

# 機械の保守面から見た農場塵埃に 関する研究 (第1報)

## 塵埃濃度による換気測定について

中 馬 豊

### I. 緒 言

動力農機具を用いる農事作業は舍内外を問わず塵埃発生が甚だしく、この塵埃は機械諸部分の間隙に侵入して摩耗損傷を著しく促進する。この種摩耗の研究に関しては、従来、機械工学分野において、Micro 的に取扱われた例が多く、何れも基礎理論の解明上有益な資料であるが、反面、農場機械利用者にとって、直接必要度の多い Macro 的な部面を取扱った研究資料に乏しい。

また、この問題と直接の連りを持つ塵埃空気の排除制圧等に関しては、建築保健工学の立場から、広く取扱われ、施設面では工場、学校、病院の換気、暖冷房など、近代的設備を対照としたものが多いが、現在の一般農家施設に直ちにあてはめて考えることは困難である。まして環境衛生学上の忍限度を遙かに超えた塵埃空気の場合であるこの特殊作業場に対して、理論的究明の行われた例を聞かない。

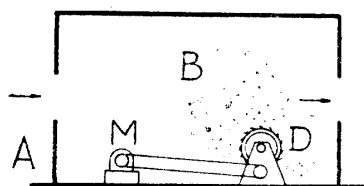
著者はこれらの問題を核心として「機械の保守面から見た農場塵埃に関する研究」を行つてい  
るが、その測定基礎として簡便な Dust counter (労研式塵埃計) を用いて換気性能の実測を行  
い得るよう、適用式の誘導を試みた。単に換気問題のみならず、これを拡張して撒粉、殺虫、乾  
燥の諸性能の研究にも資し得ると思われるので、大方の御教示を乞う次第である。

本研究は昭和 28 年度文部省科学研究費の御援助によるもので、御指導御支援を戴い九大森周  
六教授、北大常松栄教授、阪大新津靖教授、鹿大黒木敏郎助教授に併せて深甚の謝意を表す。

### II. 想定、共通記号

一般に室内自然換気は風速、内外温度差、内外圧力差等に誘引され、その換気量はこれら外力  
の外に、建物の位置、形状、配置、窓隙間等の諸因子により決まるが、それらの形状抵抗係数は  
複雑にして、その都度実験を要するものが多く、厳密な定量的取扱は甚だ厄介である。そこで条  
件を極めて単純化し次の想定の下に本論を進めることにする。

Fig. 1



件を極めて単純化し次の想定の下に本論を進めることにする。

第1図においてAは外界、Bは農舍内、Dは発塵体例えば動  
力脱穀機、Mは熱源例えば発動機とする。外気流は図の如く水  
平に建物の左側方より右側方に流れ、この気流中には若干の塵  
埃を含む。DによりB内に一定割合の塵埃が供給され、Mのた  
め室温は多少影響される。発生塵埃はDの近辺では濃厚である

1) 石川知福: 環境衛生学, 又は労働安全衛生規則

が、B内に広く拡散されるものとする。又一般に通気開始後、室内空気の移動状況は過渡的状态を経た後、定状状態に移るが前者は短時間に終り、全般に及ぼす影響は微少と見なされるので除外し、考慮外とした。一般共通記号を次の如く定める。

- $a$  : 室内の一発塵体から単位時間当り発塵 (重量) kg/h  
 $C_1$  : 任意の時刻  $Z_1$  の塵埃 (容積) 濃度  $m^3/m^3$  air  
 $C_2$  :  $\Delta Z$  時間後における  $Z_2$  時刻の塵埃 (容積) 濃度  $m^3/m^3$  air  
 $C_0$  : 供給新気の塵埃 (容積) 濃度  $m^3/m^3$  air  
 $n$  : 発塵体の個数  
 $p$  : 排気の塵埃 (重量) 濃度  $kg/m^3$  air ( $T_r$  にて)  
 $p_1$  : 任意の時刻  $Z_1$  の室内塵埃 (重量) 濃度  $kg/m^3$  air  
 $p_2$  :  $\Delta Z$  時間後における  $Z_2$  時刻の室内塵埃 (重量) 濃度  $kg/m^3$  air  
 $p_0$  : 外気 (供給新気) の塵埃 (重量) 濃度  $kg/m^3$  air ( $T_0$  にて)  
 $T_r$  : 室内平均絶対温度  $^{\circ}k$   
 $T_0$  : 外気絶対温度  $^{\circ}k$   
 $v$  : 単位時間当り排気体積  $m^3/h$  ( $T_r$  にて)  
 $v_0$  : 単位時間当り供給新気体積  $m^3/h$  ( $T_r$  にて)  
 $V$  :  $\Delta Z$  時間内の排気体積  $m^3$  ( $T_r$  にて)  
 $V_0$  :  $\Delta Z$  時間内の供給新気体積 ( $T_0$  にて)  
 $V_r$  : 室内容積

### III. 塵埃濃度変化と換気量

給気窓より  $dZ$  時間内に室内に進入した塵埃重量は  $(v_0 p_0 dZ)$  kg,  $dZ$  時間に排気窓から排出された塵埃重量は  $(vp dz)$  kg,  $dZ$  時間における室内塵埃の微小変化を  $dp$  とすれば, ある瞬間の室内塵埃の増加量は  $(V_r dp)$  kg, 以上の関係より  $V_r dp = v_0 p_0 dZ + a n dZ - v dp Z$

$$\therefore \int \frac{dZ}{V_r} = \int \frac{dp}{v_0 p_0 + a n - v p} = \int \frac{dp}{\left(v \frac{T_0}{T_r} p_0 + a n - v p\right)}$$

但し  $p_0, a$  は  $p$  に independent として取扱う。また空気の出入は夫々等温変化でかつ, 殆んど等圧変化と見た場合  $v_0 = v \frac{T_0}{T_r}$ 。本式を  $Z_2$  から  $Z_1$  まで積分すれば

$$\frac{Z_2 - Z_1}{V_r} = -\frac{1}{v} \left[ \log_e \left( v p - v \frac{T_0}{T_r} p_0 - a n \right) \right]_{p_1}^{p_2}$$

$$\frac{\Delta Z}{V_r} = \frac{1}{v} \log_e \frac{v \left( p_1 - \frac{T_0}{T_r} p_0 \right) - a n}{v \left( p_2 - \frac{T_0}{T_r} p_0 \right) - a n} \dots \dots \dots (1)$$

$v \Delta Z = V m^3$  は  $T_r$   $^{\circ}C$  における  $\Delta Z$  時間の換気量であるから (1) 式より

$$V = V_r \log_e \frac{v \left( p_1 - \frac{T_0}{T_r} p_0 \right) - an}{v \left( p_2 - \frac{T_0}{T_r} p_0 \right) - an} \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式は  $\Delta Z$  時間通気前後の塵埃 (重量) 濃度と換気量の関係を与える。いま塵埃濃度を  $C \text{ m}^3 \text{ dust/m}^3 \text{ air}$  で表わせば

$$p_1 = C_1 r_r, \quad p_2 = C_2 r_r, \quad p_0 = C_0 r, \quad an = nx r_r$$

ここに  $\Delta Z$  は微少で  $Z_1 \doteq Z_2$  とする。また  $r_r, r_0$  は室温  $T_r$  及び外気温  $T_0$  における塵埃空気の単位容積重量  $\text{kg/m}^3$ ,  $x$  は発塵体からの単位時間当り発塵容積  $\text{m}^3/\text{h}$  ( $T_r$  にて) とする。

故に (1) 式は

$$\frac{\Delta Z}{V_r} = \frac{1}{v} \log_e \frac{v \left( C_1 r_r - \frac{T_0}{T_r} C_0 r_r \right) - nx r_r}{v \left( C_2 r_r - \frac{T_0}{T_r} C_0 r_r \right) - nx r_r}$$

然るに塵埃の実存量は空気の温度変化に無関係と考えて  $r_r T_r = r_0 T_0$  即ち  $r_0 = \frac{T_r}{T_0} r_r$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{\Delta Z}{V_r} &= \frac{1}{v} \log_e \frac{v(C_1 r_r - C_0 r_r) - nx r_r}{v(C_2 r_r - C_0 r_r) - nx r_r} \\ &= \frac{1}{v} \log_e \frac{v(C_1 - C_0) - nx}{v(C_2 - C_0) - nx} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore V &= V_r \log_e \frac{v(C_1 - C_0) - nx}{v(C_2 - C_0) - nx} \\ &= V_r \log_e \frac{V(C_1 - C_0) - nx \Delta Z}{V(C_2 - C_0) - nx \Delta Z} (T_r \text{ } ^\circ\text{k}) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

(4) 式は室内に発塵体があり新気と塵埃空気が完全に拡散する時、 $\Delta Z$  時間通気前後の塵埃 (容積) 濃度と換気量の関係を示す。 $\frac{V}{V_r} = N_r$  を  $T_r$  における  $\Delta Z$  時間毎の換気回数とすれば

(4) 式より

$$\begin{aligned} N_r &= \log_e \frac{V(C_1 - C_0) - nx \Delta Z}{V(C_2 - C_0) - nx \Delta Z} \\ \therefore e^{N_r} &= \frac{V(C_1 - C_0) - nx \Delta Z}{V(C_2 - C_0) - nx \Delta Z} \\ \therefore C_2 &= \frac{V(C_1 - C_0) + e^{N_r} (nx \Delta Z + V C_0) - nx \Delta Z}{e^{N_r} V} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

即ち室内塵埃濃度は換気回数との間に (5) 式の関係において漸減する。発塵体が室内に存しない場合は  $x=0$  を代入すれば簡単な次式を得る。

$$C_2 = C_0 + (C_1 - C_0) e^{-N_r}$$

IV. 換気の能率について

単に換気総量の多少を論ずるだけでは必ずしも室内塵埃の排除性能を十分に表わし得ない。例えば第 2 図の如く供給新気が室内塵埃との拡散不十分のまま排気窓に短絡するような場合は、完全拡散時の第 3 図に比べ、見掛上の換気回数も同一でも、室内塵埃平均濃度は一般的に高く保たれる筈である。

Fig. 2

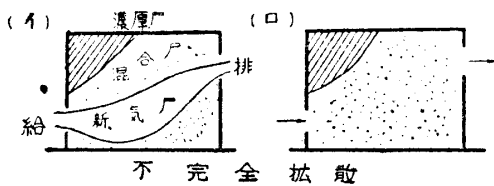
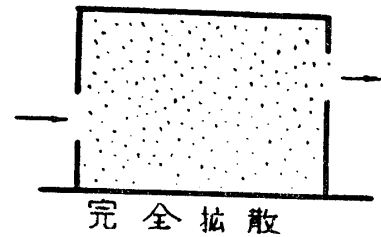


Fig. 3



いま考察の便宜上、室内の拡散混合した塵埃空気を、もとの新気とのブロックに分けて考えるものとすれば  $\Delta Z$  時間換気された直後の室内空気  $V_r \text{ m}^3$  の平均濃度は

$$C_2 = \frac{C_0 V_1 + C_1 (V_r - V_1)}{V_r}$$

即ち新気  $V_1$  (濃度  $C_0$ , 温度  $T_r$ ) と、塵埃空気  $(V_r - V_1)$  (濃度  $C_1$ , 温度  $T_r$  にて) との和の気容積平均で表わされる。

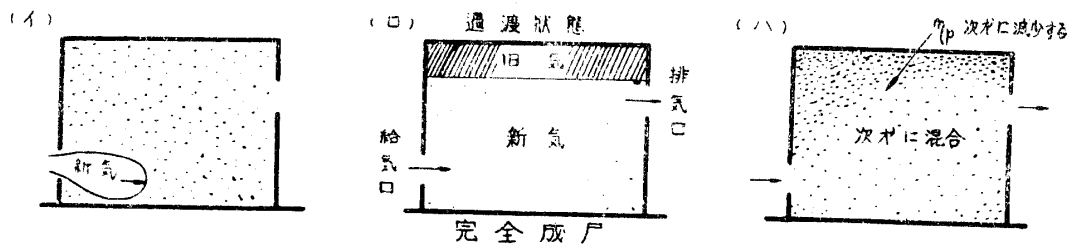
$$\therefore C_2 V_r = C_0 V_1 + C_1 (V_r - V_1)$$

$$V_r (C_1 - C_2) = V_1 (C_1 - C_0)$$

$$\therefore \eta_p = \frac{V_1}{V_r} = \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \quad (T_r \text{ } ^\circ\text{k}) \dots\dots\dots (6)$$

ここに  $\eta_p$  は全気容積に対する新気  $V_1$  の割合であるから新気純度とも称することが出来る<sup>2)</sup>。従つて  $\eta_p$  が大なることは一般にその室内への新気の拡散率が高いこと、及び新気そのままの排気窓への短絡量の少いことを示している。また過渡的狀態においては初期に完全成層的に進行して(第 4 図参照)、新給気先頭が排気窓に達するまでは  $\eta_p$  は高く保持され、定狀状態に達すれば  $\eta_p$  は次第に減じて一定値に達するものと考えられる。

Fig. 4



2) ニサイクル内燃機関の掃気効率に相当する。(熊谷・酒井共著, 内燃機関測定法 204 頁) または (機械工学便覧 1352 頁)

次に供給新気  $V_0$  ( $T_r$  における排気体積は  $V_e$  となる) に対する室内残留<sup>4)</sup>の割合は

$$\eta_r = \frac{V_1}{V_e} = \frac{V_1}{V_r} \frac{V_r}{V_e} = \frac{\eta_p}{N_r} = \frac{1}{N_r} \left( \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \right) \quad (T_r \text{ } ^\circ\text{k にて}) \dots\dots\dots(7)$$

この  $\eta_r$  を新気残留度と仮称する。換気開始直後、過渡期間にあつては  $\eta_r$  は 100% 近くを示すことが考えられる。また室内に一定量の塵埃が既存しており、新気により直ちに定常拡散状態となり、室温不変とする時、新気の供給量増加従つて  $N_r$  も増加するにつれて室内  $\eta_p$  は上昇するが  $\eta_r$  は次第に減少することになる。

即ち  $C_0, C_1, C_2$  の測定により (6) 式から  $\eta_p$  を求められ、供給新気  $V_0$  の実測値より  $V_e = \frac{T_r}{T_0} V_0 \text{ m}^3$  ( $T_r$  にて) を算出し、または前節 (4) の  $V$  から  $V_e$  ( $T_r$  にて) を求めれば  $N_r$  を知り (7) 式から  $\eta_r$  が算出される。

即ち換気能率向上の要旨は、最も有効な方法を用いて室内新気純度を高めること、及び排気窓に短絡する新気を最小に留めて新気残留度を高めることにあると見ることが出来る。

### V. 拡散程度の判定

(4) 式より発塵体のない場合の式を求めるに

$$\begin{aligned} \frac{V}{V_r} &= N_r = \log_e \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \\ e^{-N_r} &= 1 - \frac{C_2 - C_0}{C_1 - C_0} \\ \therefore 1 - e^{-N_r} &= 1 - \frac{C_2 - C_0}{C_1 - C_0} = \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \end{aligned}$$

これは (6) 式に等しいから

$$\eta_p = 1 - e^{-N_r} \dots\dots\dots(8) \qquad \eta_r = \frac{1 - e^{-N_r}}{N_r} \dots\dots\dots(9)$$

この (8), (9) 式は II 節 で述べた如く完全拡散状態を仮定して出発した式であるが、同じく  $\eta_p, \eta_r$  を与える (6), (7) 式は誘導条件から明なる如く、必ずしも完全拡散でなくとも成立する。従つて (8)~(6), (9)~(7) の差の値は、この瞬間における室内空気状態が完全拡散の時に比べ、如何ほど離れた不完全拡散の状態にあるかを示す。

なお (8), (9) 式を  $T_0$  の状態に直せば  $N_r = \frac{T_r}{T_0} N_0$  より

$$\eta_p = 1 - e^{-\frac{T_r}{T_0} N_0} \dots\dots\dots(8)' \qquad \eta_r = \frac{T_0}{T_r} \left( \frac{1 - e^{-\frac{T_r}{T_0} N_0}}{N_0} \right) \dots\dots\dots(9)'$$

4) 同じく二サイクル内燃機関の給気効率 (機械工学便覧 1353 頁) に相当する。

## VI. 摘 要

1. 室内に発塵体があり、完全拡散が行われる時、農作業場における塵埃空気の濃度変化と換気量の関係は次式で示すことが出来る。

$$V = V_r \log_e \frac{V(C_1 - C_0) - nx\Delta Z}{V(C_2 - C_0) - nx\Delta Z}$$

室内濃度  $C_2$  は次式の関係において漸減する

$$C_2 = \frac{V(C_1 - C_0) + e^{N_r} (nx\Delta Z + VC_0) - nx\Delta Z}{e^{N_r} V}$$

発塵体が室外にある時は上式に  $x=0$  を代入し簡単な式が得られる。

2. 二サイクルエンジンにおける掃気効率、給気効率をそのまま新気純度、新気残留度の語に置き換え  $\eta_p$ ,  $\eta_r$  とすれば  $\eta_p = \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0}$ ,  $\eta_r = \frac{1}{N_r} \left( \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \right)$  を得る。これが換気の能率に大きく関係することを述べた。

3. 別の立場から導いた  $\eta_p$ ,  $\eta_r$  を比較して、室内空気の拡散程度を定量的に示し得ることを述べた。

## 文 献

1. 勝田高司: 自然換気に関する実験的研究 東大生産技研報告第 1 巻 2 号
2. 富塚清外: 二衝程機関充填作用の研究 航研彙報 6, 11, 34, 39, 45 号
3. 新津靖外: 屋内空気状態の衛生学的研究 衛生工協誌 24, 25 巻
4. 不破佐和子: 塵埃の衛生学的考察 熊本女子大学術紀要 3 巻 1 号
5. 機械工学便覧 7 内燃機関
6. 熊谷清一郎・酒井忠実: 内燃機関測定法
7. 伊藤正文: 建築保健工学第 1 部
8. 石川知福外: 環境衛生学

RÉSUMÉ

Studier on the Measuring of Ventilating Efficiency caused by Density Difference of Dust Air Inside of the Door.

Yutaka CHUMA

(1) For the amount of natural ventilation caused by density difference of dust air of the farm structure, considering the dust source existed inside of structure and perfect diffusion was held; the author obtained:

$$V = V_r \log_e \frac{V(C_1 - C_0) - nx\Delta z}{V(C_2 - C_0) - nx\Delta z}$$

denoting by  $V$  the amount of ventilation;  $V_r$ : the volume of room;  $C_1$ : the density of inside dust air at the first time  $Z_1$ ;  $C_2$ : the density of inside dust air at the later time  $Z_2$ ;  $C_0$ : the density of outside dust air;  $x$ : the amount of splashed dust per unit; and  $n$ : the number of dust sources.

It may be seen that  $C_2$  decreases in reference to  $N_r$ , times of ventilation, as follows:

$$C_2 = \frac{V(C_1 - C_0) - e^{N_r} (nx\Delta z - VC_0) - nx\Delta z}{e^{N_r} V}$$

As for the dust source existed outside of structure, the above is simplified by denoting  $x=0$ .

(2) Sufficient exclusion of inside dust air can not be performed so long as the efficiency of ventilation reduces in as much as the amount of ventilation increases.

Efficiency of ventilation can be denoted by  $\eta_p$  and  $\eta_r$ , named respectively by author efficiency of purity and efficiency of residual. In this occasion, carried out  $\eta_p$  and  $\eta_r$  resembling volumetric efficiency and scavenging efficiency in case of 2 cycle Internal Combustion Engineering.

Then

$$\eta_p = \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0}$$

$$\eta_r = \frac{1}{N} \left( \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \right)$$

(3) Accounts are also given of the deducted amount of insufficient diffusion compared to sufficient diffusion taking consideration of  $\eta_p$  and  $\eta_r$ .