

# トレーサーガスを用いた局所排気フードの捕集能力評価

小嶋 純

独立行政法人労働安全衛生総合研究所

抄録：トレーサーガスを用いた局所排気フードの捕集能力評価：小嶋 純。独立行政法人労働安全衛生総合研究所—局所排気フードは、作業環境中の有害物質対策に広く使われる手段である。日本ではフードの性能評価は風速測定によって行われ、安全衛生法が制御風速という性能要件を定めている。しかし制御風速はフードの捕集能力を直接確認するものではないため、常に最適な風速値であるかは疑問である。制御風速の適否を検討するため、外付け式フードの捕集能力を、二酸化炭素をトレーサーガスにした実験室内の試験によって検証した。本研究では、フードの性能評価の指標として有害物質の発生量に対する捕集量の比と定義した捕集率を炭酸ガス濃度の測定から求めた。有害物質の捕捉点をフード開口から30 cmの位置に想定した場合、制御風速を下回る吸引風速であっても、捕集率90%以上を達成できた。乱れ気流が存在しなければ、捕捉点における吸引風速が0.2 m/s (制御風速の40%に相当) あれば捕集率90%以上を達成できた。吸引風速を0.2 m/sに下げること、排気風量は80%低下した。乱れ気流を0.3 m/sに設定し捕集率に及ぼす影響を検証したが、その影響は乱れ気流の風向によって異なった。乱れ気流がフード中央線に対して直交する場合、乱れ気流の影響は認められず、吸引風速0.2 m/sで捕集率90%以上を達成できた。乱れ気流が作業者の後方(フード中央線に対して45°方向)から吹く場合でも、影響は見られなかった。乱れ気流がフード中央線に対して135°となる場合、捕集率90%を確保するには吸引風速0.4 m/sが必要であった。吸引風速の引き下げは排気経費と空調経費の節減に有効なので、トレーサー法によって必要最小限の風速を策定し制御風速の代用と出来れば、効果的で経済的な排気が可能となる。

(産衛誌 2007; 49: 209-215)

キーワード：Tracer gas, Local exhaust hood, Capture efficiency

## I. はじめに

多くの作業現場で環気中の有害物質対策に利用される局所排気装置(以下、局排)は、その能力(有害物質の捕集能力)をフードの吸引気流の風速によって評価するのが一般的である。我が国でも局排の捕集能力を規定する値として制御風速が法規で定められており、局排の設計および稼働時の性能評価の指標にされている。ただし、この制御風速は経験的数値<sup>1, 2)</sup>に基づき設定されたもので、有害物質の捕集量ないし捕集率を測定して曝露抑制効果を直接確認するものではない、いわば結果予測的な指標である。従って、捕集能力に影響を及ぼす要因が多様多様に存在する現場の局排に対し、(フード形式および対象物質による大まかな区分はあるが)一律に定めた制御風速が常に過不足の無い最適な性能要件に成り得るという保証はない。一方、フードが吸引したトレーサーガス等の濃度をダクト内もしくは漏洩部位において測定し捕集率を求める手法(トレーサー法)は、フードの捕集能力を直接かつ定量的に確認するため、個々の局排に最適な吸引風速ないし排気風量を把握することができ<sup>3-22)</sup>、より合理的な局排の性能要件指標を与えると思われる。

本研究では、欧州連合格(EN14175-3)<sup>23)</sup>および米国暖房冷凍空調協会規格(ASHRAE110-1995)<sup>24)</sup>などでヒュームフード(ドラフトチャンバー型囲い式フード)のテスト規格として採用されているトレーサー法に着目し、これを種々の使用状態を想定した実験室内設置の外付け式フードに適用して同フードにおける必要最小吸引風速を調べ、現行の有機則が定める制御風速の適否について検討した。

## II. 装置および実験方法

トレーサーガスの測定に先立ち、使用する矩形開口外付け式フード(開口面サイズ30 cm × 50 cm, フランジ無し)の吸引特性(吸引風速と排気風量との関係および

2007年4月18日受付; 2007年7月18日受理  
連絡先: 小嶋 純 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾  
6-21-1 独立行政法人労働安全衛生総合研究所  
(e-mail: ojima@h.jniosh.go.jp)

開口周辺の吸引気流の速度分布)を明らかにするため、開口正面区域(70cm(W)×50cm(D))内の各点上(縦横5cm間隔にとった計165個の格子点上で、開口面下辺が接する面上から約2cmの点)の風速と排気風量を測定した。なお、各格子点上における風速の測定値は連続10秒間の平均風速とした。

風速と風量の測定に続きトレーサーガスの捕集率測定を行う。一般にトレーサー法では六フッ化イオウをはじめ種々のガスが利用されるが、低廉安価、適度の拡散性を有する、化学的に安定、人畜無害などの性質が必要とされる。本報告ではこの様な要件を満たすガスとして炭酸ガス<sup>25)</sup>を採用し、種々の稼働条件におけるフードの捕集能力を、炭酸ガスの濃度測定に基づく捕集率によって評価した(Fig.1)。なお、炭酸ガスの発生流量はASHRAE規格におけるトレーサーガスの発生流量と同程度の毎分4.5リットルとし、フードの開口正面の各点(フード開口面と作業者に挟まれる区域内の各点; Fig.2中に記入したb, c, d, f, gの5点)上およびフード内奥(Fig.2中のh)に順次置いたガラス製イジェクターを通して発生させた。また測定する炭酸ガスは排気ダクト(φ150mm, PVC製)内で均一拡散・混合するのに必要な搬送距離<sup>5, 6, 8)</sup>を通過した位置(フード後背部から300cm下流のダクト内の断面中央部位、途中一箇所90°曲り管一箇所を含む。)から採取し、連続採取60秒間の平均濃度からバックグラウンド濃度を引いた値を測定濃度とした。本報ではトレーサー法によるフード試験を

扱った過去の研究例<sup>3-9)</sup>に倣い、捕集率を以下のように定義する。

捕集率 [%] =  $\text{CO}_2 \text{ mes [ppm]} / \text{CO}_2 \text{ ref [ppm]} \times 100$   
ただし、

CO<sub>2</sub> mes : 炭酸ガスの発生源をフード開口正面の何れかの点(Fig.2中のb, c, d, f, g)上に置いた時に排気ダクト内で測定される炭酸ガス濃度。

CO<sub>2</sub> ref : 発生させた炭酸ガスがすべてフードに捕集される位置(フード開口の内奥; Fig.2中のh)に発生源を置いた時に排気ダクト内で測定される炭酸ガス濃度。

捕集率とは本来、単位時間当たりの有害物の発生量に対する同捕集量の百分比だが、発生量と捕集量を排気風量で除せばそれぞれ上記のCO<sub>2</sub> refとCO<sub>2</sub> mesになるので、上式のように濃度の比で求めても同じである。なお、CO<sub>2</sub> mesとCO<sub>2</sub> refは何れも10回の測定による算術平均値を以って各々の測定結果とし、前者を後者で除してその条件における捕集率とした。

フードの稼働条件は以下i~iiiの使用状態を想定したものとし、各稼働条件における吸引風速と捕集率を調べた。なお、実験で作業者を再現する際はダミー人形を、乱れ気流を再現する際は送風機としてプッシュプル型換気装置の給気ユニットを用いた。

i. フード前に作業者が居なく、乱れ気流も存在しない場合。

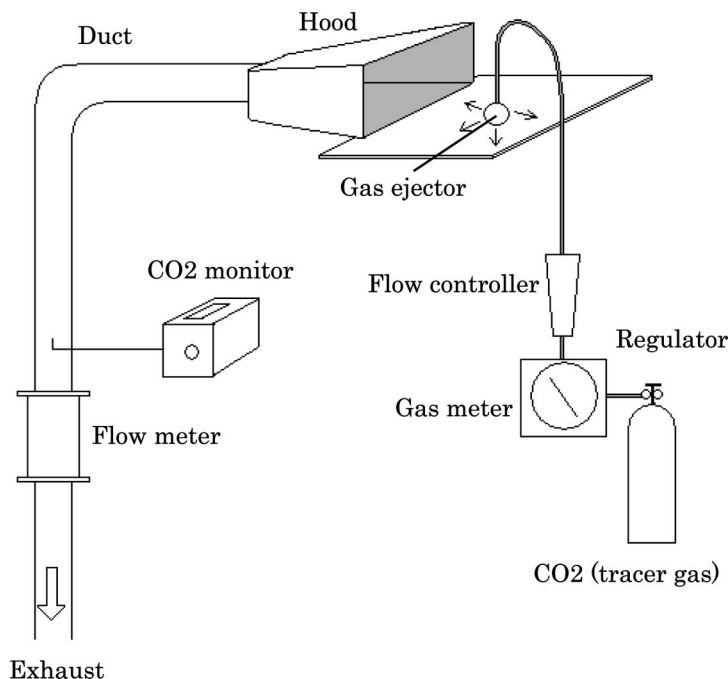


Fig. 1. Schematic diagram of the basic composition of the tracer-gas experiments.

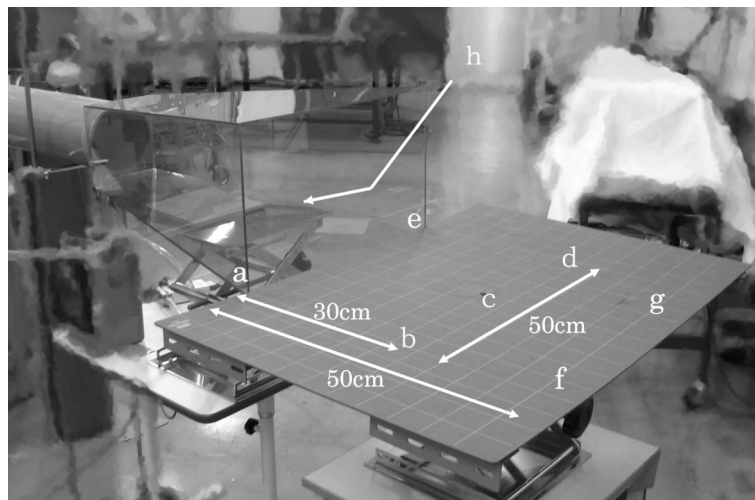
ii. フード前に作業者が立ち、乱れ気流が存在しない場合.

iii. フード前に作業者が立ち、乱れ気流が存在する場合.

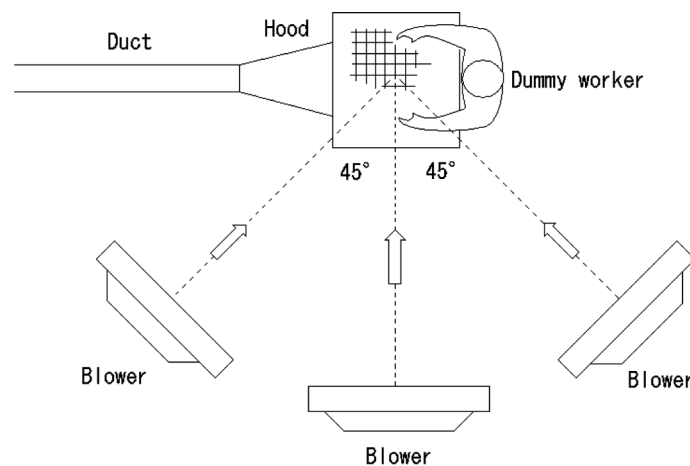
開口正面の 50 cm (W) × 30 cm (D) の区域 (Fig. 2 中の a, b, c, d, e の 5 点で囲まれる平面範囲) を仮想作業エリアとし、開口から 30 cm 作業者手前側の左右端 2 点 (Fig. 2 中 b, d) を捕捉点と想定した. 乱れ気流の方向としては、作業者の左斜め前方、左方向、左斜め後方の 3 方向を想定し、何れの場合もフード開口中央から手前方向 15 cm の位置 (仮想作業エリアの中心点) 上で測定した風速が、屋内の乱れ気流としては通常のレベルと考えられる 0.3 m/s になるよう調整した<sup>26)</sup> (Fig. 3).

以下に、この実験で使用した機器類を示す.

- ・炭酸ガス濃度測定器：柴田科学 (株) 製自動吸引機能内蔵非分散型赤外線吸収方式 CO<sub>2</sub> メーター；COX-2 型 (測定範囲 0 ~ 4,000 ppm, 最小目盛 10 ppm).
- ・ガスレギュレーター：ヤマト産業 (株) 製 YR-507V.
- ・風速計：日本カノマックス (株) 製熱線式風速計クリモマスター；Model 6511.
- ・排気風量 (ダクト内流量) 測定用流量計：ウエットマスター (株) 製風量センサ；エアロ Q システム.
- ・炭酸ガス流量測定用流量計：(株) リンテック製デジタルマスフローコントローラー；MC-3000E 型 および シナガワ精機 (株) 製乾式ガスメーター；Model DC-2.
- ・ダミー人形：身長 170 cm の等身大人形.



**Fig. 2.** Location of the generation points of the tracer gas. Points (a) and (e) are located at the lower left and right corner of the hood opening, respectively. Points (b) and (d) are assumptive capture points. Point (c) is located at midway between (b) and (d). The tracer gas ejector, the cross draft blower and the dummy worker were removed for this photograph.



**Fig. 3.** Location of the cross draft blower.

- ・送風機 (乱れ気流発生用): 興研(株) ユニット式プッシュプル型換気装置; ラミナー MS-01. なお本研究では給気ユニット (フード開口面サイズ 70cm × 70cm) のみを送風機として流用し, 均一性の高い吹き出し流を送気した.

### Ⅲ. 結 果

捕捉点 (Fig. 2中 b, d) における吸引風速が有機則で定める制御風速 0.5 m/s の約 100%, 80%, 60%, 40% となるよう排気風量を 4 段階に変化させた際の各点 (Fig. 2中 b, c, d, f, g) における風速と排気風量との関係を Table 1 に示す. ただし, 風量調整および風速測定 of 精度上の困難から, 「制御風速の約 20% (0.1 m/s)」は除外した. これより, 本実験で使用したフードでは, 規定の制御風速を満たすのに 51.8 m<sup>3</sup>/min の排気風量が必要だが, 制御風速を 40% に下げれば排気風量は約 20% に減ること等が判明した. 制御風速が満たされた場合, 捕捉点から 20 cm 離れた位置 (フード開口から手前方向に 50 cm の点; Fig. 2 中の f, g) での風速は制御風速の 40% (0.2 m/s) であった. Fig. 4 に, 排気風量が 51.8 m<sup>3</sup>/min の場合におけるフード前面の気流速度分

**Table 1.** Relation between exhaust velocities at each measuring point (b, c, d, f, g) and exhaust flow rate

Velocity (m/s)					Flow rate (m <sup>3</sup> /min)
b	c	d	f	g	
0.49	0.61	0.48	0.20	0.20	51.8
0.39	0.52	0.42	-	-	41.0
0.30	0.43	0.30	-	-	19.3
0.21	0.28	0.20	-	-	10.6

布を示す. 仮想作業エリア (Fig. 4 中の a, b, c, d, e で囲まれた範囲) 内の風速は, すべて捕捉点 (b, d) における風速を上回ることが確認された. これより, 発生源が仮想作業エリア内にある場合の捕集率は, 発生源が捕捉点上にある場合の捕集率とほぼ同等もしくはそれ以上になると見なせる.

以上を踏まえトレーサーガスの測定実験を行ったところ, 以下の結果を得た.

CO<sub>2</sub> ref と CO<sub>2</sub> mes の測定値は 205.2 ppm ~ 460.5 ppm の範囲にあった. また CO<sub>2</sub> ref と CO<sub>2</sub> mes の測定値の変動係数は全ての条件で 5% 未満となり, ダクト内でトレーサーガスが十分に拡散, 均一化していることが示された<sup>8)</sup>.

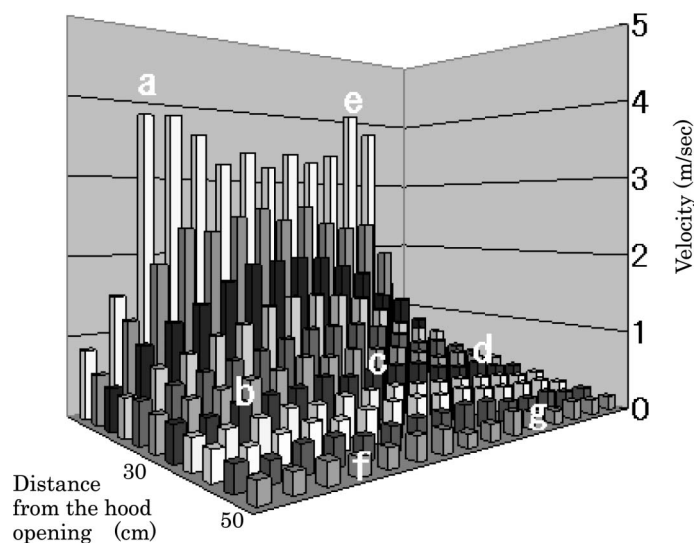
作業者と乱れ気流が存在せず, 制御風速が満たされた状態でトレーサーガス発生源を捕捉点 (b, d) とその中点 (c) および捕捉点から 20 cm 離れた手前点 (f, g) の各点に置いた場合の捕集率は 95.6 ~ 100.7% となった.

作業者と乱れ気流が存在せず, 捕捉点における風速を制御風速の 60% ないし 40% に下げ, b, c, d の各点を発生源とした場合の捕集率は 93.7 ~ 98.3% であった.

作業者は存在するが乱れ気流は存在せず, 捕捉点での風速を制御風速の 40% に下げ, b, c, d の各点を発生源とした場合の捕集率は 93.2 ~ 97.8% であった.

作業者と乱れ気流 (左斜め前方, 左方向, 左斜め後方) が存在し, 捕捉点での風速を制御風速の 40% に下げ, b, c, d の各点を発生源とした場合の捕集率は 84.8 ~ 95.3% であった.

作業者と左斜め前方からの乱れ気流が存在し, 捕捉点風速を制御風速の 60% にし, b, c, d の各点を発生源



**Fig. 4.** Velocity distribution of the suction air in front of the hood opening.

**Table 2.** Hood test results: capture efficiency (%) of CO<sub>2</sub> under each condition

Dummy worker	Direction of cross draft	Exhaust velocity (m/s)	Capture efficiency (%)				
			b	c	d	f	g
-	-	0.48-0.49	100.7	96.7	95.6	98.5	97.8
-	-	0.30	97.0	93.7	94.2		
-	-	0.21-0.20	98.3	97.0	96.8		
○	-	0.21-0.20	95.0	97.8	93.2		
○	Front half left	0.21-0.20	84.8	85.6	86.9		
○	Left	0.21-0.20	91.6	93.4	95.2		
○	Behind half left	0.21-0.20	95.3	93.3	92.2		
○	Front half left	0.30	94.6	91.2	87.6		
○	Front half left	0.39-0.42	100.0	96.3	95.5		

とした場合の捕集率は87.6～94.6%であった。

同様に、作業者と左斜め前方からの乱れ気流が存在し、捕捉点風速を制御風速の80%にし、b, c, dの各点を発生源とした場合の捕集率は95.5～100.0%であった。

以上の捕集率測定結果をまとめてTable 2に示す。

#### IV. 考 察

制御風速は多様なフードに対し一律に適用しても捕集能力の不足を来さないよう、かなりの余裕をもって安全側に設定されている。そのため使用されるフードによっては過剰な吸引風速ないし排気風量が与えられ、局排の運転経費および作業場の空調経費が不必要に増大される場合も予想される。しかしトレーサー法によって必要最小限の風速を策定し、これを制御風速に代用できれば、より効率的かつ経済的な局排の運用が可能となる。

実験の結果、作業者と乱れ気流が無い状態で制御風速が満たされれば、仮に有害物質発生源が想定する換気区域の外へはみ出しても、20 cm程度の範囲内で十分捕集できることが明らかになった。また乱れ気流が無い状態であれば、仮に制御風速を現行の40%に引き下げても、作業者の有無に関らず捕集率90%以上を実現でき、これにより排気風量が約80%節減できることが明らかになった。以上より、外付け式フードの場合、比較的静的な環境下で使用されるなら、制御風速を0.2m/s程度に下げても十分な捕集能力を発揮するものと思われる。

乱れ気流が存在する場合、それが作業者の側方ないし斜め後方からのものであればフードの捕集能力に及ぼす影響は少なく、制御風速を0.2m/s程度に下げても十分な捕集能力が発揮されることが示された。しかし作業者が乱れ気流を斜め前方から受ける場合は多少の影響が現れ、捕集率90%以上を確保するには0.4m/s以上の風速が必要となった。過去の研究では「(フードの)開口の後方から吹いてくる乱れ気流は(側方および前方からの気流と比べ)、吸い込み気流に対しては、最も影響が大きい。」と指摘されており<sup>26)</sup>、本実験の結果とも一致し

た。このような向きからの乱れ気流が存在する場合は、フード開口周囲にフランジを装着させることで効果的に影響を抑制することが可能であろう。

作業現場などでトレーサー法を実践する際はトレーサーガスの選定に配慮が必要である。仮に供試フード近傍にトレーサーガスと同じガスの発生源が別に存在し、そこから生じたガスがフードに吸引され混合すると、測定結果を大きく誤る可能性がある。今回の実験は管理された実験室内で行った為、別起源の炭酸ガスが混入する可能性は無視できたが、燃焼や作業者の往来などが多い一般の作業現場では六フッ化イオウの使用が適当であろう。

また、粉じん用フードの捕集能力のテストにトレーサー法を適用する際は、気中におけるガスと粉じんの挙動の違いに配慮し、粒子状のトレーサー物質を用意すべきである。今回はガス状物質の排気を想定したトレーサーを選び制御風速には有機則の値を用いたが、粉じん則の制御風速について何らかの判断評価をする際は、トレーサー粒子の捕集率測定が必要であろう。

#### V. ま と め

炭酸ガスをトレーサーガスとして、矩形開口外付け式フードによるガス状有害物質の排気を想定した捕集率の測定実験を行ったところ、有機則が定める制御風速の40～80%の吸引風速で十分な捕集効果を上げられる事が確認された。実験では、フード開口面から30 cm手前位置の左右端を捕捉点に設定したところ、作業者斜め前方からの乱れ気流が存在する場合を除き、制御風速の約40%の吸引風速で捕集率90%以上を実現できることが判明した。作業者斜め前方からの乱れ気流が存在する場合は、捕集率を90%以上とするのに制御風速の約80%の吸引風速が必要であった。制御風速を40%に下げることによって排気風量は当初の20%に、制御風速を80%に下げることによって排気風量は当初の80%に下げることができた。

## 文 献

- 1) Brandt AD. Local exhaust ventilation — hood design. Industrial health engineering. New York: John Wiley & Sons Inc, 1947: 68-97.
- 2) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Local exhaust hood. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial ventilation — a manual of recommended practice. 22nd ed. Cincinnati: ACGIH, 1995: 3-6.
- 3) Burgess WA, Murrow J. Evaluation of hoods for low volume-high velocity exhaust systems. Am Ind Hyg Assoc J 1976; September: 546-549.
- 4) Ellenbecker MJ, Gempel RF, Burgess WA. Capture efficiency of local exhaust ventilation systems. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44: 752-755.
- 5) Hampl V. Evaluation of industrial local exhaust hood efficiency by a tracer gas technique. Am Ind Hyg Assoc J 1984; 45: 485-490.
- 6) Simmonds PG, Shoemaker GR, Lovelock JE. Improvements in the determination of sulfur hexafluoride for use as a meteorological tracer. Anal Chem 1972; 44: 860-863.
- 7) Hampl V, Shulman S. Use of tracer gas techniques for industrial exhaust hood efficiency evaluation — application of sulfur hexafluoride for hood controlling particulate emissions. Am Ind Hyg Assoc J 1985; 46: 379-386.
- 8) Hampl V, Niemela R, Shulman S, Bartley D. Use of tracer gas technique for industrial exhaust hood efficiency evaluation — Where to sample? Am Ind Hyg Assoc J 1986; 47: 281-287.
- 9) Niemela R, Lefevre A, Muller JP, Aubertin G. Comparison of three tracer gases for determining ventilation effectiveness and capture efficiency. Ann Occup Hyg 1991; 35: 405-417.
- 10) Peck RC. Validation of a method to determine a protection factor for laboratory hoods. Am Ind Hyg Assoc J 1982; 43: 596-601.
- 11) Ivany RE, First MW, DiBerardinis LJ. A new method for quantitative, in-use testing of laboratory fume hoods. Am Ind Hyg Assoc J 1989; 50: 275-280.
- 12) DiBerardinis LJ, First MW, Ivany RE. Field results of an in-place, quantitative performance test for laboratory fume hoods. Appl Occup Environ Hyg 1991; 6: 227-231.
- 13) Smith TC, Flynn MR, Dement JM. A design and performance analysis of laboratory fume hoods. Appl Occup Environ Hyg 1994; 9: 117-124.
- 14) Mosovsky JA. Sulfur hexafluoride tracer gas evaluations on hood exhaust reductions. Am Ind Hyg Assoc J 1995; 56: 44-49.
- 15) Altemose BA, Flynn MR, Sprankle J. Application of a tracer gas challenge with a human subject to investigate factors affecting the performance of laboratory fume hoods. Am Ind Hyg Assoc J 1998; 59: 321-327.
- 16) Greenly PL, Billings CE, DiBerardinis LJ, Edwards RW, Barkley WE. Containment testing of laboratory hoods in the as-used condition. Appl Occup Environ Hyg 2000; 15: 209-216.
- 17) Woods JN, McKarns JS. Evaluation of capture efficiencies of large push-pull ventilation systems with both visual and tracer techniques. Am Ind Hyg Assoc J 1995; 56: 1208-1214.
- 18) Watson SI, Cain JR, Cowie H, Cherrie JW. Development of a push-pull ventilation system to control solder fume. Ann Occup Hyg 2001; 45: 669-676.
- 19) Marzal F, Gonzalez E, Minana A, Baeza A. Influence of push element geometry on the capture efficiency of push-pull ventilation systems in surface treatment tanks. Ann Occup Hyg 2002; 46: 383-393.
- 20) Marzal F, Gonzalez E, Minana A, Baeza A. Determination and interpretation of total and transversal liner efficiencies in push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann Occup Hyg 2002; 46: 629-635.
- 21) Marzal F, Gonzalez E, Minana A, Baeza A. Methodologies for determining capture efficiencies in surface treatment tanks. Am Ind Hyg Assoc J 2003; 64: 604-608.
- 22) 小嶋 純. トレーサー物質による局所排気フードの評価法. セイフティダイジェスト 2006; 52: 10-19.
- 23) CEN; 欧州標準化委員会. The CEN On-line Catalogue. (online), available from <<http://www.cen.eu/catweb/cwsen.htm>>, (accessed 2007-4-6).
- 24) ASHRAE; 米国暖房冷凍空調協会. Numeric Index. (online), available from <<http://www.ashrae.org/publications/detail/14890>>, (accessed 2007-4-6).
- 25) 第 17 回空調換気会議 2006. Non-Isothermal Pollution Release and its Effect on Capture Efficiency of a Reinforced Exhaust Hood. (online), available from <[http://www.acv2006.cz/?page=abstract\\_en&id=86](http://www.acv2006.cz/?page=abstract_en&id=86)>, (accessed 2007-4-6).
- 26) 四本久郎. フードの吸い込み気流に及ぼす乱れ気流の影響. 作業環境 1991; 12: 57-64.

## Tracer Gas Evaluations of Local Exhaust Hood Performance

Jun OJIMA

Japan National Institute of Occupational Safety and Health, 6-21-1 Nagao, Tama-ku, Kawasaki 214-8585, Japan

**Abstract:** A local exhaust hood is one of the most commonly used controls for harmful contaminants in the working environment. In Japan, the performance of a hood is evaluated by hood velocity measurements, and administrative performance requirements for hoods are provided as control velocities by the Japanese Industrial Safety and Health Law. However, it is doubtful whether the control velocity would be the most suitable velocity for any industrial hood since the control velocity is not substantiated by actual measurements of the containment ability of each hood. In order to examine the suitability of the control velocity as a performance requirement, a hood performance test by the tracer gas method, using carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), was conducted with an exterior type hood in a laboratory. In this study, as an index of the hood performance, capture efficiency defined as the ratio of contaminant quantity captured by the hood to the total generated contaminant quantity, was determined by measuring the CO<sub>2</sub> concentrations. When the assumptive capture point of the contaminant was located at a point 30 cm from the hood opening, a capture efficiency of >90% could be achieved with a suction velocity of less

than the current control velocity. Without cross draft, a capture efficiency of >90% could be achieved with a suction velocity of 0.2 m/s (corresponding to 40% of the control velocity) at the capture point. Reduction of the suction velocity to 0.2 m/s caused an 80% decrease in exhaust flow rate. The effect of cross draft, set at 0.3 m/s, on the capture efficiency differed according to its direction. When the direction of the cross draft was normal to the hood centerline, the effect was not recognized and a capture efficiency of >90% could be achieved with a suction velocity of 0.2 m/s. A cross draft from a worker's back (at an angle of 45° to the hood centerline) did not affect the capture efficiency, either. When the cross draft blew at an angle of 135° to the hood centerline, a capture efficiency of >90% could be achieved with a suction velocity of 0.4 m/s. The reduction of suction velocity would beneficially reduce running costs of local exhaust hoods and air conditioning. Effective and economical exhaustion would be achieved if the minimum velocity obtained by the tracer gas method were to be substituted for the excessive control velocity.

(*San Ei Shi* 2007; 49: 209-215)