

室空気清浄設計



技術解説

檜崎正也*

まえがき

健康で快適な空気状態になるように建物および設備を計画・設計・管理する基本的な考え方を述べる。ここで云う空気清浄とは通常、空調機に設けられている集塵器などの空気浄化機能だけでなく、新鮮外気を室内に導き、汚染空気を希釈浄化する換気も含めている。

近年、省エネルギーのため建物の気密化・換気量の軽減化が推進され、北欧や北米ではSick Building Syndromが注目されている。これは換気の不足以外に、合成樹脂系家具・建材の使用、在室時間の増大による良質な室内環境への要望、健康に対する意識向上などの社会的背景も原因している。わが国では室内空気汚染はまだ欧米ほど問題になってないが、既に浴室廃ガスの逆流による人身事故が発生するなどしており、このまま放置すれば大きな社会問題となろう。

1. 空気清浄設計の基本的考え方

空気清浄化は次の二面から計画する。その一

つは主な空気汚染質をあるレベル以上にならないように計画する。もう一つは最小限必要な換気を常に確保する。この両面から決まる外気取り入れ量の大きい方を採用する。勿論、室空気に含まれている汚染質全てをチェックし、それら個々の影響度だけでなく、それらの総合した影響度も把握出来れば、最初の計画だけでよいが、現状では微量な汚染質に対する影響度や複合汚染に対する評価は十分でなく、必要な最小限の換気が要求される。

2. 室空気清浄モデル

現在、最も有効な空気清浄法は新鮮外気による換気である。しかし、換気だけに頼ると、熱環境の悪化や熱負荷の増大など好ましくない状況を招く場合もあり、省エネルギーの面から必要最小限の換気に止めるべきである。このために、(1)窓・出入口周りの隙間からの漏気を極力小さくする一方、ファンや換気口による換気制御が望まれる。(2)在室者のように汚染源が固定しない時、全般換気に依存するが、燃焼器具のように汚染発生が多量で固定している時、

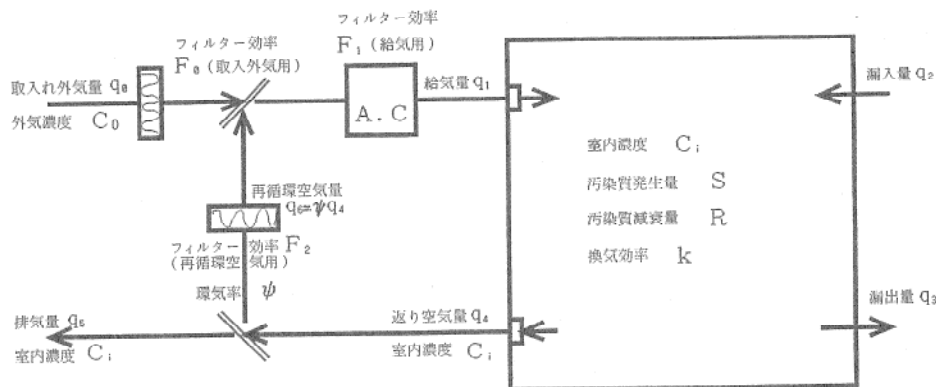


図1 室空気清浄システムモデル

* 檜崎正也 (Masaya NARASAKI), 大阪大学工学部建築工学科, 教授, 工学博士, 建築工学

出来る限り局所排気にすべきだ。近年パッシブスモーキングの弊害がクローズアップされており、事務室などでは喫煙コーナーや喫煙室を設け、局所排気することが望まれる。

図-1に室空気清浄システムモデルを示す。

室空気質基準を遵守するための外気取り入れ量は汚染発生量、外気濃度、風量などを定常と考え、次式より求める。

$$q_0 + q_2 = q_5 + q_3 \quad (1)$$

$$q_1 = q_0 + q_6 = q_0 + \psi q_4 = q_0 + \frac{\psi}{1-\psi} \cdot q_5 \quad (2)$$

$$C_i = \frac{k\{(1-F_0)(1-F_1)q_0 + q_2\}C_0 + S}{k\left[\frac{1-\psi\{1-F_2-(1-F_2)F_1\}}{1-\psi} \cdot q_5 + q_3\right] + E} \quad (3)$$

ここで、

q_0 : 外気取入れ量 [m³/h]

q_1 : 給気量

q_2 : 漏入量

q_3 : 漏出量

q_4 : 返り空気量

q_5 : 排気量

q_6 : 再循環空気量

C_i : 室内濃度

C_0 : 外気濃度

ψ : 環気率

F : 空気清浄装置の捕集効率

(F_0 : 取入れ外気用 F_1 : 給気用)
(F_2 : 再循環空気用)

S : 室内汚染発生量

R : 室内汚染物質減衰量

E : 室内汚染物質の減衰比例常数 $R = EC_i$

k : 流入空気の換気効率

実際には時間的にも空間的にも汚染発生や風量などが変動するため、設計用室内汚染濃度は十分安全側にしなければならない。

一方、事務室では室定員に対する在室率は0.2-0.8と大幅に変動する。故に外気取り入れ量を常に室定員に対して運転すると、室空気汚染はかなり低レベルとなり、熱経済上負担大である。そこで、室空気のCO₂濃度を逐次検知して、それに対応する外気取り入れ量制御すれば、エネルギー消費や装置容量を大幅に低減することが出来る。

3. 禁煙時の事務室の設計

通常の事務室での汚染源は在室者・家具・建材・複写器・汚染外気などが挙げられる。これらの内、在室者が最も強力な汚染源と考えられている。

昔から大勢の人が集まる室でしばしば在室者は頭痛・吐き気など不快を訴えている。人の新陳代謝に必要な新鮮外気量は僅かであり、呼吸によるCO₂濃度の増加に比例して、粉塵・細菌・体臭などが増加すると考え、CO₂濃度を室空気汚染の指標とみなし、これをあるレベル以下に抑えるように換気量を規定している。近年、Yaglou (1936年)らの体臭に基づく必要換気量¹⁾は世界各国で広く受容され、わが国でもほぼこれに遵守して換気基準が決められている。

建築基準法の換気基準では、居室の場合、床面積の1/20以上の換気に有効な窓および開口部を設ければよい。ただし、この様な開口が設けられない時、1人当たり20m³/hの換気をすればよいことになっている。また、延べ床面積3,000m²以上で中央管理方式空調機を持つ建物ではビル管理基準の空気質基準、CO₂で1,000ppm、COで10ppm、粉塵で0.15mg/m³を遵守しなければならない。CO₂を1,000ppm以下に保つには、取り入れ外気量をほぼ30m³/h・人以上にしなければならない。そうすると、在室者の体臭を外来者が殆ど不快に感じない空気質になる。²⁾

1972年のオイルショック以後、各国で省エネルギー化が計られ、従来の換気量規制の根拠が曖昧で、過大に過ぎるとして、米国ではいち早く省エネルギー基準 (ASHRAE62-1981) で必要換気量を8.5m³/h人 (これはCO₂が2,500ppmに相当) とした。所が、このような省エネルギービルで頭痛・おう吐・目のいらいらなど不快を訴える人が続出した。これは在室者の体臭汚染だけでなく、家具・建材・複写機などから放散されるホルムアルデヒド・尿素アルデヒド・オゾンなどの所為であると言われている。³⁾

換気量基準を決める明確な根拠はないが、米国は必要換気に関する大きな実験を行った結果となり、現在では省エネルギー基準を撤去し、

元の基準値, $30\text{m}^3/\text{h}$ 人に戻している。

禁煙時の事務室では粉塵は集塵器である程度ろ過可能であり, CO_2 濃度 $1,000\text{ppm}$ 以下に保持すれば, 良好な空気環境を維持出来ると考えられる。ただし, 現在の空調機は CO の浄化機能を備えてないので外気中の CO がそのまま侵入するため, 外気取り入れ口は自動車の廃ガスや隣接建物の排煙を直接吸い込まない位置に設けなければならない。

4. 喫煙時の事務室の設計

喫煙により粉塵, CO , NO_x , アンモニア, アセトアルデヒド, ピリジンなど $4,000$ 種類以上の生成物質が発生し, 目・のどへの刺激, 不快な臭い, 見透しの悪化などの障害を誘発する。また, 主流煙よりも副流煙に有害物質が多く含まれていると云われ, 間接喫煙が問題となっている。1970年に制定されたビル管理法に基づく空気環境調査で, 粉塵濃度規制値 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を上回る不適合ビルが当初半数以上もあったが, その原因が喫煙であることが判明し, 喫煙規制をするようになり, 大幅に不適合ビルは低下した。喫煙によって発生する汚染質のうち粉塵の増加が最も顕著であり, 通常, 喫煙による空気汚染は粉塵濃度をチェックすれば, 他の汚染質もほぼ満足する状態を保つことができる。⁴⁾

喫煙による発生粉塵は粒子径が小さく, $0.2-0.4$ 前後で, 多量であるため, 通常のアート機によるろ過効果は少ない。タバコ銘柄によりタール含有量が異なり, 発塵量も異なる。発塵量 $[\text{mg}/\text{h}]$ は燃焼速度 $[\text{mm}/\text{min}]$ にほぼ比例する。しかし, 喫煙長さが等しければ, その発塵量 $[\text{mg}/\text{本}]$ はほぼ等しい。通常の喫煙状

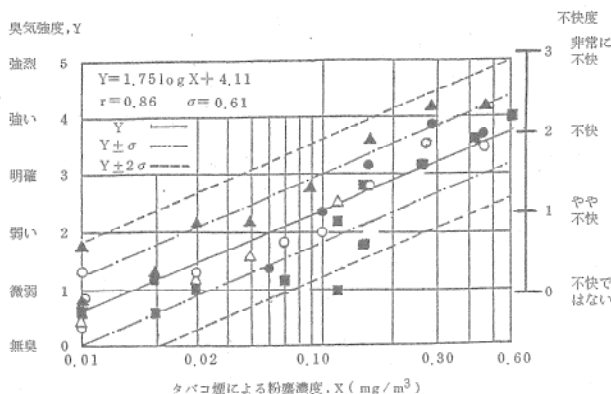


図2 タバコ煙による粉塵濃度と主観評価

態ではほぼ $15\text{mg}/\text{本}$ とみなせばよいだろう。⁵⁾

また, タバコ銘柄が違ってても, そのタバコ臭の違いはあまりなく, 粉塵濃度と臭気強度の相関はかなり良い(図-2)⁶⁾。臭気不快度を1(やや不快)以下にするためには, 臭気強度を2.4以下, 即ち粉塵濃度を $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下に保つ必要がある。

今, 在室人員100人の事務室で, 男女構成比7:3, 喫煙者率が男62%, 女15%とすると, 在室者のうち喫煙者はほぼ50人となる。この喫煙者の平均喫煙量を 1.5 [本/h人]と仮定すると⁵⁾, この室の粉塵発生量は

$$50\text{人} \times 1.5\text{本}/\text{h人} \times 15\text{mg}/\text{本} = 1,125\text{mg}/\text{h}$$

この粉塵を新鮮外気で希釈して, 許容濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下にするための外気取り入れ量は次のようになる。

$$1,125\text{mg}/\text{h} \div 0.15\text{mg}/\text{m}^3 = 7,500\text{m}^3/\text{h}$$

この室で, CO_2 基準による必要換気量はほぼ $3,000\text{m}^3/\text{h}$ であるから, 喫煙時には換気量を大幅に増やさなければならない。従って, 事務室では喫煙制限や喫煙室を設けるなどの分煙対策を取る必要がある。

5. 火気使用室の設計

室内で燃焼器具を使用すると, O_2 が減少し, CO_2 と H_2O が多量に発生する。燃焼は必ずしも完全燃焼とは限らず, 不完全燃焼により有毒性の強い CO が発生する。通常の燃焼器具では空気中の CO_2 濃度が19%以下になると急激に CO 発生が多くなる。⁷⁾また, 近年, 燃焼による NO_2 の発生が注目されている。わが国の環境基準値は $0.04-0.06\text{ppm}$ であるが, 開放型石油ストーブを使用するとその数十倍にもなると云われている。

建築基準法では室空気の O_2 濃度が0.5%以上低下しないことを目安に, 開放型燃焼器具を使用する場合, 理論廃ガス量の約40倍以上, 燃焼器具上方に排気フード(捕集効率50%以上)を設ける場合, 理論廃ガス量の約20倍以上, また半密閉型燃焼器具の場合, 2倍以上を換気することを義務づけている。

近年, 暖房用や給湯用熱源機器を屋外に設置することが多く, 問題は少なくなっている。し

かし調理器具は屋外に出す訳にはゆかず、その設置法について色々と提案されている。⁸⁾

ここで住宅のDining-Kitchen(床面積10m², 天井高2.5m)について考えて見よう。調理用1口ガスコンロ(13Aガス, 消費ガス量0.18m³/h, 発熱量2,000Kcal/h)を使用すると, CO₂発生量0.22m³/h, 理論廃ガス量2.2m³/hとなる。室内CO₂濃度をいくらまで許容するかは種々に意見が別れると思うが, 一応, CO₂濃度0.5%以下(これは作業場の許容濃度で, O₂濃度20.5%以上を維持)にするための換気量は44m³/hとなる。建築基準法では必要換気量は88m³/hである。最近の住宅は気密になり, 窓・扉を閉鎖した時, 換気回数は1回/h以下, 即ち換気量25m³/h以下であるから, 換気口をあけるとか, 換気ファンを使用しなければならない。

レンジフードファンを設けると, 基準では1口コンロだけならば排気量は44m³/hで良いが, 普通, 厨房には2口或いは3口コンロの使用やオープンなどの同時使用を考え, レンジフードファンは150(弱)–400(強)m³/hの排気能力を持つものが設置されている。

近年, 集合住宅の高層化に伴い, 厨房を住戸の中央に配置する間取りが増えており, 上記のようにフードファンの大量の排気が原因となって, 室内外圧力差が著しく増大し, 隣接居住空間を通過して外気が侵入し, コールドドラフトや熱負荷の増大を招いたり, また, 玄関ドアなどの開閉を困難にするなど種々の問題が生じている。このような排気による弊害をなくすために, 調理空間に給気する給排気方式が種々試みられている。この場合, 給気が効率よくコンロからの廃ガスと一緒に排出される様に, また, フードの廃気捕集率に悪影響がない様に配慮しなければならない。しかし, 実際にはこの給気により室内気流が乱され, フード捕集率を下げたり, 天井付近の汚染空気を攪はんし, 室空気汚染を増す場合が多い。現在, 我々の研究室では, フードの排気量, 給気量, 給気口形状, などと廃気捕集率, 給気捕集率さらに隣接室の空調負荷の関係を総合的に検討し, 最適な給排気方式設計のための資料作成を行っている。

参考文献

- 1) P. Yaglou etc., "Ventilation Requirements", ASHRAE Trans., Vol. 42, 1936, pp. 133
- 2) M. Narasaki, "Ventilation Requirements in Building for Control of Body Odor", 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Berlin, August 1987, Vol. 3, pp. 277–282
- 3) N. R. Patterson, "Comfort and Indoor Air Quality", HPAC, Vol. 63, No.1, Jan., 1991, pp. 107–111
- 4) 入江, 他「喫煙による室内空気汚染について」ビルの環境衛生管理, 1983, No.7, pp. 1
- 5) 日本建築学会編「建築設計資料集成1, 環境」丸善, 1978, p.153
- 6) 梶崎, 「喫煙に基づく必要換気量算定のための基礎的研究」建築学会大会梗概集, Aug., 1986, pp. 347
- 7) 吉沢, 「煙突なしストーブの必要換気量について(9)」建築学会関東支部研究報告, 1974
- 8) 梶崎, 他「住宅厨房の給排気設計に関する基礎的研究」建築学会近畿支部研究報告, 1985, pp. 13–16
- 9) M. Narasaki etc., "Assessment of Kitchen Ventilation System with Supply Air and Exhaust Devices", 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Tronto, July 1990, Vol., 4, pp. 419–424
- 10) 于, 他「ガスレンジを使用した厨房の局所給気方式に関する研究(ガスコンロの下方周辺からフードに向けて給気する場合)」空気調和・衛生工学会近畿支部研究報告, March, 1991, pp.139–142
- 11) 于, 他「ガスレンジを使用した厨房の局所給気方式に関する研究(排気フードの周辺から下方に給気する場合)」建築学会近畿支部研究報告, May 1991