201

ビデオ画像輝度値減衰法による室内通風模型の換気回数測定精度に
及ぼす実験条件の影響について東京工芸大学 工学部 入江謙治[○]、大場正昭

Study on Effects of Experimental Conditions on Measurement Accuracy of Air Change Rates in a Cross-Ventilation Model Using Step Down Method of Video Image Signals

Kenji IRIE and Masaaki OHBA

Air change rates in a cross-ventilation model were measured from decay curves of video image signals by the step down method under the perfect mixing assumption. From the wind tunnel experiments, the following results were drawn. 1) The proposed calibration method could measure the air change rates with a precision accuracy of more than 73 % even for the low dynamic ranges of cameras to adjust black balances of images. 2) For oil mists as tracer, the laser power of more than 0.5 watt was enough to visualize the mist movements in the model for the air change rates. 3) The air change rates obtained by the video image method was proportional to the reference velocities. 4) The maximum image signals in the case for the smoke liquid mists was lower than those for the oil mists due to the smaller particle diameters. 5) The results of air change rates measured by video image method could have good agreements with those derived from decay curves by the tracer gas method using a high-speed hydrocarbon analyzer

1. 目的

前報¹⁾に引き続き、ビデオ画像による換気回数測定法の測定精度に及ぼす実験条件の影響について検討したので報告する。

2. 濃度減衰法による換気回数の算出式

瞬時一様拡散を仮定し、吸着を無視すると濃度減衰過程の濃度として次式を得る¹⁾。

$$C = C_o + (C_1 - C_o)e^{-(Q/V)t} \quad (1)$$

両辺で対数をとると

$$\log|C - C_o| = -\frac{Q}{V}t + \log|C_1 - C_o| \quad (2)$$

を得る。横軸に時間 t を、縦軸に濃度 $|C - C_o|$ をとり、片対数グラフ上に記入することにより、グラフの傾きから換気回数 Q/V が算定される。

3. 実験概要

3.1 風洞 長さ1800mm、幅300mm、高さ500mmの吹出し型風洞。

3.2 室内通風模型 図-1に示す。前報¹⁾と同じ長さ200mm、幅290mm、高さ300mmの2次元模型を使用した。前報で撮影中に生じた煙チャンバーからの煙の流入をカットするために、煙チャンバーの孔は上部のスライド式の蓋で密閉した。また流出口にも開閉式の蓋を取

C:室内濃度 C_o :外気濃度 C_1 :室内初期濃度 Q :換気量 V :室気積
 V_p :色票番号 t :時間(sec) E :レーザー出力(watt) I :画像信号値
 I_o :背景画像信号値 I_c :校正後の画像信号値 I_{max} :画像信号最大値
 F :相対頻度 U_o :軒高風速(m/s) N_o :オゾンナイルの換気回数(回/s)
 N_s :ステーク液の換気回数(回/s) N_g :ガス濃度の換気回数(回/s)

Fig.1 Cross-ventilation model

Fig.2 Analysis point model

Fig.3 Linearity of video image signals using gray scale charts

[○]Tokyo Institute of Polytechnics, 1583 Iiyama, Atsugi, Kanagawa

り付けた。

3.3 画像測定

(1)画像計測システム 既報²⁾の画像計測システムにより測定を行った。風洞床面に室内通風模型を設置し、加熱により発生した煙ミストを、蓋で流出口が閉ざされた模型内に挿入した。煙ミストを一定量(室容積比 0.15)溜めた後、煙チャンバーの蓋を閉めて流出口の蓋を開放してから煙の減衰を撮影した。照明はアルゴンイオンレーザーを風洞上部のガルバノレンズにより幅 1mm のレーザーシートを作成して模型に照射した。撮影には SONY の DXC-M7 型カメラを使用した。

(2)画像処理方法 分解能8ビットでモノクロ映像を連続的に768フレーム取り込むことができるライブラリー社の画像処理機ひまわり(画素数 512×512、ホストコンピュータGateway2000)により、図-2に示す測定点について近傍演算処理して画像信号値を得た。サンプリング間隔は 2.0Hz~30Hz。

(3)実験条件 トレーサーはプロピレングリコールを主成分とするスモーク液(ダイニチ工業)とオンジナオイルを用いた。軒高風速は 0.25m/s~2.5m/s、ミストの室容積比は 0.15 とした。レーザー出力は 0.25W~5W、カメラのダイナミックレンジは 1~7 まで変化させた。ダイナミックレンジは映像の明るさ調整を行うもので、通常はレンジ6を用いる。実験は各5回行い、5回の信号値を加算平均して換気回数を算出した。

3.4 ガス濃度測定 濃度 100%のエチレンガスと空気の混合ガスを模型内に排出し、定常濃度に達した後、排出を止め、高速度炭化水素分析計 THC-1A(テクニカ)で測定した。軒高風速を 0.25m/s~2.5m/s で 0.25m/s 間隔で変化させて、各5回測定を行った。いずれの風速においても定常濃度が 1%になるようにエチレンガスと空気の混合比を調整した。分析計の特定数は 48Hz。サンプリング周波数は 30Hz。

4. 実験結果及び考察

4.1 無彩色色票による M7 型カメラの特性について

換気回数の測定に先立ち、白色光で照らされた無彩色の明度標準色票を撮影することにより、カメラの感度特性を調べた³⁾。作業面照度は 500lx。図-3に結果を示す。ダイナミックレンジ5では明度番号2以下で画像信号値が0まで減衰し、幅広い明度の判別はできなかった。レンジ6とレンジ7では幅広い明度にわたり画像信号値が得られたが、低い明度での画像信号値の直線性は低下した。

4.2 カメラのダイナミックレンジの影響について

カメラのダイナミックレンジを 1~7 まで変化させて、図-1に示す模型内の煙減衰を撮影した。トレーサーはオンジナオイル、軒高風速 0.5m/s、レーザー出力 4W とした。図-4に画像信号値の減衰分布を示す。解析は図-2に示す点について行った。ミスト量が多い撮影開始後間もなくは画像信号値が飽和していたが、およそ5秒

Fig.4 Relationship between dynamic ranges of camera and decay distributions of image signals

Fig.5 Relationship between dynamic ranges of camera and air change rates

Fig.6 Decay distributions of calibrated and non-calibrated image signals

Fig.7 Calibration curves in case for dynamic range 1 and range 6 of camera

Fig.8 Relationship between dynamic ranges and air change rates after calibration of image signals

経過後減衰を開始した。レンジ1は画像信号値が0.3以下で急激な減衰を示した。これは図-3に示したように、明度6以下での感度特性が低下するためである。図-5に換気回数の算出結果を示す。各レンジごとに画像信号最大値 $I_{\max}$ と画像信号最小値 $I_{\min}$ の間で回帰直線を最小自乗法により算定し、その傾きより換気回数を求めた。低いレンジでは直線近似できる範囲は狭く、回帰誤差は大きかった。また、レンジ間の最大偏差 $[(N_{\max} - N_{\min}) / N_{\min}]$ は72%であった。ダイナミックレンジを上げるに従いカメラ感度は向上し、直線近似できる範囲が延びた。また、煙が減少した暗がりでも画像信号値が得られるようになり、回帰精度は向上した。

4.3 画像信号値の較正について

低いレンジの直線性を向上させるために、次のような較正方法を検討した。図-6に示すレンジ1における較正前の画像信号値減衰分布において、回帰直線の算定範囲を、始点として、撮影開始直後に生ずる画像信号値の平衡状態を除いた $I_{\max}$ の90%となる点を選び、終点は直線性の低下がみられた0.2までとした。次に直線性の低下が著しい0.3以下の信号値について平滑化処理を施した後、回帰直線の傾きを真値とし図-7(1)に示すレンジ1における較正曲線と較正式(3)を得た。0.3を超える信号値は補正しなかった。

$$I_c = 13.3I^7 - 58.3I^6 + 103.4I^5 - 93.7I^4 + 44.7I^3 - 9.8I^2 + 1.3I + 0.1 \quad (3)$$

同様の手法で、レンジ6に関して信号値が0.2未満について較正を行った。図-7(2)に較正曲線を示す。0.1以下で僅かに直線性が低下しているものの良い直線性が得られていた。図-8に画像信号値を較正して算定した換気回数とダイナミックレンジの関係を示す。較正後、レンジ間の最大偏差は36%に減少した。なお換気回数の算出範囲は、図-5との整合性から $I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$ とした。

4.4 レーザー光容量の影響について

カメラのダイナミックレンジを6、軒高風速0.5m/sとし、レーザー出力を0.25~5.0Wまで変化させて撮影を行った。図-9に示す画像信号値の減衰分布では、0.5W以上の減衰分布は、ほぼ同じ直線性を示した。前述のように、レンジ6では信号値の直線性が良かったので、感度較正は施さなかった。図-10に画像信号最大値の分布を示す。レーザー光容量の減少に伴い、画像信号最大値は3W未満で顕著な減少を示した。図-11に換気回数の結果を示す。光容量の小さな0.25Wでは、他の換気回数の平均値との偏差は30%生じたが、0.5W以上ではほぼ一定の換気回数を示し、レーザー光量の影響は小さいことが判った。

4.5 トレーサーミスト粒径の影響について

図-12にトレーサーミストの粒径分布を示す。相対頻度により粒径の大きさを比較すると、スモーク液に比べオゾンナオイルの方が大きく、最大頻度は $1.75 \mu\text{m}$ で生じた。図-13にトレーサーミストの違いによる画像信号値の減衰分布を示す。粒径の小さなスモーク液は、

Fig.9 Relationship between laser powers and decay distributions of image signals

Fig.10 Relationship between laser powers and maximum image signals

Fig.11 Relationship between laser powers and air change rates

Fig.12 Particle diameter distributions of tracer mists

Fig.14 Relationship between reference velocities and decay distributions of image signals

オンジナオイルよりも平均して小さな画像信号値を示したが、両者はほぼ一定の傾きで減衰した。

4.6 軒高風速の影響について

カメラのダイナミックレンジは6とし、レーザー出力4Wで撮影を行った。図-14にオンジナオイルによる画像信号値の減衰分布を示す。軒高風速の上昇に伴い減衰時間が減少した。図-15に画像信号最大値分布を示す。軒高風速が0.75m/s～2.0m/sでは、ほぼ一定の画像信号最大値が得られた。軒高風速0.25m/sで低い最大値を示した原因としては、低い風速のためにミストの自重から模型内下方にミストが溜まり、流出口を開けて撮影を開始したときに、濃いミストが模型上部の解析点まで十分拡散されなかったことが考えられる。図-16に換気回数の算出結果と軒高風速の関係を示す。換気回数は軒高風速に比例した。図-17に各トレーサーミストと換気回数の関係を示す。オンジナオイルとスモーク液ミストの間には換気回数の差はなく、軒高風速によらずほぼ同じ換気回数を得られた。

4.7 ガス濃度減衰法の換気回数結果との比較について

図-18に軒高風速0.25、1.0、2.0m/sのガス濃度減衰分布を示す。ガス濃度は分析計の高い応答性のために低濃度で激しく変動していた。従って、背景濃度を $C_0 \approx 1 \times 10^{-5}$ とした。前報¹⁾での軒高風速は、0.25、0.5、0.75m/sの3段階だったので、今回は0.25～2.5m/sの10段階にわたり測定した。図-19に画像測定とガス濃度測定の換気回数の関係を示す。実験した軒高風速の範囲で画像信号値とガス濃度測定の換気回数はほぼ一致し、ビデオ画像の輝度値減衰法でも正確に模型の換気回数を測定できることが判った。

5. 結語

- (1)本実験で使用したSONYのM7型カメラの場合、映像の明るさを調整するダイナミックレンジが5以下では明るさに対する感度が低下し、感度補正を必要とした。
- (2)本実験で提案した較正方法により算出した較正式を用いれば、直線性の低下の著しいダイナミックレンジでも換気回数を正確に測定することができた。
- (3)レーザー光容量が0.5W以上であれば、オンジナミストの場合、換気回数の測定精度に及ぼす影響は少ないことが判った。
- (4)実験したトレーサーミスト粒径は、換気回数の測定精度に影響を及ぼさないことが判った。
- (5)画像計測でも換気回数は軒高風速に比例した。
- (6)実験した軒高風速の範囲内で、ビデオ画像輝度値減衰法はガス濃度減衰法と同じ精度で換気回数を測定できた。

【謝辞】

本実験を行うに当たり、伊藤 守、岩淵仁平、小栗靖雄、笠原幸一郎、小林吉美、福本 淳(当時、東京工芸大生)の協力を得たので、ここに深く感謝する。

【参考文献】

- 1) 大場、ビデオ画像による室内換気回数の測定方法に関する研究、可視化情報学会誌 Vol.16 Suppl.No.1 135-138, 1996
- 2) 大場、環境風洞におけるビデオ画像計測手法の開発研究、その2 濃度変動量の測定方法について、日本建築学会計画系論文報告集、481, 61-66, 1996
- 3) 大場、ビデオカメラによる煙突後流の排煙濃度分布の計測法の開発、可視化情報学会誌、Vol.10 Suppl.No.1 127-130, 1990

Fig. 15 Relationship between reference velocities and maximum image signals

Fig. 16 Relationship between reference velocities and air change rates

Fig. 17 Relationship between air change rates by oil mists and those by smoke liquid mists

Fig. 18 Relationship between reference velocities and decay distributions of gas concentration

Fig. 19 Relationship between air change rates by image signal method and those by tracer gas method