

論文の内容の要旨

論文題目 パッシブ型換気量測定法の基礎的研究

氏 名 熊谷 一清

1. 研究の背景と目的

近年、シックハウス問題が顕在化してきている。その理由の 1 つとして、省エネルギーや内部結露防止等の観点から住宅の気密化が進み、計画換気を伴わない住宅における換気不足が考えられる。この問題を解決するためには、実際の住宅の居住状態における換気性状を把握する必要があるが、実際に調査されたものは数少ない。また、一般に換気量測定には様々な機器が必要で煩雑であり、居住状態の測定では居住者への負担が大きい。現在、設置が簡便で、居住者にも負担の少ない PFT 法と呼ばれる簡便な換気量測定法があるが、実測結果・測定精度に関するデータが不十分である。PFT 法における問題点として、実大空間における測定精度の検証が行われていないこと、測定器の設置位置は経験と勘によるところが大きく明確な基準がないことである。

また、大空間での換気量測定を行う場合、大量のトレーサーガスの使用が想定され、従来使用されている SF₆ や N₂O などは、地球温暖化係数が非常に高く、地球環境保全の意味で好ましくない。また、トレーサーガス濃度分布のある空間の換気性状評価に必要となる排気口濃度や、空間平均濃度の測定は、従来型の測定機器では困難である。

本研究では PFT 法の実用化を目的として環境条件を制御した実大実験棟における PFT 法の測定精度の検証、実測に基づく、住宅及び小学校における換気性状の把握と、PFT 法を用いる際の問題点の把握、および人体呼気中の CO₂ を用いる可能性を検討した。

また、OP-FTIR(Open Path Fourier Transform InfraRed spectroscopy)を用いて CO₂濃度分布がある室内の換気性状評価を試みた。OP-FTIR とは、赤外線吸収濃度計における装置内検出光路部を直接測定対象空間に設定する装置であり、光路間のトレーサーガス平均濃度の測定が原理的には可能である。大空間において、この装置を用いれば空間平均濃度の測定による換気量や室平均空気齢等の換気性状の評価が期待できる。

2. PFT 法測定精度検証実験

PFT 法を気象条件や換気経路の変化の影響がある住宅実測等に用いる前段階として、気象条件を制御した実大実験棟において測定器の精度の検証を行う。制御された空間を対象として PFT 法を用いて換気量測定を行い、従来の測定法の測定結果と比較することで測定精度を検証する。その発展的な内容として、PFT 法ではトレーサーガスを数種類使用した場合、これまでの測定法では測定困難であった室間の換気量を得ることが可能になる。4 種類のトレーサーガスを使用して実験棟を対象に室間の換気量をファンで制御した状態を作り、PFT 法により制御した室間換気量を測定することができるかを検証する。

2.1 人工気象室における PFT 法測定精度検証実験

2.1.1 実験概要

実験は東北工業大学の人工気象室にておいて行った。PFT 法は 9 点で、ステップダウン法（以後、SD 法）は 27 点で測定を行った。室の換気回数が 0.5 回/h になるようにファンの風量を調節した。また、内外室は等温に設定し測定を行った。

2.1.2 実験結果

SD 法と PFT 法を比較した結果、排気口直下に設置された測定点 a を除くと、PFT 法は測定誤差 10% 以内で SD 法の測定結果と一致した。測定点 a の換気回数が大きい原因として、パッシブサンプラーが排気口の吸込み気流の影響を受け、ガスがうまく捕集できなかつたと考えられる。

3. 4 種類のトレーサーガスを用いた PFT 法実験

3.1 実験概要

実験は東北大学の換気実験棟にて行った。1 階と 2 階ともに廊下を挟んで左右にそれぞれ同じ大きさの部屋を設けている。1 階と 2 階は吹き抜けによって空間的につながっている。延床面積は 78.9m²、室容積は 163.9m³、相当隙間面積は 3.30cm²/m²である。換気実験棟をトレーサーガスが 4 種類あるため、実験棟内を 4 つのゾーンに分ける。1・2 階共に西部屋の扉をスタイロフォームで塞ぎ、それぞれ 1 つのゾーンとする。東部屋の扉は開放し、廊下と併せた 1 つのゾーンとする。ゾーン間のスタイロフォームには小型ファンを取り付け、換気量を制御した。1 階と 2 階間の吹き抜け部分も同様に、ファンを取り付けたスタイロをはめ込み換気量の制御を行った。換気方式は第 1 種換気システムで、1・2 階のすべての部屋に機械給気をし、1・2 階の西部屋より機械排気を行った。換気システムの風量、室間ファンの風量はそれぞれの室の換気回数が 0.5 回/h になるように調節した。各室の温度は各室備付けのエアコンで 16℃に一定とした。

給排気口、室間ファンの風量は風量計を用いて、外気導入量は一定濃度法によって測定した。トレーサーガス源の設置場所は各部屋の給気点であり、サンプラーの設置場所は部屋の中央である。今回はドーザー、サンプラー共に高さ 1.8m に設置した。

3.2 実験結果

小型ファンを使用して制御した室間の空気交換量と一定濃度法による外気導入量の実験結果を、に

PFT 法による空気交換量の実験結果を示す。実験結果を比較すると PFT 法の 1 階の空気交換量が制御した風量に比べて若干大きい値となったが、それ以外は比較的良好な対応を示した。

4. 居住状態における住宅の換気性状把握

4.1 実測概要

次に、気象条件の変動や換気経路の変化などの影響が考えられる実際の住宅において PFT 法を用いて換気量測定を行い、換気性状を把握すること、および実現場で PFT 法を用いる際の問題点について検討した。調査は 2001～2005 年に 39 戸の住宅であり、その気密性能は約 9 割の住宅で $5\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下の気密住宅であった。調査では PFT 法と一定濃度法によって換気量測定を行った。

4.2 測定結果

一定濃度法では約 5 割の住宅において換気回数が 0.5 回/h を下回る換気不足が生じていた。PFT 法では換気回数 0.5 回/h を下回る例が少なかった。また、PFT 法の測定結果より換気回数が 1.5 回/h 以上と非常に大きい住宅がみられた。これらの住宅では測定時に窓開けが行われたため、換気経路が変化し、換気回数が過大評価されたと考えられる。

4.3 一定濃度法と PFT 法の比較

同時期に測定した一定濃度法と PFT 法の測定結果の比較を示す。一定濃度法と PFT 法の換気回数の誤差は最大で約 40%程度であったが、回帰分析を行ったところ有意確率 1%以下であり、有意な関連が見られた。35 邸は測定時の風速が強かったため、一定濃度法による測定がうまく行えず換気回数を過大に評価してしまった。

5. 居住状態における小学校の換気性状把握

5.1 実測概要

教室の適正な換気方法について、明確な設計指針が定められていない。以下では、児童が在室状態での小学校教室の実態調査を行い、在室人数や窓、扉の開閉記録と CO_2 濃度から小学校教室の換気性状の把握を目的とした。測定は神奈川県的小学校計 4 校で 2004 年 11 月から 12 月にかけて比較的外気が温暖な時期に実地した。学校の形状は、小学校で典型的な片廊下型南向き教室の校舎で行い、各校、普通教室 2 室、特別教室 1 室の計 3 室、普通教室は校舎中央の上下階に位置する教室、特別教室は校舎の端部上階に位置する教室を対象とした。測定項目は CO_2 および温湿度のほか、窓、扉の開閉状況、児童人数は、授業毎に測定者が校舎を回り、目視で記録した。

5.2 結果および考察

教室内 CO_2 濃度の経時変化 CO_2 濃度が 1500ppm を超える頻度に関し、時限による傾向をみるため、全データの時限別平均をとった。休みのない時間に連続する授業の場合は、時間経過に伴い CO_2 濃度は上昇し 1500ppm を超える傾向がみられる。 CO_2 濃度と在室者及び窓、扉の開放面積との関係について検討した。その結果、児童が滞在する時間は、 CO_2 濃度が蓄積され徐々に濃度が高くなる。このように教室内の CO_2 濃度には、児童数のみならず、濃度の蓄積効果が無視できない。

続いて、各校各室の窓、扉の開放面積の一週間平均と換気回数を逆数濃度平均法により検討した結果、窓、扉の開放面積と換気回数には相関が見られ、特別教室は開放面積が小さく、換気回数も少ないという結果となった。

以上より、窓の開閉状況と換気回数のある程度の相関を得るなど、呼気中の CO_2 濃度の測定による空間の換気性状評価の可能性が示唆された。

6. OP-FTIR を用いた換気性状評価に関する基礎的研究

6.1 背景および目的

OP-FTIR は光源から赤外光を射出し、離れた位置に設置したコーナーキューブ型反射鏡により反射された光を再び集光する。入射、反射赤外光の測定により、測定光路上のトレーサーガスにより減衰する特定波長の、透過光強度および、入射吸光度と透過光強度の比の対数関数である吸光度が把握される。この値をベールの法則により濃度換算し、測定光路上のトレーサーガス平均濃度を算出することから、OP-FTIR により光路間の空間平均濃度の測定、そして大空間の換気性状評価への適応の可能性について検討を行った。

6.2 光路長による濃度補正

測定対象トレーサーガスとなる CO₂ 濃度と吸光度の検量線を作成する。ベールの法則により光路長が固定されていれば、吸光度と濃度は比例関係となる。気密チャンバーの中に OP-FTIR をセットし、チャンバー内の CO₂ 濃度を 0~3000ppm として、濃度と吸光度の関係から固定光路長(1.21m)当たりの吸光度と CO₂ 濃度の検量式を得る。一方、空間内を一樣混合状態とした CO₂ ガスを対象にこの式を用いて濃度換算すると、OP-FTIR による濃度は CO₂ 濃度計によるものより高くなったが、その差は光路長との相関が見られた。そこで、補正值と光路長の対応関係を回帰式で表し、回帰式による補正を加えたところ、OP-FTIR による濃度は濃度計のものと比較的良好に対応したが、個別に見ると濃度レベルによって過大過小評価する傾向が見られた。そこで、引き続き吸光係数による補正を試みる。

6.3 室平均空気齢の測定

室の換気性状の評価には空気齢の測定が多用されるが、濃度分布がある室の平均空気齢は、多点の空気齢測定値の平均を取るか、排気口濃度の時間一次モーメントで求めるのが一般的である。OP-FTIR では、空間平均濃度の直接測定が可能なので、平均濃度による室平均空気齢の測定を試みた。また、光路長による補正を行った場合との比較も行った。実験対象空間を 2 部屋に仕切り、空間における濃度のばらつきを模擬する。インバーターとファンを使用し、測定室内の空気を一箇所に集め排気した。OP-FTIR で求められる室平均 CO₂ 濃度と、CO₂ 濃度計で求められる A 室 B 室の平均濃度、また排気口の CO₂ 濃度によりそれぞれ CO₂ 濃度の減衰過程から室平均空気齢を算出した。CASE1 では、仕切りで A 室と B 室の容積比を 1 対 1 とし、CASE2 では、1 対 2 とした。測定光路長間に濃度分布がある場合でも、OP-FTIR による測定結果と CO₂ 濃度計での測定結果はほぼ一致した。OP-FTIR による室平均空気齢測定結果は、CO₂ 濃度計による室平均空気齢測定結果と概ね対応した。

7. まとめ

環境を制御した実大実験棟において PFT 法は一定の精度で測定ができることを確認した。実際の建物において換気量測定を行ったところ、多くの住宅において換気不足が生じていたことと、現場で PFT 法を用いる際の問題点について明らかにした。

小学校教室の室内空気環境に関し、呼気中の CO₂ 濃度を測定して逆数濃度平均法を適用することにより、換気回数の測定が可能となり、CO₂ の蓄積の影響は、児童数によって考慮される。また、逆数濃度平均法により得られた換気回数と窓、扉開放面積には相関が見られた。

OP-FTIR は空間において CO₂ 濃度のばらつきがある場合も、空間平均 CO₂ 濃度測定が可能であり、室平均空気齢測定などに用いることができる。また、OP-FTIR による測定結果は、ベールの法則に対応しないが、補正に際しては、光路長による補正を行うことにより高精度の濃度測定が可能となることを確認した。