏季の気温の上昇と共に濃度が上昇することや依然として住まい手の意識が低いことなども影響し、持込み家具などにより室内化学物質濃度が高濃度となるケースもある。また、ホルムアルデヒドの場合、木質系建材に使用されている接着剤（ユリア樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂など）が加水分解することにより、非常に長期間にわたりホルムアルデヒドを放散し続けることがある。このようなことから、特にホルムアルデヒドに関しての対策が必要である。

シックハウス問題への対策としては、化学物質の放散を極力少なくすることや換気により発生した汚染物質を速やかに室外へ排出することである。さらに、吸着材を用いて室内濃度を低減させるといった方法がある。本研究では、この吸着材を利用して室内ホルムアルデヒド濃度を低減させる方法について検討する。

現在、市場には多数の室内濃度を低減すると謳った空気清浄機や吸着建材が流通している。ここで、空気清浄機は動力を使って室内濃度をアクティブに低減する方法である。これに対し、吸着建材はパッシブにその室内濃度を低減する方法ということで、本研究では「パッシブ吸着建材」と定義する。空気清浄機に関しては日本電機工業会（JEMA）がその濃度低減性能について規格化しており、性能評価がなされている。しかしながら、パッシブ吸着建材に関しては、製造・販売メーカー独自の試験法で性能評価が行われている。そのため、統一された試験法で横並びの性能評価が行われていないのが現状である。このため、市場にはあたかも室内濃度低減性能があるかのようにみせかけた製品が多く流通している。

本研究の目的は、パッシブ吸着建材の濃度低減性能試験法を開発し、横並びの性能評価ができる試験法を実験ならびに計算流体力学（Computational Fluid Dynamics：CFD）により開発することである。また、CFD解析を行なう際に必要なパラメーター、特に有効拡散係数の測定法について検討を行なう。さらに、パッシブ吸着建材の持続性能を評価する方法として吸着等温線を測定し、実際の室内濃度付近での吸着量を評価することが有効と考え、吸着量測定法について検討を行なう。本研究での対象化学物質は、ホルムアルデヒドとする。

本論文は以下のように構成されている。

第1章では、化学物質による室内空気汚染の背景と現状を概観した。室内濃度低減手段

の一つとしてパッシブ建材があることを示し、その性能試験法の必要性を説明し、本研究の目的・方向性を示す。

第2章では、室内空気汚染化学物質と室内空気汚染問題に対する取組みを概観する。次に室内空気汚染化学物質の放散量の測定法および分析法について説明する。建材からの化学物質放散量測定法である各種チャンバー法やデシケーター法に関して概説する。既往の研究について概観する。

第3章では、本研究の基礎となる物質伝達に関する基礎事項ならびに流体の数値シミュレーション手法に関して概説する。本研究では、数値解析手法を用いた化学物質放散量予測で用いる低 Re 型 $k-\varepsilon$ model (Abe-Nagano model) と数値解析時の境界条件に関して解説を行う。揮発性有機化合物等のスカラー量の輸送方程式による室内汚染質濃度分布予測法を述べる。第4章、第5章で行う数値解析は本章で示した乱流モデルを用いて行う。

第4章では、パッシブ吸着建材のホルムアルデヒド濃度低減性能試験法を開発する。パッシブ吸着建材の試験法としては、実現象に近い試験を行なう必要があることから、換気のある状態で一定濃度の汚染ガス(ホルムアルデヒド)を流通させる定常法試験を提案する。パッシブ吸着建材は、建材表面の物質伝達性状が非常に重要であることから、建材表面の気流性状を制御できる境界層型小形テストチャンバーを用いて試験を行なう。また、CFD解析により本試験法の有用性を検証し、さらに建材内部で生じる吸着現象のモデル化を行なう。

第5章では、建材からの化学物質の放散や拡散過程の数値モデリングを行なう際、建材・施工材中の化学物質輸送現象を支配するパラメーターである有効拡散係数の同定やデータベース化を行うことが必要となる。そのため、建材中の有効拡散係数を三つの方法「Cup法・Chamber法・水銀圧入法より算出する方法」を用いて測定した結果を示す。

第6章では、パッシブ吸着建材の濃度低減性能試験法として、新たにホルムアルデヒド放散抑制性能試験法を考案し、その試験法の有用性を検証する。また、第4章で提案している定常法試験との対応を確認する。

第7章では、各種建築材料および吸着材の水蒸気ならびにホルムアルデヒド吸着等温線の測定を行なう。パッシブ吸着建材の持続性能を評価する上で第4章、第6章の試験を継続的に行なうことが望ましい。しかし、非常に長期間にわたる試験となることも十分考えられる。そのため、吸着等温線の測定を行なうことによって、持続性能の評価が可能と考えられる。まず、吸着現象を概説する。吸着現象を把握する上で水蒸気吸着の影響を確認することが非常に重要である。このため、始めに磁気浮遊天秤を用いて水蒸気吸着等温線の測定を行なう。その後、ホルムアルデヒド吸着等温線の測定を行なう。この際、磁気浮遊天秤を用いる方法以外に簡易的な方法として、吸着破過試験法を提案する。

第8章では、全体のまとめを行ない、本研究の成果と今後の課題が総括されている。