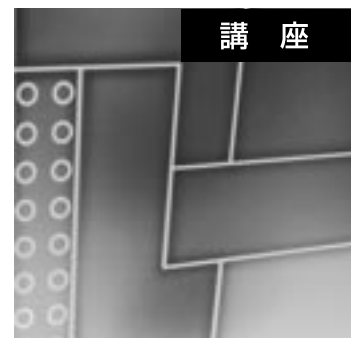


換気—通風・気密性(4)

換気性能・気密性能の評価法

内海 康雄 宮城工業高等専門学校 正会員

キーワード：換気 (Ventilation), 気密 (Airtightness), 性能評価 (Performance Evaluation), 換気量測定 (Ventilation Rate Measurement)



はじめに

室内環境において、建物のすきまが多くなれば、暖冷房のためのエネルギー消費量が増えるなどの問題が起こる。ここでは、換気にかかわる問題とすきまを関係付けたうえで、気密性能の表し方と測定法を分類・整理して、その原理を述べる。また、必要換気量を満たすだけでなく、室内の空気分布に基づいて空気の質を扱う換気効率という考え方がでてきているが、これについて考え方や定義を概説する。さらに、換気量や換気効率を用いた換気の計画やそれらの評価のより所となる各種の基準を分類し、国内外の例を紹介して、換気量と換気効率の測定法について、その機器構成や手順を概説する。

1. 換気と気密性の関係

1.1 換気に関する問題

すきまが大きいために起こる問題としては、暖冷房負荷の増加のほかに、暖房時のすきま風や室内の上下温度差が大きくなるために起こる足元の寒さなどによる局所的な不快感がある。また、すきまが大きければ自然換気量が増えるので、機械換気を行っても計画した換気性能が確保されないおそれがある。

気密性能と断熱性能を高めれば、これらの問題には対処できるが、高气密化すると自然換気量が少なくなるため、換気量と換気経路が不適切であると、許容値を超える汚染物質やにおいなどの知覚空気質に関する問題が起こる。これらについては、これまで述べてきたような換気計画の手順を踏むことにより対応することができる。

1.2 すきまはどこにあるか

建物におけるすきまは建物外周のすきまと室間のすきまとに分けて考えられており、建物のすきまという場合には多くは前者を指す。後者については、間仕切り扉のガラリなど明らかにわかる場合を除いては、通常はないものとして扱われる。

建物外周のすきまは外壁そのものよりも、サッシなどの開口部周りや各種のシャフト、換気口やコンセントなど、建物や外壁の一部あるいは全体を貫通する部材とその取り付け部分にあることが多い。住宅においては、サッシはJISの等級に応じて気密性能が確保されており、開口部の部材

や外壁そのものは、気密シートを貼る際に十分に重ね合わせるなどの措置がされており、気密あるいは気密性能がわかっていると考えてよい。

一方で、大きさと場所が目には明確にみえないすきまがある。気密試験をすると、サッシなど部材の既知のすきま量と合わせた、外周全体のすきま量が測定できる。その位置を知りたい場合には、建物の内外に圧力差を与えて、開口部の枠組み、壁と床の召合せ部などに煙をあてて、その動きから位置を特定できる。スモークテスター、線香などが使われる。また、室内外に圧力差と温度差をつけたまま、全体の赤外線熱画像を取って、すきまから洩れる空気の経路の温度変化を観察するという方法もある。

すきま量の大きさを知りたい場合には、知りたい部分を気密なシートで覆って、シートの有無に応じて気密試験を行う。得られる二つのすきま量の差が知りたいすきま量の大きさになる。

1.3 必要な気密性能

機械換気を行う際に気密性能が低いと、制御できない自然換気量が増えてしまうので、必要換気量を機械換気のみで確保できなくなる。すなわち、機械換気はある程度高い気密性能を持つ建物で行われなければ、計画された性能が発揮されない。

2. 気密性能の評価方法

2.1 気密性能の表し方

開口部の前後の圧力差による空気の流れを考えて(第79巻1号 pp.71 図-2 参照), 気密性能は開口部の大きさ, すなわちすきま量として表わせる。窓やすきまなどの開口部の大きさや形状, 流れの経路の状態などと, その前後の圧力差 Δp [Pa] に応じて空気の流れが起きるが, 流量と圧力差の関係は実験式として次式のように表わせる。

$$Q = Q_0 \Delta p^{1/n} \quad \dots (1)$$

Q [m³/(Pa^{1/n}・s)] は係数であり, n (1 n 2) はすきまの特性値と呼ばれる。 $n = 1$ のときが層流であり, 2 のときが乱流である。すなわち, すきまを通じての流量は Q_0 と n の二つの値で表わせる。

次式

$$Q = \alpha A \sqrt{2 \Delta p / \rho} \quad \dots (2)$$

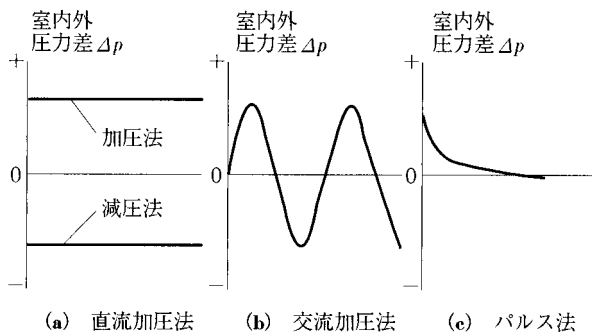


図-1 すきま前後の圧力のかけ方

と合わせて、流量 Q_0 を A で表現する。式(1)、(2)を連立させて整理すると次式となる。

$$\alpha A = Q_0 \sqrt{\rho / (2 \Delta P)}^{1/n-1/2} \quad \dots\dots(3)$$

上式は、ある参照圧力におけるすきま量を定義している。測定データが同じでも参照圧力により値が異なるので注意を要する。欧米では4 Pa、日本では9.8 Pa(1 mmAq)が用いられる。

2.2 気密性能の測定法

気密性能は式(1)における Q_0 と n の値で表わされるので、すきま前後の圧力差 Δp を幾つかの値に設定して Q を測定すれば求めることができる。

室内外の圧力差の設定方法としては図-1に示すような方法がある。

- 1) 直流加圧法：圧力差 Δp を時間変化しない一定値として与える。室内側の圧力を大きくする加圧法と、室内側を負圧にする減圧法があり、もっとも広く用いられる。風速が静穏なことが必要である。
- 2) 交流加圧法：周期的に時間変化する値として圧力差 Δp を与える。風速が静穏でなくても測定ができるが、データ処理が複雑になる。
- 3) パルス法：最初にある大きさの Δp を与えて、その後自然に減衰するままにする。

一般には、時間変化しない一定圧力をかける加圧法、あるいは減圧法が広く用いられており、図-2に示すような装置構成となる。使用する機器は、ファン、ダクト、ダクト流量の測定装置、室内外圧力差の測定装置である。測定手順の概略は以下のとおりである。測定時には、室内外の気温、風速などの実験条件が記録される。

- 1) 外壁の小さい窓などに押し出し発泡ポリスチレンなどをすきまができないようにはめ込み、外壁を貫通するダクトを設置する。
- 2) 内部の間仕切りなどは開放する。自然換気口などの計画された開口部の開閉の状態、トラップの封水の有無の確認などを行う。
- 3) ダクトに接続したファンの回転数を制御して、室内外の圧力差を数段階(最大50 Pa程度で5~6段階)に

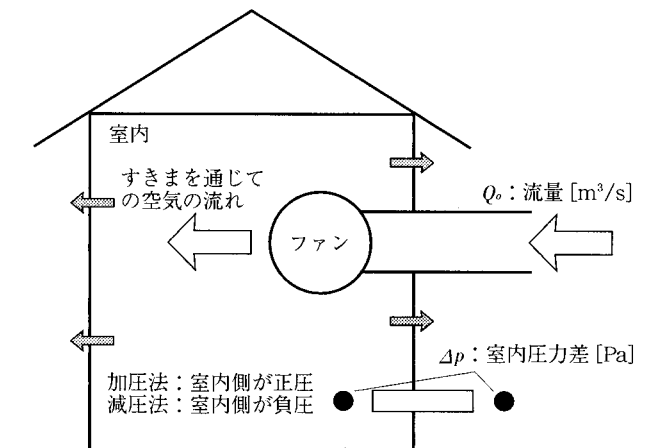


図-2 加圧法によるすきま量の測定

設定して、そのときの流量を同時に測定する。

- 4) 得られた Δp と Q のデータから、式(1)に最小二乗法を適用して、 Q_0 と n を求める。

- 5) 参照圧力 P_{ref} に基づいて、式(3)を用いて Q_0 はすきま量 αA に換算される。

3)、4)の計算については、現場において片対数グラフ上で概算値を求める方法もあるが、市販されている気密性能の測定機器があり、パソコンに組み込まれたプログラム上で即時に求めることもできる。

室内側を一定圧力にする方法には、室内側を正圧にする加圧法と、負圧にする減圧法がある。加圧法ではサッシなどのすきまを外に押し広げるように圧力がかかるので、一般に減圧法の値よりも大きいすきま量を与えることが多く、安全側の測定法と考えられている。

すきま量の測定は、戸建てや集合住宅について、建物全体を単室としてこれまでに数多く行われており、例えば文献1)に一覧が示されている。一方、オフィスビルは規模が大きいため測定された例は多くはない。オフィスの外周はすきまが少ないと考えられているが、エレベータ・シャフトなど垂直に貫通する高低差の大きいすきまは、浮力による自然換気を促進する大きな煙突とみなせるので留意する必要がある。またすきまの特性値 n は住宅については $1/n = 0.65$ という値が、多くの測定例をもとに提案されている²⁾。

室間のすきまについては幾つかの測定法が提案されているが、一般には間仕切り壁のすきまは無視して、間仕切り扉やアンダカットなど明確に眼に見えるものを扱っている。ただし、居住者の行動により開閉の度合いが異なるため、スケジュールを考えねばならないという面がある。

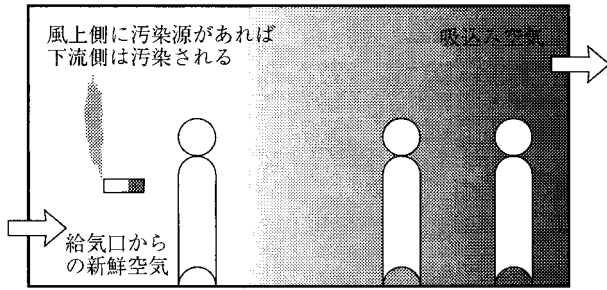


図-3 空気の流れと空気質

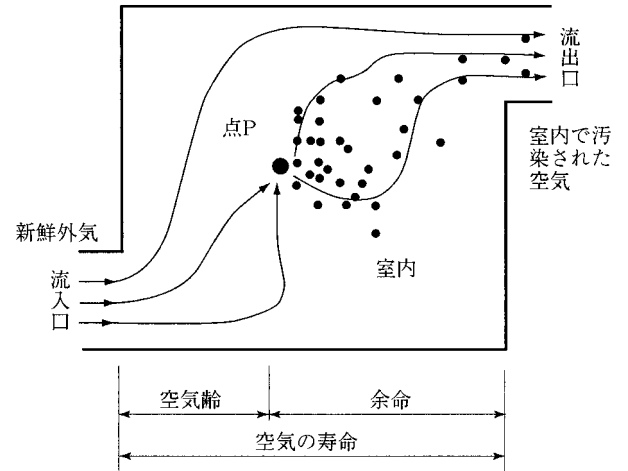


図-4 空気の寿命

3. 換気性能の評価の方法

3.1 換気量と質

従来から、換気の対象となる空間では汚染質の希釈を基本としているため、温度や空気は一様に分布されるとして計画されている。すなわち、換気設計において必要換気量が定められ、現実の室においてその量の実現されていれば、問題は起きないと考えられている。これは、室内空気が一様に混合されている際には適切な考え方である。このような換気の性状は、すでに述べたザイデルの式(第2回式(3))で適切に把握できる。

一方、第1回で述べたように、給気が一様に室内に拡散せず、室内の空気分布を考えねばならない場合が多くなっている。実際、室の給気口の近くにいる場合は、排気口の近くにいるよりも新鮮な空気を呼吸している。図-3のように空気流れの上流側に喫煙があれば、下流側に汚染された空気が提供されることになる。この際には換気量は確保されていても、居住域の下流側には汚染された空気が供給されることになる。

室内空気における各種物質の濃度計測機器の発達により、濃度分布の計測が以前より容易になってきた。また、コンピュータの高性能化とその利用技術の発展により、CFDなどもよく使われ、空気分布のシミュレーションができるようになってきている。これらにより近年では、換気量だけでなく、室内空気の分布からその質を評価できるようになっている。

3.2 換気効率

一様分布からさらに詳細な取扱いができる換気効率という考え方ができてきている。換気目的に応じて、さまざまな指標が提案されているが、代表的なものとして空気齢、空気交換効率、基準化居住域濃度、廃気捕集率などがある。空気齢の定義については、第1回で説明しているので、参照されたい。

空気齢は次のように式で定義される。まず、時刻 $t=0$ において流入口から入る空気の塊を考える。この塊に含まれる分子の一部は、室内の点Pにおける微小空間 δV にくるが、さまざまな経路を通過するので図-5のように

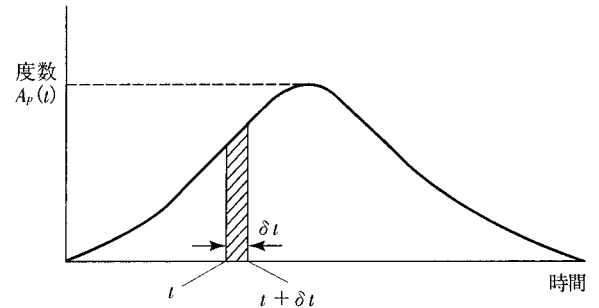


図-5 ある点に到達する空気の度数分布

その数(度数 $A_p(t)$)は時間により変化する。時間 t と $t + \delta t$ の間の δt 時間に点Pに到達する分子数は、図中の斜線部の面積、すなわち $A_p(t) \times \delta t$ なので、時刻0から t までに到達する分子総数 $F_p(t)$ は次式となる。

$$F_p(t) = \int_0^t A_p(t) \delta t \quad \dots\dots (4)$$

よって無限時間にわたり、点Pに到達する分子総数は次のようになる。

$$\int_0^\infty A_p(t) \delta t = \text{度数分布曲線で囲まれる面積} = 1 \quad \dots\dots (5)$$

ここで、度数分布は点Pに到達する分子総数に対する比で表わされている。

流入口から点Pまでくる平均時間を、次式のように図-5の縦軸周りのモーメントで与え、局所空気齢 τ_p と呼ぶ。

$$\tau_p = \frac{\int_0^\infty t \cdot A_p(t) \delta t}{\int_0^\infty A_p(t) \delta t} = \int_0^\infty t \cdot A_p(t) \delta t \quad \dots\dots (6)$$

局所空気齢を室内全体で空間平均すれば、室平均空気齢 τ となり、室全体としての代表的な空気齢がわかる。

また、対象空間の容積を外気量で除した名目換気時間 τ_n [h] を、局所空気齢 τ_p で除した局所空気交換効率 ϵ_p がある。

$$\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{\tau_p} \quad \dots\dots(7)$$

この指標は室内の各点の給気の分配性能を表し、大きければそこでの新鮮な空気の割合が大きい。

τ_p の代わり τ を用いた、室の空間平均的な空気分配性能を表わす指標として、平均空気交換効率 η がある。

$$\eta = \frac{\tau_n}{\tau} \quad \dots\dots(8)$$

完全混合の場合には1、ピストンフローでは2となり、1より小さければ短絡流による滞留域が生じていると推定される。

これらの二つの指標は、名目換気時間で基準化されているので、異なる室の間でも性能比較ができる。

また、居住域に着目した指標として基準化居住域濃度 C_n があり、ある汚染質が完全混合されたときの濃度 C_p に対する、実際の室内の居住域平均濃度 C_a の割合で表わされる。

$$C_n = \frac{C_a - C_o}{C_p - C_o} \quad \dots\dots(9)$$

ここで、 C [m^3/m^3] は取入れ外気の汚染物質濃度である。この値が1より小さければ完全混合の状態よりも多くの取入れ外気が、居住域に供給されていることになる。

これらの換気効率の指標は、気流性状と汚染質の発生位置により決まる基準化された値であり、換気方式や給・排気口の配置による性能の違いが評価できる。例えば、室の片方からもう一方へ筒状に流れるピストンフロー、あるいはプラグ流れの場合には換気効率がよく、その点で置換換気は優れていることが知られている。

4. 換気に関する基準

4.1 換気基準の役割

換気にかかわる基準・規格は、建材や換気設備などの建物の性能、人間の活動、建物に持ち込まれるもの、外部の気象条件などの換気に関する要因のうちで、人間が計画・制御できる範囲内において規定されており、換気性能や気密性能の評価をする際の一つの根拠とすることができる。

多くの基準があるが、次のような傾向がみられる。

- 1) 換気計画において必要換気量はすべて新鮮外気としており、隣室からくる空気は対象としていないか、汚染の程度に応じてクラス分けをしている。
- 2) 人間の活動による汚染物質と、建材など建物自体から発生する汚染物質を分けて、それぞれについて必要換気量を考えたうえで、全体の必要換気量を求めている。
- 3) 換気効率の考え方が取り入れられている。基準に

よっては、換気効率が大きければ換気量の低減を可能としているものがある。

4.2 換気基準の分類

換気の基準は、次のように分類できる。

- 1) 換気計画の全般に関するもの：居住環境や労働環境を対象として換気に関係する項目全般を規定しており、主に設計段階で用いられる。仕様規定や性能規定があり、後者がある場合には換気計画によって換気性能の差が現れる。
- 2) 建物の気密性能に関するもの：気密性能の水準を示すものや気密性能の測定方法を示すものなどがある。
- 3) 建物の換気性能に関するもの：室の換気量測定の方法を示すもの、個別の換気機器・装置・システムなどに関するもの、換気装置の設置・調整・維持管理などに関するものがある。

このほか、ほかの基準や法規、例えば建築基準法の開口部の規定のなかに換気に関するものが含まれる場合もある。

各国の基準の一例として、空衛学会の換気性能設計法小委員会(平成12~14年度、小林信行委員長)と換気設計小委員会(平成15年度、吉野博委員長)で扱った主なものを付録として挙げる。なお、各国の換気基準をまとめた文献³⁾がある。

5. 換気量と換気効率の測定法

5.1 測定の原理・分類

換気量の測定は、建物に設置されている換気システム自体と建物内の室空間とについて考えられる。換気システムを構成するファンやダクトなどの換気機器は、それぞれの性能をカタログ値などで把握でき、測定法がJISなどで定められており、それに基づいて引渡し前に機器やシステムの検査が行われている。

室空間については、単純化して建物全体を単室として考える場合と、多数室として考える場合がある。室として対象とする範囲は、ある一つのつながった空間であり、外気やほかの室と空気をやり取りする量がその室の換気量となる。

室内の空間では眼にみえないすきまを通じた漏気などがあるため、換気量を風速計などの測定器により直接には測れない。そこで、換気の経路上にトレーサガスを発生させて、換気量に応じて変化する濃度を測定して換気量を求める方法が用いられる。これはトレーサガス法と呼ばれ、広く用いられている。

換気量を測定する際には、多くの場合に対象空間の濃度分布は一様としたうえで、トレーサガスの発生量と濃度、換気量の関係をザイデルの式(第2回式(3))で表して、換

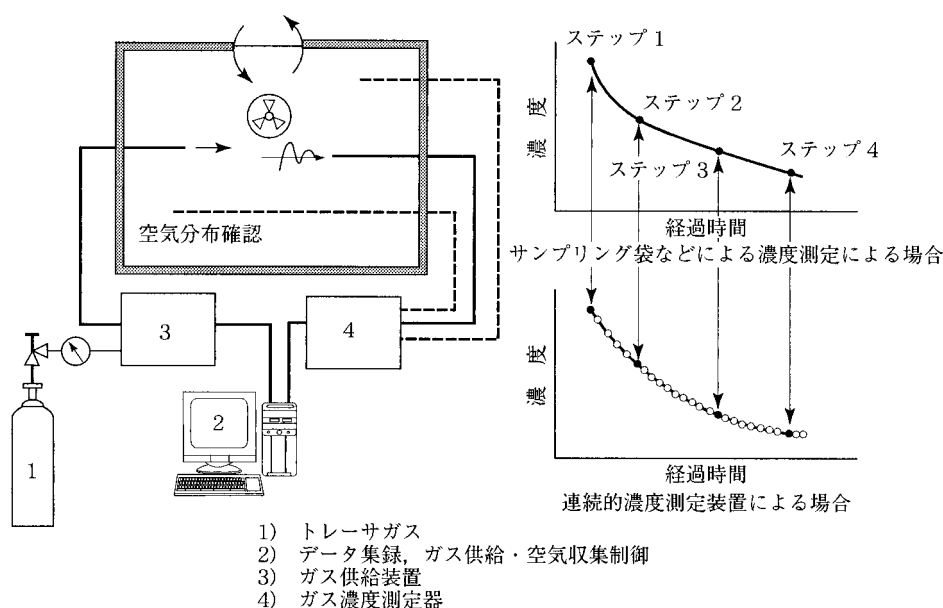


図-6 トレーサガス減衰法の概要

気量を求める。換気量の測定例は、文献4)に多くの例が載っている。

一方、換気効率の測定では、室内の濃度分布があるままの状態で行い、求めるべき換気効率に応じた計算式(後出)でその値を求める。

5.2 トレーサガスによる換気量の測定法

(1) 単一空間についての測定法の種類

閉鎖された単一空間(単室)として扱って、かつ通風のよう大量の空気の入替えない空間を対象とする。トレーサガスの発生法により、濃度減衰法、連続発生(供給)法、濃度上昇法、一定濃度法などがある。測定時の換気量変動や使用できる機器などに応じて、適切な方法を選択する必要がある。

(2) 測定装置の構成

測定には、トレーサガスを発生・分配する装置、サンプル空気を捕集する装置、サンプル空気のガス濃度を測定する分析器、データ収集・制御システムなどが必要となる。比較的多く用いられる濃度減衰法の装置構成を図-6(SHASE-S 116-2003のpp.12 図-4「トレーサガス減衰法の概要」)に示す。使用できるトレーサガスは、CO₂、SF₆などの数種類がある。

(3) 測定の手順

手順は採用する方法によらず1), 2)までは共通であるが、3)以降は異なる。ここでは、単室の濃度減衰測定における手順の概略を示す。

- 1) 建物側の準備：内部ドアを開放し、外部開口は閉じる。換気システムの運転などについては、どのような建物の使用状態で測定するか決めて、条件を設定する。

- 2) 補助的な測定：測定対象ゾーンや建物内の主なゾーンの室温を測定・記録する。外部の気温・風速・風向きも記録する。換気システムの作動状況や開口など、換気に関する状態を合わせて記録する。ゾーンの大きさを測定する。

- 3) ステップ1：トレーサガスを供給・放出してかくはんし、空間的な濃度分布確認と、減衰の初期濃度の測定のための標本を得る。
- 4) ステップ2：減衰過程の1回目の標本を得る。
- 5) ステップ3：減衰過程の2回目の標本を得る。なお、追加の2回の標本を得るのが望ましい。
- 6) ステップ4：減衰過程最後の濃度測定と、空間的な濃度分布確認の標本を得る。

得られた標本のガス濃度を測定したうえで、ザイデルの式に基づく次式中の換気回数 N [1/h] を最小二乗法で求めて、測定寸法から求めた容積にかければ換気量が求められる。

$$\log_e Q(t) = \log_e Q(t_i) - N(t - t_i) \quad \dots (10)$$

ここで、 $Q(t)$ [m³/m³] はある時刻 t におけるトレーサガスの濃度である。

なお、簡便な方法としてPFT法がある。この方法は、トレーサガスとしてパーフルオロカーボンを用いる。トレーサガスを発生するドーザーと呼ばれるチューブと、トレーサガスを吸着するパッシブ・サンプラーと呼ばれるチューブ数本を用いる。あらかじめ住宅の図面から場所を決めてドーザーを設置して、10日から数週間経過した後回収して、パッシブ・サンプラーのトレーサガス量から換気量を求める。

ほかの方法も合わせて、詳細は文献(付録2)の1))を

表-1 各種方法における空気齢の算出式

	パルス法	ステップアップ法	ステップダウン法
局所空気齢	$\frac{\int_0^t t \cdot C(t) dt}{\int_0^t C(t) dt}$	$\int_0^t \left(1 - \frac{C(t)}{C_s}\right) dt$	$\int_0^t \frac{C(t)}{C(0)} dt$
室平均空気齢	$\frac{Q}{2V} \frac{\int_0^t t^2 C(t) dt}{\int_0^t C(t) dt}$	$\frac{Q}{V} \int_0^t \left(1 - \frac{C(t)}{C_s}\right) dt$	$\frac{Q}{V} \int_0^t t \cdot \frac{C(t)}{C(0)} dt$ または、 $\frac{\int_0^t t \cdot C(t) dt}{\int_0^t C(t) dt}$
t : 時間 [s] $C(t)$: 時刻 t の点 p でのトレーサ濃度 $C(t)$: 時刻 t の排気口でのトレーサ濃度 C_s : 給気口内のトレーサ濃度 $C(0)$: 室内のトレーサ初期濃度 V : 室容積 [m ³] Q : 給気流量 [m ³ /s]			

参照されたい。

(4) 多数室の換気量の測定

多数室の測定は、対象とする空間が増えるために複雑になるが、以下の方法が行われている。

- 1) 各室のトレーサガスの種類を変えて、単室の測定法を同時に各室に適用する方法であり、マルチトレーサガス法と呼ばれる。
- 2) 単一のトレーサガスを用いて、順番に各室に上述の方法を適用する方法であるが、測定が長時間になるため外部気象の変動による換気量への影響が大きくなる。
- 3) 各室においてパルス状に単一のトレーサガスを、時間間隔を置いて断続的に発生させ、各室の濃度変化を測定する。測定データに最小二乗法を適用して、システム同定を行って換気量などを求める。

5.3 トレーサガスによる換気効率の測定法

(1) 測定法の種類

トレーサガスの発生方法により換気効率の算出法が異なり、次のような方法がある。

- 1) パルス法：給気口においてトレーサガスをパルス状に発生させて、測定点での濃度変化を測定する。このため、濃度変化は図-5に似る。パルス状にガスを注入することが重要である。
- 2) ステップアップ法：給気ダクト内において一定量でガスを注入して、上昇する濃度変化を測定する。この際、流入口において一様な濃度で放出させることが重要である。
- 3) ステップダウン法：測定開始時にトレーサガス濃度を空間内で一様にしておいて、濃度の減衰を測定する。減衰法による換気量の測定と同様に、開始時の濃度の一様性が重要である。

ステップアップ法とステップダウン法が多く用いられる。パルス法とステップアップ法から求めた局所空気齢は、すきまから漏入する外気を評価することはない。一

方、ステップダウン法による局所空気齢は、この漏入する外気も含んだ値となるので注意が必要である。

各方法による空気齢の算出式の一覧を表-1に示す。

(2) 測定装置の構成

トレーサガスを発生・分配する装置、サンプル空気を捕集する装置、サンプル空気中のガス濃度を測定する分析器、データ収集・制御システムに加えて、風量測定装置などが必要となる。風量測定装置は空調システムの風量を知るために必要であるが、トレーサガスを用いて同時に求めることもできる。

(3) 測定手順

換気量の測定とほぼ同じであるが、各手法により設定や手順の詳細が異なる。基準化居住域濃度の測定方法については、文献(付録(3)の1))に示されている。

おわりに

換気にかかわる問題とすきまとの関係を述べて、気密性能の表し方と測定法を説明した。また、換気量だけではなく質を表す換気効率の考え方を示して、それらを評価、あるいは測定する際のより所となる基準などを分類して例を紹介した。換気量と換気効率の測定法についてもその分類と手順の概略を述べた。換気量と換気効率については、関連する学会基準に詳細な記述があるので、現場で測定する際の参考にしていただきたい。

今回は、換気の計算方法に関して、計算モデルと換気計算の方法について説明する。

付 録

(1) 換気計画の全般に関する基準

- 1) 空気調和・衛生工学会：SHASE S 102 2003 換気規準・同解説 Ventilation Requirements for Acceptable Indoor Air Quality(2003), pp.1~32
- 2) ANSI/ASHRAE 62.2-2004, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating, and Air

Conditioning Engineers(01 Dec 2004)

- 3) ANSI/ASHRAE 62.1 2004, Standard 62 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (31 Dec 2004)
- 4) CEN CR 1752: Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment, British Standard[15 Apr 1999(ヨーロッパ)], pp.1~76
- 5) Indoor Atmosphere and Ventilation of Buildings, Regulations and Guidelines 2003, FIN, Ministry of the Environment, Department of Housing and Construction, IND 2002 0271 FIN EN 20020805(ヨーロッパ)

(2) 建物の換気量の測定に関する基準

- 1) 空気調和・衛生工学会 : SHASE S 116 2003 トレーサガスを用いた単一空間の換気量測定法 Ventilation Rate Measurement of a Single Zone Using Tracer Gas Technique(2003), pp.1~33
- 2) DIN EN ISO 12569, Thermal performance of buildings Determination of air change in buildings Tracer gas dilution method(ISO 12569 : 2000); German version EN ISO 12569 : 2000, DIN adopted European adopted ISO

Standard(01 Mar 2001) p.22

(3) 建物の換気効率の測定に関する基準

- 1) 空気調和・衛生工学会 : SHASE S 115 2002 室内換気効率の現場測定法・同解説 Field Measurement Methods for Ventilation Effectiveness in Rooms(2002), pp.1~20
- 2) ANSI/ASHRAE 129 1997, Measuring Air Change Effectiveness, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers(07 Apr 1997), pp.1~19

参 考 文 献

- 1) 建築環境・省エネルギー機構 : 住宅の次世代省エネルギー基準と指針(2001), p.199
- 2) M. Orme, M. Liddament and A. Wilson : An Analysis and Data Summary of the AIVC's Numerical Database, Technical Note 44(1994), Air Infiltration and Ventilation Centre
- 3) Mark J. Limb : A Review of International Ventilation, Airtightness : Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria(2001) AIVC
- 4) 池田耕一 : 室内空気汚染のメカニズム(1992), 鹿島出版会
(2005/2/15 原稿受理)