

第三章 通風式二重被覆無窓豚舎に関する研究

1. はじめに

豚舎の陽圧換気を行なうに際して、屋根裏空間を大きな空間体積を持つダクトとして利用することは、第二章でみたように、吹出気流速の奥行きによる不均一性が生じ、それにともなう温度分布などの面から、適していないことがわかった。しかも、これに伴う設備に多額の資本を投下することが必要になる。今日の農産物自由化の中での豚肉の取引価格や飼料価格なども加えての、わが国の養豚経営情勢は厳しい状況の中にある。この厳しい状況の中で、如何に経営の合理化を進めるかが養豚業界の課題であろう。この課題に対する技術面からの答えに、豚舎の低コスト化とそれにともなう良好な舎内環境の造成がある。ここでは、壁体に反射フィルムを用いた低コスト型無窓豚舎を対象にして、そこでの環境特性を明らかにすることを目的とした。

2. 通風式二重被覆無窓豚舎の概念

従来豚舎構造は、外部からのエネルギーを断熱性の高い、すなわち熱伝導率が小さくかつ厚い材料から成り立っている、壁体を用いて、舎内取得熱量を小さくするといった考え方で出来上がっていた。しかし、壁体に当たるエネルギー量が同じであれば、反射率の高い部材を使用し、反射量を大きくすれば、壁体の取得エネルギーを少なくすることができ、外表面温度を低くすることが可能である。したがって、壁体に熱伝導率が比較的大きい材料を用いても、内表面温度が同じとなり、従来の壁体と同等の役割を与えられると考えられるので、ここでは反射率の高い被覆材を壁体に用いることにした。

壁体の断熱性をさらに高めるために、壁体に空気層を設けることにした。このことによって、壁体は二重構造となった。層厚さ0.2mの空気層の熱伝導率は、密閉静止空気状態で 1.3 W/mK 、流速 0.3 m/s の通気状態では 0.09 W/mK となる。したがって、空気に速度を与え通気層とすることによって、その断熱効果はさらに高まるといえる。通気層の断熱効果は、従来の断熱材の1つであるフォームポリスチレンを用いるとどの位の厚さに相当するかを試算すると、次のようになる。流速 0.3 m/s 、通気層厚さ0.2mの熱貫流率は、表面熱伝達率を $9.3\text{ W/m}^2\text{K}$ とすると、 $0.53\text{ W/m}^2\text{K}$ となる。また、フォームポリスチレンの熱伝導率が 0.04 W/mK であることから、上の通気層の熱貫流率と同じにするには、その厚さは 0.07 m となる。すなわち、通気層20cmは、断熱材7cmに、相当する。

強制換気によって舎内に導入された後、ただ単に排出される舎内空気を通気層に用いて壁体に断熱効果を与えるということは、言わば、無価値となった空気に再び価値を与えることであり、その意味からも低コスト化に結びつくものである。

壁体を二重構造とするに当たって、熱放射を考慮すると、いずれも通気層内面にあたる外側壁体の内表面および内側壁体の外表面に放射率の高い部材を用いるべきである。これによって舎内への取得熱量を少なくすることができる。

畜舎の低コスト化との関連で、骨組みは、園芸施設に用いられる、パイプ構造とした。この資材は比較的安価であり、また、個人レベルでの設置が容易である。現在のような労務賃が高い時に、農家自身で設置できるということは、建築費を削減するために有利である。

換気方式は、陽圧換気とすれば豚舎の気密性が問題点にならないことから、ダクトを利用した陽圧換気方式を用いた。さら

に豚の飼育に舎内の温度分布および気流速分布が重要となっているが、その分布形状を作り出すことは容易でない。そこで、吹出気流をシートで強制的に誘導することによって、比較的簡単に所要の分布を作り出すことができると考え、舎内に気流誘導シートを付けることにした。これらをもとにして実験豚舎を作製し、舎内物理環境の状況の検討を行った。

3. 通風式二重被覆無窓豚舎の概要

(1) 豚舎寸法

豚舎の概略を図3-1に示す。豚舎は南北棟で、骨組みには鉄製パイプ、壁体にはフィルム被覆材を用いた。壁体は中に0.2 m厚の通気層を持つ二重構造とした。寸法は、外側が間口5.7 m、奥行き10.3 m、高さ3.6 m、内側が間口5.4 m、奥行き10.0 m、高さ3.3 m、通気層厚は0.2 mとした。鉄製パイプは25.4 mm径の材料を用い、奥行き方向に、外側のパイプは0.5 m間隔、内側は1.0 m間隔ごとに設置した。また、それぞれのパイプは土壌に約0.5 m埋め込み、安全な構造にした。舎内床面は裸地である。豚を収容する空間（以下、舎内とする）の体積は、気流誘導シート無しの場合135 m³、気流誘導シート有りの場合81 m³となった。

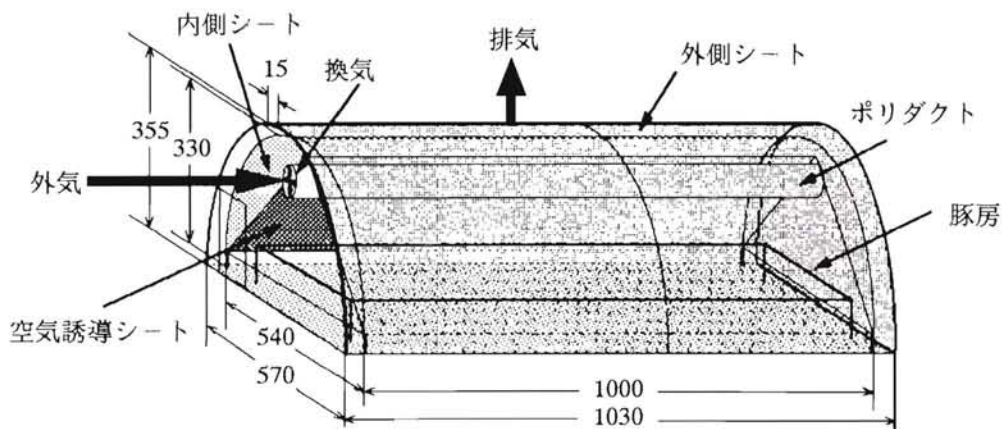


図3-1 通風式二重被覆無窓豚舎の概略 (単位cm)

(2) 壁体物性値

1) 熱伝導率

表3-1 壁体材料の物性値

商品名	熱伝導率 W/mK	厚さ m	熱抵抗 m ² K/W
テクミラー#38	0.0024	0.00038	0.16
サニーワイド	0.0093	0.00016	0.017
通気層(0.3m/s)	0.093	0.15	1.6

外側シートにはアルミ蒸着ポリエステルフィルムの複合強化シート（テクミラー#38、日本ウェーブロック）、内側シートには反射シート（サニーワイド、恵和商工）を用いた。それぞれのシートの熱伝導率、厚さ、熱抵抗を表3-1に、また、反射率は表3-2に示す。なお、サニーワイドの熱伝導率は、熱伝導率測定器（QTM-MD2、昭和電工）を用いて10回測定した、平均値である。

2) 放射率

放射率は、AERD放射率計（AERD放射率計、昭和電工）を用いて測定し、その結果を表3-2に示してある。

表3-2 壁体材料の放射率および反射率

商品名	表面	放射率 -	反射率 %
テクミラー#38	外側銀色面	0.83	37.2
	内側白色面	0.87	73.0
サニーワイド	外側銀色面	0.55	24.5
	内側銀色面	0.24	69.5

3) 反射率

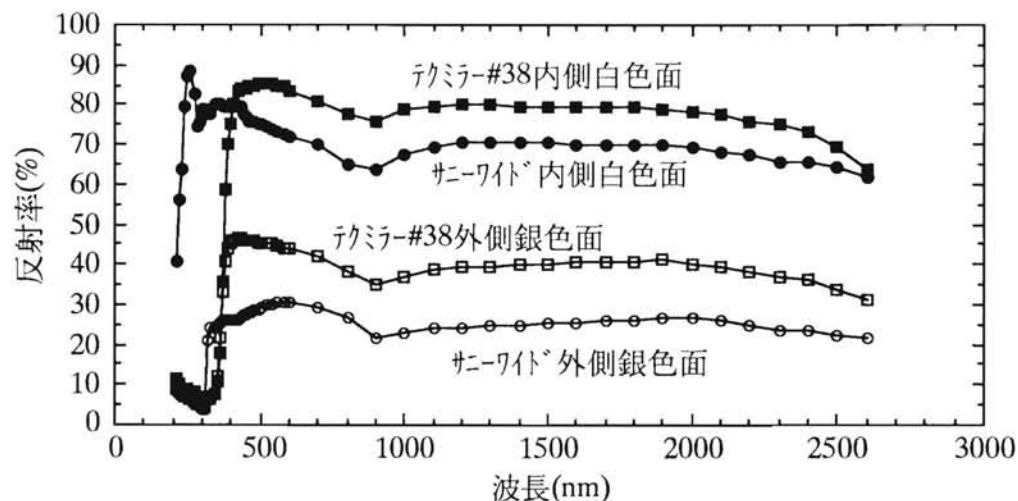


図3-2 壁体材料の反射率

壁体材料の210nmから2600nmの波長光に対する反射率を、分光光度計(323型日立自記分光光度計、日立製作所)を用いて測定し、その結果を図3-2に示した。また、210nmから2600nmまで10nm毎の反射率の平均値を表3-2に示してある。

なお、外側壁体材料の反射率からみると、反射率の高い白色面を外側にすべきである。しかし、耐久性は銀色面に与えてあるため、これを考慮して銀色面を外側にした。

4) 熱貫流率

壁体の構成材料の熱抵抗は以下の値である。ただし、通気層の熱抵抗値は流速に依存するが、ここでは流速0.3m/sの値を用いた。

表面熱伝達抵抗(外側)	: 0.04 m ² K/W
テクミラー-#38	: 0.16 m ² K/W
通気層(0.3m/s)	: 1.61 m ² K/W
サニーワイド	: 0.02 m ² K/W
表面熱伝達抵抗(内側)	: 0.11 m ² K/W

壁体全体の熱抵抗はこれらの合計であることから、次式によっ

て壁体の総括熱貫流率 K が求められる。

$$\frac{1}{K} = R = 1.94 \text{ m}^2\text{K/W}$$

すなわち、壁体の総括熱貫流率 $K = 0.52 \text{ W/m}^2\text{K}$ である。

4. 実験条件

(1) 模型豚

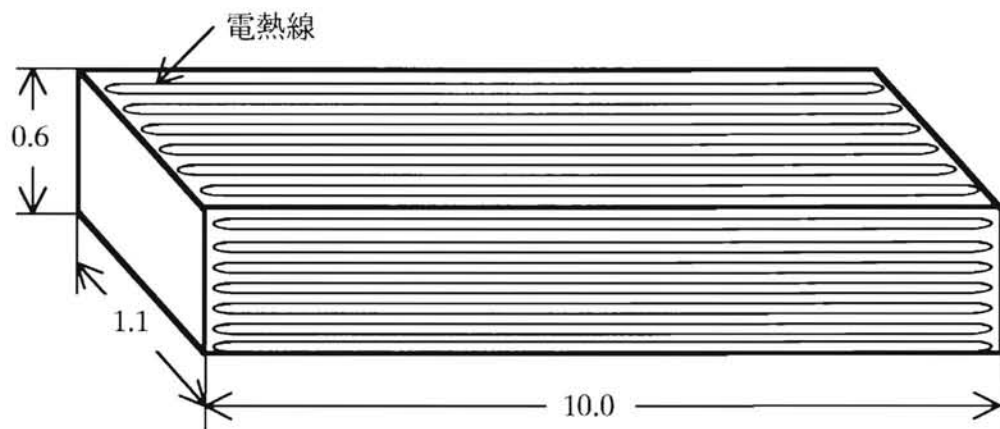
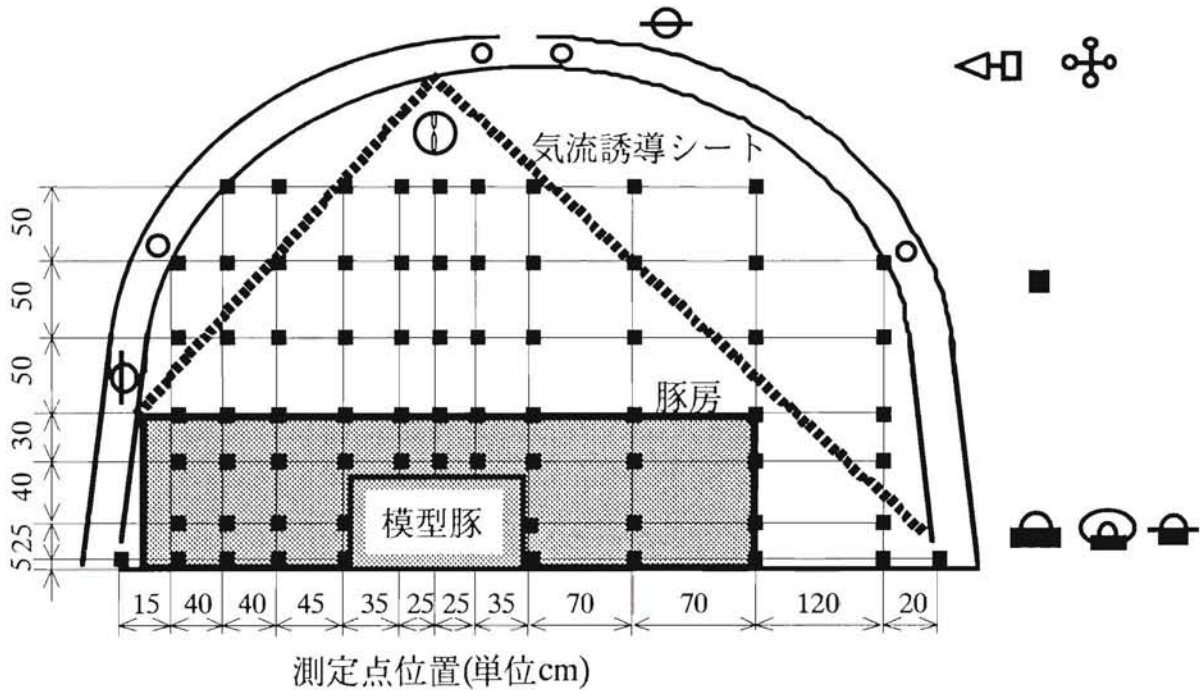


図3-3 模型豚寸法 (単位m)

舎内に收容されている豚の1頭当りの体重を 70 kg/頭 、また 30 頭收容されているものとした。この時の飼育密度は $1.33 \text{ m}^2/\text{頭}$ となる。実験を行なう上で、実際に豚を飼育することは管理その他の面から困難であるため、模型豚を舎内に入れて行なった。図3-3に模型豚を示してあるように、1頭当たりの模型豚寸法は、直方体に近似して、高さ 0.6 m 、長さ 1.1 m 、幅 0.3 m とした。模型豚の配置は 30 頭一列に並んでいるとして、奥行き方向 10.0 m の長さとした。したがって、模型豚寸法は高さ 0.6 m 、長さ 1.1 m 、幅 10.0 m となる。模型豚は図3-4に示すように豚房の中央部分に置いた。

夏期における豚体からの顕熱発生量は、生産環境限界の上限值である 27°C (相原、1984)²⁾ における値、 51.7 W/頭 (岡田、1986)⁵²⁾ とした。したがって、 30 頭では 1550 W となる。冬期における豚体からの顕熱発生量は、生産環境限界の下限值

である 10°C （相原、1984）²⁾における値、 131W/頭 （岡田、1986）⁵²⁾とした。したがって、30頭では 3950W となる。夏期および冬期の実験時の豚体からの顕熱発生量は、夏期 1550W 、冬期 3950W の一定値とした。発熱は模型豚の上部および側壁に農事用電熱線を貼り、スライダックを用いて電圧を調節し、所定の熱量を与えた。



測定点位置(単位cm)

- ⊕ : 放射収支計 ⊞ : 全天日射計 ◁◻ : 風向計 ■ : 気温および気流速測定点
 ⊞ : 正味放射計 ⊞ : 散乱日射計 ⊞ : 風速計 ○ : 気温測定点

図3-4 測定点位置

(2) 豚房

豚房は、図3-4に示すように、豚舎の中央より左側（南側）に置いた。豚房寸法は高さ 1.0m 、幅 4.0m 、長さ 10.0m とした。豚房は鉄製パイプを用いて作製した。

(3) 換気設計

1) 必要換気量

必要換気量は次の熱収支をもとに求める。

$$Q_t + Q_s - Q_v = 0$$

$$Q_t = A K (t_e - t_i)$$

$$Q_v = C_p \gamma V (t_i - t_o)$$

ただし、 A : 表面積 C_p : 空気の定圧 K : 総括熱貫流率

Q_s : 舎内発生顕熱量 Q_t : 貫流熱量 Q_v : 換気による損失熱量

t_e : 相当外気温 t_i : 舎内気温 t_o : 外気温

V : 換気量 γ : 空気比重量

計算では $\gamma = 1.29 \text{ kg}' / \text{m}^3$ 、 $C_p = 1004.6 \text{ J} / \text{kg K}$ を用いた。必要換気量を求めるのに必要な舎内外気温差を 1 K とした。また、一般には、 t_e は外気温より 5 K 高く設定すればよいことにされている。したがって、 $t_i - t_o = 1$ 、 $t_e - t_i = -(t_i - t_o) + 5 = 4$ となる。

舎内発生顕熱量は体重 70 kg の豚が 30 頭収容されていると想定して求めた。また、気象データは水戸市のデータを用いた（東京天文台，1987）⁷¹⁾。水戸市における8月の最高気温平年値は 29.4°C である。 $t_i - t_o = 1$ の関係から、舎内気温 30°C における、豚体からの顕熱量は $33.7 \text{ W} / \text{頭}$ を使用した。したがって、 Q_s は次のようになる。

$$Q_s = 30 \text{ 頭} \times 33.70 \text{ W} / \text{頭} = 1010 \text{ W}$$

表面積は外側表面積および内側表面積の平均値を用いた。

$$A = 184 \text{ m}^2$$

$$\text{総括平均熱貫流率 } K = 0.52 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

以上から、この豚舎の必要換気量は $V = 3050 \text{ m}^3 / \text{h}$ となる。これは、気流誘導シート無しの場合での、換気回数が 22.6 回/h にあたる。

2) 許容換気量

温度調節からの許容換気量は必要換気量と同様の方法で求める。肥育豚の生産環境限界温度の下限值が 10°C とされているの

で、舎内の設計気温を 10°C とした。舎内発生顕熱量 Q_s および潜熱量 Q_L は、体重 70kg の豚の 30 頭収容とすると、次のようになる。

$$Q_s = 30 \text{ 頭} \times 131 \text{ W / 頭} = 3950 \text{ W}$$

$$Q_L = 30 \text{ 頭} \times 55.8 \text{ W / 頭} = 1670 \text{ W}$$

設計外気温は、一般建築における暖房用屋外設計気温の設定法から求めた。水戸市の日最低気温の1月平年値が -2.9°C 、また、最低極値が -12.7 であることから次のようになる。

$$t_o = -2.9 + (-12.7 - (-2.9))0.1 = -3.9^{\circ}\text{C}$$

以上から、温度調節からの許容換気量は $551\text{m}^3/\text{h}$ となる。

次に、湿度調節からの許容換気量は、畜舎の水分収支式から導かれる、次式によって求められる。

$$V_L = \frac{Q_L}{\gamma q(x_i - x_o)}$$

ただし、 q ：水の蒸発潜熱 Q_L ：舎内発生潜熱量

V_L ：許容換気量 x_i ：舎内絶対湿度 x_o ：舎外絶対湿度

γ ：空気比重量

冬期における換気は、保温上から換気量をできるだけ少なくするのがよいが、あまり少なくすると舎内湿度が上昇して結露を生ずる。したがって、 $V \geq V_L$ の関係が成立しなければならないので、許容換気量は V_L によって求めることができる。

肥育豚の相対湿度の生産環境限界は、一般に相対湿度 $40\% \sim 80\%$ （相原、1984）²⁾とされているので、設計湿度を 80% とした。したがって、気温 10°C における舎内絶対湿度は次のようになる。

$$x_i = 0.0053 \text{ kg / kg'}$$

水戸市の1月の平均相対湿度 67% から舎外絶対湿度は次のようになる。

$$x_o = 0.002 \text{ kg / kg'}$$

計算では水の蒸発潜熱 $q = 2406 \text{ kJ/kg}$ 、空気比重量 $\gamma = 1.29 \text{ kg/m}^3$ を用いた。以上より湿度調節からの必要換気量は次のようになる。

$$V_L = 588 \text{ m}^3/\text{h}$$

したがって、両者を同時に満足する換気量はない。そこで、湿度調節から求めた約 $590 \text{ m}^3/\text{h}$ の換気量を冬期に与えた。これは、気流誘導シート無しの場合での、換気回数が 4.4 回/h にあたる。

換気流量は、ダクト半径方向断面において速度分布が中心からの距離に依存していると仮定し、平均換気流速に断面積を乗じて求めた。なお、平均換気流速は、ダクトを5等分する等価面積のドーナツ形状を考え、それぞれの中央部分の気流速を測定し求めた。

(4) ポリダクト

舎内への空気の分配はポリダクトを用いて行なった。夏期および冬期に用いたポリダクトの吹出口形状は円形とし、2穴以上の場合、その間隔を 10 cm とした。実験には半径方向断面の吹出口数は1個、2個および4個の3水準とした。ダクト縦断面方向の吹出口は、口間隔を 9 cm とし合計 110 断面に設けた。1個当たりの吹出口面積は、半径方向断面積に対する穴総面積の比が1になるように調節した。ダクトは図3-4に示すように、気流が豚に最も強く当たる位置に置くのが最良であると考え、豚房の中央の上部約 2.9 m の高さに置いた。図3-5に、夏期において用いた折径 60 cm のポリダクトの半径方向断面図を、図3-6に、冬期において用いた折径 40 cm のポリダクトの半径方向断面図を示した。



換気用ポリダクト半径方向断面図

図3-5 夏期使用ポリダクト吹出口形状



換気用ポリダクト半径方向断面図

図3-6 冬期使用ポリダクト吹出口形状

(5) 気流誘導シート

良好な分布形状を作り出すための気流誘導シートを考え、その有無による舎内気流分布および舎内温度分布への影響について検討した。気流誘導シートには農ポリシートを用いた。その張り方は、図3-4に示すように、豚房中央部分の上部から左右排気スリットまでである。

5. 実験方法

豚舎の外観の写真を図3-7に示す。



図3-7 豚舎外観

舎内気温および舎内気流の測定は豚舎奥行方向の中央断面において行なった。壁体について、各壁体表面温度および通気層気温の測定を行なった。中央断面における各測定点を図3-4に示してある。短波放射および長波放射測定には、放射計(CN-40型、英弘精機株式会社)、遮蔽バンド(MB-11、英弘精機株式会社)および日射計を用いた。温度測定のうち、壁体表面温度は0.1mm径、土壌温度および気温は0.3mm径のT型熱電対を用いた。

気流誘導シート無しの場合、舎内71点の気温の平均値を舎内平均気温とした。気流誘導シート有りの場合、シート内側にある58点の平均値を舎内平均気温とした。通気層における気温は、妻面では入口および排出部の2点、側壁では入口、中間および排出部の3点で測定した。

外気の風向風速の測定は光電風向計(VF016、牧野応用測器

研究所)および光電風速計(AF750、牧野応用測器研究所)を用いた。

舎内気流速の測定は熱線風速計(6311型、日本科学工業株式会社)、プローブ(0942型、日本科学工業)を用い、舎内気流方向の測定はスモークテスターを用いた。

記録にはデジタル記録計(HR2500、横河電機株式会社)を用いた。豚舎の基本的な特徴を調べるために、1991年の夏期および1991年から1992年の冬期に測定を行なった。

6. 夏期における測定結果

(1) 気温および日射量の経時変化

この豚舎の夏期における基本的な特徴を調べるために、1991年7月23日から24日までの換気回数22.6回/h、発熱量1550Wの条件下における外気温、舎内平均気温および全天日射量の経時変化を測定し、それを図3-8に示してある。

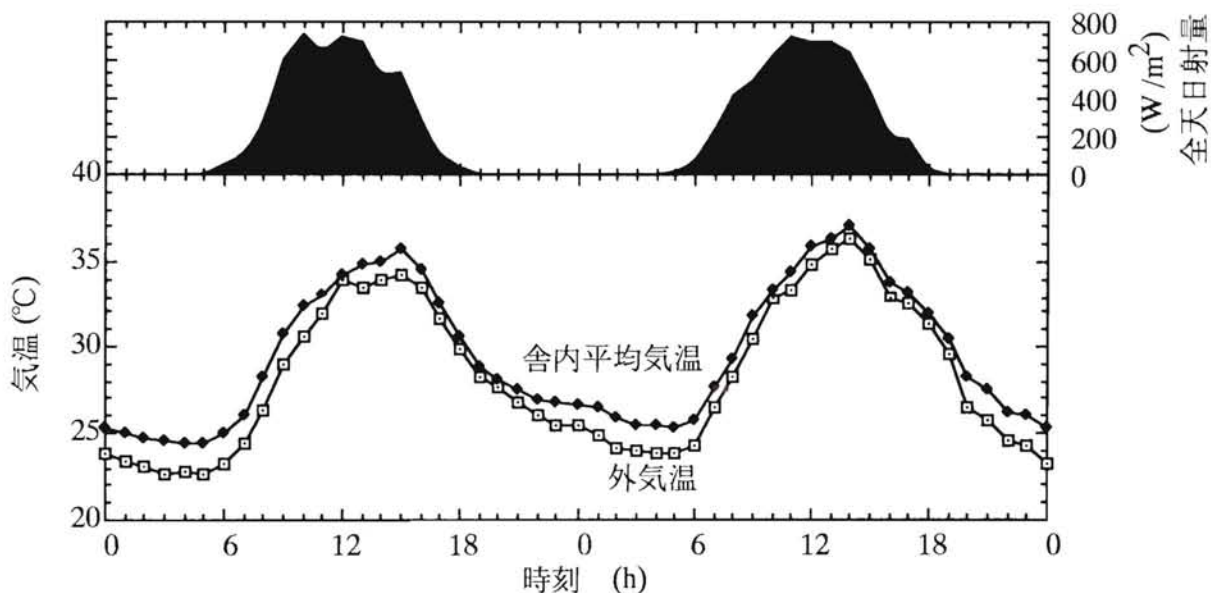


図3-8 外気温、舎内平均気温および全天日射量の経時変化

2日間で、外気温は22.6°Cから36.3°Cの間で変化し、平均 28.2 ± 4.4 °Cであったのに対して、舎内気温は24.4°Cから37.0°Cの間で変化し、平均 29.5 ± 4.0 °Cであった。外気温の

変化量に対して、舎内平均気温の変化量は若干小さくなっていた。これからみると、舎内平均気温は外気温と比較して、 1.3 ± 0.4 K 高くなっていた。舎内外気温差は、日射量が強くなると時間遅れをともなって、1 K 未満程に小さくなり、また、日射のない夜間では、1.5 K から 1.9 K と大きくなる傾向がみられる。これは、時間遅れをともなっていることから、非定常部分に関係していると考えられる。

この豚舎で数時間単位での時間遅れを生じる部分は、熱容量が大きい土壌部分に関係していると考えられる。土壌表面では舎内地上部との間で対流熱伝達および放射熱伝達、土壌内部では伝導による熱移動が行なわれている。

舎内平均気温は、ほぼ、外気温に追従して変化している。したがって、日射が舎内平均気温に直接的には影響していないことがわかる。

舎内での測定点間の気温差は平均 0.3 K、変動係数 0.01 であり、いずれの時間でも舎内 71 点の気温はほぼ同じであった。よって、夏期は舎内温度分布を考慮する必要はないと考えられる。

一般に肥育豚の生産限界温度の上限は 27°C とされている。外気温が 27°C よりも高くなる場合、冷房設備を装備していない豚舎においては、外気温よりも舎内気温を低くすることはできないので、噴霧冷却等が有効な手段になってくる。しかし、我が国の夏の気候は高温多湿であること、豚の生産にあまり影響しないと考えられている相対湿度の上限が 80% であることから、噴霧冷却の有効性について検討する必要がある。

豚の体感温度に主に関係するものに環境温度、湿度および気流速がある。この豚舎は陽圧換気であることから、換気のための吹出気流速によって比較的安価に豚の体感温度を下げる。この豚舎の豚の生産性に対する評価を舎内気温のみで行なうこと

は不十分であるが、夏期に豚を飼育する豚舎としての条件は一応整っていると考えられる。

(2) 舎内気温に影響する熱量

舎内気温に影響する熱量として、換気による損失熱量、壁体表面と舎内空気との間の伝達熱量、土壌表面と舎内空気との間の伝達熱量および豚からの発熱量がある。図3-9にこれらの熱量の経時変化を示した。また、図3-10に舎内の全取得熱量を100%、全損失熱量を-100%とした時、各熱量の割合を示してある。

図3-9および図3-10から、日中と夜間での各熱量の態様をみると次のようになる。日中、舎内空間の熱取得は内部発熱および日中の内側被覆材からの伝達熱であることがわかる。これに対して、損失熱は換気による熱および土壌表面からの伝達熱である。内部発熱量、すなわち豚からの顕熱量は1550Wを測定期間中与えた。日射量が 730 W/m^2 の場合には、土壌表面からの伝達熱が76%、換気が24%を占めていた。日射がある場合、熱容量の大きな土壌部分が3000W前後の熱を吸収するため、舎内外気温差が小さくなり、換気による損失熱の影響は、後述の夜間のそれと比較して、小さい。したがって、日中、高温時での土壌が果たす役割は大きい。内側被覆材からの伝達熱をみると、2日とも日射が14時間ほどあったのに対して、10時間から11時間ほどの日射が取得熱となり、その他の日射は、全天日射量で約 100 W/m^2 以下であると、取得から損失の熱に変わることがわかった。日中には、日射の影響から、内側被覆材からの伝達熱量が大きくなり、期間中での最大日射量 730 W/m^2 の時には2700Wとなり、取得熱量の63%を占めた。

夜間には内側被覆材からの伝達熱が、損失熱となるために内

部発熱が全取得熱となる。1日目の夜では取得となる熱は内部発熱が100%を占めているが、2日目の夜には土壌17%、内部発熱83%となった。これに対して損失熱は、換気による熱、土壌表面からの伝達熱および、夜間での内側被覆材からの伝達熱である。夜間の最低外気温22.7℃の時、全損失熱量のうち換気による熱61%、土壌表面からの伝達熱11%、および被覆材からの伝達熱28%となっていた。

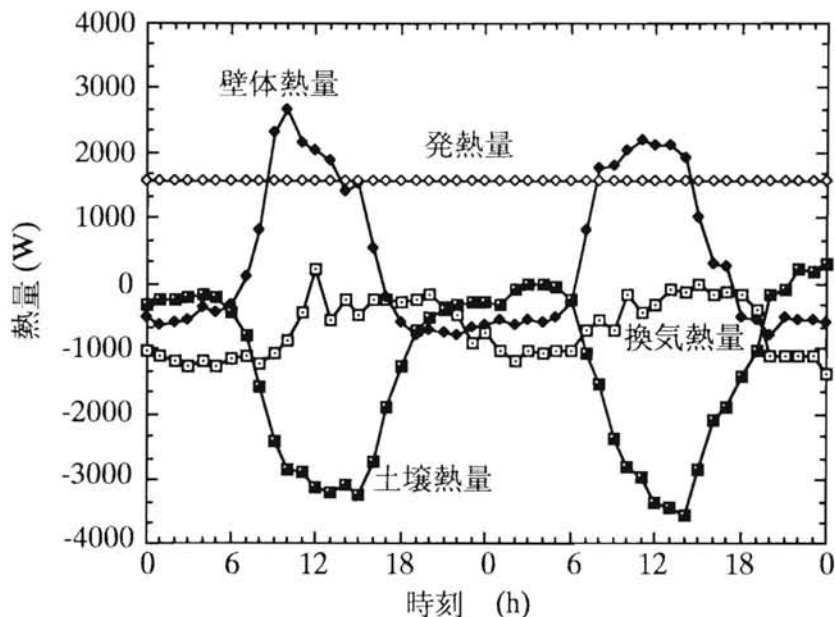


図3-9 舎内空間に影響する各熱量

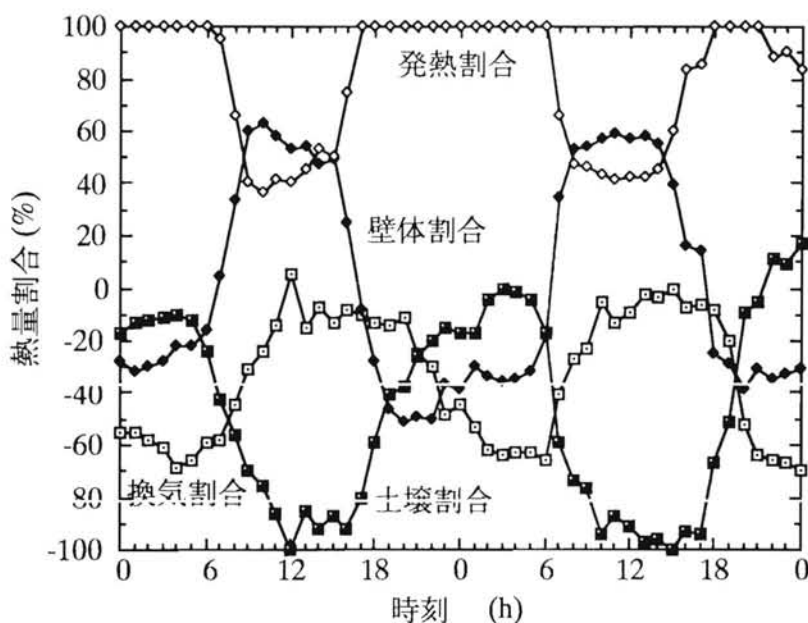


図3-10 舎内空間に影響する各熱量割合

日中の舎内では、壁体からの取得熱量が大きく、土壌への損失熱量が大きい。これから、日中の舎内外気温差を小さくするには、壁体からの取得熱量を小さく、土壌への損失熱量を大きくするのが有効となる。しかし、土壌への損失熱量を大きくすることは容易でないことから、排熱には換気が重要となる。

以上のことから、舎内外気温差を小さくするには、

1. 壁体からの取得熱量を小さくする、
2. 換気によって熱を排出する、

方法がある。そこで1.については(3)壁体熱収支、また2.については(4)換気回数と舎内外気温差で検討を行なうことにする。

(3) 壁体熱収支

通気層をもつ二重被覆構造壁体の有効性を、換気回数22.6回/h、発熱量1550W一定、日射量最大時(1991年7月23日15時)における、西側壁での熱収支から検討した。

図3-11に、全日射量と大気放射量の合計を100%とした場合の、各熱量の割合を示してある。

壁体の受ける全日射量は、太陽位置、壁体方位角度および傾斜角度から算出した補正係数を直達日射量に乗じて求めた。舎外対流熱量は対流熱伝達係数に外気温と外表面温度の温度差を乗じて求めた。対流熱伝達係数は、Jurgesの実験式(渡辺、1965)⁸³⁾を用い、風速0.5m/sでの値は $7.1\text{ W/m}^2\text{ K}$ となった。通気層における対流熱量も同様に算出した。通気層での対流熱伝達係数は $5.8\text{ W/m}^2\text{ K}$ となった。伝導熱量は表3-1の熱伝導率に表面温度差を乗じて計算した。長波放射量および短波放射量は表3-2の放射率を用いて計算した。ただし、通気層における放射量は壁体を平行平板として扱った。

図3-11にあるように、外側被覆材の外表面での壁体の受ける

全日射量と大気放射量の合計を100%とすると、長波放射量57.2%、短波放射量22.2%および対流熱伝達量11.6%の合計91.0%の熱量を遮断していることがわかる。したがって、残りの9.0%の熱量が外側被覆材の伝導熱量となる。この伝導熱量は、内側表面に達すると、対流伝熱量5.7%と放射伝熱量3.3%にわかれる。対流伝熱量の内2.4%が、通気層を通過して舎内から、排出空気として外部へ排出される。よって、通気層における対流伝熱量の42%を排出空気て除去していることになる。対流伝熱量の残り3.3%および放射伝熱量3.3%の合計6.6%の熱量が、内側被覆材を伝わって舎内取得熱となる。

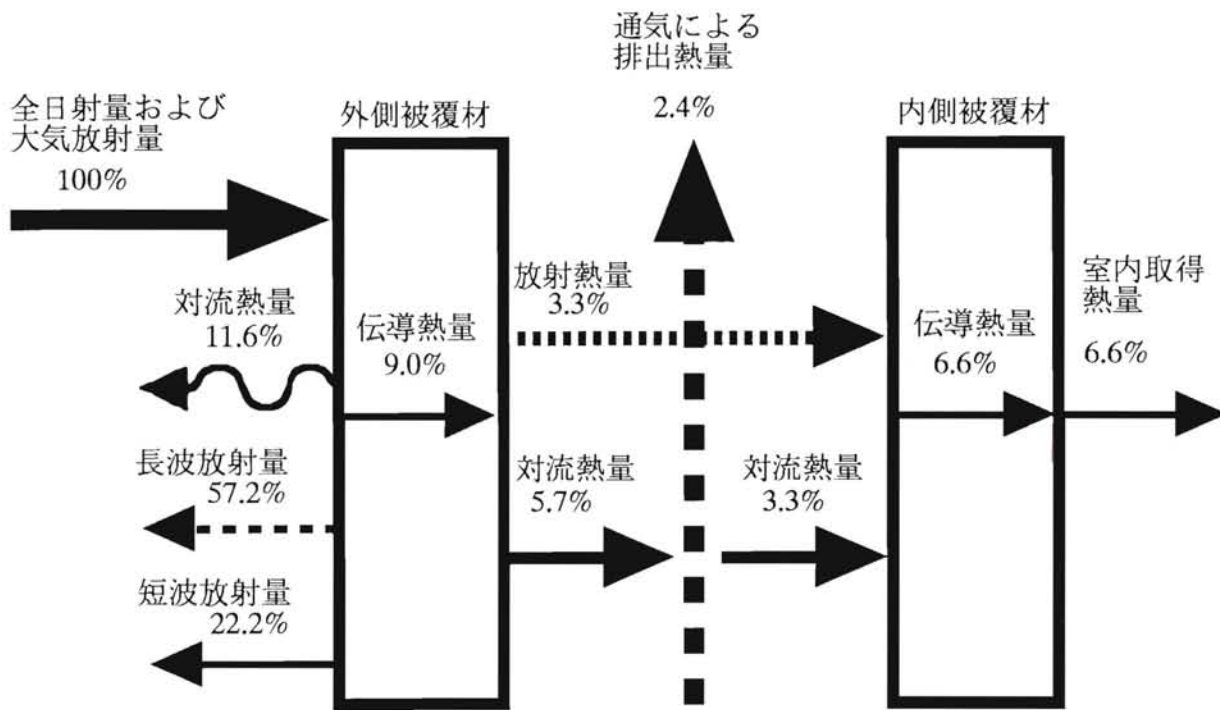


図3-11 二重被覆構造における各熱量割合
(測定日時1991/7/23/15:00)

藤田ら(1990)²⁰⁾は、屋根材の熱収支特性から、トタン(熱伝導率45.0W/mK)、FRP(0.3W/mK)およびスレート(1.0W/mK)の全日射量および大気放射量に対する伝導熱量は全て10%以下であり、なかでもFRPは3%以下であると報告している。二重被覆構造の舎内取得熱量が6.6%となることから、この構

造は藤田らが検討した部材と同等の役割を果たしていることがわかった。

内側被覆材の伝導熱量が6.6%と小さく、藤田らが検討した部材と同等であることは、

- i. 外側被覆材に吸収される放射熱量が少ないこと。
 - ii. 外側被覆材から内側被覆材に伝達される熱量の一部が通気層内空気によって持ち去られること。
- によるためである。

測定を通じて、この豚舎の問題点も明らかになった。その一つに、通気層における風の逆流が挙げられる。これは空気の排出口と採光のために設けた外側被覆材上部のスリットとに関係しているものとみられる。外部の風向、風速およびスリットの位置とその大きさが関連して、通気層に外気が流れ込む場合があり、時には通気層が熱取得状況下にあるのに、通気層空気は温度を下げて熱を放出しているという矛盾した測定結果もあった。したがって、このような換気システムを採用する場合、風の逆流を考慮して、排気スリットの大きさを決める必要がある。

外側被覆材からの対流伝熱量の42%は、通気層通過空気によって外部へ放出されるが、通気での放射伝熱量を小さくすれば、さらに断熱効果は高まる。

通気層における、単位面積当たりの、放射伝熱量の測定値と計算値の比較を図3-12に示した。外側被覆材と内側被覆材を平行平板であると仮定すると、外側被覆材から内側被覆材への放射熱流束は次式によって求めることができる（西川ら、1990）⁴⁹⁾。

$$q = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

ただし、

q : 放射伝熱量

T_1 : 外側被覆材の内表面絶対温度

T_2 : 内側被覆材の外表面絶対温度

σ : ステファンボルツマン定数

ε_1 : 外側被覆材の内表面放射率

ε_2 : 内側被覆材の外表面放射率

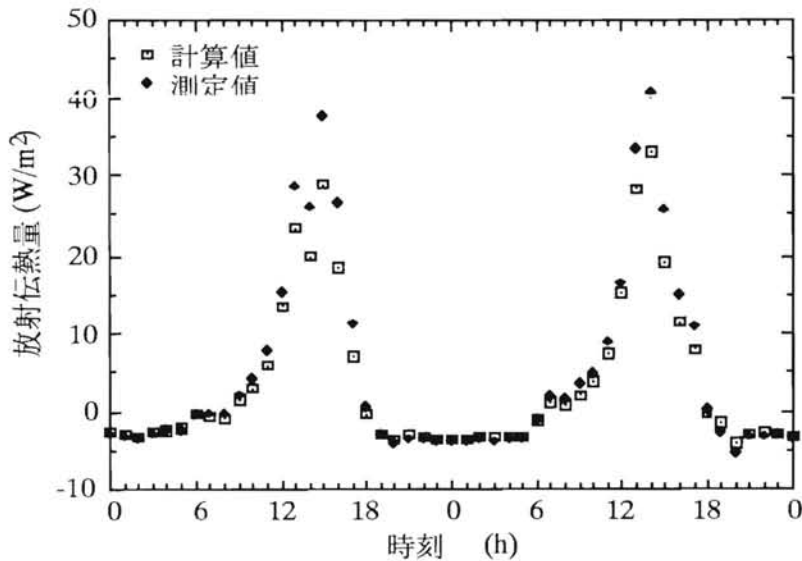


図3-12 通気層における放射伝熱量

図3-12をみると、測定値と計算値はほぼ一致していることがわかる。このことは、計算に用いた放射率(外側被覆材内表面:0.87,内側被覆材外表面:0.55)が適正であること、表面温度が正確に測定されていたこと、および平行平板と仮定したことが的確であるといえる。したがって、平行平板における放射伝熱量が上式で求められ、外側被覆材と内側被覆材の通気層側放射率の影響は等価であることがわかる。

外側被覆材外表面で遮断できなかった外部からのエネルギーは、外側被覆材内側表面の放射率が小さいと、外側被覆材の温度を高め、さらにそれが対流伝熱および放射伝熱の形で通気層へと放出される。しかし、平行平板の場合、放射伝熱は反射を繰り返すが、外側被覆材および内側被覆材で両者の放射率の影響が等価であることから、いずれの放射率を小さくするかとい

う問題は生じない。さらに、放射伝熱は通気による排出熱に、直接的には、無関係であることから、外側被覆材からの熱はできるだけ対流伝熱の形にし、通気による断熱効果を上げることが、壁体全体の断熱性向上に結びつくといえる。したがって、通気層に接する両表面の放射率はできるだけ小さい部材を使用すべきである。

以上のことから、中間に通気層を持つ二重被覆構造の壁体で重要な役割を果たしているものとして、外側被覆材の外表面における反射率と放射率および中間にある通気層であることがわかった。

(4) 換気回数と舎内外気温差

吹出口1穴、気流誘導シート無しの換気回数と舎内外気温差(=舎内気温-外気温)の関係を図3-13に示した。表3-3にそれらの数値を示した。

換気回数と舎内外気温差の関係を、時刻10:30から13:00までの水平面全天日射量 620 w/m^2 から 635 w/m^2 および風速 0.8 m/s から 1.7 m/s の測定値を用いて、検討した。舎内外気温差 $\Delta \theta$ と換気回数 N は、(1)式が成り立つと仮定すると、(2)式のような関係となる。

表3-3 換気回数と舎内外温度差の関係

換気回数 回/h	全天日射量 W/m^2	風速 m/s	外気温 $^{\circ}\text{C}$	舎内気温 $^{\circ}\text{C}$	変動係数 —	温度差 K
0	621.1	1.6	30.5	35.5	1.5	5.0
7.5	621.1	1.7	31.8	35.0	0.9	3.2
15.0	619.7	0.8	30.3	31.8	0.6	1.5
22.6	634.7	0.9	31.5	32.2	0.7	0.7

$$Q_p + Q_s + AK(t_e - t_i) - C_p \rho V N(t_i - t_o) = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{1}{\Delta\theta} = \frac{C_p \rho V N}{Q_p + Q_s + 5AK} + \frac{AK}{Q_p + Q_s + 5AK} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、A : 豚舎表面 C_p : 空気比熱 t_e : 相当外気温
 t_o : 外気温 t_i : 舎内気温 $\Delta\theta$: 舎内外気温差
 K : 豚舎熱貫流率 N : 換気回数 Q_p : 豚の顕熱発生量
 Q_s : 土壌表面と舎内空気の熱伝達
 V : 豚舎容積

図3-13をみると、回帰直線の決定係数が0.89と高い相関が得られた。したがって、測定を行った換気回数22.6回/h以下で、換気回数と $1/\Delta\theta$ は比例関係であるといえる。

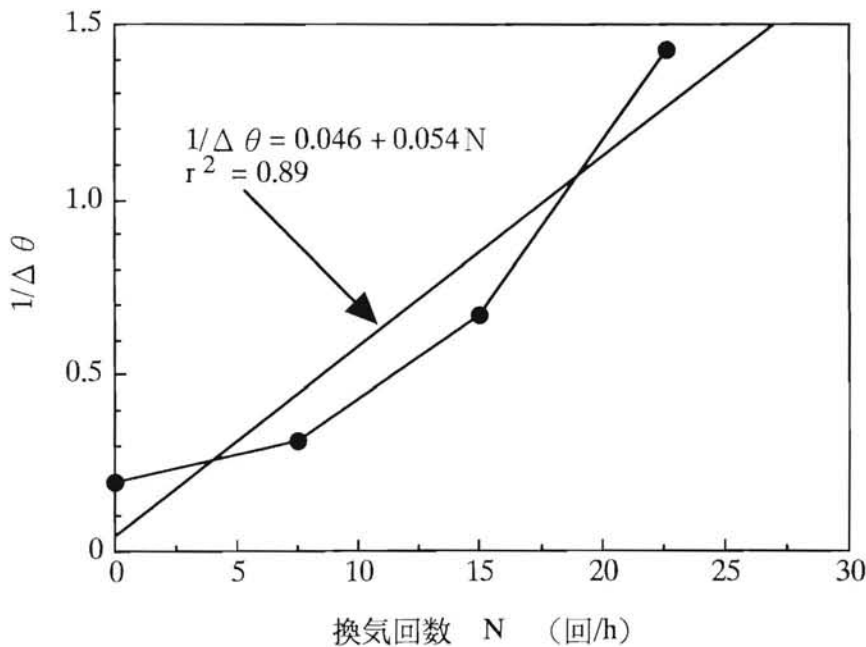


図3-13 換気回数と舎内外気温差の関係
 (吹出口1穴、気流誘導シート無しの場合)

換気回数0回/h、7.5回/h、15.0回/h、および22.6回/hの順に、舎内外気温差は5.0K、3.2K、1.5K、0.7Kとなった。舎内気温の変動係数は換気回数の小さい順に1.5、0.9、0.6および0.7となり、当然のことであるが、換気回数が増加するにしたがって舎内温度分布は均一化される。図から、舎内外気温差を約1Kにするためには、換気回数は最低でも約20回/hが必要であることがわかる。

(5) 舎内気流分布

舎内温度分布は気温が高くなる位置での値と低くなる位置での値とでは約0.3 K程度の差があり、夏期における舎内温度分布は均一であると考えて良いことがいえる。

体感温度に大きく影響し、豚の成育に関与するものに気流速がある。そこでダクト吹出口形状および気流誘導シートの有無が舎内気流分布におよぼす影響について検討を行なった。測定はダクト吹出口形状、気流誘導シート有無の2因子全てを組み合わせ合わせた合計6パターンについて、換気回数22.6回/h、発熱量1550Wの条件で行なった。

1) 気流誘導シート無しの場合の気流分布

気流誘導シート無しの状態で、図3-14に吹出口1穴、図3-15に吹出口2穴および図3-16に吹出口4穴、気流分布をそれぞれ示してある。

1-1) 吹出口1穴

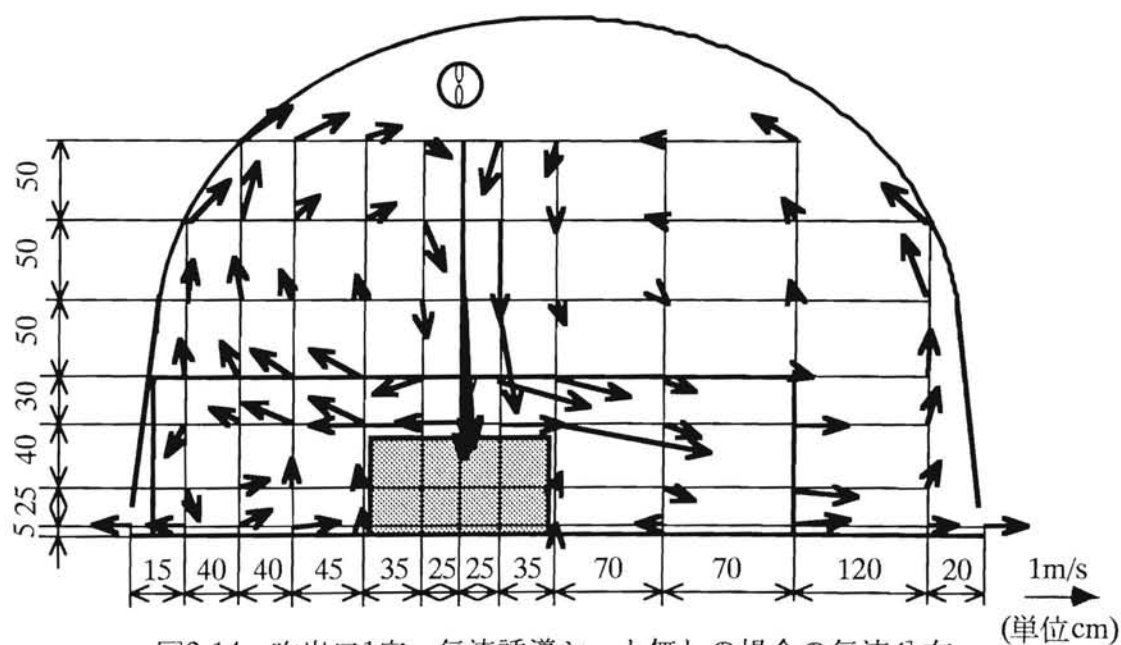


図3-14 吹出口1穴、気流誘導シート無しの場合の気流分布

吹出気流速は 14.70 m/s であり、吹出気流は垂直方向に吹き出されていることがわかる。この吹出口直下の測定点における気流速は 4.35 m/s で、このあと、次第に速度を減衰させながら豚体に到達している。吹出気流は豚体に真上から当たり、その速度は 0.92 m/s となっていた。

豚体に当たった気流は左右二方向の流れとなる。左側の流れは、やや上昇方向に進み、豚房の左上側のかどへ向かっている。豚房のかどには内側被覆材があるために、そこで上昇気流と下降気流とにわかれる。

上昇気流は内側被覆材に沿うように流れ、ポリダクトと同じ高さに来ると、吹出気流の誘導現象によって巻き込まれながら、再び豚体方向へと下降する。

下降気流は被覆材に沿って下降し、床面から約 30 cm ほどの高さで排気スリットへ向かう流れと、床面を沿った豚体方向に流れ、豚体上部より低い範囲で、循環気流を形成する流れとにわかれる。

豚体に当り右方向へ進む流れは、左側空間に比較してその空間が広いことから、やや下降しながら排気スリット方向へ向かっていることがわかる。豚体に当たった後の主気流が排気スリットへ向かうために、豚体と床面との空間にみられる循環気流が、豚体左側のそれと比較して、小さくなっている。排気スリット付近の流れは舎内から排出される流れと、被覆材に沿って上昇する流れとにわかれる。そして、その上昇する流れは左側部分のそれと同じように循環気流を形成している。左側排気スリットの排気速度が 0.51 m/s であったのに対して、右側のそれは 0.57 m/s であり、左右排気速度に大きな差はみられなかった。

基本的な流れとしては、吹出口の鉛直方向および豚体上部の

水平方向とによって区分される4空間において、それぞれ循環気流を形成しており、それらが接する部分において互いに混合されながら、排気スリットから舎外へ排出されている。

実際の豚舎では床部分に糞尿等があり、それから発生するアンモニアガスや有害なエアロゾルが循環気流にのって舎内に拡散汚染し、その一部が循環気流中央部分の気流速の小さな空気の旋みに停滞することがおこると問題になるであろう。しかし、夏期における換気の目的は、舎内気温の上昇抑制および豚体に気流を当てて体感温度を下げることであることから、大量の換気を行なうことにより、上のような現象で問題を生ずることはないと考えられる。

1-2) 吹出口2穴

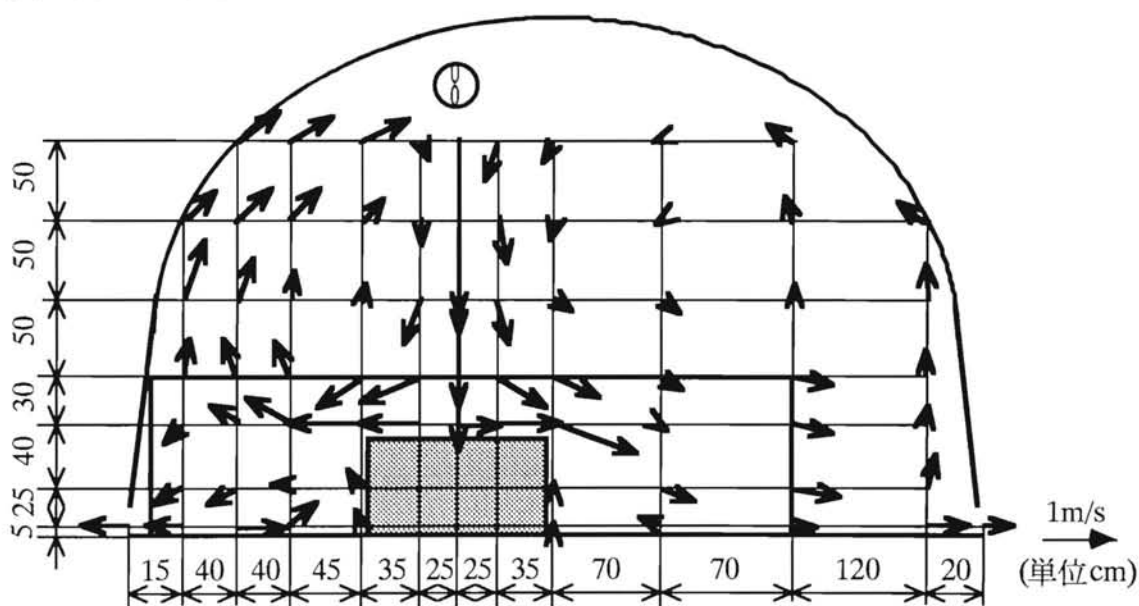


図3-15 吹出口2穴、気流誘導シート無しの場合の気流分布

吹出気流速は 16.75 m/s であり、吹出口直下の測定点における気流速 2.48 m/s のあと、次第に速度を減衰させながら豚体に到達している。吹出気流は、吹出口1穴と同様に、豚体に真上から当たり、その速度は 0.57 m/s となっていた。分布形状は、

基本的な、4個の循環気流を形成していることがわかる。排気スリットでの気流速は左側0.65 m/s、右側0.42 m/sとなっていた。

吹出口2穴の気流分布は、左側の豚体と床との間にみられる循環気流が若干小さくなっている程度で、基本的には吹出口1穴のとはほぼ同じパターンである。したがって、吹出口1穴と吹出口2穴のポリダクトの場合は吹出口の違いによる気流分布形状におよぼす影響はない。ただ、吹出気流速の大きさは違う。

1-3) 吹出口4穴

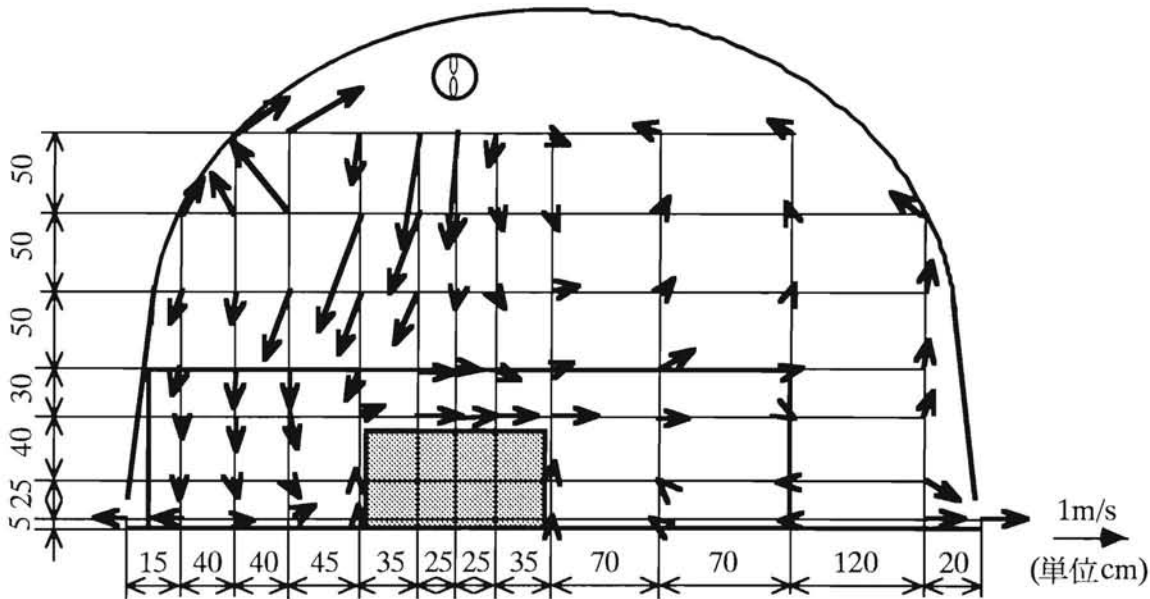


図3-16 吹出口4穴、気流誘導シート無しの場合の気流分布

気流分布は、吹出口1穴および吹出口2穴のものとは大きく違っている。吹出気流の吹出口直下の測定点における速度は1.62 m/sで、そのあと、次第に、速度を減衰する。吹出口気流は、鉛直方向において、床から約1.5 mほどの高さまでしか達しない。主吹出気流は左側排気スリット方向へ豚房上部付近まで偏向しながら流れて、そして左側豚房上部からはほぼ鉛直方向に下降する流れに変わり、床付近で排気スリットへ向かう流

れと豚体方向へ床面に沿う流れとにわかれていく。

このうち、床面に沿う流れは豚体に衝突すると上方へ向きを変え、豚体上部付近で斜めから流れてきた吹出気流にさえぎられて、豚体上部とほぼ平行に右方向へ流れていく。その後、右側被覆材から約1.5 m付近手前まで進んだ後、右排気スリット方向に下降し、一部はそのまま舎外へ排気され、残りは床面に沿って豚体方向に進み、豚体と床との空間の循環気流を形成する。

吹出口の鉛直方向右側で、豚体上部からの平行流よりも上方にある空間では、大きな循環気流が形成されている。

1-4) 気流分布評価

以上の結果をもとにして、気流誘導シート無しの場合における吹出口数による気流分布の評価を行なった。吹出口数別の豚体周囲気流速とその平均および舎内空間における平均気流速を表3-4に示した。この評価を行なう上で吹出気流速の差による影響を除くために、表3-4を無次元気流速で表したものを表3-5に示した。ただし、無次元気流速とは各点の気流速を吹出気流速で割って求めたものである。新鮮な吹出気流を直接豚体に当てることが重要であることから、これに最も関係する豚体上部5点の平均気流速および平均無次元気流速を表3-6に示した。

表3-4 気流誘導シート無しの場合の各気流速

吹出口数	豚体周囲気流速 (m/s)									豚周囲平均	舎内平均
吹出口1穴	0.73	0.32	0.11	1.51	0.92	0.88	2.18	0.21	0.02	0.76±0.71	0.70±0.64
吹出口2穴	1.01	0.27	0.22	0.83	0.57	0.87	1.25	0.05	0.04	0.57±0.44	0.55±0.38
吹出口4穴	0.33	0.14	0.17	0.65	0.52	0.57	0.64	0.17	0.02	0.36±0.24	0.47±0.36

表3-4をみると、豚体周囲の平均気流速は吹出口1穴、2穴お

よび4穴の順に大きく、それぞれ $0.76 \pm 0.71 \text{ m/s}$ (0.93)、 $0.57 \pm 0.44 \text{ m/s}$ (0.78)および $0.36 \pm 0.24 \text{ m/s}$ (0.68)であり、また舎内平均気流速はそれぞれ $0.70 \pm 0.64 \text{ m/s}$ (0.90)、 $0.55 \pm 0.38 \text{ m/s}$ (0.68)および $0.47 \pm 0.36 \text{ m/s}$ (0.76)となっていた。ただし、()内は変動係数を示す。

表3-5 気流誘導シート無しの場合の各無次元気流速

吹出口数	豚体周囲無次元気流速									豚周囲平均	舎内平均
	0.05	0.02	0.01	0.10	0.06	0.06	0.15	0.01	0.00		
吹出口1穴	0.05	0.02	0.01	0.10	0.06	0.06	0.15	0.01	0.00	0.05 ± 0.05	0.05 ± 0.04
吹出口2穴	0.06	0.02	0.01	0.05	0.03	0.05	0.07	0.00	0.00	0.03 ± 0.03	0.03 ± 0.02
吹出口4穴	0.02	0.01	0.01	0.05	0.04	0.04	0.05	0.01	0.00	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.03

表3-5をみると、豚体周囲の平均無次元気流速は吹出口1穴、2穴および4穴の順に大きく、それぞれ 0.05 ± 0.05 (0.93)、 0.03 ± 0.03 (0.78)および 0.03 ± 0.02 (0.68)であり、また舎内平均無次元気流速はそれぞれ 0.05 ± 0.05 (0.90)、 0.03 ± 0.02 (0.68)、 0.03 ± 0.03 (0.76)となっていた。

表3-6 気流誘導シート無しの場合の豚体上部における平均気流速および平均無次元気流速

吹出口数	気流速 (m/s)	無次元気流速
吹出口1穴	1.24 ± 0.60	0.09 ± 0.04
吹出口2穴	0.91 ± 0.25	0.05 ± 0.02
吹出口4穴	0.54 ± 0.13	0.04 ± 0.01

同じく表3-6をみると、豚体上部の平均気流速は吹出口1穴、2穴および4穴の順に、 $1.24 \pm 0.60 \text{ m/s}$ (0.48)、 $0.91 \pm 0.25 \text{ m/s}$ (0.28)および $0.54 \pm 0.13 \text{ m/s}$ (0.24)であった。また、平均無次元温度は 0.09 ± 0.04 (0.48)、 0.05 ± 0.02 (0.28)および 0.04 ± 0.01 (0.24)であった。

いま、気流誘導シート無しの場合で、吹出口数を因子として、舎内、豚体周囲および豚体上部の平均気流速の差の検定を行なっ

た（脇本，1991）⁸¹⁾。その結果、舎内については有意水準10%、豚体周囲および豚体上部については有意水準5%で次の関係が認められた。

舎内 : 1, 無 > 2, 無 = 4, 無、

豚体周囲 : 1, 無 = 2, 無 = 4, 無、

豚体上部 : 1, 無 = 2, 無 > 4, 無

吹出口4穴の場合は、吹出気流速の慣性力が弱く、豚体に直接吹出気流が当たらず、豚体付近の気流速および舎内平均気流速、あるいは無次元気流速が最も小さい。また吹出口4穴の気流分布形状をみると、床面近くの汚染された空気が豚体上部と平行に流れるため、他の吹出口数と比較して劣っているといえる。吹出口1穴および2穴は、ともに気流分布形状がほぼ同じで、かつ、吹出気流が豚体まで到達している。この二者を分布形状から優劣をつけることは困難である。しかし、舎内平均、豚体周囲および豚体上部の気流速とその無次元気流速をみると、吹出口1穴の方が、吹出口2穴に比較して、大きいことがわかる。平均の差の検定結果では、舎内のみに有意差が認められたが、夏期、豚の体感温度を下げるため速い気流を豚体に当てることが望ましいことから、吹出口1穴の方が優れているといえよう。以上のことをまとめると、気流誘導シート無しの場合における吹出口数による舎内気流分布は、吹出口1穴方式が、その形状および速度の両面から、最適であるといえる。

2) 気流誘導シート有りの場合の気流分布

気流誘導シート有りの状態で、図3-17に吹出口1穴、図3-18に吹出口2穴および図3-19に吹出口4穴の気流分布を、ベクトルを用いて示した。表3-7に豚体周囲の気流速および舎内平均気流速、表3-8に無次元気流速を示した。また、表3-9に、表

3-6と同じ方法で求めた、豚体上部における平均気流速および平均無次元気流速を示した。

2-1) 吹出口1穴

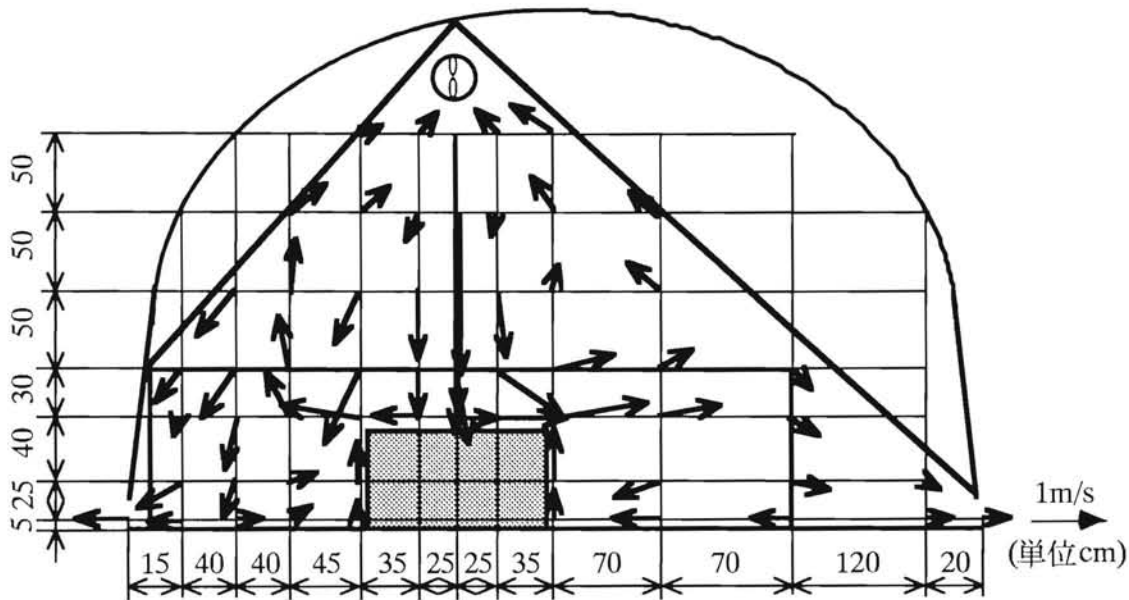


図3-17 吹出口1穴、気流誘導シート有りの場合の気流分布

ポリダクトからの吹出気流は、速度 10.80 m/s で、鉛直方向に降下している。吹出口直下の測定点における気流速は 4.14 m/s であった。吹出気流は、速度を減衰させながら豚体に到達し、豚体には真上から当たり、そこでの速度は 0.59 m/s であった。この後、豚体中央と吹出口を結ぶ直線を境として、吹出気流は左右に分かれる。

左側に進んだ気流は、豚体から約 0.5 m 離れた点で、上昇気流と下降気流とに分かれる。上昇気流は気流誘導シートに沿う形で吹出口付近の高さまで上昇し、吹出気流の誘導現象によって吹出気流と共に豚体へ向かう下降気流となり、一つの循環気流を形成していく。下降気流は、約 1 m 豚体から離れた点で、豚体と床面との間で循環する気流と排気スリットに向かう気流とに分かれている。

右側に進んだ気流は、やや上昇しながら、直線的に気流誘導シートに当たり、そこで上昇気流と下降気流とに分かれる。これら2つの気流は左側気流と同じような流れ方をしている。

気流誘導シート無しの場合の、最適気流分布をした、吹出口1穴と比較すると、4個の循環気流が生じている点は同じである。しかし、気流誘導シートがあるために、循環気流は小さく、豚房上部の2個の循環気流の中央部分にみられる空気の淀みも小さくなっている。

2-2) 吹出口2穴

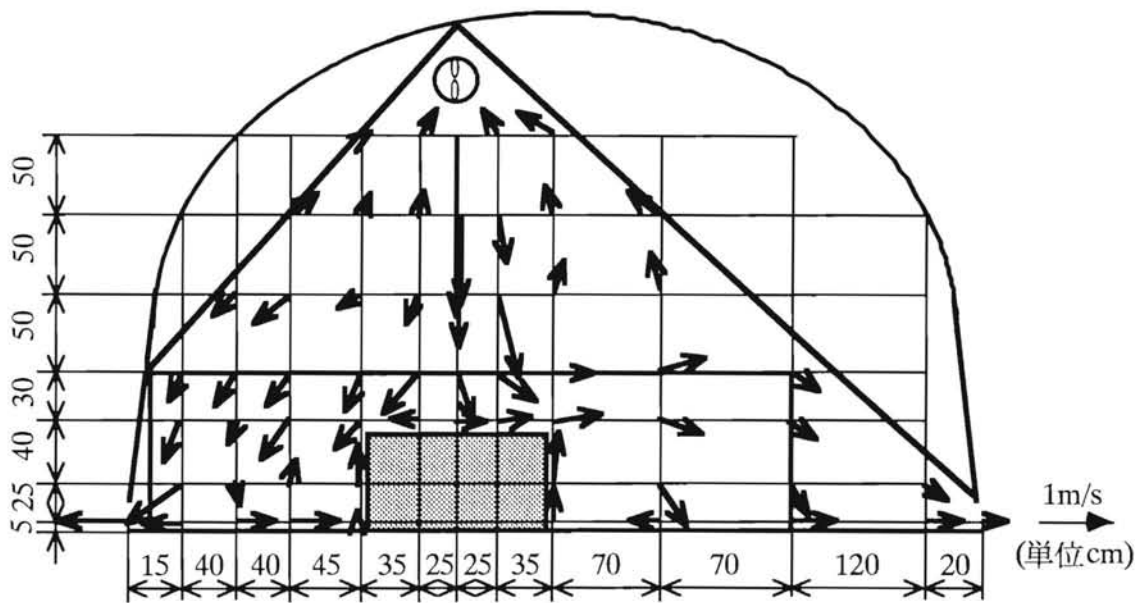


図3-18 吹出口2穴、気流誘導シート有りの場合の気流分布

吹出口と豚体中央を結ぶ線を境にして、右側にある気流分布は、すでにみた、吹出口1穴の場合における気流分布とほぼ同じである。しかし、左側では床面から約2mの高さにみられるように、循環気流の位置が上昇し、その大きさは小さくなっている。左側豚房内の気流は豚体側面において循環気流を生じているが、比較的滑らかに排気スリット方向にも流れている。これは吹出気流に 30° の偏向角を与えていることから、吹出気流

の一部が直接排気スリットへ向かい、豚房付近の流れを滑らかにするような役割を果たしているものと考えられる。

床面付近の循環気流が小さいことから、床面付近の汚染された空気が豚体に当たる割合が小さくなる点において、吹出口1穴と比較して、優れている。なお、夏期においては多くの気流を豚体に当てるのが重要で、かつ、基本であることから、そのための総合的な評価は後で考察する。

2-3) 吹出口4穴

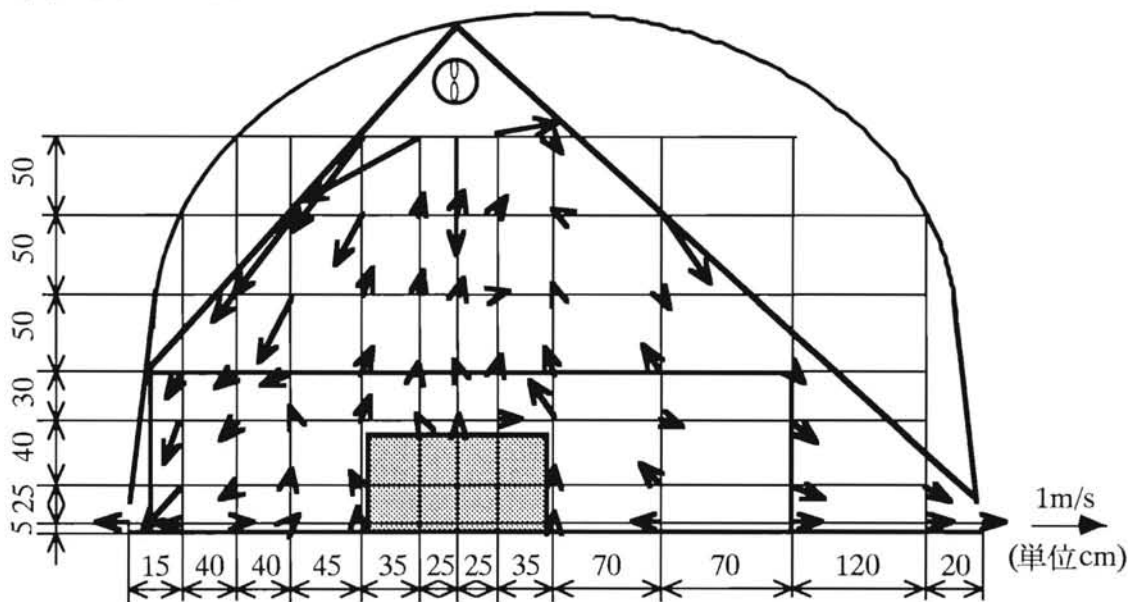


図3-19 吹出口4穴、気流誘導シート有りの場合の気流分布

4個の吹出口から吹き出された空気が、左右の気流誘導シートに沿う2つの流れと吹出口から鉛直方向の流れの3つになっている。このうち、吹出口から鉛直方向の気流は、慣性力が小さいために、0.5 m下の測定点までの間で減衰消滅してしまう。

左右の気流誘導シートに沿った流れは、そのまま気流誘導シートと平行に、排気スリット付近の床面まで到達している。その一部は排気スリットから舎外へ排出され、残りは床面に沿って豚体付近まで流れ、豚体に衝突して鉛直方向に向きを変えて吹出口付近まで上昇する。さらに、この気流は左右の気流誘導シ-

トに沿う流れの誘導現象に巻き込まれて、気流誘導シートに沿って降下する循環気流を2個形成している。今回測定したパターン中で、体感温度に有効な気流がなく、それ故、豚生産からみて、最も劣った分布形状であるといえる。

2-4) 気流分布評価

以上の結果をもとに、気流分布の評価、検討を行なった。

表3-7、表3-8および表3-9をみると、舎内および豚体周囲での平均気流速、また豚体上部での平均気流速とその平均無次元気流速は吹出口1穴、2穴および4穴に従って小さくなっている。特に吹出口1穴では、豚体周囲および豚体上部における気流速・無次元気流速ともに、他と比較して大きい。

表3-7 気流誘導シート有りの場合の各気流速

吹出口数	豚体周囲気流速 (m/)									豚周囲平均	舎内平均
吹出口1穴	1.08	0.56	0.26	0.65	0.59	0.96	1.31	0.72	0.41	0.73±0.33	0.72±0.57
吹出口2穴	0.53	0.57	0.13	0.37	0.43	0.45	0.64	0.71	0.44	0.56±0.32	0.47±0.17
吹出口4穴	0.39	0.25	0.21	0.06	0.06	0.33	0.58	0.25	0.16	0.44±0.39	0.25±0.16

表3-8 気流誘導シート有りの場合の各無次元気流速

吹出口数	豚体周囲無次元気流速									豚周囲平均	舎内平均
吹出口1穴	0.10	0.05	0.02	0.06	0.06	0.09	0.12	0.07	0.04	0.07±0.03	0.07±0.05
吹出口2穴	0.04	0.04	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03±0.01	0.03±0.01
吹出口4穴	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.05	0.02	0.01	0.02±0.01	0.02±0.01

表3-9 気流誘導シート有りの場合の豚体上部の平均気流速および平均無次元気流速

吹出口数	気流速 (m/s)	無次元気流速
吹出口1穴	0.92±0.30	0.09±0.03
吹出口2穴	0.48±0.10	0.03±0.01
吹出口4穴	0.28±0.22	0.02±0.02

舎内、豚体周囲および豚体上部の平均気流速の差の検定を行

なった。その結果、舎内および豚体周囲で有意水準10%、豚体上部で有意水準5%で次の関係が認められた。

舎内 : 1, 有 > 2, 有 = 4, 有

豚体周囲 : 1, 有 = 2, 有 > 4, 有

豚体上部 : 1, 有 > 2, 有 > 4, 有

気流速の変動係数は、吹出口1穴、2穴、4穴の順に、舎内で0.79, 0.57, 0.89、豚体周囲で0.46, 0.36, 0.65、また豚体上部で0.33, 0.22, 0.79となった。変動係数は吹出口2穴の場合が、いずれの箇所でも一番小さく、それ故、気流分布が均一であるといえることから、この吹出口2穴が他よりも優れている方式と考えられる。しかし、吹出口1穴は2穴に比較して2倍以上の気流速を豚体に当たることが可能であることから、総合的には、吹出口1穴の方が優れているといえる。

3) 総合評価

気流誘導シートの有無にかかわらず、吹出口1穴および2穴のそれぞれの気流分布はほぼ同様であった。しかし、豚体に気流を当てる観点から、吹出口1穴の方が有利であるといえる。これに対して、吹出口4穴は吹出気流の慣性力が小さいために、吹出気流が豚体まで到達しないことから、適切な吹出口数とはいえない。

以上のことから吹出口1穴が一番優れているといえるが、夏の換気方式として、気流誘導シートの有無のいずれがよいかを評価考察する必要がある。このために、改めて表3-10に各無次元気流速を整理して示した。

すでにみたように、図3-14および図3-17から気流誘導シート無しおよび気流誘導シート有りでの吹出口1穴の吹出気流は豚体に直接当たっている。豚房上部の2個の循環気流の中央部

分にみられる空気の淀みは、気流誘導シート無しに比較して、有りの方が若干小さくなっている。また、左側排気スリット部分における流れは、気流誘導シート有りの方が、滑らかに空気が排気スリットに向かって流れていることをあらわしている。しかし、気流分布形状は、両者ともに、4個の循環気流が形成されており、基本的な形態は同じである。したがって、気流分布形状から優劣をつけることは困難であるので、無次元気流速から考察することにする。

表3-10 吹出口1穴の場合の各平均無次元気流速

誘導シート	室内	豚体周囲	豚体上部
無し	0.05±0.04	0.05±0.05	0.09±0.04
有り	0.07±0.05	0.07±0.03	0.09±0.03

表3-10をみると、舎内および豚体周囲の平均無次元気流速は気流誘導シート有りの方が大きくなっている。因子を吹出口数と気流誘導シートの有無で、舎内、豚体周囲および豚体上部の平均気流速の差の検定を行なった。その結果、舎内および豚体周囲については有意水準10%、豚体上部については有意水準5%で次の関係が認められた。

舎内 : 1, 無 = 1, 有 > 2, 無 = 2, 有 = 4, 無 = 4, 有

豚体周囲 : 1, 無 = 1, 有 = 2, 無 = 2, 有 = 4, 無 > 4, 有

豚体上部 : 1, 無 = 1, 有 = 2, 無 > 2, 有 = 4, 無 > 4, 有

これからも吹出口1穴が、総合的にみて、優れていることがわかる。平均無次元気流速の変動係数は、気流誘導シート無し、気流誘導シート有りの順に舎内では0.90, 0.79、豚体周囲では0.93, 0.46および豚体上部では0.08, 0.08となり、これからみると気流誘導シート有りではその値が小さくなり、気流速が均一であるといえる。

総合すると、気流誘導シート有りが豚体に多くの気流が均一に当たることになる。それ故、夏期に最適な換気方式は気流誘導シートを備え吹出口1穴ダクトから送風（陽圧換気）することであると結論できる。