



Title	異なる豚舎構造における豚の成育環境と生産に関する比較研究
Author(s)	堂腰, 純; DOHKOSHI, Jun; 浦野, 慎一 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 13(4), 517-541
Issue Date	1983-07-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11995
Type	departmental bulletin paper
File Information	13(4)_p517-541.pdf



異なる豚舎構造における豚の成育環境と 生産に関する比較研究

堂 腰 純

(北海道大学農学部農業工学科)

浦 野 慎 一

(北海道大学環境科学研究科環境構造学専攻)

片 山 秀 策

(北海道農業試験場農業物理部)

干 場 信 司

(北海道大学農学部農業工学科)

(昭和 57 年 12 月 4 日受理)

Comparative Study on the Animal Environment and the Productivity in two Different Structures of Swine Houses

Jun DOHKOSHI

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Shin-ichi URANO

(Division of Environmental Structure, Graduate School of Environmental
Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Shyusaku KATAYAMA

(Department of Agricultural Physics, Hokkaido National Agricultural
Experiment Station, Sapporo, Japan)

Shinji HOSHIBA

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

目 次

	4) 豚舎内外の温湿度	524
	2. 豚舎内の放射熱環境	526
	1) 天井と床の放射収支	526
	2) 舎内の平均放射熱環境	527
	3) 建物内部各方向の放射熱環境	527
	4) 天井による防暑効果	529
	5) 庇による防暑効果	530
	3. 舎内空気の衛生的環境	530
	1) アンモニアガス濃度と二酸化炭素濃度 ..	531
	2) 空中浮遊粉塵量	531
	3) 空中浮遊細菌数	533
I. はじめに		518
II. 調査の方法		518
1. 実験豚舎の概要		518
2. 測定項目と方法		520
III. 結果と考察		521
1. 換気特性と温湿度環境		521
1) 外気の状態		521
2) 換気量と舎内気流分布		521
3) 豚舎の熱収支		523

4. 生産効率	534
1) 増体量, 飼料要求率, 飼育日数	534
2) 罹病率, その他	537
3) 生産効率と環境要因	537
IV. 摘要	538
引用文献	539

I. はじめに

畜舎は、人間がきびしい自然環境から家畜を保護するために導入したのがその起源とされている。しかし、畜産業の発展とともにその機能は変化し、現在では生産性の向上および省力化の面から、多数の家畜を1カ所で集中管理することが畜舎の主要機能となっている。同一建物内での家畜の集中管理は、同時に畜舎のもうひとつの機能の重要性を示している。すなわち、集中化に伴う畜舎内環境の悪化、例えば家畜からの顕熱・潜熱発生に伴う高温・高湿化、あるいは二酸化炭素、アンモニア等の有害ガスおよび浮遊粉塵発生に伴う室内空気汚染などを防止し、家畜に可能な限り良好な環境を提供するという機能である。しかし、このような畜舎の環境面に関する機能は、飼養頭数の増加とともにいっそう重要になるにもかかわらず、今まであまり配慮されてこなかった。そのため、現在、飼養頭数・飼養密度の高い多くの畜舎で、舎内環境の悪化に伴う家畜の疾病率の増大、生産性の低下などが問題となっている。

このような問題を解決するためには、畜舎の換気効率を最大限に重視した畜舎構造の研究が必要とされる。またそれは、畜舎の熱的・衛生的環境および生産効率などの検討を通じて総合的に評価されなければならない。しかし、問題の重要性にもかかわらず、このような観点から畜舎構造を研究し、評価した例は極めて少ない。

本研究は、構造および換気方式の異なる2棟の肥育豚舎を対象にその構造を換気、舎内環境、生産性の面から総合的に評価し、2棟を比較・検討することにより、今後の豚舎あるいは畜舎のあり方を考察することを目的とした。実験に供した豚舎は、舎内環境の改善を目途とした断熱構造・強制換気方式の豚舎と、従来型の開放型自然換気方式の豚舎の2棟である。これらは、本研究に供するため、長野県の高原地域に同一規模で建設された。

本研究は、同一地域、同一床面積、同一飼養規模、同一管理のもとで、豚舎構造を舎内環境および生産性の両面から実証的に比較・検討したもので、このような研究は他に類をみない。畜産の現場では、このような実証的な研究の積み重ねを必要としており、本研究は今後の畜舎研究の方向を示すものとしても意義があると思われる。

II. 調査の方法

1. 実験豚舎の概要

実験対象とした豚舎は、我国で従来から慣行的に導入されている開放型自然換気方式と断熱構造・強制換気方式の肥育豚舎である。これらの豚舎は、本実験に供するため、長野県上水内郡三水村の同一地域にある軽量鉄骨造の旧養蚕舎を改造して建設された。

Table 1 に両豚舎の主たる構造上の比較を示し、Fig. 1, 2 に平面図および断面図を示す。

一般に、開放型自然換気方式の畜舎は、安価であるが、舎内温度および換気量が外気条件に影響されやすいという欠点を有している。したがってこの方式の畜舎は、換気性能の向上という面から各種の構造が検討されており、例えば米国では、現在、棟換気方式が自然換気方式畜舎の主流をなし、Cold Housing の典型的手法として普及している。日本においても、モニター屋根式乳牛舎

Table 1. Structure and ventilation systems of the experimental and control houses

	Experimental house	Control house
Structure	light weight steel structure	light weight steel structure
Roof	galvanized metal+expanded polystyrene (20 mm)	galvanized metal
Ceiling	plywood (5.5 mm)+expanded polystyrene (40 mm)	plywood (5.5 mm)
Wall	galvanized metal+plywood+expanded polystyrene (30 mm)	plywood (summer: open, winter: sheet cover)
Ventilation	thermostatically fan (50 m ³ /min.)×5 continuous fan (4 m ³ /min.)×3	natural ventilation with open space
Pen	8 pens (1 pen: 3.0 m×2.7 m, 10 heads)	8 pens (1 pen: 3.0 m×2.7 m, 10 heads)

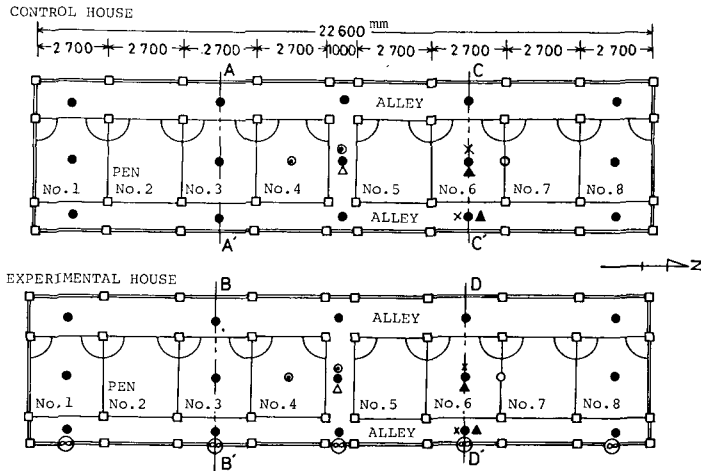


Fig. 1. Floor plans of the swine houses and the measurement site.

Symbols: ●, temperature (for distribution); △, temperature (for long term); ⊙, vector-radiant temperature; ⊕, sol-air temperature; ○, airborne particles; ×, airborne bacterial particles; ▲, CO₂ and NH₃.

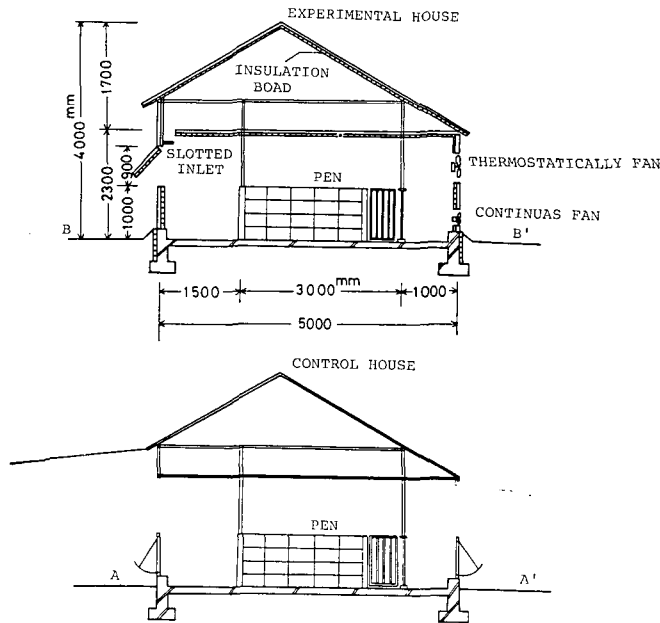


Fig. 2. Cross sections of the swine houses.

(例えば浦野, 1979)¹⁾, 棟換気方式肉牛舎 (例えば浦野他, 1980)²⁾ についての検討例が報告されている。しかし, 豚舎ではこのような研究例は少なく, 現場においても両壁面開放型の在来型が慣行的に導入されている場合が多い。本実験に供した自然換気方式豚舎は, 夏期に両壁面を開放し, 冬期に閉鎖するいわゆる在来型である。

一方, 断熱構造・強制換気方式の畜舎は, 建設費は若干高いが, 換気量の調節を基礎として, 舎内の熱的環境等の制御が可能であるとされている。この方式は, 乳牛舎では主として北海道等の寒冷地に多く導入され, 豚舎ではその他福島県, 茨城県, 千葉県など関東周辺にも普及しつつある。いずれも冬期間の熱的環境の向上という

Table 2. Method of measurement

	Date	Item	Method
Temperature	20-21 July 1980 (Summer)	Inside air temperature distribution horizontal: 15 points (the height of 150 cm) vertical: 9 points	C-C thermocouple and digital recorder
	12-14 Jan. 1981 (Winter)	Wall surface temperature (10 points)	
	Dec. 1980- Feb. 1981	Outside air temperature	
Ventilation	20-21 July 1980 (Summer)	Humidity ratio (inside and outside) Relative humidity (inside and outside)	Assmann ventilated psychrometer
	12-14 Jan. 1981 (Winter)	Inside air movement	Smoke tester and Anemo- master air speed meter
Thermal radiation	20-21 July 1980 (Summer)	Net radiation Mean radiative temperature	Net radiometer Grobe thermometer
	12-14 Jan. 1981 (Winter)	Vector radiant temperature Sol-air temperature	Vector radiant thermometer Sol-air thermometer
Aerosol	20-21 July 1980 (Summer)	Airborne particles	Piezo-balance type airborne particles meter
	12-14 Jan. 1981 (Winter)	Airborne bacterial particles NH ₃ and CO ₂ gases	Membrane filter method Kitagawa type gas meter
Production	May-Nov. 1980 (Summer) Sep. 1980-May 1981 (Winter)	Daily gain (all swine) Feed conversion Total feeding time	Weight meter

面で好結果が得られている。本実験に用いた強制換気方式の豚舎は、天井、壁面をすべて断熱構造にし、換気扇は温度調節用と連続換気用に分けて東側壁面に設置し、夏期の入気は、はねあげ窓を併用する一般的な断熱・換気構造とした。

本研究は、これら2つの型の豚舎について現場調査を行ない、構造および換気方式の違いからくる舎内環境の相違を詳細に把握し、生産面をも含めて総合的に評価することを目的とした。そのため、床面積、豚房構造など換気方式に無関係な構造要因、および飼養密度、飼養管理、導入幼豚種と月齢など生産に影響を及ぼすと考えられる要因は、可能な限り同一とした。

なお、本報告では、断熱構造・強制換気方式の豚舎を実験豚舎と称し、開放型自然換気方式の豚舎を対照豚舎と称して議論する。

2. 測定項目と方法

調査は、1980年5月から1981年5月まで約1年間にわたって行なわれた。環境調査・測定は、夏期と冬期に分けてそれぞれ1980年7月20日から同22日、1981年1月12日から同14日に行ない、温湿度と換気量、放射

熱、浮遊粉塵、細菌数などを測定した。生産効率については、体重測定をおおむね月に1回、疾病の有無、給飼量等の調査・測定を毎日実施し、ほぼ年間を通じて調査した。

Table 2に、測定項目と方法を示す。また、Fig. 2の平面図上に主たる測定項目の測点を示す。

なお、浮遊細菌数の測定は、メンブランフィルターにより被測定空気中の細菌を吸引捕捉するフィルター法で行ない、捕捉後液体培地(細菌用 M-TGE broth)を入れ、25°Cで48時間培養の後、コロニー数を計測した。浮遊細菌捕捉装置を Fig. 3 に示す。

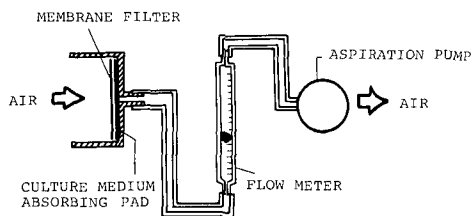


Fig. 3. Measuring equipment of airborne bacterial particles.

III. 結果と考察

1. 換気特性と温湿度環境

家畜の成長および生産効率に最も影響を及ぼす環境要因は、温湿度環境であると言われている。KLEIBER (1961)³⁾ は、家畜の新陳代謝の熱生産とその体温および環境温度 (environmental temperature または effective temperature) との関係を論じ、新陳代謝の物理的・化学的メカニズムについて熱的中立帯 (thermoneutrality zone) (BRODY, 1945)⁴⁾ の存在を示した。この場合、環境温度とは乾球温度だけでなく、湿球温度、空気の流れ、放射量などを含めたパラメーターとして定義されている。ESMEY (1969)⁵⁾ は、この熱的中立帯が動物のいわゆる適温帯 (comfort zone) にあたるとして、家畜の生産性と環境温度の関係を論じている。また、JOHNSON (1965)⁶⁾ は、各種乳牛について泌乳量と温度の関係を調べ、ホルスタインは 10°C から 15°C で最大の泌乳量が得られることを報告している。豚の増体量については、BOND and KELLEY (1960)⁷⁾ の報告などがあるが、一般に高い生産性を示す温度帯は乳牛より高いと考えられている。

また、換気は、建物内部に新鮮空気を供給し、同時に内部の汚染空気を除去することを目的としており、特に多頭羽の家畜が集約的に管理されるような畜舎では、動物の健康保持のため欠かすことのできない環境調節手段とされている。しかし、換気は同時に畜舎内外で熱交換を生じさせるため、畜舎内の温湿度環境に直接影響を与える。したがって家畜の生産性を左右する重要な要因となっている。

本節では、測定結果をもとに両豚舎の換気量および気流分布を明らかにし、それが舎内の温湿度特性にどのように影響しているかを比較し、検討する。

1) 外気の状態

夏期および冬期測定日の外気風向・風速を Fig. 4 に示す。夏期測定日は 0.5 m/s~1.0 m/s の風が吹き、この地域がゆるやかな谷を形成しているため、夜間に山風 (東風) が顕著であった。また、全天日射量は、約 5,000 kcal/m²·day (1980 年 7 月 21 日 0 時~24 時) で、7 月 21 日の最高気温は 29°C であった。夏期測定日は 3 日間とも晴天で、この地方の典型的な夏型気候であったと考えられる。

これに対し、冬期測定日は昼間に 1.0 m/s 前後の風がみられたが、夜間は 0.5 m/s 以下ではほぼ無風の状態であった。冬期 3 カ月間の外気温測定では、月平均気温は 1980 年 12 月が 0.1°C、1981 年 1 月が -3.8°C、同 2 月が

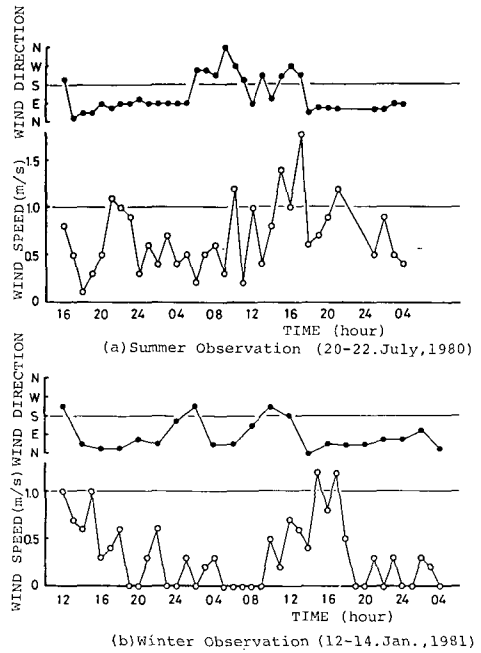


Fig. 4. Wind speeds and directions.

-2.5°C で 1 月が最も低かった (Fig. 9 参照)。また、冬の最低気温は -13.5°C であり、これは 1 月 17 日と 18 日の早朝に記録された。したがって測定が行なわれた 1 月 12 日から 14 日の 3 日間は、最も気温の低い時期であったといえる。なお、測定日の積雪深は約 1 m であった。

2) 換気量と舎内気流分布

実験豚舎の換気量は、入気口面積とその風速から実測が可能であるが、対照豚舎は自然換気方式であり、畜舎の入排気が外気の風向風速により短時間で変動するため、特定の時刻における正確な換気量を把握することは困難である。しかし、舎内外の水蒸気平衡の考え方を基に、概略的に 1 日の平均値としての換気量を求めることは可能である (長島他, 1980)⁸⁾。

畜舎内の空気状態が定常状態にあるとすれば、換気ともなる水蒸気および乾燥空気の物質収支から、次式が成り立つ。

$$\frac{x_i}{v_i} Q_{ti} - \frac{x_0}{v_0} Q_{t0} = W \quad (1)$$

$$\frac{Q_{ti}}{v_i} - \frac{Q_{t0}}{v_0} = 0 \quad (2)$$

但し、 x_i, x_0 : 舎内空気および外気の絶対湿度 kg/kg'
 v_i, v_0 : 舎内空気および外気の比容積 m³/kg'
 Q_{ti}, Q_{t0} : 排気量および入気量 m³/h
 W : 舎内の水蒸気発生量 kg/h

Table 3. Calculating table of ventilation rates

	Summer observation		Winter observation	
	Experimental	Control	Experimental	Control
Inside mean air temperature θ_i (°C)	23.3	23.2	9.0	2.1
” mean humidity ratio x_i (kg/kg')	0.01500	0.01506	0.00470	0.00351
” mean specific volume v_i (m ³ /kg')	0.860	0.860	0.805	0.784
Outside mean air temperature θ_0 (°C)	22.7		-5.3	
” mean humidity ratio x_0 (kg/kg')	0.01487		0.00226	
” mean specific volume v_0 (m ³ /kg')	0.859		0.761	
Difference of humidity ratio Δx (kg/kg')	0.00013	0.00019	0.00244	0.00125
Water vapor production* W (kg/h)	6.02	6.59	6.84	6.08
Mean specific volume \bar{v} (m ³ /kg')	0.859	0.859	0.783	0.773
Air exchange Q (m ³ /h)	39,800	29,800	2,190	3,760
Ventilation rate** N (n/h)	146	90	8.0	11.3
Measurement air exchange Q (m ³ /h)	42,400	—	2,780	—
Measurement ventilation rate N (n/h)	155	—	10.2	—

* from BOND *et al.* (1959), ** inside space volume: 273 m³ (exp.), 332 m³ (cont.)

ここで、換気量 Q を Q_{ii} と Q_{i0} の平均値とすれば、(1)、(2) から Q は次式で近似される。

$$Q = W\bar{v}/\Delta x \quad (3)$$

但し、 \bar{v} : 舎内外の平均比容積 m³/kg'

Δx : 舎内外の絶対湿度差 kg/kg'

(3) 式を用いて両豚舎の夏期および冬期測定日における1日の平均換気量を計算し、換気率を求めた結果、実験豚舎が夏期に146回/時、冬期に8.0回/時であり、対照豚舎がそれぞれ90回/時、11.3回/時であった。換気量計算に用いた数値を Table 3 に示す。表には、実験豚舎における入気口面積と風速から求めた換気量の実測値も示しているが、実験豚舎の計算値は夏期、冬期ともこの実測値に近い値を示している。したがって、水蒸気平衡条件を基礎に求めた1日の平均換気量は、平均値ではあるが両豚舎の比較に際して十分信頼性があるものと考えられる。以後、両豚舎の比較にはこの計算値を使用する。

夏期の換気量は換気率では差がみられるが、両豚舎とも非常に大きい。これを1頭当りの換気量に換算すると、実験豚舎 650 m³/h·head、対照豚舎 450 m³/h·head であり、これは米国で示されている肥育豚 (45 kg) 1頭当りの夏期における必要換気量⁹⁾ 170 m³/h·head の2.5倍から3倍に相当する。

冬期は、対照豚舎はビニールシートで壁面開口部を閉鎖し、実験豚舎もはねあげ窓を閉鎖し、入気は側壁の天井近くに設けた入気口からのみとし、冬期用の連続換気扇の他はサーモスタットによる運転になるため、両豚舎とも換気量は少ない。また、1頭当りの換気量は実験豚舎が29 m³/h·head、対照豚舎が49 m³/h·head となり、対象豚舎が多く、実験豚舎の約1.7倍となった。両豚舎とも冬期の必要最低換気量⁹⁾ 17 m³/h (45 kg 肥育豚) 以上の換気量が得られているが、夏期とちがひ換気量の少ない冬期では、このような差が後述のエアゾル環境に様々な影響を与えるものと思われる。

Fig. 5, 6 は夏期および冬期測定日における舎内気流分布である。夏期は換気量が多いため、実験豚舎では入気口から排気用換気扇へ向かって一様な気流が形成されていた。しかしその風速は、Fig. 7 にみられるように豚房付近では小さい。これに対し対照豚舎は気流の方向が定まらず、風速もまちまちであった。冬期は、舎内気流の垂直分布に豚舎間で顕著な差が示された。すなわち、実験豚舎では軒下から入気した空気が舎内の対流空気と混合しながら下降し、全体として排気用換気扇へと向かう安定した気流がみられる。一方、対照豚舎では安定した気流は示されていないが、中央豚房付近に上昇流がみられるため、対流により両壁面下部から豚房へ向かっての

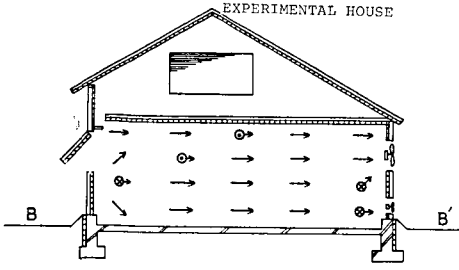


Fig. 5. Inside air movement distributions for summer observation (21 July 1981).

Arrows show the directions; symbol \odot , from back to front; \otimes , from front to back.

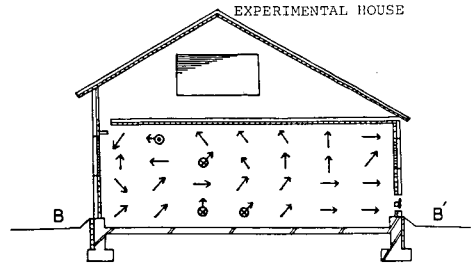


Fig. 6. Inside air movement distributions for winter observation (13 Jan. 1981).

Arrows show the directions; symbol \odot , from back to front; \otimes , from front to back; D, disturbance.

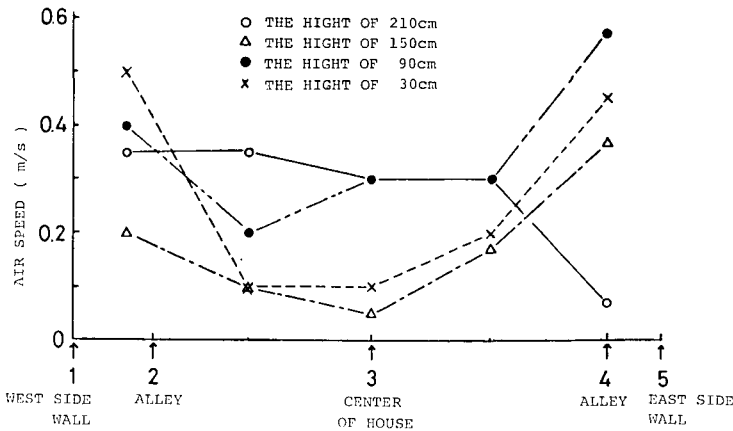
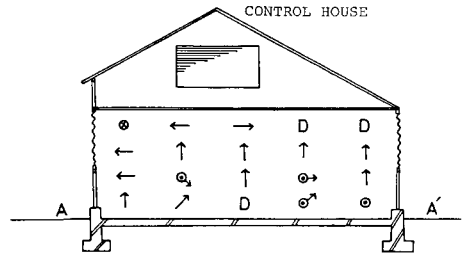
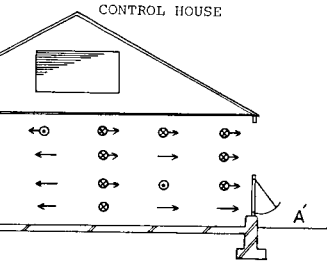


Fig. 7. Inside air speed distribution of the experimental house for summer observation (13 Jan. 1981). Cross section is the same of Fig. 5, 6.

冷気の移動が推定される。このような舎内気流の差は、豚体周辺の温湿度環境に異なった影響を与える。舎内気流の分布は換気量とともに重要な環境構成要因であり、生産効率にも影響するものと思われる。

3) 豚舎の熱収支

Fig. 8 は、前項で述べた換気量および豚舎内外の壁体

表面温度等から求めた、1日の平均熱収支図である。舎内の発生熱量は豚体からのみとし、BOND *et al.* (1952)¹⁰⁾の資料をもとに計算した。図で流入熱量と流出熱量が異なるのは、測定誤差の他に、資料から求めた発生熱量が現場での実際の値と異なるため、その誤差が含まれているためと思われる。

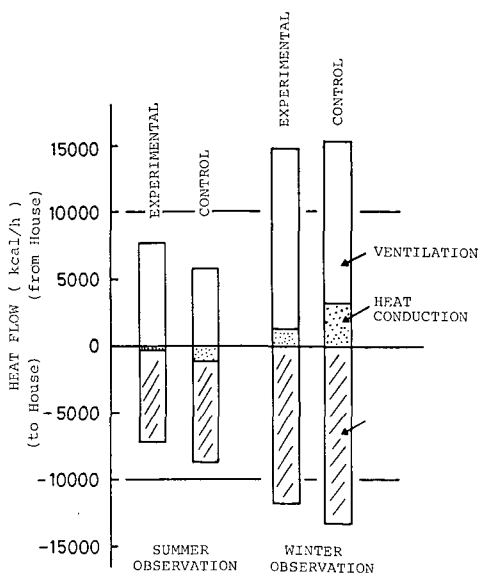


Fig. 8. The mean heat balance of each house for summer and winter observations.

壁体を通じての熱移動は、両豚舎とも夏期が流入方向、冬期が流出方向となっている。その量はいずれも実験豚舎の方が小さい。これは、壁体への断熱材使用の有無による壁体の熱抵抗値の相違によるものである。また、このことは、直接に舎内の壁体表面温度の相違としてあらわれる。すなわち、実験豚舎では、舎内の壁体表面温度は外気からの影響が少なく、対照豚舎と比較して夏期に低温、冬期に高温となっている。特に対照豚舎では夏期屋間に、天井からの熱流入が大であり、天井面温度は極めて高温となり、後述する舎内の放射熱環境の相違の原因となっている。

また、冬期の換気による熱交換についてみると、換気による

流出熱量そのものは豚舎間で大きな差はないが、熱伝導による損失量が相違するため、全流出熱量に対する換気による熱交換の割合は実験豚舎の方が大となっている。すなわち、実験豚舎においては、舎内の発生熱量が換気による熱交換によって舎内温度を維持するために有効に利用されていることを示しており、断熱構造・強制換気方式の畜舎の特徴が示されている。したがって実験豚舎では、換気量を調節することにより、舎内を飼養適温に近く保つことが可能である。一方、対照豚舎では同一換気量を得ようとするならば、必然的に舎内温度は低くなる。本実験でも後述するように、冬期の舎内温度は豚舎間に顕著な差が示された。

4) 豚舎内外の温湿度

豚舎内外の気温は、1年間の長期測定が行なわれた。夏期は欠測が多かったが、両豚舎および外気の温度にはほとんど差がみられなかった。一方、冬期は Fig. 9 に示した冬期3カ月間の日平均気温に示されているように、実験豚舎では温度がほぼ10°Cに保たれているのに対し、対照豚舎では厳寒期に0°C近くまで低下しており、温度環境に顕著な差が示された。

この傾向は、Fig. 10, 11 に示した測定日の温湿度状況にも示されている。図で両豚舎とも夏期に外気と舎内の温・湿度差が小さく、冬期に大きいのは、主として夏期と冬期の換気量の差(前項参照)によるものと考えられる。しかし、冬期にみられる両豚舎間での温度差は実験豚舎が断熱構造を有していることからくる畜舎のみかけ上の熱容量の差が原因となっている。実験豚舎は、熱伝導による舎内外の熱移動が小さいため、畜舎のみかけ上の熱容量は対照豚舎より大きい。このことは、夏期に対照豚舎の方が実験豚舎と比べて昼間に高温であり、夜間に低温であるという結果にもあらわれている。しかし、

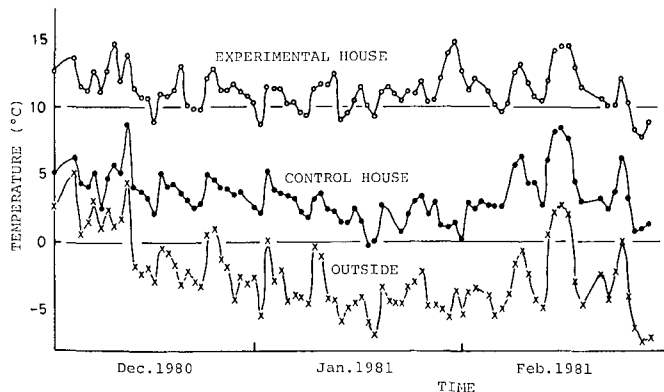


Fig. 9. Inside and outside air temperatures of the swine houses during winter.

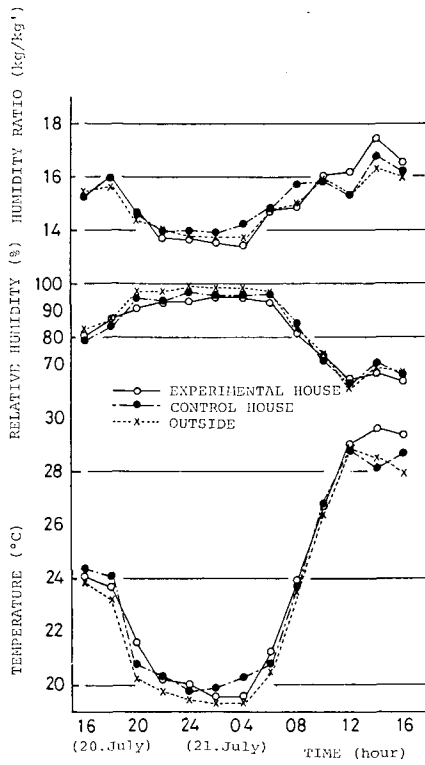


Fig. 10. Inside and outside temperatures, relative humidities and humidity ratios of the swine houses for summer observation.

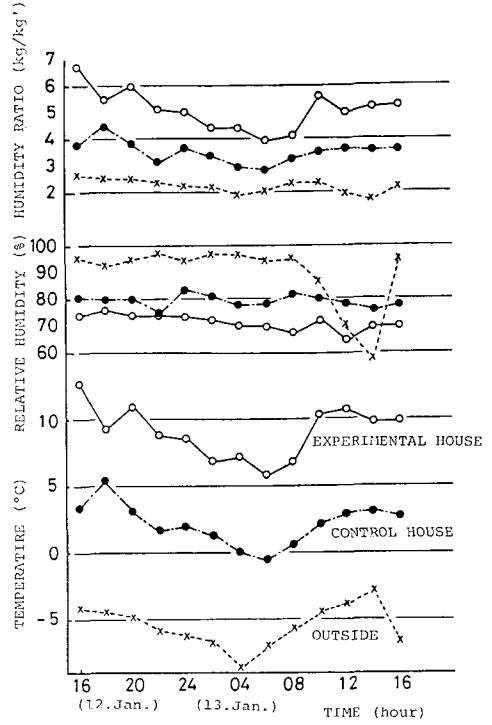


Fig. 11. Inside and outside temperatures, relative humidities and humidity ratios of the swine houses for winter observations.

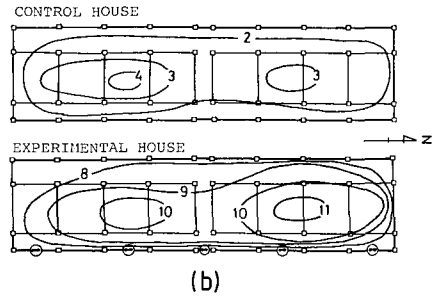
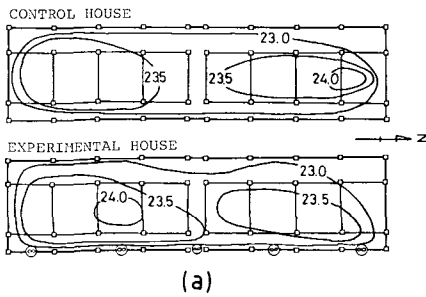


Fig. 12. Horizontal distributions of daily mean temperature ($^{\circ}\text{C}$) of each swine house for (a) summer observation (20-21 July 1980) (b) winter observation (12-13 Jan. 1981).

夏期の両豚舎間の温度差は、換気量が大きくあるため極めて小さい。このように、断熱材使用の有無による壁体の熱伝導率の相違は、両豚舎の換気量が等しいならば、相対的に換気量の少ない冬期にその影響が大きい。この場合、評価されるべき環境要因は、舎内温度である。

Fig. 12, 13 は、測定日の日平均温度分布を示したものである。水平温度分布は、豚のいる豚房付近に高温部が位置している。また、豚舎間および夏期・冬期で温度の

差はあるが、その分布パターンはおおむね類似している。しかし、詳細をみると、実験豚舎は低温部が入気口付近に、高温部が換気扇側に分布している。この傾向は冬期の垂直温度分布に顕著に示されている。このことは、換気方式の相違が原因であり、実験豚舎では上部入気口から流入した空気が舎内空気と混合し、暖ためられながら下降しているのに対し、対照豚舎は、中央高温部の上昇流により、入気空気が下部から冷気として侵入している

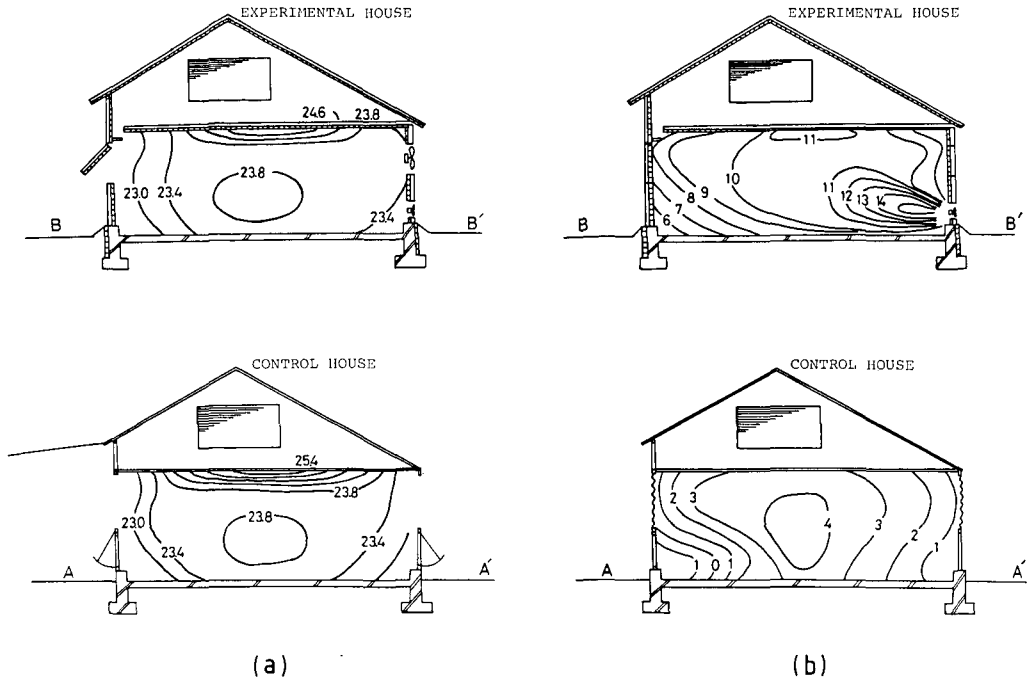


Fig. 13. Vertical distributions of daily mean temperature ($^{\circ}\text{C}$) of each swine house for (a) summer observation (20-21 July 1980) (b) winter observation (12-13 Jan. 1981).

ためと考えられる。Fig. 6 に示した冬期測定日の気流分布でも、実験豚舎では入気空気が舎内空気と混合して下降している様子がよく示されている。

2. 豚舎内の放射熱環境

豚舎内の放射熱環境は、豚と建物内表面からの熱放射、窓などの開口部を通しての日射や天空放射などの間の放射熱伝達によって形成されている。放射熱は、温度・湿度など他の熱的環境要因と同様に家畜生産に影響をもつ要因と考えられている。

夏季においては、高い外気温と日射により建物外表面が高温となり、壁や天井を熱伝導によって舎内に伝えられた熱は、舎内表面温度を上昇させる。この表面からの熱放射が豚の体表面温度を上昇させる。また同時に太陽からの日射と周囲の地物から反射された日射のうち窓などの開口部を通して舎内に入射した日射は、豚の体表面温度を上昇させるのみならず、舎内各部表面の温度を高め熱放射を発生させる。これらの放射熱環境と高い舎内気温が豚に暑熱ストレスを与え、下痢・食欲不振・繁殖障害などを生じさせる原因となる。

また、冬季においては低い外気温や天空放射などにより建物が低温となり、低温な舎内各部表面へ放射によって豚から熱が奪われ低い舎内気温に加わって飼料効率の

低下、下痢などの寒冷ストレスの原因となる。

これらの熱ストレスは、生産効率の低下に結びつくと考えられ、特に開放型自然換気豚舎において問題となっている。

放射熱環境は、建物の方位・形状・断熱の有無・開口部の寸法・日よけ・庇陰樹の有無など各種の条件によって異なると考えられる。本節では、実験豚舎と対照豚舎の放射熱環境を比較し、各豚舎での特徴的な問題点について検討した。

1) 天井と床の放射収支

夏季の放射収支の測定結果は、放射の方向を天井から床へ向う成分を正、その逆向きを負とすると、Fig. 14 に示すように、対照豚舎では日射の増加に従って天井から床への放射が増加し、夜間は床から天井へ向けての放射が多くなっている。実験豚舎においては、日射の増加によってわずかに天井から床への放射が多くなっており、1日の大部分は床から天井への放射が大となっている。このことは、実験豚舎では天井・屋根に断熱が施工されており、天井面を通して舎内への熱の侵入が少ないことを示している。

対照豚舎では、断熱がなく開放型であるため、日中の屋根からの熱が天井を通して侵入しやすく、夜間には、

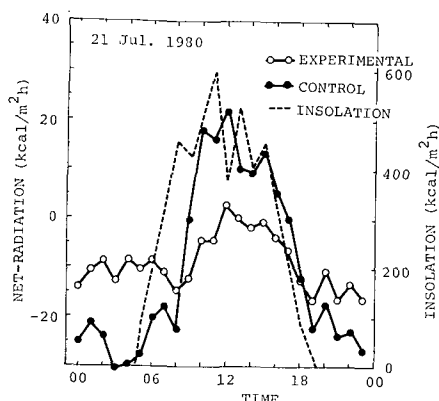


Fig. 14. Comparison of net radiation between ceiling and floor for summer observation. Positive value is from ceiling to floor.

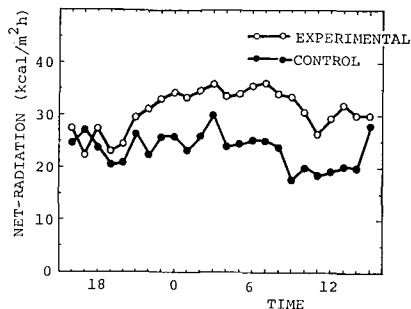


Fig. 15. Comparison of net radiation between ceiling and floor for winter observation. Positive value is from floor to ceiling.

天空放射による屋根面の冷却の影響と，日中の天井からの放射と開口部からの日射による熱が床のコンクリートに蓄積されることにより，床から天井へ向けての放射が多くなったと考えられる。

冬季の放射収支の測定結果は，Fig. 15 に示すように，実験豚舎・対照豚舎ともに天井から床へ向けての放射が多く，その値は実験豚舎で大であった。前節で示された温度環境が実験豚舎に比較して対照豚舎では低く，また後述のように天井面の放射温度も低いことによると考えられる。

以上の結果，実験豚舎は，屋根と天井の断熱により放射熱環境が改善されているといえよう。

2) 舎内の平均的放射熱環境

舎内の豚をとり囲む平均的放射熱環境は，一般的に建物内部表面の温度を指標とした平均放射温度によって表わすことができる。しかし，建物内部表面温度の分布

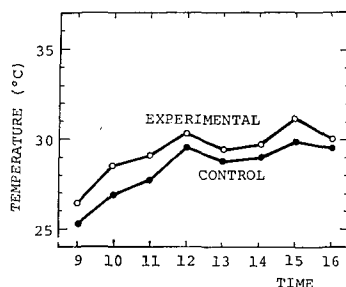


Fig. 16. Mean radiant temperature calculated from black globe thermometer data for summer observation.

は，複雑であるため温度計を用いて直接測定することは困難である。そのため，平均放射温度は黒球温度計による測定によって求めた。

ここで使用した黒球温度計は，ピンポン球を用いたもので^{11),12)}，平均放射温度は次式で求められる。

$$t_m = (Q_r/\sigma)^{\frac{1}{4}} - 273.15 \quad (4)$$

$$Q_r = 1.591\sqrt{v} (+g - t_a) + \sigma T_g^4 \quad (5)$$

t_m : 平均放射温度 (°C)

Q_r : 放射熱負荷 (kcal/m²h)

σ : ステファン・ボルツマン定数 (4.88×10^{-8})

v : 風速 (m/s)

t_a : 気温 (°C)

T_g : 黒球温度 (°C)

T_g : 黒球温度の絶対温度 (K)

平均放射温度の測定は，夏季のみ実施し，Fig. 16 に示す結果となった。前節で示されたように実験豚舎と対照豚舎は，その温度環境に大きな差がなかったにもかかわらず，平均放射温度は，対照豚舎が実験豚舎より常に高い温度で推移した。次項で示すように，天井と床の放射収支では，夜間対照豚舎が実験豚舎よりも床から天井へ向けての放射量が大きく，天井面が床面よりも低い放射温度をもつと考えられたが，平均放射温度で示された平均的な放射熱環境では，対照豚舎が実験豚舎に比べて熱ストレスが多いことが示されている。

3) 建物内部各方向の放射熱環境

豚舎内の放射熱環境は，窓などの開口部の方位・位置，建物の方位・材質などと，日射や外気温の時間的変化により，時々刻々と変化しており，これらの変化により豚が建物内部の表面から受ける放射熱もその強度と方向が変化すると考えられる。放射熱の強度とその方向を明らかにすることにより，豚舎内の放射熱環境の評価と改善

方法の検討が可能となる。

前二項に示した従来の放射熱環境測定方法では、放射熱の強度と方向を明らかにするには困難がある。放射収支計による方法では、放射の方向は明らかになるが強度の絶対値を求めることができない。また、黒球温度計では、前述のように平均的な放射熱のみが明らかになるにすぎない。

従来の測定方法の欠点を補い、簡易に畜舎内の放射熱の方向と強度を測定することが可能なベクトル放射温度計¹³⁾を開発し、この放射温度計によって、実験豚舎と対照豚舎の放射熱環境を比較した。

ベクトル放射温度計の x 面での放射熱量 Q_x は、測定部での裏側への熱流がないと仮定すると、式(6)で求められる。

$$Q_x = \varepsilon \sigma F_x T_x^4 + h_x (t_x - t_a) \quad (6)$$

Q_x : x 面への放射熱量 (kcal/m²h)

ε : 測定面の放射率 ($\varepsilon \cong 1.0$)

σ : ステファン・ボルツマン定数

F_x : x 面と対面する壁面との形態係数 ($\cong 1.0$)

T_x : x 面の温度の絶対温度 (K)

t_x : x 面の温度 (°C)

t_a : 空気温 (°C)

h_x : x 面の熱伝達係数 (kcal/m²h °C)

また、 x 面が対面する壁面の放射温度は、次式で求められる。

$$t_{rx} = \left(\frac{Q_x}{\varepsilon \sigma F_x} \right)^{\frac{1}{4}} - 274.15 \quad (7)$$

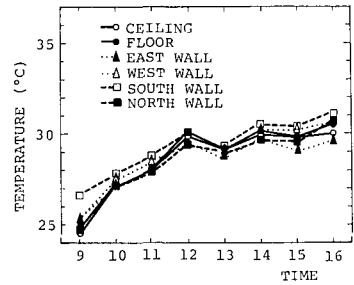
t_{rx} : x 面の対面する壁面の放射温度 (°C)

測定面の放射率は、黒体塗料を使用しているため 1.0 であり、形態係数も測定面の対面する壁面全体を対象とするならば、1.0 となる。また、熱伝達係数は、風向によって各測定面がそれぞれ異なった値となるが、舎内風速が 0.5 m/s 以下と小さく、放射熱伝達成分に比較して対流熱伝達成分が小さいため、各面の熱伝達係数は全て等しいと仮定し、強制対流の平板に対する Jürges の式を用いた。

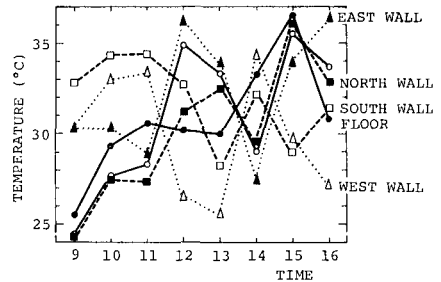
$$h_x = 5.0 + 3.4 v \quad (8)$$

v : 風速 (m/s)

ベクトル放射温度計による夏の測定結果は、実験豚舎と対照豚舎の放射温度について Fig. 17 に示すとおりである。実験豚舎では、断熱の効果により、舎内各方向の放射温度はほぼ等しく、均一な放射熱環境であると考えられる。一方、対照豚舎では、開放型で無断熱である



(a)



(b)

Fig. 17. Radiant temperature changes in (a) experimental house and (b) control house for summer observation (21 July 1980).

ため、舎内各方向の放射温度は時刻によって大きな変動がみられた。対照豚舎では、東・西・南の三方位の壁が開放されており、この開口を通して日射や地面・隣接する実験豚舎などからの照り返しなどの影響が明らかにみられる。また、天井は、太陽の南中時を中心とした前後の時間に、屋根が日射により高温となり、その熱が天井に伝えられ高い温度となった。床面では、開口部から入射する日射と天井からの放射による床面温度の上昇がコンクリートの蓄熱作用により時間遅れを伴ってあらわれていることがわかる。

比較のために、実験豚舎と対照豚舎の放射温度の垂直・水平温度分布を示したものが Fig. 18 である。午前 3 時には、対照豚舎の庇の小さい東と南側の開口のある方向が天空放射により低温となり、林が近い北壁の方向では天空放射の影響を受けず高い温度となっている以外は、実験豚舎とほぼ等しい放射温度となっている。しかし、日の出とともに、対照豚舎では開口部からの日射や照り返しにより放射温度が上昇し始めており、午前 9 時では太陽高度の関係で西側開口からの照り返しによる影響がみられた。正午の図に見られるように、太陽高度が高く日射が強くなるにつれて対照豚舎の天井面の温度の上

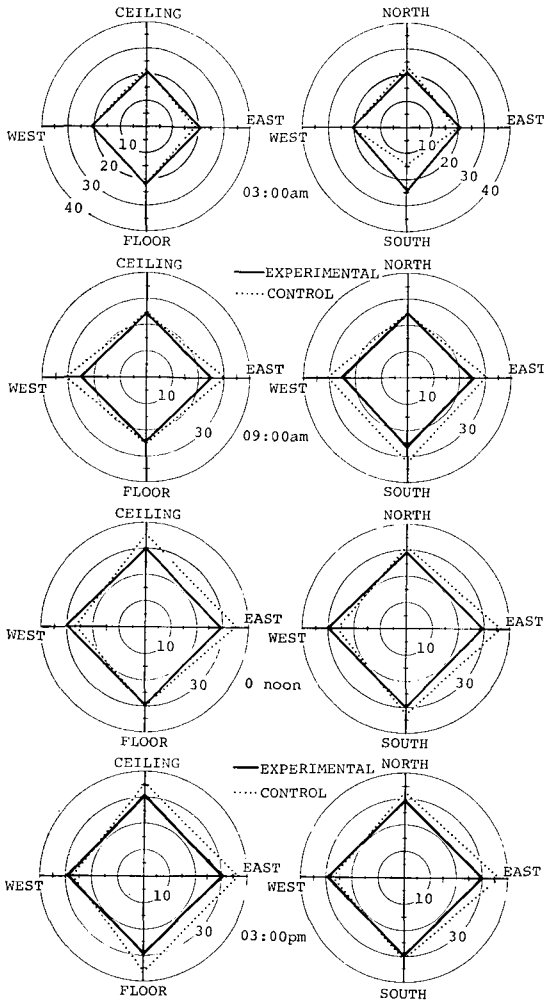


Fig. 18. Vertical and horizontal profiles of radiant temperature for summer observation (July 21, 1980).

昇、庇の長い西側開口からの放射の減少、庇が短かく実験豚舎に對面した東側開口では反射による日射の侵入が顕著となった。午後には、對照豚舎の天井・開口からの放射による床の温度上昇があらわれ、東側開口から実験豚舎西側外壁面に反射した日射が侵入してきている。それに反して西側は大きな庇の効果で放射熱が遮られていることが明らかとなった。

以上のように、夏の放射熱に関しては、実験豚舎の断熱の効果が明確となった。

冬季のベクトル放射温度計による測定は、Fig. 19 に示す結果となり、実験豚舎・對照豚舎の両者ともに天井面を除いて各方向の放射温度はほぼ近似する傾向が示さ

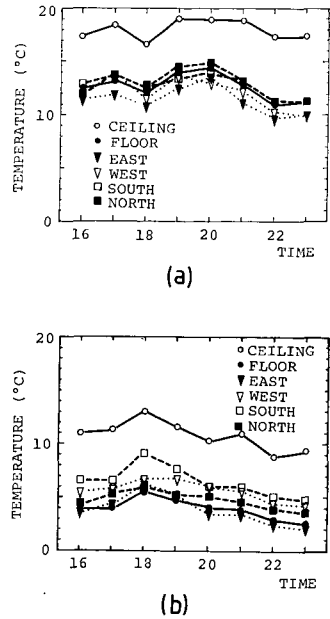


Fig. 19. Radiant temperature changes in (a) experimental house and (b) control house for winter observation (11 Jan. 1981).

れた。ただし実験豚舎の放射温度計が豚によって破壊されたため、日中の比較がおこなえなかった。

對照豚舎で各面の放射温度が近似した値となったことは、開口部がシートに覆われ、その周囲が軒まである雪にかくされていたため天空放射の影響がでなかったのであろう。

天井面の放射温度が、実験豚舎・對照豚舎の双方において他の方向の放射温度より高くなった原因としては、豚体の放熱により暖められた空気が上昇し天井面の温度を高めるためによって生じたと考えられる。

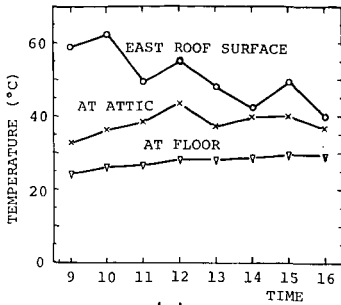
しかし、気温・放射温度ともに実験豚舎が對照豚舎に比較して約10°C高く、そのため両豚舎は全く異なった放射熱環境にあるといえよう。

4) 天井による防暑効果

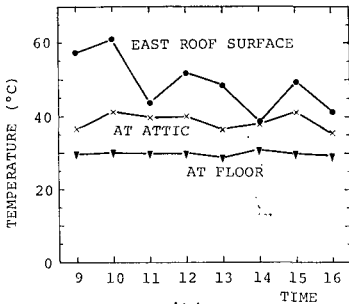
天井は天井裏の空気の断熱作用と屋根の裏面からの放射を防ぐ作用により、防暑効果があるとされている。実験豚舎の断熱のある天井、對照豚舎の断熱のない天井について、その防暑効果を比較検討した。

Fig. 20 に夏期測定時における実験豚舎・對照豚舎の屋根表面温度、天井面・床面の相当外気温度を示す。

相当外気温度とは、日射や放射を受ける場合の壁や屋根などの表面近傍の気温であり、気温を次式によって修



(a)



(b)

Fig. 20. Sol-air temperatures in (a) experimental house and (b) control house for summer observaiton (21 July 1980).

正した値である。また、舎内の場合には、豚の体表面近傍の気温と考えることができる。

$$t_e = t_a + \frac{aI}{h} - \frac{\epsilon \Delta R}{h} \quad (9)$$

- t_e : 相当外気温
- a : 表面の日射吸収係数
- I : 日射量 (kcal/m²h)
- ΔR : 長波放射量 (kcal/m²h)
- h : 表面の熱伝達係数 (kcal/m²h°C)

この相当外気温度は、筆者の1人である片山らが開発した相当外気温度計¹⁴⁾によって測定した。

図に示すように、実験豚舎・対照豚舎ともに、屋根面、天井裏面相当外気温度、床面相当外気温度の順に低下しており、天井には防暑効果があることは明らかであった。

対照豚舎の天井のように断熱のない厚さ3mmのベニヤ板によっても屋根裏面からの放射を防ぐことが可能であった。

5) 庇による防暑効果

ベクトル放射温度の項で述べたように、対照豚舎の両側の庇が舎内へ入射する日射を防ぐ効果がみられたが、この効果について太陽位置との間で検討を加えた。

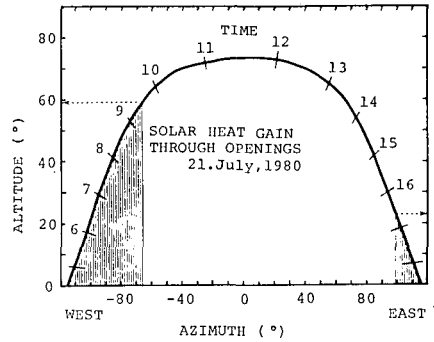


Fig. 21. Sun chart at the day of July 21.

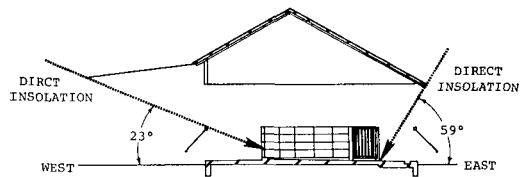


Fig. 22. Maximum altitude for heat gain through openings in control house.

測定日の昭和55年7月21日の太陽位置図は Fig. 21 に示すものであり、方位角は真南を0、東を負、西を正としてある。対照豚舎は、Fig. 22 に示す断面をもち、東側では太陽高度59°以下の日射は全て豚房内に入射することとなり、西側では23°以下の日射が豚房内に入ることを示している。Fig. 21 からこれらの角度に対応する時間は、東側では日の出から午前9時30分までの約5時間であり、西側では午後4時40分から日没までの2時間であり、この時間は非常に弱い日射量の時間帯のため防暑効果が大きかった。

対照豚舎の西側の庇は、計画されたものではなかったが、改造前のはね上げ式の側壁をそのまま利用しただけであったが大きな防暑効果が得られた。

3. 舎内空気の衛生的環境

実験豚舎と対照豚舎の構造の相違は、畜舎の熱的環境に影響しているだけでなく、換気方式の違いにより、舎内空気の衛生的環境にも影響しているものと考えられる。家畜に対する熱的、衛生的環境の影響の程度は、家畜の種類、月齢、家畜の用途(乳、肉、卵など)等でそれぞれ異なると考えられるが、このことに関する報告は少ない。子牛については、JORDANら(1977)¹⁵⁾が衛生的環境の重要性を主張し、カーフハッチで飼育することの意義を説いている。このことは、干場ら(1980)¹⁶⁾、曾根ら(1980)¹⁷⁾によっても実証されつつある。同様に、豚についても豚舎内空気の衛生的環境を解明し、その影響を検討する必

要があると思われる。

本節では、豚舎内空気の衛生的環境要素として、アンモニアガス濃度、二酸化炭素ガス濃度、空中浮遊粉塵量および空中浮遊細菌数をとりあげ、両豚舎を比較し検討する。

1) アンモニアガス濃度と二酸化炭素濃度

アンモニアガス濃度および二酸化炭素濃度については、これまで多くの報告がなされている。ここでは、換気方式の異なる豚舎間におけるガス濃度の差について検討した。

冬期測定時におけるアンモニアガス濃度と二酸化炭素濃度の経時変化を Table 4, 5 に示す。アンモニアガス濃度は、両豚舎間に大きな差はなかった。実験豚舎では、第6豚房の高さ約1mにおける濃度よりも、糞尿溝側通路の床面付近の方が若干高い値を示した。二酸化炭素濃度は、実験豚舎の方が対照豚舎より明らかに高い値を示した。このことは、III-1 で示した豚舎間の換気量の差に起因しているものと思われる。

なお、夏期には、アンモニアガス濃度は測定器（北川式ガス検知管）の測定可能値より低く、ほぼ0 ppmであり二酸化炭素濃度も両豚舎とも0.05%以下で、豚舎間に差はみられなかった。すなわち、夏期は換気量が非常に大きかったため、両豚舎とも舎内のガス濃度は、屋外とはほぼ等しい値を示したものと考えられる。

2) 空中浮遊粉塵量

HONEY and MCQUITTY (1979)¹⁸⁾ は、畜舎内空中浮遊粉塵が、微生物と結びついて家畜の呼吸器系疾患を引き起こすと報告し、さらに、豚舎について、空中浮遊粉塵量に影響をおよぼす物理的環境要因について報告している。

BUNDY ら (1975)¹⁹⁾ は、空中浮遊粉塵が畜舎の建築材料や内部施設の老朽化を早め、また、家畜や作業者の呼吸器系疾患を引き起し、さらに臭気を運搬する役目を果たすと述べている。

我国においては測定例が少ないが、鶏舎については、山口ら (1979)²⁰⁾ の報告、豚舎については、浦野ら (1980)²¹⁾ の報告がある。浦野らは、豚舎の換気量と空中浮遊粉塵量との関係を論じており、換気量の増大とともに、空中浮遊粉塵量が減少する傾向にあることを報告している。

ここでは、両豚舎の換気方式の相違が空中浮遊粉塵量におよぼす影響について検討し、さらに、豚舎における空中浮遊粉塵量収支から、豚舎内部における発生粉塵量の推定を試みる。

Table 6, 7 に、両豚舎の夏期および冬期測定時の空中浮遊粉塵量の経時変化を示す。これによると、夏期調査時における日平均値では、豚舎間に差はなく、0.06 から 0.07 mg/m³ ともに小さかった。このことは、夏期の換気量が、豚舎間に差があるものの、ともに大であった

Table 4. Concentration of NH₃ gas for winter observation (p.p.m.)

		12 Jan. 1981		13 Jan. 1981			Mean
		1930-2032	2338-0002	0314-0407	0727-0836	1333-1444	
Experimental	Pen of No. 6	10	8	11	10	10	10
	Exhaust fan	12	13	12	12	15	13
Control	Pen of No. 6	10	10	10	3	12	9
Outside		0	—	0	—	0	0

Table 5. Concentration of CO₂ gas for winter observation (%)

		12 Jan. 1981		13 Jan. 1981			Mean
		1930-2032	2328-0002	0314-0407	0727-0836	1333-1444	
Experimental	Pen of No. 6	0.17	0.13	0.16	0.13	0.17	0.15
	Exhaust fan	0.27	0.16	0.12	0.13	0.17	0.17
Control	Pen of No. 6	0.08	0.09	0.06	0.10	0.11	0.09
Outside		0.03		0.04		0.03	0.03

Table 6. Concentration of airborne particles for summer observation (mg/m³)

		20 July 1980		21 July 1980			Mean
		1900	2000	0500	1130	1600	
Experimental	Pen of No. 3	0.03	0.06	0.11	0.06	0.04	0.06
	Pen of No. 6	0.02	0.11	0.06	0.07	0.06	0.06
Control	Pen of No. 3	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06
	Pen of No. 6	0.01	0.08	0.05	0.19	0.04	0.07
Outside		0.04	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03

Table 7. Concentration of airborne particles for winter observation (mg/m³)

time	12 Jan. 1981				13 Jan. 1981					Mean
	1700	1900	2100	0100	0500	0700	0900	1300	1500	
Experimental (Pen of No. 6)	0.43	0.98	1.65	0.37	0.37	0.24	0.34	0.70	0.79	0.65
Control (Pen of No. 6)	0.29	0.21	0.19	0.04	0.07	0.06	0.08	0.16	0.33	0.16
Outside	0.05	0.01	—	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02

ためと考えられる。また、1日の変動は、豚の動きに大きく影響されていた。屋外の浮遊粉塵量は、0.01~0.04 mg/m³の範囲にあり、比較的安定した値を示した。

一方、冬期調査時には両豚舎間の浮遊粉塵量に顕著な差が生じ、数値も夏期より大であった。すなわち、日平均値と比較すると、実験豚舎の浮遊粉塵量は、夏期の約10倍の0.65 mg/m³、対照豚舎でも約4倍の0.16 mg/m³であり、また実験豚舎の方が対照豚舎より約4倍高い値を示した。

また、夏期調査時における垂直分布は、Fig. 23に示したように比較的均一であり、両豚舎の分布パターンにほとんど差はみられなかった。実験豚舎中央下部の大きな値は、豚の行動の影響を直接受けたものであろうと思われる。

次に、空中浮遊粉塵の収支について述べる。豚舎において空中浮遊粉塵の出入りが定常状態にあると仮定すると、Fig. 24に示したように、豚舎内で発生する浮遊粉塵量は、排出された豚舎内空気中の浮遊粉塵量と入気した外気中の浮遊粉塵量との差として与えられる。

すなわち、次式が成立する。

$$D_p = D_i - D_0 \tag{10}$$

$$= V \cdot (d_i - d_0)$$

但し、 D_p : 豚舎内で発生する浮遊粉塵量 (mg/hr)

D_i : D_0 排気および入気空気中の浮遊粉塵量 (mg/hr)

V : 換気量 (m³/hr)

d_i, d_0 : 排気および入気空気1 m³に含まれた粉塵量 (測定値) (mg/m³)

Table 6, 7に示した測定値をもとに、(10)式より、夏期および冬期調査時における両豚舎内での発生浮遊粉塵量を算出した。その結果をTable 8に示す。発生浮遊粉塵量は、豚舎の構造、糞尿処理の方法、給飼方法、その他作業体系、換気方式などにより異なるものと考えられるが、今回調査を行なった2つの豚舎の測定値からは、600~1,300 mg/m³の範囲の値であると推定された。冬期調査時に対照豚舎で低い値を示しているが、このことは、この時の床面が、糞尿で濡れていたことを観察しており、そのための結果と考えられる。床面が乾燥している場合の他の推定値では、1,200~1,300 mg/hrであり、上記数値と類似した値が得られた。

以上の結果を要約すると次の通りである。夏期調査時においては、実験豚舎の方が換気回数では大きいものの、両豚舎とも十分な換気量が得られており、そのため豚舎間の浮遊粉塵量に差がみられなかった。これに対し、冬期調査時においては、実験豚舎で換気量が夏期の $\frac{1}{17}$ 以下となっており、発生浮遊粉塵量は夏期とほとんど変

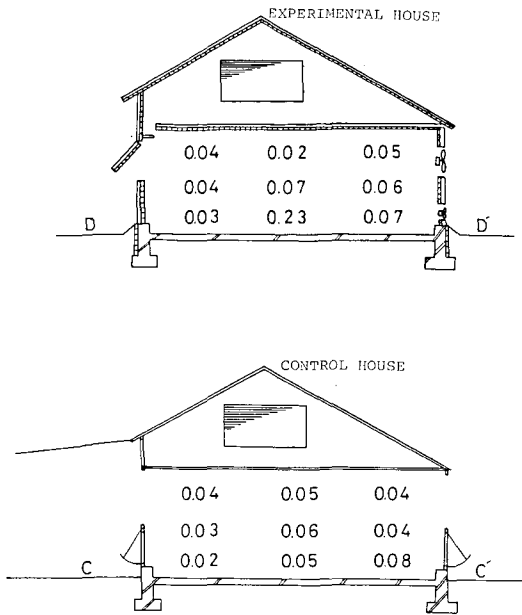


Fig. 23. Distributions of the airborne particles for summer observation (mg/h).

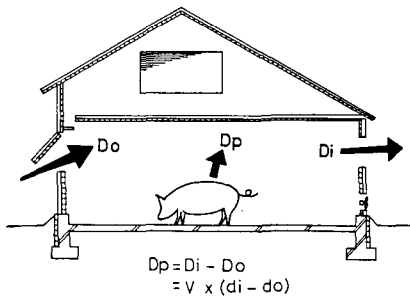


Fig. 24. Schematic diagram of the budget of airborn particles.

わらず屋外の浮遊粉塵量が減少したため、舎内の値は夏期の10倍強になったと考えられる。対照豚舎では、冬期の換気量が夏期の約 $\frac{1}{9}$ になっていたにもかかわらず、浮遊粉塵量は夏期の3倍弱と小さな値を示した。このことは、冬期の対照豚舎では温度が低いため床面が乾燥せず、

床面から舞いあがる粉塵量が少なかったことに起因していると考えられる。なお、今回は単位容積中の浮遊粉塵重量のみを測定しており、今後浮遊粉塵の粒径分布および粒子数についても検討する必要がある。

3) 空中浮遊細菌数

空中浮遊細菌数は、畜舎内空気の衛生的環境を最も直接的に表現する指標の1つであると考えられる。空中浮遊細菌に関する研究は、伝染性の疾病が大きな問題となっていた鶏舎については、古くから HARRY (1956)²²⁾ などによりおこなわれ、温度、湿度および換気量などとの関係で議論されている。豚舎については、GORDON (1963)²³⁾ が空中浮遊細菌数と舎内湿度の関係について報告しており、その後 GRUNLOH ら (1971)²⁴⁾ が経日変化、糞尿処理方式による差異および粒径分布を、また、ELLIOTT (1976)²⁵⁾ が主に細菌の種類について報告している。我国においては、落下細菌についての報告が若干あるものの、空中浮遊細菌については、三浦ら²⁶⁾ の乳牛舎についての調査、および松田ら (1973)²⁷⁾ の蚕飼育室についての報告があるだけであり、さらに多くの測定が必要であろう。

ここでは、両豚舎の細菌数の測定結果を示すとともに、両豚舎の換気方式の違いが空中浮遊細菌数へ与える影響について検討を行う。

空中浮遊細菌数の表現には、空気10ℓ当りの出現コロニー数、CFP (Colony Forming Particle) の常用対数を L と定義し、この L 値を用いることとした。これは実際に測定した際の吸引空気量が10ℓ弱であること、および出現細菌数がサンプルにより桁数の差を伴うほど大きい場合があるためである。

冬期における実験、対照両豚舎の測定値を Table 9 に示した。また、舎内の浮遊細菌数の垂直分布を Fig. 25 に示した。実験豚舎における L 値は $3.2 \sim 4.1 (1.6 \times 10^5 \sim 1.3 \times 10^6 \text{ CFP/m}^3)$ であり、対照豚舎では L 値で $1.9 \sim 3.3 (7.9 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^5 \text{ CFP/m}^3)$ であった。これまでの測定例では、GRUNLOH (1971)²⁴⁾ の分娩豚房中央部床面における測定値が $10^4 \sim 10^6 \text{ CFP/m}^3$ のオーダーであり、ELLIOTT (1976)²⁵⁾ の肥育・仕上げ豚舎の床面から高さ約30cmにおける測定値が $10^3 \sim 10^6 \text{ CFP/m}^3$ のオーダ

Table 8. Estimated values of airborne particles generation with equation (10)

	Experimental house	Control house
Summer observation (20-21 July 1980)	$38,000 \times (0.06 - 0.02) = 1.1 \text{ (g/h)}$	$30,000 \times (0.07 - 0.03) = 1.2 \text{ (g/h)}$
Winter observation (12-13 Jan. 1981)	$2,000 \times (0.65 - 0.02) = 1.3 \text{ (g/h)}$	$4,000 \times (0.16 - 0.02) = 0.6 \text{ (g/h)}$

Table 9. Concentration of airborne bacterial particles expressed in common logarithms of particles number per 10 liter air volume

		12 Jan. 1981		13 Jan. 1981			Mean
		2000	2350	0330	0745	1350	
Experimental	Pen of No. 6	4.1	3.4	3.7	4.0	3.4	3.7
	Exhaust fan	3.8	3.2	3.4	3.2	3.4	3.4
Control	Pen of No. 6	3.1	1.9	3.3	2.4	3.3	2.8
Outside		0.6	0.0	0.3	0.0	1.0	0.4

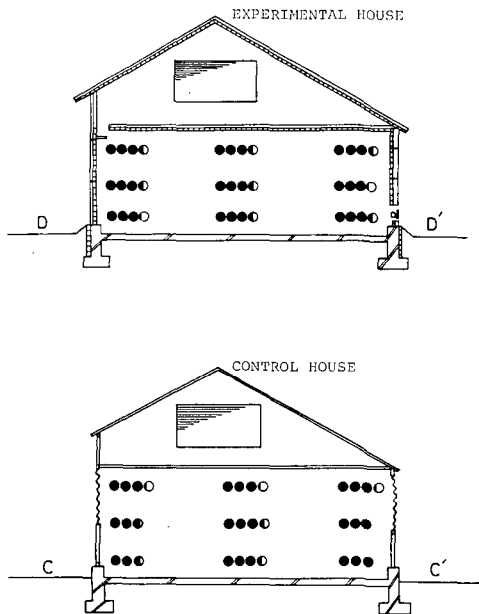


Fig. 25. Distributions of the airborne bacterial particles for winter observation. Number of black points shows the common logarithms of particles number in 10 liter air volume.

一であったと報告されている。

これらの測定値とあわせて考えると、一般的に、豚舎における空中浮遊細菌数は、 L 値で $1 \sim 4$ ($10^3 \sim 10^6$ CFP/ m^3) の範囲にあると考えられる。

実験、対照両豚舎を比較すると、冬期調査時には Table 9 に示した 1 日の経時変化においても、また垂直分布においても、対照豚舎の方が空中浮遊細菌数が少なかった。これは、冬期に対照豚舎の方が換気量が大きであったためと考えられる。換気量が少い冬期では、夏期と異なり、両豚舎内の換気量の相違が直接衛生的環境に影響しているものと思われる。

また、垂直分布の特徴として、実験豚舎では新鮮な入気空気が均一に豚舎内に流入しており、そのため均一な浮遊細菌分布となっている。これに対し対照豚舎では、すきま風が入り込む両側通路床面付近で低い値を示している。これらのことは、空中浮遊細菌分布が換気による空気の動きに密接に関係していることを示しており、畜舎の換気を考えるうえで、換気量とともに空気の動きが重要であることを示唆している。なお、冬期調査時における屋外の空中浮遊細菌数は、 L 値で 1 (10^3 CFP/ m^3) 以下の値を示した。

夏期にも空中浮遊細菌数の測定を行なったが、細菌の捕捉から液体培地の注入までに約 5 日間を要したため、詳細な結果を得ることはできなかった。しかし、両豚舎の相対的な比較は可能であり、比較した結果、豚舎間には差はみられなかった。

4. 生産効率

家畜の生産効率は、熱・空気等の物理的環境要因ばかりでなく、飼育管理、家畜の種類、個体差、飼料の種類、給飼法などにより影響される。前述のように、本実験では環境要因だけの影響が得られるよう配慮し、同一作業員による飼育管理、制限給飼法による同一種類の飼料給飼によって試験を行なった。また、両豚舎で対比されるそれぞれの豚房には、履歴の等しい同頭数の幼豚を配置した。本節では増体量、飼料要求率など生産効率の測定結果を述べるとともに豚舎間での差を検定し、環境要因との関係を検討する。

1) 増体量、飼料要求率、飼料日数

Table 10~12 は、日増体量、飼量要求率、飼育日数の測定結果である。各平均値にすべて実験豚舎の方が良好な値を示している。これら豚舎間における差の有意性の検定は、測定値がすべて豚房毎に対になっているため、2 元配置の分散分析で行なった。日増体量については、豚房内の各豚について測定値が存在するため、豚舎間と豚房間の因子間の交互作用も検定できるが、分析の結果、

Table 10. Daily gains of each observation period (g/day)

			Pen								Mean	S.e.
			1	2	3	4	5	6	7	8		
Summer	May 1980	Experimental	—	660	689	683	620	—	682	634	661	11.3
		Control	—	638	630	677	630	—	660	572		
	Nov. 1980	Mean	—	649	659	680	628	—	671	603		
		s.e.				19.6 (d.f. 89)						
	July 19, 1980	Experimental	—	642	762	788	682	—	840	775	748	19.5
		Control	—	582	603	767	602	—	708	555		
Aug. 18, 1980	Mean	—	612	682	777	642	—	774	665			
	s.e.				33.8 (d.f. 89)							
Winter	Sep. 1980	Experimental	665	668	681	712	641	642	634	670	664	8.11
		Control	621	593	591	656	587	612	568	613		
	May 1981	Mean	643	631	636	682	614	627	601	642		
		s.e.				16.2 (d.f. 151)						

Table 11. Feed conversions of each observation period (kg/kg)

			Pen								Mean	S.e.
			1	2	3	4	5	6	7	8		
Summer	May 1980	Experimental	—	2.89	2.85	3.25	3.03	—	3.23	3.42	3.11	0.073
		Control	—	3.26	3.25	3.37	3.27	—	3.25	3.91		
	July 19, 1980	Experimental	—	2.93	2.75	2.97	3.23	—	2.58	2.83	2.88	0.155
		Control	—	3.23	3.47	3.14	3.41	—	3.20	3.97		
Winter	Sep. 1980	Experimental	3.07	3.48	3.17	3.16	3.26	3.03	3.11	3.46	3.22	0.054
		Control	3.48	3.68	3.49	3.38	3.72	3.37	3.63	3.52		

Table 12. Total feeding times of each observation period (days)

			Pen								Mean	S.e.
			1	2	3	4	5	6	7	8		
Summer	from May 1980	Experimental	—	111	133	100	131	—	107	112	115.7	0.60
		Control	—	116	139	103	134	—	111	114		
Winter	from Sep. 1980	Experimental	146	127	124	99	111	144	138	119	126.0	2.73
		Control	151	138	139	108	125	150	167	137		

交互作用の有意性が示されなかったため、交互作用の項を誤差項に含めて検定した。以上の検定結果をまとめて Table 13 に示す。

夏期通算 (5月~11月) の豚舎間の差は、飼料要求率が危険率5%で、飼育日数が危険率1%でともに有意であった。しかし、日増体量については、No. 5 豚房が平均値で対照豚舎の方が大であるのを除いて、他豚房はすべて実験豚舎が大であったが、その差は有意性を示していない。ただし、これらのデータは導入時から出荷時までの通算の結果であり、またその期間は対比される豚房毎

で異なっている。したがって、7月、8月の高温期の比較は、上記データからは判定できない。

そこで、7月19日から8月18日までの1カ月間の日増体量、飼料要求率についてみると豚舎間の差は、増体量、飼料要求率ともに危険率1%で有意であり、日増体量については豚房間の差も危険率1%で有意性が示された。豚房間の差は、危険率1%の最小有意差 (L.S.D) から No. 2, 5, 豚房と、No. 4, 7 豚房の間に有意差が認められ、後者2豚房が日増体量が大きい。

一方、冬期は9月導入から5月出荷までの通算で、日

Table 13. Differences in efficiency of production between experimental and control house

		Daily gain	Feed conversion	Total feeding days
Summer	May 1980~Nov. 1980	26 ±31.8	0.27* ±0.19	3.8**±1.55
	July 19~Aug. 18	112**±50.9	0.52* ±0.40	—
Winter	Sep. 1980~May 1981	59**±22.8	0.32**±0.13	13.4**±6.46

*, **; significant at 5% and 1% levels, respectively. confidence interval is at 95% level.

Table 14. Conditions of diseases

		Pen								Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Summer	Experimental	+	—	1	4	5	3	—	3	2	18
		+	—	1	0	0	1	—	0	0	2
		+	—	0	0	1	0	—	0	0	1
		n	—	5	6	8	5	—	7	5	36
	Control	+	—	4	3	3	3	—	6	3	22
		+	—	2	0	2	0	—	0	1	5
		+	—	0	0	0	1	—	0	0	1
		n	—	6	4	6	5	—	7	8	36
Winter	Experimental	+	2	4	4	3	2	6	1	1	23
		+	0	1	1	0	0	2	1	0	5
		+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		n	9	8	8	6	8	9	4	5	57
	Control	+	8	6	6	2	2	5	6	0	35
		+	1	1	2	0	0	0	0	0	4
		+	0	1	0	0	0	0	0	0	1
		n	9	8	9	7	8	9	7	3	60

+: slight, #: normal, #: severe, n: number of inspection.

増体量、飼料要求率、飼育日数ともに危険率1%で豚舎間の差は有意であった。日増体量、飼育日数は、豚房間の差にも危険率1%で有意差が示された。日増体量の豚房間の差は、危険率1%の最小有意差(L.S.D)から、No. 5, No. 7 豚房と No. 4 豚房の間に有意な差が認められた。豚房では夏期と同様、No. 4 豚房と No. 7 豚房が特徴的な値を示しているが、そのパターンは夏期と異なり、No. 4 豚房が最も大きい増体量を示しているのに対し、No. 7 豚房の増体量は最も小さい。

なお、飼育日数の差は、夏期、冬期ともに有意性が示されたが、これは出荷時体重の目安を105kgから110kgとしたため、豚舎間の増体量の差がもたらした必然的結果と考えることができる。

2) 罹病率、その他

実験に供した豚は、その一部が解剖され、罹病の有無が調べられた。Fig. 14 に、獣医師による解剖所見を示す。罹病率についてはこれらのデータを検定した結果、夏期、冬期とも豚舎間に有意な差はみられなかった。

また、屠殺時に、屠殺前体重、冷凍枝肉重量、屠肉歩留など肉質関係の項目について調査したが、これらの各項目についても豚舎間で有意な差は示されなかった。

その他、床および豚体の汚れ、床の湿潤程度、舎内の臭気等の項目について、作業による判定結果が作業日誌に記入された。それらを集計した結果を Table 15 に示す。床の汚れおよび湿潤程度が冬期に対照豚舎が大であるのは、舎内の相対湿度 (Fig. 11 参照) の影響であり、臭気は夏期、冬期ともに換気量の差が影響しているものと思われる。これらのデータは、日誌記入者の判定によるもので厳密には定量的ではないが、実験豚舎の状態が夏期、冬期ともに対照豚舎より良好であることを概略的に表現しているものと思われる。

3) 生産効率と環境要因

夏期の日増体量は、期間通算では豚舎間の差は有意ではなかったが、7, 8月の高温期にはその差は有意であり、実験豚舎の生産効率が大きであった。また、冬期は期間通算で実験豚舎の生産効率が大きであり、対象豚舎との

Table 15. Observation results on the condition of each housing system

		Pen								Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Summer (20 July 1980~ 19 Aug. 1980)	Waste of floor	ex.	1	0	0	7	3	9	4	0	24
		cont.	25	5	1	15	1	5	18	6	76
	Waste of body	ex.	0	0	0	22	1	0	16	0	39
		cont.	27	0	0	31	2	6	28	1	95
	Wet condition of floor	ex.	0	0	0	2	0	7	2	0	11
		cont.	11	1	0	3	0	2	6	2	25
	Smell of pen	ex.	2	0	0	0	0	0	0	0	2
		cont.	3	15	7	4	18	3	3	13	66
Winter (1 Jan. 1981~ 31 Jan. 1981)	Waste of floor	ex.	12	3	3	3	3	4	3	16	47
		cont.	24	25	25	18	7	13	29	48	189
	Waste of body	ex.	1	4	3	8	4	4	6	1	31
		cont.	1	1	6	5	1	2	2	7	25
	Wet condition of floor	ex.	1	1	1	1	1	1	1	7	14
		cont.	17	18	20	11	5	10	28	43	152
	Smell of pen	ex.	8	8	9	9	9	9	9	17	78
		cont.	5	5	5	5	5	5	5	5	40

unit : the observation number per total observations.

差は有意であった。これらの結果を環境要因と対比させ、検討する。

① 夏期の生産効率と舎内環境

7～8月期における対照豚舎の日増体量および飼料要求率は、それぞれ636 (g/day), 3.40 (kg/kg) であり、この値は期間通算値635 (g/day), 3.39 (kg/kg) とほぼ等しい。一方、実験豚舎の日増体量および飼料要求率は、期間通算値がそれぞれ661 (g/day), 3.11 (kg/kg) であるのに対し、7～8月期の値は、748 (g/day), 2.88 (kg/kg) と大幅な向上を示している。このことは、本来ならば7～8月期に向上するはずの生産効率が、対照豚舎では何らかの理由で十分な向上を示さなかったと考えることができる。実験豚舎における7～8月期の日増体量の増加は、実験に供した豚がこの時期に最も高い増体量を示すステージに該当していたか、あるいは、25°C～30°Cの高温環境が日増体量の増加に寄与したか、そのいずれかであろうと推測される。いずれにせよ、ここでは、なぜ対照豚舎が実験豚舎と同等な生産効率の向上を示さなかったかが問題になる。

この原因を環境要因から考えると、夏期調査時は豚舎間の温・湿度環境、衛生的環境に明瞭な差がみられなかったことから、主として放射熱環境の差が影響しているものと思われる。前節で述べたように、対照豚舎では昼間の天井面の昇温による舎内放射、開口部からの照りかえしによる放射などがみられる。したがって、これらの放射熱が、7、8月の高温環境にプラスされることで豚のストレスを助長させ、増体量など生産効率の向上を抑制したものと思われる。舎内の熱的環境に与える放射熱の影響は、太陽高度が高い6月に大きいと予想されるが、この時期は相対的に平均気温が低いいため、豚体に与える影響は、7、8月の高温期ほどではないと考えられる。また、9、10月には放射熱の影響は減少し、舎内環境の面で豚舎間に差がなくなる。したがって、5月導入時から、11月出荷時までの夏期間を通じての結果では、豚舎間の日増体量は平均値に若干の差がみられるものの、その差は統計的に有意ではないという結果となって示されたものと思われる。

なお、夏期調査時の換気量は実験豚舎が対照豚舎の約1.5倍であったが、両豚舎とも必要量の数倍に相当する高い水準であるため、換気量の差が、増体量、飼料要求率等の生産効率に直接影響しているとは考えられない。

② 冬期の生産効率と舎内環境

冬期は、環境要因の差として、まず第一に舎内温度の差があげられる。すなわち、豚舎間の舎内温度の差は、

厳寒期において、約10°Cに達し、その他の期間においても対照豚舎は実験豚舎より数度低かった。豚の最適飼養温度が15°C以上であることを考えると、この差は厳寒期だけでなく、冬期間通算でみても極めて大きいと言える。また、放射熱環境にも豚舎間で差がみられるが、その差は7月に示された程の大差ではない。したがって、冬期に実験豚舎の生産効率が高いのは、温度環境によるところが大きいと判断される。換気量、衛生的環境についてはむしろ対照豚舎の方が良好な結果が得られている。両豚舎の衛生的環境の差は、換気量の相違が原因と思われるが、本実験では換気量は両豚舎とも冬期の必要最低量を満たしている。そのため、罹病率については、豚舎間で有意な差は示されていない。このことは、次の2つのことを示唆している。すなわち、(1) 空中浮遊細菌数、浮遊粉塵量の絶対値が、両豚舎とも罹病率、生産効率等に影響するオーダーに達していない。(2) あるいは空中浮遊細菌数等が生産効率へ影響を与えてはいるが、その影響の程度は温度環境と比べて極めて小さい。

舎内の衛生的環境は、換気量、温湿度環境等と密接に関係しているものの、未解明な部分が多く、生産効率への影響を含めて今後詳細な検討が必要である。

③ 各豚房の生産効率について

増体量は、豚舎間ほどではないが、各豚舎の豚房間でも有意な差がみられた。

夏期では、7～8月期に両豚舎とも No. 4 と No. 7 豚房が他豚房と比較して増体量が大であった。これは、これら2豚房の7～8月期の豚の発育ステージが他豚房の豚より小さかったことから、発育ステージの相違による増体速度の差なども影響していると考えられる。

冬期は、各豚房間で豚の発育ステージに特徴的な差はみられず、したがって豚房間でみられた増体量の差は、測定不能な管理面での影響などによるものと推測される。

また、これら豚房間の差は環境要因とも関係していると考えられるが、本実験では、豚房毎の環境については詳しい比較がなされていないためその対応関係は不明である。

IV. 摘 要

豚舎構造を総合的に評価し、今後の豚舎のあり方を検討することを目的に、構造および換気方式の異なる2棟の豚舎の熱的、衛生的環境および生産効率等の調査・測定が行われた。豚舎は、環境面での改善を目的とした断熱構造・強制換気方式豚舎(実験豚舎)と、従来型である開放型自然換気方式豚舎の2棟である。これらの豚舎

は、本研究に供するため、積雪寒冷地域である長野県の高原地域に同一規模で建設された。調査・研究は、気象条件の相違を考慮して、夏期（1980年5月～同11月）冬期（1980年9月～1981年5月）に分けて行なわれ、詳細な環境測定は1980年7月（夏期）と1981年1月（冬期）に行なった。測定結果は、換気特性と温・湿度環境、放射熱環境、衛生的環境、生産効率の4項目に分けて解析され、それぞれの相互関係、構造との対応などが比較され、検討された。

本研究で得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) 1日の平均換気量は、夏期測定日では、実験豚舎146回/時、対照豚舎90回/時であり、冬期測定日ではそれぞれ、8.0回/時、11.3回/時であった。これらの値は、豚1頭当りに換算すると、いずれも米国の基準値である必要新鮮空気量より大であった。

(2) 夏期測定日は両豚舎とも換気量が大きであったため、豚舎間に舎内温度の差は示されなかったが、冬期測定日は、実験豚舎の舎内温度が日平均で約7°C高温であった。このように断熱材使用の有無による環境面での効果は、冬期の温度環境に顕著に示された。

(3) 夏期の測定では、実験豚舎の平均放射温度(MRT)は対照豚舎より低かった。また、実験豚舎は開口部がほとんどなく断熱構造であるため、日射の侵入はみられず、放射熱量は小さく、かつ均一であった。したがって、豚への放射熱によるストレスは対照豚舎と比較して、より小さいと考えられた。一方、冬期測定では、実験豚舎は対照豚舎より壁面温度が高く、豚からの放射による熱損失は小さかった。

(4) 豚舎間の衛生的環境は、換気量レベルの高い夏期測定日には、顕著な差が示されなかったが、冬期測定日は、CO₂およびNH₃ガス濃度、空中浮遊粉塵量、空中浮遊細菌数ともに実験豚舎の方が高い値を示した。このことは、換気量レベルの低い冬期に、実験豚舎の換気量が対照豚舎より小さかったことが原因であり、換気量を増加することにより改善されるものと判断される。

(5) 生産効率は、夏期は通算では豚舎間の日増体量に有意な差はなかったが、7、8月の高温期には有意な差が示され、実験豚舎の生産効率が大きであった。冬期は、期間通算で実験豚舎の生産効率が大きであり、その差は有意であった。夏期における豚舎間の生産効率の差は、放射熱環境の影響によるものと考えられ、冬期は、衛生的環境よりも、豚舎間の温度環境の差が強く影響したものと考えられる。

(6) これらの結果は、実験豚舎の構造が舎内環境の改

善をもたらし、それが生産面での向上に影響していることを示している。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、荒井養豚場の荒井増水氏に多大なる御協力をいただいた。さらに、ダウ化工株式会社の石井宏、中村剛の両氏には、豚舎の設計・施工および調査に御協力をいただいた。また、長野薬業株式会社の朝日章氏、長野県畜産試験場の五味一郎氏、長野家畜保健衛生所の宮沢文治氏、長野県農政部の中山哲夫、中山文世の両氏、長野県農業改良普及所の竹内洋夫氏等をはじめとする長野県畜舎システム研究会の諸氏には、調査および検討会に参加していただき、御協力を得た。また、日本大学の川西啓文氏、岩本章氏（現太陽コンサルタント株式会社）、金谷尚智氏（現東京大学）、北海道大学の佐々木昌克氏（現カルビー食品株式会社）、松村伸二氏、鮫島良次氏（現農技研）および農業土木試験場の小倉力氏（現中国農業試験場）、佐藤義和氏には、調査・測定に多大なる御協力を得た。以上の方々から感謝の意を表する次第である。

引用文献

1. 浦野慎一：モニター式乳牛舎の熱的環境に関する研究 (1), 農業施設, 9 (2): 26-33. 1979
2. 浦野慎一・堂腰 純・長島守正：棟換気方式肉牛舎の換気効果について, 農業施設, 11 (1): 8-14. 1980
3. KLEIBER, M.: The fire of life, John Wiley and Sons, New York, 1961
4. BRODY, S.: Bioenergetics and growth, Reinhold Publishing Corp., New York, 1945
5. ESMAY, M. L.: Principles of animal environment, The Avi Pub. Com., Westport, 1969
6. JOHNSON, H. D.: Environmental temperature and lactation, Intern. J. Biometry, 9: 103-106. 1965
7. BOND, T. E. and C. F. KELLY: Environment of animals, Yearbook Agr., U.S. Dept. Agr., Washington, D.C., 1960
8. 長島守正・浦野慎一・加藤英二・岩本 彰：自然換気方式豚舎の熱的環境に関する研究, 日大学術研報, 37: 295-303. 1980
9. Midwest Plan Service: Swine Handbook, MWPS-8, 1977
10. BOND, T. E., C. F. KELLY and H. HEITMAN: Heat and moisture loss from swine, J. Agr. Eng., 33: 148-154. 1952
11. BOND, T. E. and C. F. KELLY: The glove

- thermometer in agricultural research, *Agr. Eng.*, : 36 251-255. 1955
12. PEREIRA, N. *et al.*: "Ping-Pong" ball into blackglobe thermometer, *Agr. Eng.*, 48: 341-345. 1968
 13. 片山秀策: 畜産施設の熱環境評価方法の検討(1) ベクトル放射温度計, 日本農気学会北海道支部講演要旨集: 3-4. 1981
 14. 岩本 彰・片山秀策: 畜舎における日射の評価方法の検討(1), 農業施設学会大会講演要旨集: 5-6. 1980
 15. ANDERSON, J. F., D. W. BATES and K. A. JORDAN: Medical and Engineering Factors Relating to Calf Health as Influenced by the Environment, *Scientific Journal Series, Agricultural Experiment Station, University of Minnesota*. 1977
 16. 干場信司・佐藤義和・堂腰 純・曾根章夫・岡本全弘: カーフハッチ(哺育箱)による子牛の育成管理 I. カーフハッチの環境, 家畜の管理, 16 (1): 23-25. 1980
 17. 曾根章夫・岡本全弘・干場信司・堂腰 純: カーフハッチ(哺育箱)による子牛の育成管理 II. カーフハッチおよび舎外における子牛の発育・生理・行動. 家畜の管理 16 (1): 26-28. 1980
 18. HONEY, L. F. and J. B. MAQUITTY: Some Physical Factors Affecting Dust Concentrations in a Pig Facility, *Canadian Agricultural Engineering*, 21 (1): 9-14, 1979
 19. BUNDY, D. S. and T. E. ZAZEN: Dust Levels in Swine Confinement Systems Associated with Different Feeding Methods, *Transactions of the ASAE*, 18 (1): 137-139, 1975
 20. 山口智治・相原良安・瀬能誠之・山中捷一郎: 高床式無窓鶏舎の舎内環境について. 農業施設学会大会講演要旨集: 1-2. 1979
 21. 浦野慎一・長島守正: 豚舎内の浮遊粉塵と換気効果について. 北海道の農業気象, 32: 23-27. 1980
 22. HARRY, E. G.: The Application of Aerosols to Atmospheric and surface disinfection in the Poultry Industry. II. Atmospheric Disinfection and its Value as a Mean of Controlling cross Infection, *Veterinary Record*, 68: 334-339. 1956
 23. GORDON, W. A. M.: Environmental Studies in Pig Housing. IV. The Bacterial Content of Air in Piggens and its Influence on Disease Incidence, *British Veterinary Journal*. 119: 263-273, 1976
 24. GRUNLOH, D. J., S. E. CURTIS, A. H. JENSEN, J. SIMON and B. G. HARMON: Airborne Bacterial Particles in Farrowing Rooms, *Journal of Animal Science*, 33: 1139-1140. 1971
 25. ELLIOTT, L. F., T. M. MCCALLA and J. A. DESHAZER: Bacteria in the Air of Housed Swine Units, *Applied and Environmental Microbiology*, 32 (2): 270-273. 1976
 26. 三浦四郎: 畜舎の落下細菌(未発表)
 27. 松田基一・松浦雄二・遊佐富士雄: 蚕飼育室における空中浮遊微生物の調査および測定法の検討について. 蚕糸試験場報, 第36号: 83-90. 1973
 28. BOND, T. E., C. F. KELLY and H. HEITMAN: Hog house air-conditioning and ventilation data, *Tran. Agr. Eng.* 2, 1

Summary

The thermal and sanitary environment and productivity of two different swine housing systems were studied and compared. One type is an insulated and mechanically ventilated housing system (experimental house), for the improvement of animal environment. The other is an opentype, monly used in Japan. These structures were built in Nagano prefecture which is a cold and snowy region.

naturally ventilated (control house), most com
The research was successfully conducted in the summer season (May 1980-Nov. 1980) and in the winter season (Sep. 1980-May 1981). Detailed environment conditions of these two swine houses were investigated in July 1980 and in Jan. 1981.

The results were grouped and analysed: (a) characteristics of ventilation systems and thermal and psychrometric conditions, (b) thermal radiative conditions, (c) sanitary conditions and (d) productivity.

The results obtained from this study were summarised as follows:

(1) The daily average ventilation rate in the experimental house was approximately 39,800 m³/h (146 air exchange/h) for summer observation and 2,190 m³/h (8.0 air exchange/h) for winter observation. In the control house, the vintilation rate was 29,800 m³/h (90 air exchange/h) and 3,760 m³/h (11.3 air exchange/h), respectively. These ventilation rates were found satisfactory and met the required rates for swine standardized in U.S.A..

(2) In the summer observation, the difference in temperatures in the two houses did not appear, because they had sufficient ventilation. In the

winter observation, the inside temperature of the experimental house was 7°C higher than that of the control. Thus the thermal effect of insulation was clear in the winter.

(3) In the summer observation, the mean radiative temperature (MRT) in the experimental house was lower than that in the control. In the experimental house, because of the limited open area and the existence of insulation the solar radiation through openings did not appear and thermal radiation was small and its distribution was uniform. Therefore thermal stress by radiation on swine in the experimental house was considered to be minimal compared to that in the control.

In the winter observation, the wall surface temperature in the experimental house was higher than that in the control, and radiative heat loss from swine was minimal.

(4) In the summer observation, sanitary conditions did not show noticeable differences in the two houses because of the high level of ventilation. But in the winter, it was shown that CO₂ and NH₃ gas concentrations, airborne particles and airborne bacteria particles were higher in the experimental

house than that in the control. These differences in winter were considered to be due to the difference in ventilation rates in each house, which were at the lower level than those in summer. Therefore it was considered that the sanitary conditions in the experimental house might be improved by an increase in ventilation rate.

(5) In productivity through the summer season, there was no significant difference between the daily gains in the two houses. But during July and August, the mean daily gain in the experimental house was 112 g/day higher than that in the control and this difference was significant. This showed that the effects of thermal radiation caused heat stress on swine in the control house, which produced the difference in productivity.

Throughout the winter season, productivity in the experimental house was significantly higher than that in the control. The results showed that the temperature condition affected the productivity more than did the sanitary conditions.

(6) These results show that the structure of the experimental house provided improved swine environment and productivity.