第4章　断熱・換気と加温による豚舎内環境の制御

北海道において十分な保温，換気計画なしに，大型の多頭飼育豚舎を建築した場合，冬期間，外気温の降下に伴って舎内温度が低下し，舎内の水分や汚染空気が蓄積して高湿度となり，天井・壁面の結露，悪臭が著しくなる。このような低温・過湿環境に対する具体的な対策がほとんどの豚舎で認められなかった。本章では，適飼育環境を維持するための具体的な環境制御法を検討するために，2つの試験を実施した。

4—1　断熱・換気による肉豚舎環境の制御

目　的

畜舎内の温度調節と水分除却に関する制御理論は，日本では山家[107]が牛舎について1958年に発表し，著者も1960年に「寒地における畑作複合型養豚技術体系」の豚舎および付帯施設の章でこの考え方を紹介した[74]。さらに，尾崎[78]や堂腰[15]がその重要性を解説し，今日，換気計画と合せて多くの著書が公表されている[16,48,63,64,80]。このように，豚舎の保温や換気の重要性は，これまでも教科書的に広く強調されてきたが，実際の豚舎の建設や管理技術の中に具体的に明示されていないし，第1章で述べたとおり日常生産者の管理作業にもほとんど組みこまれていない。このことは，豚の生理・生態・生産反応と環境要因に関する研究蓄積が少ないため，舎内環境制御の基本となる北海道における豚舎内環境基準が明確に設定されていなかったこと，さらに，大規模な豚舎での環境制御に必要な機械・器具の開発や実証的調査研究が遅れており，具体的制御技術が示されないままに，おかれていたことが理由としてあげられよう。

本試験を実施するにあたって，前提とする生産環境基準が十分解明されておらず，選択できる機械・器具も限られていた。したがって，本試験においては，まず，断熱と換気による理論が，大型肉豚舎の環境制御法として有効に作用しえるかどうかを，実証的に検討することを目的とした。

試験方法

約200頭常時飼育規模の既設豚舎2棟を用い，一方に断熱材を付設して換気扇による強制換気法を採用し，他方の未改造自然換気豚舎を対照とした。

試験場所は北海道空知支庁管内長沼町のN養豚場であり，堂腰[17]の農業施設設計温度表によると，この地方の冬期設計温度は－18.2℃である。

供試豚舎は，同一規模・構造の木造腰セラミックブロック・複列式子豚舎（8.1×45m＝365m²）で，無天井・無断熱である。一方の豚舎天井と上壁に断熱材(ホームポリスチレン厚さ25mm)を施工し，表面にモルタルセメントを吹付けた(図6)。両豚舎は離乳直後から体重40kgまでの肥育前期豚を約200頭収容する豚舎で，9.9m²(3.0×3.3m)の豚房を30房有する。

換気法は上部天井入気，側壁排気とした。すなわち，新鮮外気を豚舎の屋根入気口(0.06m²／個)5か所と両妻壁のルーバーから天井裏へ入気し，天井に設置した分散板付入気口（0.14m²／個）14か所から舎内へ導入した。舎内の汚染多湿空気は，シヤッター・排気ダクト付の換気扇(径40cm)14台で排出した。

表28　計画換気量

（試験16）

外気温(℃)	－30	－25	－20	－15	－10	－5	0	5	10
換気量*	2.28	2.52	2.88	3.12	3.60	4.20	6.50	23.0	160.0

注　* 体重1,000kg当りの毎分量(m³)

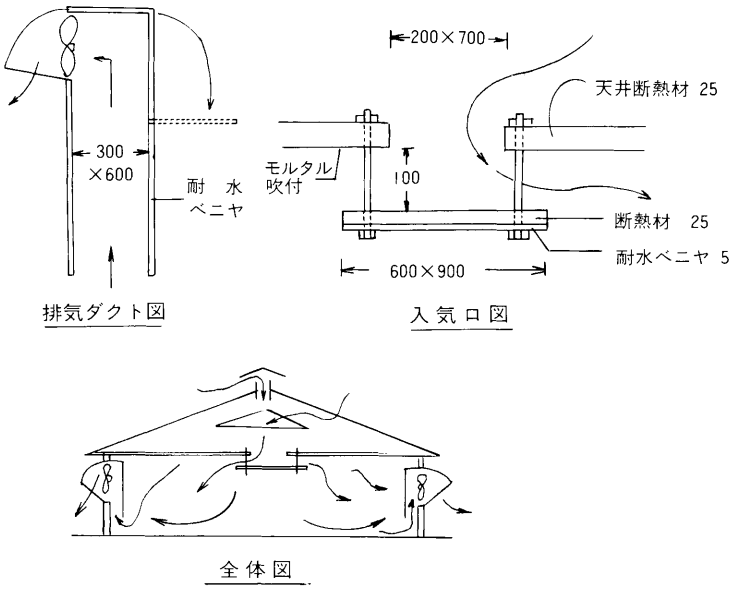


図6　断熱換気豚舎の概略図（試験16）
注　単位：mm

換気扇の風量は1,960m³／hで総換気能力は457m³／min.である。換気量は牛舎の換気量[14]に準じて表28に示したように，豚の総体重と外気温によって変化させるものとし，その調節は10分間周期のタイマーにより自動化した。1日6回，外気温と総体重から必要換気量を算出し，これを時間（20秒から10分まで）に変換して運転した。

目標とした豚舎環境基準は，外気温が－20℃で舎内温度を0℃以上に保ちつつ，豚舎内の結露を防止しようとするものである。

両豚舎の舎内環境を12月から3月まで調査するとともに，3回の肥育試験を実施した。

舎内温度はアスマン通風乾湿計と熱線風速（温度）計を用い，炭酸ガス濃度は理研式炭酸ガス検知器を用いた。

肥育試験は，2～3腹の子豚を断熱・換気豚舎と対照の未改造豚舎に均等に配置し，群飼育とした。

飼料は市販配合飼料を用い，体重50kgまで自由に採食させ，それ以降は両豚舎で同一量を定量給与した。試験終了は両豚舎共に同一日とし，と殺時に内臓の剖検を行なった。

試験結果

豚舎内環境の断熱換気による変化

12月から3月までの豚舎内温度の推移を図7に示した。また，最も寒冷の著しい1月下旬に1時間間隔で24時間の舎内温度，相対湿度および炭酸

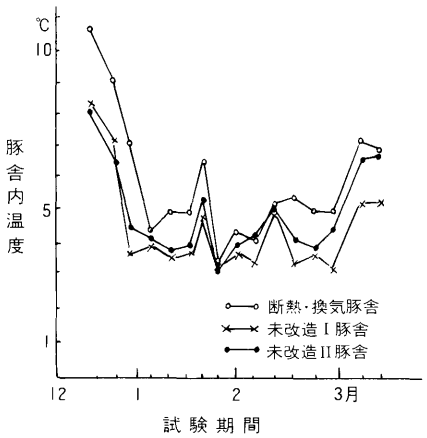


図7　冬期3か月の豚舎内温度推移（試験16）

ガス濃度を測定したものを図8，9および10に示した。

24時間連続測定日の外気温は，2:00から5:00に－10℃まで降下したが，断熱・換気豚舎内温度は＋5℃以上を保持し，平均で16.9℃外気温より高く推移した。相対湿度では90%を越えることはなく，平均で83%であった。以上の結果，断熱・換気豚舎では未改造豚舎に比較して，平均温度で3.6℃高く，相対湿度で8%低くかった。

炭酸ガス濃度は，未改造豚舎で夕方，窓や出入口を閉鎖すると急激に上昇し，約1時間後に0.400%に達した。その後，最高で0.430%となり，高いガス濃度が長く続いた。一方，断熱・換気豚舎は一時的に0.310%に達したが，おおむね0.250%を維持しており，明らかに低い濃度で推移した。

舎内環境の最も顕著な差異は，結露状況で観察された。未改造豚舎では昼夜を問わず屋根・壁面で結露し，絶えず水滴が落下したのに対し，断熱・換気豚舎では出入口（豚舎両側の糞尿搬出口）と腰壁の1部で結露したが，天井，上壁ではまったく認められなかった。

肥育成績に対する断熱換気の効果

両豚舎における3回の肥育試験（16）の結果を，表29にまとめて示した。

試験16－1，16－2は，厳寒の1月と2月に試験開始し，終了が6月と7月であった。したがって，肥育試験の前半期は，前述したように著しい

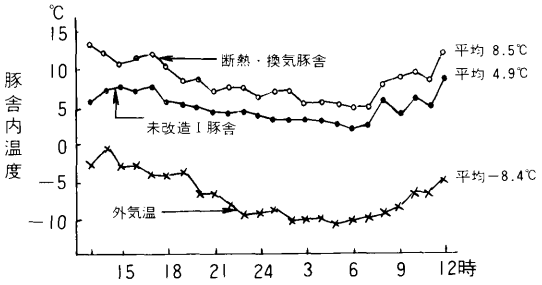


図8　豚舎内温度の推移（試験16）

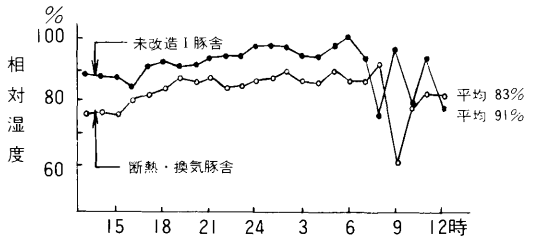


図9　豚舎内相対湿度の推移（試験16）

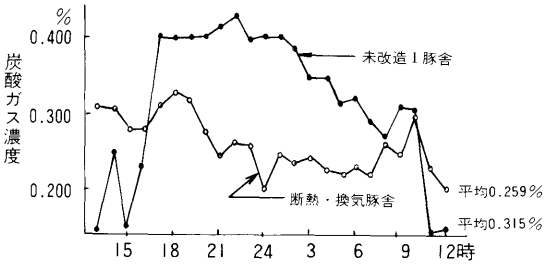


図10　豚舎内炭酸ガス濃度の推移（試験16）

表29　断熱・換気豚舎と未改造の増体比較

（試験16）

区　分	試験16－1		試験16－2		試験16－3		
	断熱・換気[1]	未改造Ⅰ	断熱・換気	未改造Ⅰ	断熱・換気	未改造Ⅰ	未改造Ⅱ
試験時期(月)	1 — 6		2 — 7		12 — 4		
供試頭数[2](頭)	10	10	8	8	5	5	5
開始体重(kg)	6.9	7.1	8.1	8.1	16.3	16.6	16.7
終了体重(kg)	85.4	85.4	81.4	79.9	89.6	85.0	82.6
日増体量(g)	561	559	551	540	611	575	545
飼料消費費[3](kg)	277.0	277.0	248.4	247.5	241.0	241.0	241.0
飼料要求率	2.53	254	3.39	345	3.30	3.50	3.67

注　1）各試験豚舎共通　2）2－3腹を均等に割付，群飼育　3）1頭当たり，体重50kgまで自由採食，それ以降両区に同一量給与

舎内環境差の認められる時期であったが，後半期は外気温が上昇し温暖な時期となったため，両豚舎の環境差は小さいものと考えられる。そのため，試験16－1と16－2における日増体量，飼料要求率は，断熱・換気豚舎でわずかに良好な傾向を認めたにすぎなかった。しかし，肥育試験の開始から終了までの期間が12～4月とほぼ厳寒期であった試験16－3では，断熱・換気豚舎の日増体量，飼料要求率が良好な値を示した。試験16－3の成績を基に，生後60日齢，体重16kgの肉豚を体重90kgまで飼育した場合の出荷日齢と飼料消費量を試算した結果（表30），未改造豚舎に比べ断熱・換気豚舎でのそれは，それぞれ28kg少なく，8日早くなる。

表30　肉豚の出荷日齢，消費量の試算

区　分	出荷日齢	飼料消費量
	(日)	(kg)
断熱・換気豚舎	181	231
未改造Ⅰ豚舎	189	259
未改造Ⅱ豚舎	195	271

注　生後60日・体重16kgで開始，体重90kgで出荷

表31　供試豚のと殺時剖検所見

（試験16）

区　分	試験16－1			試験16－2		
	肺炎病変		その他	肺炎病変		その他
	(頭)	(%)	(頭)	(頭)	(%)	
断熱・換気豚舎	4	(40)	5 1)	1	(12.5)	－
未改造Ⅰ豚舎	7	(70)	2 2)	6	(75.0)	－

注　1）寄生虫性肝白斑4，小腸炎1　2）寄生虫性肝白斑1，心外膜炎1，

表32　供試豚のと殺剖検所見と *Pasteurella* の分離

（試験16）

区　分	剖検所見	*Pasteurella* 1)
		(頭)
断熱・換気豚舎	胸膜炎・心外膜炎1	－
	軽度繊維素性肺1	
未改造Ⅰ豚舎	陳旧繊維素性肺1	1
未改造Ⅱ豚舎	心外膜・肺炎3、新鮮肺炎1	3

注　1）肺病変部から培養

試験豚のと殺時の病変を表31，32に示した。

豚舎内環境の良否と関連の強いとみられる肺炎病変の出現率は，3回の試験を通じ，断熱・換気豚舎で常に少ない傾向にあった。また，試験16－3では未改造豚舎の供試豚10例中4例の肺から *Pasteurella* 菌が分離されたが，断熱・換気豚舎では認められなかった。

考　察

換気による環境制御の基本は，豚からの水分・炭酸ガス，糞尿からの水分・ガス類，飼料・敷料などからの塵埃を，舎外へ計画的に排出するとともに，一定の舎内温湿度を維持することである。寒地の冬期において換気を図ると，必然的に舎内熱の損失を伴うため，他の熱損失経路である建物表面の保温性，すなわち断熱性を高めることが前提条件である[78,80,107]。

対照の未改造豚舎では，屋根上の積雪が融解して軒面に氷柱を形成したのに対し，天井と上壁に断熱材を付設した断熱豚舎では，軒面の氷柱がまったく認められなかった。このことは，未改造豚舎の屋根部位の熱損失が極めて大きいのに対し，断熱材による天井設置で屋根部位の熱損失が著しく抑制されたことを示すものといえる。さらに，未改造豚舎屋根の舎内側温度は，常に露点温度まで降下するため，著しい結露が出現した。一方，断熱材による天井面の温度は，露点温度より低く，さらに換気によって水蒸気が排出され，相対湿度を低めたことにより，結露が認められなかったものと考えられる。

断熱・換気豚舎は，試験時の飼育条件のもので外気温より約17℃高い温度を保持したことから，この地方の冬期設計温度条件－18.2℃で，目的とした舎内温度0℃前後を維持できることになる。しかし，舎内温度0℃以上という本試験での目的とした設定温度は，第2章の温度と生産効率の試験結果から考察すると低くすぎる。第5章で肉豚の生産環境基準温度について総合考察するが，0℃より相当高い温度となることから，本試験で試みた程度の保温処置では不十分で，腰壁，床および

窓を含めた豚舎全体についての断熱性の検討が必要である。また，豚舎気容積が大きいほど舎内温度維持のためのエネルギーは多く必要となることから，天井の設置が保温上有利と考えられる。

豚舎内温度の維持は，豚の発生熱が主要なエネルギー源であるから，豚房や通路の配置計画を含めた豚舎全体としての飼育密度も考慮する必要がある。

飼育に必要な床面積に関する試験は多くあり，1966年のGEHLBACHら[25]の試験により必要最小面積がほぼ確定している。Midwest Plan Service (1975) [54]では，体重45kgまで0.27～0.36m²／頭，それ以降出荷まで0.54～0.72m²／頭を標準とし，TURNBULL and BIRD[99]のカナダの標準では，体重30→68kgの時期を0.36～0.54m²／頭，68kg以降出荷までは0.72～0.81m²／頭を推奨している。これらの標準は主としてスノコ床の場合で，平床（solid floor）では若干増加させる必要があろう。

豚房の床状況が肉豚の発育に影響することを第2章で述べた。本試験では稲わらを十分使用している。

VERSTEGEN and VAN DER HEL[103]は，コンクリート床での臨界温度が19.2℃であるのに対し，麦わら床では11.8℃まで低下するとし，スノコ床に比べ麦わら床の日増体量が有意に優れていたと報告している[104]。このように，床の構造や敷料の有無も畜舎の環境条件にとって大きな要因として考慮すべきである。

本試験での換気量は，外気温が－10℃で3.60m³／min・体重1,000kg当たり，－20℃で2.88m³に設定した。

MORRISONら[60]は，23℃とそれより高い舎内温度での換気量の検討をしているが，低温域での報告はみられない。Midwest Plan Service[54]によると，冬の最小換気必要量は，体重45→68kgで0.20m³／min・頭，68kg以降95kgで0.28m³となっている。本試験での設定量を体重50kgの豚1頭当たりに換算すると0.18m³／minとなり，Midwest Plan Serviceの基準にほぼ一致している。一方，飼育豚総体重5.5tから総換気量を算出し，気容積から1時間当たりの換気回数を算出すると，外気温－10℃で1.55回，－20℃で1.24回となり，経験的な豚舎の冬の換気回数3～6回[54]に比べ著しく少なかった。冬の換気の主要な目的は，舎内の有害なガス類と過剰な水分の除却にあり，換気量はできるだけ多くすることが望ましいが，同時に舎内温度が降下する。したがって，換気設計は舎内の温度と水分の両平衡関係から検討する必要がある[107]。また，豚に起因する水分以外の，例えば飲水器のこぼれ水などの発生を極力抑制することが，管理上の重要な点となろう。

両豚舎における疾病発生状況の差異から，環境と疾病の関連性が示唆された。舎内の空気汚染と豚の生産反応に関する試験はほとんどなく，1970年にMUEHLING[67]が総説した。炭酸ガスは新鮮空気の常在成分であり，アンモニア，硫化水素およびメタンが豚舎での空気汚染の主な原因である。いずれも糞尿に由来するもので，豚はもとより管理者にとっても有害であるという。STOMBAUGHら[93]は，体重54kgの豚を温度21.1℃，相対湿度77%の条件で，10，50，100および150ppmのアンモニア濃度で飼育した結果，日増体量，飼料要求率が高アンモニア濃度で不良な傾向にあり，100，150ppmでは咳がはげしく，鼻腔から*Corynebacterium Pasteurella*が分離されたと報じている。CURTISら[11]はアンモニアと塵埃(dust)の組合せにより増体が停滞する傾向を認めている。DONE[18]は，開放型豚舎に比較し閉鎖型豚舎での肺炎が多いというJERICHらの成績，豚1頭当たりの気容積が少なくなると呼吸器系疾病の罹患率が高まる傾向がみられ，2.5m³／頭以下で著しいというKOSZOTOLICHの試験を引用している。

滝川畜試の現地試験[96]によると，5棟の肉豚舎における肺炎疾患豚（肺の剖検による）は，夏の豚舎開放期に比べ，冬の閉鎖期で発生率が高く，明らかに重症例が多かった。芹川ら[86]は，流行性肺炎の原因である*Mycoplasma*を人工的に感染させた肉豚を，換気の不良な豚舎で飼育した結果，換気の良好な場合に比較して増体量・飼料要求率の著しい悪化を認め，舎内空気の汚れが肺炎症状を悪化させることを示唆している。以上のように，冬期

の豚舎内における低温・高湿そして空気汚染は，発育や飼料効率に対する影響はもとより，疾病の発生と深く関与しているものと推察され，良好な飼育環境の維持が，衛生管理の一面を合せ持つことに注目すべきである。

寒地における肉豚舎の舎内環境は，舎外気象，豚舎の材料，豚の頭数と体重などが相互に関連した総合的なものであるが，換気装置なくして良好な飼育環境の維持が困難であり，そのためには豚舎の断熱性能を高めることが必須の条件である。

本試験で採用した換気法，すなわち，天井裏に入気した新鮮空気を舎内に分散させ，側壁の電動換気扇により汚染空気を計画的に排出する方式は，寒地の豚舎で有効な方法であった。一方，今回供試した10分間タイマーとシヤッター付換気扇開閉装置は試作品であり，換気扇の適風量，台数，配置などについて検討の余地がある。豚舎の断熱の程度，換気量と合せて第5章で総合考察する。

4—2　加温による肉豚舎内環境の制御

目　的

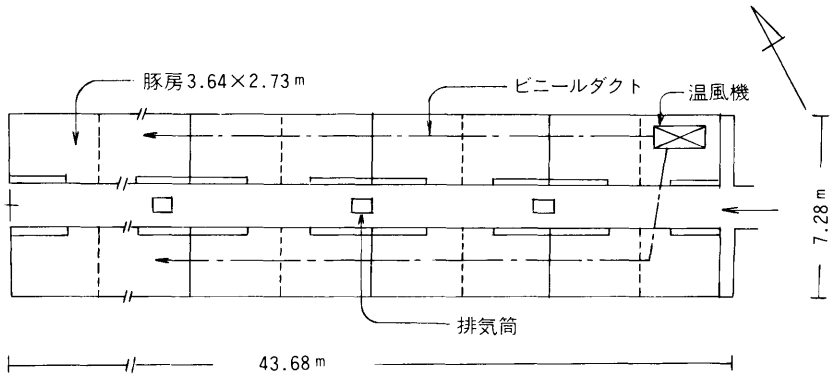
養豚では，ほ乳中の子豚や離乳後，体重約15kgまでの子豚の加温が慣行となっている。この場合の加温は，子豚を飼育する限られた空間（例えば保温箱内）や床面の温度を高く保つことが目的である。本節の加温の意義は，肉豚舎内の高湿度や結露の防止と換気による舎内温度の降下を抑制しようとするものであり，豚舎全体に及ぶ環境制御の視点からの検討である。豚舎全体に対する加温は，近年になって試みられたため，専用の機器が特に無く，施設園芸用に開発したものが広く利用されている。そこで，利用事例の多い温風加温と床面電熱加温について試験した。

試験方法

試験場所は北海道十勝支庁管内鹿追町の養豚場であり，北海道住居の建築設計用戸外夜温度[39]は－20℃以下となっている。農業施設設計温度表[17]に鹿追町の記載はなく，近隣の新得町，上士幌町のそれは，それぞれ－15.1℃，－19.1℃である。

試験豚舎，構造，面積が同一の2棟の肉豚舎で，総面積318m²，常時飼育頭数240頭，木造・中央通路側方排糞所型複列式であり，断熱材の利用はない。

図11に豚舎の概略を示した。豚房面積は9.9m²（3.64×2.73m）で24房有する。



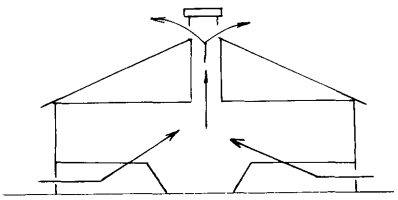


図11　供試豚舎の概略
（電熱・温風豚舎共通）
（試験17）

表33　加温施設の概要

（試験17）

区　分	加温方式	機　械	燃　料	能　力	使用法
温風豚舎	舎内空気の加温循環	N社製温風機 HK－300TE 200V 3相	A重油	75,000 Kcal/h	使用時間 17:00～ 8:00 サーモスタット 7－10℃*
電熱豚舎	電熱線による床面加温	T社製発熱ユニット 0.45KW/房 (0.15KW/m²)	電　気	豚舎全体 10.8KW	使用時間 終日 サーモスタット 7－15℃*

注　*設定温度

表34　環境条件の測定法

区　分	期　間	測定項目	内　容	計　器
長期計測	58日間	外気温：最高・最低	豚舎東側百葉箱	シックス・ベラニ型
		舎内最高・最低温度	舎内中央1.20m高	〃　〃
		舎内湿度	同上 8:00－ 9:00	オーガスト型
短期計測	試験開始時，中間時，終了時の3回	舎内温・湿度(水平分布)	16:00－18:00	アスマン通風式
		舎内温度の夜間推移	15:00－ 8:00	熱伝対
		炭酸ガス濃度	15:00－18:00	理研式検知器
		アンモニアガス濃度	同上	バインランド製クイックテストキッド
		排気筒風速	同上	熱式風速計

表35　肉豚の飼育状況

（試験17）

区　分	項　目	試験開始時 1月/17日		中間時 2/14		試験終了時3/14
温風豚舎	総飼育頭数 (頭)	139	子豚導入 54頭	160	子豚導入 60頭	183
	総体重 (kg)	8,866		10,054		11,020
	平均体重 (kg)	63.8	肉豚出荷 33頭	62.8	肉豚出荷 37頭	60.2
	総顕熱量[1]	19,162		22,555		25,826
	面積比[2]	60.3		70.9		81.2
電熱豚舎	総飼育頭数 (頭)	196	子豚導入 56頭	209	子豚導入 44頭	184
	総体重 (kg)	11,722		12,027		9,655
	平均体重 (kg)	59.8	肉豚出荷 43頭	57.5	肉豚出荷 69頭	52.5
	総顕熱量[1]	30,111		27,986		25,282
	面積比[2]	94.7		88.0		79.5

注　1）ASAE[1]の体重別総発熱量から潜熱相当15%を差引いて積算（kcal／h）
　　2）総顕熱発生量／総豚舎面積（kcal／h・m²）

換気法は，各豚房毎に腰壁のモルタルブロックを1枚抜いた入気口（総面積1.92m²）と天井に設置した4個所の排気筒（総面積1.44m²）による自然換気方式である。

加温施設の概要は，表33に示した。温風加温豚舎（温風豚舎と略す）は，東隅に設置した温風機とビニール製ダクトにより温風を循環させるものであり，サーモスタットで温度を調節した。床面電熱加温豚舎（電熱豚舎と略す）は，発熱ユニットを豚房寝所に埋設し，同時に埋めこんだサーモスタットで床面温度を一定に維持するものである。

調査期間は1月から3月の58日間であった。

舎内環境の測定は，長期と短期測定に分れており，その概要を表34に示した。肉豚の発育調査は，各豚舎3房の肥育豚を選定調査し，さらに理論換気式を用いた舎内温・湿度の推定値を，第2章で求めた増体量，飼料要求率と対応させて試算評価した。

試験結果

豚飼育状況

表35に調査期間中の飼育状況を示した。豚からの顕熱発生量は，ASAE[1]の体重別総発生熱量から，潜熱相当15%を差引いて算出した。試験開始時の顕熱発生量は，温風豚舎で少なく電熱豚舎の⅔であった。中間日では温風豚舎で増加しているが，電熱豚舎より少なく，試験終了時でほぼ等しい熱量となった。このため，前半における舎内温度維持のための加温熱エネルギー量は，温風豚舎が電熱豚舎に比較して，より多く必要であったものと考えられる。

外気温と舎内温湿度の推移

各豚舎の中央部通路における床上1.20mの最高・最低温度，午前8:00～9:00の相対湿度および百葉箱（外気）内の最高・最低温度を図12に示した。

試験地の近くにおける気象庁測候所の月別平均気温を，図13に示した。外気温は，1月から2月上旬の最高気温でマイナス域にあり，2月中旬からプラス域になった。近隣の測候所における平年値に比べ，比較的暖かい冬であった。最低気温は，1月下旬で－13℃まで降下したが，その後徐々に高くなり，3月は－10℃以上で推移した。

舎内温度は，最高温度で温風豚舎は開始時の12℃から徐々に上昇して17℃に達したが，電熱豚

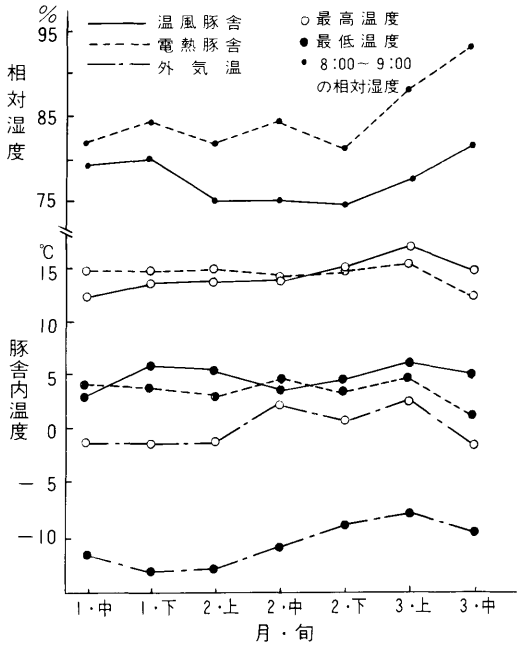


図12　調査期間中の外気温と舎内温・湿度
（試験17）

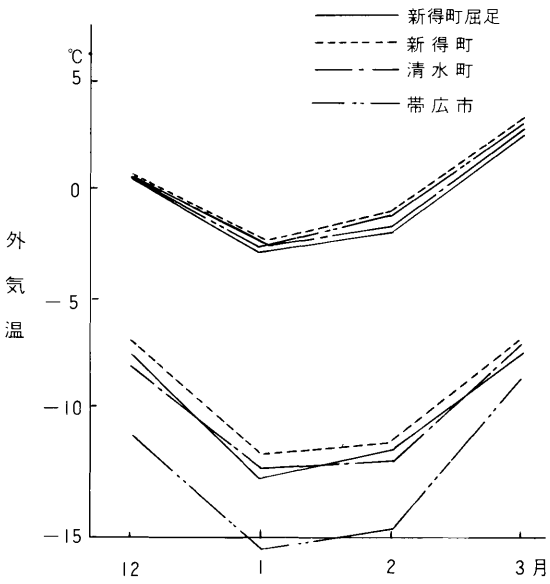


図13　試験地付近の月別平均気温の推移
（試験17）

舎では15℃付近に安定していた。最低温度は，温風豚舎で5℃前後を推移し，電熱豚舎はそれより1～3℃低い温度であった。平均温度は10℃前後で，電熱豚舎が若干低くかった。

相対湿度は温風豚舎で75～85％と変動が小さく低いが，電熱豚舎では80％以上で推移し，3月は85％以上の高い値を示した。なお，湿度測定時の舎内温度は，両豚舎共に約10℃の平均温度に一致している。

図14に各測定日の水平温・湿度分布を示した。両豚舎共に中央部に比較して，東・西側部で低い温度傾向にあるが，南・北の比較では一定の傾向が認められなかった。相対湿度は，温風豚舎の終了時南側で90％以上の場所があったほかは全体として低く，ばらつきも小さかった。

3回の調査日早朝に結露状況を観察した結果，温風豚舎で認めず，電熱豚舎では開始時北側の上壁と天井の1部，中間日は北側の腰壁（排糞所）および東側出入口の天井に結露を認めたが，出入口を開放して管理作業を実施したところ，ほとんど消失した。終了時は北側の腰壁で認めたが，著しいものではなかった。

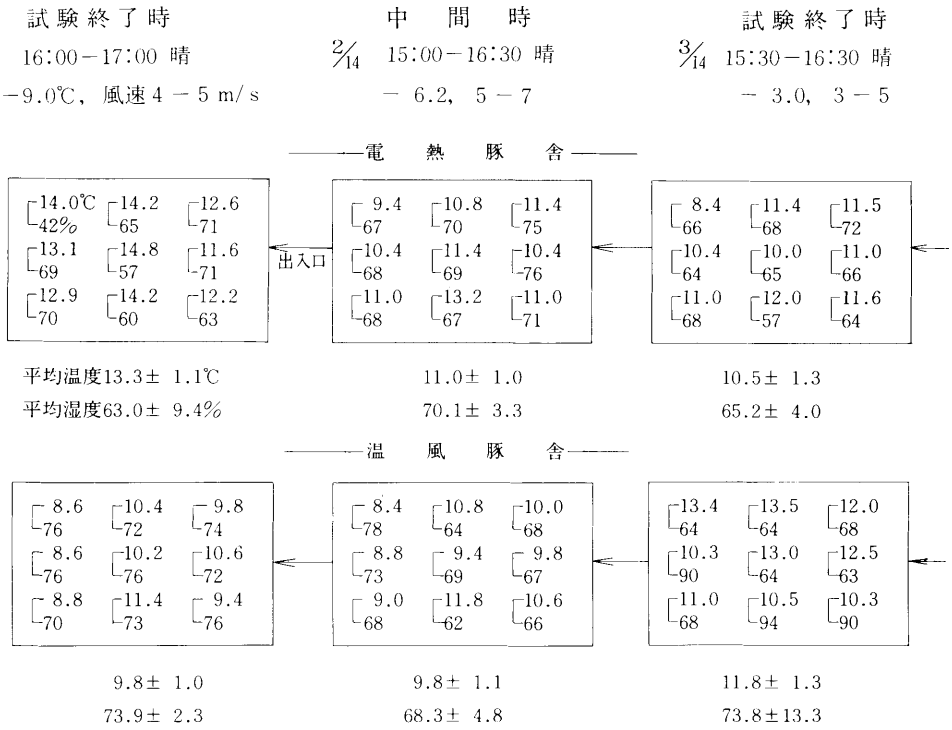


図14　豚舎内の温湿度水平分布（試験17）

注　床上1.50mの測定値

垂直温度分布は，豚舎中央部通路で夕方から翌朝にかけて連続測定し，図15，16に示した。温風豚舎では，17:00から翌朝の7:00までに22回（約38分ごと）温風機が作動していた。床上10cmの温度は，加温に伴って7.5から10.5℃の間を上下したが，天井付近は7.5から14.5℃の間で大きく変化した。このため，床上10cmと天井付近の最低温度はほぼ等しく，最高温度では常に天井付近が3～5℃高くなった。

電熱豚舎では，16:00から徐々に降下し，外気温

が最低となった4:00頃に床上10cmで5℃，床上1.20mで7℃，天井付近でも8℃まで降下した。

3回の調査日における炭酸ガス・アンモニアガス濃度と天井の排気筒風速を図17に示した。炭酸ガス濃度は開始時の電熱豚舎で平均0.290%とやや高いが，その他の調査日では，両豚舎共に0.230%

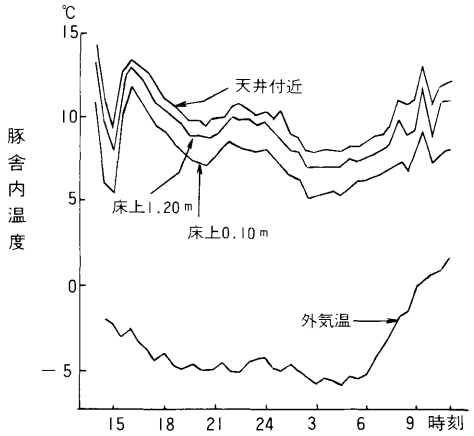


図15　電熱豚舎の垂直温度分布の夜間推移
（試験17）
注　試験終了時，豚舎中央部

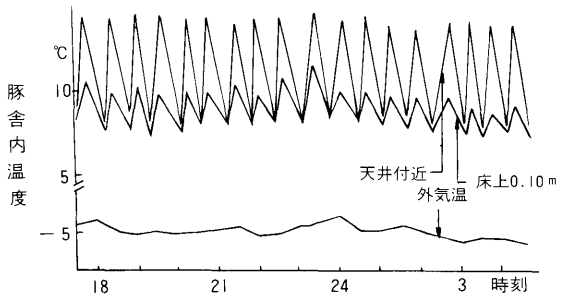


図16　温風豚舎の垂直温度分布の夜間推移
（試験17）
注　試験終了時，豚舎中央部

	試験開始時			平均値	中間時				試験終了時			
―電熱豚舎―												
炭酸ガス	0.200%	0.395	0.320	0.29	0.135	0.160	0.180	0.16	0.118	0.200	0.135	0.15
アンモニアガス	10ppm	15	10	13	8	8	8	8	5	5	5	8
換気筒風速	m/s 0.55	0.55	0.50	0.50	0.53	0.70	0.50	0.70	0.60	0.62	0.45	0.45	0.50	0.55	0.49
推定換気量	2,748m³/h				3,214				2,540			
推定換気回数	3.93/h				4.59				3.63			
―温風豚舎―												
炭酸ガス	0.130	0.225	0.220	0.19	0.140	0.125	0.125	0.13	0.125	0.230	0.200	0.19
アンモニアガス	10	10	10	10	8	8	8	8	3	5	7	5
換気筒風速	0.65	0.65	0.40	0.55	0.56	0.50	1.00	0.60	0.60	0.68	0.55	0.55	0.70	0.65	0.61
	2,903				3,525				3,162			
	4.15				5.04				4.52			

図17　豚舎内の炭酸ガス・アンモニアガス濃度と換気風速（試験17）

注　外気条件図14参照，中央通路1.20mの高さで測定，風速は天井換気口

以下であった。アンモニアガス濃度はヒトの感知できる15ppmより常に低い値を示した。排気筒の風速と筒開口部の面積から換気量を算出した結果，25,000～35,000m³／hとなり，換気回数では4～5回／hとなっていた。

無加温の舎内環境の検討

無加温の場合には，どのような環境になるかを畜舎の熱・水分収支の関係式[64]を用いて検討した。

舎内温度（ti）の推定は，次式を用いた。

$$\frac{V}{Q_s} = \frac{1}{0.31}\left(\frac{1}{ti-to} - \frac{A \cdot U}{Q_s}\right)$$

換気筒風速と面積から求めた換気量（V），豚舎総表面積（A），建物材料から算出した平均熱貫流率（U＝1.53kcal／m²・h・℃）および総顕熱発生量（Q_s，表34）をそれぞれ式に代入し，外気温（to）を任意に設定してそれに対する舎内温度（ti）を求め，試験開始時の外気温をモデルに示したものが図18である。

また，3回の調査日の外気温をモデルとして，舎内温度との差（△to－ti）を豚舎別に表36に示した。

排気筒の風速が0.50から0.70m／secに変化しても舎内温度tiの変化は小さく，3回の調査時で最大1.90℃の温度差にしかならなかった。開始時の温

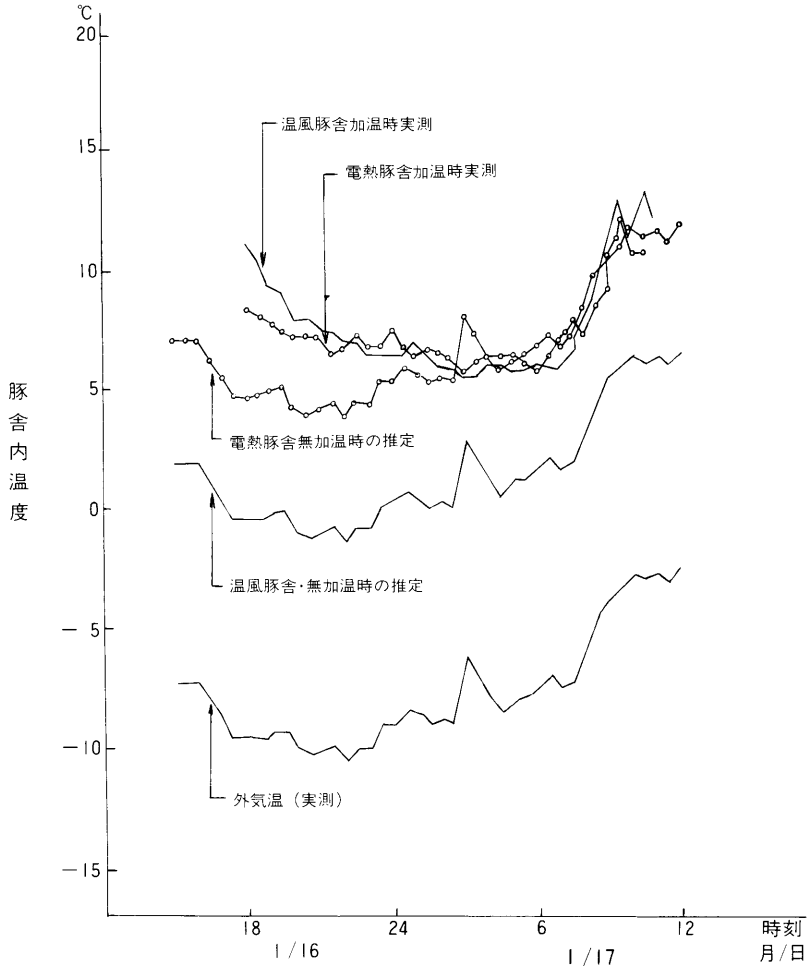


図18　豚舎内温度の加温時（実測）と無加温時（推定）の比較（試験17）

注　無加温時の換気量は，換気筒風速として0.70m/secを想定した

表36　無加温条件における外気温と豚舎内温度差の推定

（試験17）

調査時点	温風豚舎 飼育頭数	温風豚舎 換気筒風速[1] 0.5	0.6	0.7	電熱豚舎 飼育頭数	電熱豚舎 換気筒風速 0.5	0.6	0.7	豚舎間差[2]
	(頭)	(℃)			(頭)	(℃)			
開始時	139	9.1[3]	8.4	7.9	196	14.3	13.3	12.4	4.9
中間時	160	10.6	9.9	9.4	209	13.3	12.3	11.4	2.4
終了時	183	12.1	11.4	10.9	184	12.1	11.1	10.2	− 0.3

注　1）換気筒風速（m／sec）　2）0.6m／secにおける電熱豚舎－温風豚舎
　　3）外気温と無加温時の舎内温度差（△t）

表37　無加温条件における外気温別豚舎内相対湿度の推定

（試験17）

区分	時期		開始時 外気温(℃) 0	−5	−10	−15	終了時 0	−5	−10	−15
	潜熱比[1]	風速[2]	(%)							
温風豚舎	$Q_L/Q_S=1/3$	0.5	83[3]	98	＞100		78	95	＞100	
		0.7	77	89	＞100		75	88	＞100	
	1/4	0.5	67	74	86	＞100	61	70	81	＞100
		0.7	66	72	78	96	60	69	77	99
電熱豚舎	1/3	0.5	76	90	＞100		80	93	＞100	
		0.7	75	82	＞100		78	91	＞100	
	1/4	0.5	59	66	80	97	62	68	82	＞100
		0.7	57	65	76	98	61	67	80	＞100

注　1）Q_S＝顕熱　Q_L＝潜熱　2）換気口風速（m／sec）　3）相対湿度の推定値

風豚舎で無加温の場合（排気風速0.60m／secとして），外気温より8.4℃高く舎内温度が維持される。したがって，外気温が−15℃に降下すると，舎内温度は−6.6℃まで降下することになる。一方，電熱豚舎のそれは13.3℃の△tであるから，同様に外気温が15℃で−1.7℃の降下にとどまるものと推察される。すなわち，電熱豚舎は，温風豚舎より常に温度降下が少ない条件にあった。

舎内湿度の推定は次式[64]を用いた。

$$\frac{V}{Q_S}=\frac{Q_L}{741.11\ (Xi-Xo)\ Q_S}$$

Q_Lは豚からの潜熱であり，Q_L/Q_Sは牛で1／3，鶏で1／4とされている[107]。豚の値は不明であるが，1／3と1／4の場合を試算した。外気の絶対湿度（Xo）は，相対湿度（RHo）75%として湿り空気線図から求めた。以上を上式に代入し舎内の絶体湿度（Xi）を求め，先に求めた各舎内温度（ti，図18）における相対湿度（RHi）を湿り空気線図により求め，表37にまとめて示した。両豚舎，各調査時点共に換気量の多少による舎内相対湿度の変化は小さく，Q_L/Q_S比の大小による影響が大きかった。外気温の降下と共に舎内相対湿度が高まり，−5℃以下で90%以上，−10℃以下で100%，すなわち飽和に達すると推定された。豚舎間の比較を，飼育頭数と平均体重がほぼ等しい調査終了時点でみると，外気温の降下につれて電熱豚舎での相対湿度の上昇幅が大きく，特にQ_L/Q_S＝

1／3でその傾向が顕著であった。

肥育豚の発育

両豚舎で3豚房を選定し，発育を調査した結果を表38に示した。飼育の時期が肉豚後期にあたる温風豚舎の群8，18の日増体量は584，561gであり，電熱豚舎の後期肉豚群9，20のそれは，557，521gであった。これらの日増体量は，肉豚後期として良好といえなかった。

表38　肥育試験豚の発育

（試験17）

区分	温風豚舎			電熱豚舎		
豚群番号	8	18	23	9	20	21
供試頭数 (頭)	8	9	8	8	11	11
開始平均体重 (kg)	40.9	43.6	59.6 1)	60.6	54.7	29.6
終了平均体重 (kg)	73.6	75.0	—	91.8	83.9	59.2
日増体量 (g)	584	561	—	557	521	529
飼料消費量 2) (kg)	120.6	122.4	—	138.0	121.6	98.9
飼料要求率	3.69	3.90	—	4.42	4.16	3.34

注　1）中間で1部出荷のため除外　2）1月17日－3月14日，56日間1頭当たり

表39　期間中の燃料消費量

（試験17）

時期	温風豚舎 重油 (ℓ)	温風豚舎 電気1) (KWH)	電熱豚舎 電気2) (KWH)
前期	1,200	126.0	1,348.0
後期	778.8	82.0	544.0
全期	1,977.8	208.0	1,892.0

注　1）温風機の公称燃料消費量10.0ℓ／時間から逆算した
2）積算電力計による

加温の経済的評価

表39に試験期間の燃料消費量を，表40に加温の費用を直接費と間接費に分けて示した。生産性を検討するため，第2章で求めた飼料要求率と増体量の回帰式を用いて，加温と無加温時の増体量と飼料消費量を算出した。すなわち，両豚舎の最高・最低温度を平均して舎内基準温度とし，7日毎の平均基準温度に対し，飼育中の各豚群の増体量と

表40　試験期間の加温費用

（試験17）

区分		温風豚舎 前期	温風豚舎 後期	温風豚舎 全期	電熱豚舎 前期	電熱豚舎 後期	電熱豚舎 全期
		(円)					
直接費	電気代1)	1,904	1,613	3,517	14,809	9,486	24,295
	重油代2)	42,000	27,230	69,230	—	—	—
	計	43,904	28,843	72,747	14,809	9,486	24,295
間接費3)		11,200	11,200	22,400	18,966	18,966	37,932
総計		55,104	40,043	95,147	33,775	28,452	62,227
1日当たり		1,968	1,430	1,699	1,206	1,016	1,111

注　1）基本料金 535円／KW，6.62円／KWH
2）35円／ℓ・A重油
3）加温施設の償却費用（試験期間分）

飼料消費量を算出し，豚舎全体として積算した。無加温については，先に推定した豚舎内温度差(表36）を基に，期間中の外気温から舎内基準温度を求め，増体量と飼料消費量を加温の場合と同様に積算した。以上の結果を整理して表41，42に示した。

表41　温風豚舎における加温の有無と生産性試算

（試験17）

区分		前期[1]	後期[2]	全期間
加温条件	総増体量[3] (kg)	2,122.9	2,468.9	4,591.8
	総飼料量[3] (kg)	8,566.8	9,279.7	17,846.5
	飼料要求率	4.04	3.76	3.89
無加温条件	総増体量[3] (kg)	1,653.9	2,240.2	3,894.7
	総飼料量[3] (kg)	7,769.3	9,173.2	16,942.6
	飼料要求率	4.70	4.09	4.35

注　1）前期飼育頭数 134頭　2）後期飼育頭数 154頭
　　3）育成子豚，肥育豚について，それぞれ算出し豚舎全体として表示した

表42　電熱豚舎における加温の有無と生産性試算

（試験17）

区分		前期[1]	後期[2]	全期間
加温条件	総増体量[3] (kg)	3,245.2	3,190.7	6,435.9
	総飼料量[3] (kg)	13,714.9	12,556.0	26,270.9
	飼料要求率	4.23	3.94	4.08
無加温条件	総増体量[3] (kg)	3,022.7	3,206.9	6,229.6
	総飼料量[3] (kg)	13,594.5	12,560.4	26,154.9
	飼料要求率	4.50	3.91	4.20

注　1）前期飼育頭数 194頭　2）後期飼育頭数 209頭
　　3）表41と同じ

表43　加温の経済性評価

（試験17）

区分	温風豚舎 前期	温風豚舎 後期	温風豚舎 全期間	電熱豚舎 前期	電熱豚舎 後期	電熱豚舎 全期間
加温の有無の増体差[1] (kg)	469.0	228.7	697.7	222.5	△16.2	206.3
飼料追加量[2] (kg)	2,204.3	935.4	3,139.9	1,001.3	△63.3	938.0
見積飼料費[3] (円)	158,710.0	67,349.0	226,058.0	72,094.0	△ 4,558.0	67,536.0
加温経費[4] (円)	55,104.0	40,043.0	95,147.0	33,775.0	28,452.0	62,227.0
加温効果[5] (円)	103,606.0	27,306.0	130,911.0	38,319.0	△33,010.0	5,309.0

注　1）表41，42から　2）増体差×無加温条件の飼料要求率　3）72円／kg
　　4）表40から　5）効果＝見積飼料費－加温経費

寒冷の厳しかった1～2月の前期における温風豚舎では，全体で8,567kgの飼料を消費し，2,123kgの増体量があったことになる。全体としての飼料要求率は，4.04となる。一方，無加温では，470kg少ない増体で，飼料要求率が0.62劣る4.70となった。全期間の要求率は，無加温に比較して加温の場合は0.46改善されたことになる。電熱豚舎の前期は，加温の有無による舎内温度差が小さいため，生産性に大きな差異が認められず，後期ではさらに小さいものであった。

以上の生産性と加温費用を合せて，経済性の評価を試みたものが表43である。

加温の有無による豚舎全体の豚増体量差を算出し，無加温の飼料要求率を用いて，加温と同一の増体に必要な飼料消費量とその飼料費を計上して，表40の加温費用と比較した。温風豚舎では，寒冷の厳しかった前期で加温が有効に働き，加温のための費用を差引いても収益があることになる。電熱豚舎では，前期でわずかに効果を認めたが，後期では逆に加温費用を回収できないことになった。

考　察

床面加温は，温水や電熱線を床下に通すため，既設豚舎向きではない。住宅では，垂直温度差が少ないことから，暖房法としては高級に位置付けられている。

豚舎では，建物の断熱性，外気温の降下度合，飼育動物の種類などによって，利用性の判断がむずかしく，肉豚の生産性に対する効果を疑問視する報告[40,49,50]もみられる。温風機による加温は，床面加温に比べ付帯工事費用が少なく，竣工後の移動や修理が容易であり，既設豚舎で後日設置する例が多く，広く利用されている。

本試験地は，北海道においても厳寒の地に属し，断熱性能が低い豚舎にもかかわらず，両豚舎共に比較的良好な舎内環境が維持された。すなわち，舎内温度は最低5℃，最高15℃の範囲に両豚舎共ほぼ調節されており，相対湿度は電熱豚舎でやや高いが，極端なものではなかった。両豚舎共に水平温度分布でばらつきが小さく，垂直温度分布では電熱豚舎で床面からの高低による温度差が小さいのに対し，温風豚舎の高低差が大きく，この差異は加温方式によるものである。一方，腰壁の入気口と排気筒による自然換気により，両豚舎で4～5回の換気回数が確保された。

豚舎の熱・水分平衡式を用い，無加温の場合の舎内温湿度を推定した結果，総顕熱量の少なかった温風豚舎の前期で，温度降下が著しいことになり，この時期の加温による燃料消費が最も多かった。一方，電熱豚舎は総顕熱量が多いため，無加温の場合でも温風豚舎ほど，舎内温度が降下しないことになる。特に後期では，加温との温度差がほとんどないことになる。したがって，加温施設による熱エネルギーの供給は，温風豚舎に比べ電熱豚舎で少なかったものと考えられる。建物の熱貫流率と放熱面積が等しく，換気回数に大差のない両豚舎の保温性の差異は，主として豚の顕熱量の差に起因するものと考えられる。以上のことは，冬期の保温対策上からは，適正な飼育頭数の決定とその維持が，重要なことを示すものである。

無加温の場合の相対湿度は，舎内の水分発生量の多少によって大きく変化することになり，Q_L／Q_S比を1／3とした場合は，外気温－5℃で90％以上，－10℃で100％となり，天井・壁面の結露が著しくなるものと推察される。仮りに，両豚舎で加温による熱エネルギーがなければ，保温上，換気を抑制することになるであろうから，前述した4～5回の換気回数は確保できないであろう。本試験における電熱豚舎の加温は，温度上昇よりむしろ換気による熱損失を補う効果が，また，温風豚舎では，豚顕熱量の不足による温度降下と換気による熱損失を補う効果が，それぞれ大きかったものと考えられる。

試験年の外気温が例年に比べ高く推移したため，比較的良好な舎内環境を維持できたが，当地の農業施設設計温度－20℃まで降下した場合には，燃料消費量は著しく多くなることが予想され，豚舎の断熱性能の向上を図る必要がある。

加温の経済的評価は，外気温の降下度合，飼育豚の頭数や総体重，豚舎の断熱性能，加温機械の作動温度などによって異なるであろうが，温風式は舎内空気を直接加温する点で，相対湿度の低下効果が大きく，断熱性能の高い豚舎においては有効とみられる。

電熱体による床面加温は，床材の温度を上げ，間接的に舎内温度を高めるという点で，温風式加温と機能が異なる。それゆえ，床下の断熱施工が必要であり，糞尿や飲水器からのこぼれ水により湿潤しやすい豚舎では，かえって水蒸気の発生が多くなることも予想される。新生子豚での利用のように，小面積の床温度を高く保つ場合と異なる，豚舎全体の環境制御の視点からは，必ずしも明確な評価はできず，今後の検討が必要であろう。

本試験地のような厳寒の地方で，豚舎の断熱水準が平均的か低位の場合，温風機による直接加温が有効と判断した。しかし，豚舎内環境を制御する視点からは，断熱性の高い豚舎を建築し，厳冬期の夜間において温度降下の著しい場合，あるいは飼育頭数が計画頭数に満たない場合に不足する総顕熱量を，加温によって補うことが望ましいと考える。

第5章　総合考察および結論

肉豚の生産環境基準と環境制御モデル

北海道の大規模養豚における冬期の飼養技術を調査する中で，高い安定した生産性を保証する生産環境の視点がより重要と判断し，生産環境の基準を設定するための試験と，その基準に合致する舎内環境の制御に関する試験を実施した。本章では，前章までの試験成績と諸外国の文献から総合考察を加え，北海道における肉豚の生産環境基準を設定し，さらに，具体的な肉豚舎の環境制御モデルを組立てた。

5—1　肉豚の生産環境基準の設定

家畜の恒温性は熱発生と熱放散の平衡の上に維持され，平衡状態での体温調節には，組織や器官の物理的作用による放散機構が対応しいる。このような温度範囲を熱的中性温域[10]，あるいは快適温域とよんでいる。群飼育肉豚の熱的中性温域は，第2章で述べたとおり15～25℃の範囲にあり，それより環境温度が低下すると，体物質を分解・燃焼して熱発生を行なう化学的調節が発現する。したがって，熱的中性温域からいつ脱すれば，増体や飼料効率の悪化が認められ，その程度はすでに第2章で検討したところである。

一方，生産の場である豚舎内環境は，気象的影響が最も大きいことから，極端な気象的変化による豚に対する温熱感作を緩和することが，飼育管理にとって重要な課題となる。その場合の飼育環境温度の目標は，最大の生産反応を示す熱的中性温域が望ましい。しかし，季節や日時によって著しく変化する外気象に伴って，豚舎内環境も変化し，熱的中性温域からいつ脱する場合が多い。そこで，各種の工学的手法により，外気象の影響度合を最小にする努力が必要となる。このことは，技術的に可能であっても、費用のかさむ高度の調節法では経済的に不可能であり，調節の手法や範囲におのづと限界がある。

それゆえに，生産の場における飼育環境の範囲は，生産性がある程度低下しても，経済的に成立する範囲でなければならず，それは，当然のことながら熱的中性温域より幅広く，下限あるいは上限を設定することになり，著者は「生産環境基準」と称してここに肉豚の場合を設定した。

三村[58,59]は，熱的中性温域を中心として，家畜の適応能力をとり入れて上下に幅広く，しかも，家畜が比較的快適に生活して，生産の減少も少ない温湿度の範囲を，適温域とよんだ。著者の「生産環境基準」も，三村の適温域にほぼ一致する考え方の基に設定したもので，この基準は，主として寒冷地および寒地において，体重30 kgから100 kgまでの肉豚を豚舎内で飼育することを前提としており，表44にまとめて示した。

豚構成と飼育規模

実際の肉豚舎は，体重約30 kgから出荷までの豚を，豚房ごとに混飼育するのが一般的である。体重30 kgから50 kgの育成子豚とそれ以降の肥育豚の生産反応は，第2章の試験3～8で検討したとおり異なっている。したがって，生産基準温度は本来体重別に異なるであろうが，生産の場では豚舎ごとに区別して飼育しないかぎり，その基準は実際にそぐわない。そこで，著者は基準の設定に際し，体重30 kgから100 kgまでの豚を，体重別にほぼ平均して一括飼育中の豚舎に対応するものとした。

次に飼育頭数の少ない豚舎では，多頭数飼育豚舎に比較し，1頭当たりの豚舎放熱表面積や気容積は相対的に大きくなることから，保温上，寒地では不利である。したがって，ここでは200頭以上規模の肉豚舎を想定した。

飼育密度と群の大きさ

豚房内の飼育密度が低い場合は，前述の飼育規

模と同様の問題が生じる。飼育密度をこれまでの知見[25,54,99]により，体重50 kgまでは0.50 m²以下／頭，それ以上の豚では0.90 m²以下／頭を標準とし，1群の頭数については，20頭以下の小ないし中群とした。

豚房の床構造と型式

床構造はコンクリート平床で，冬季に敷料を利用し，側方排糞所式かデンマーク式の豚房型式とした。

表44　寒地における肉豚の生産環境基準

項　目	基　準　値	備　考
豚舎規模	200頭以上	
肉豚の体重	体　重　30 — 100kg	各体重の豚が段階的に群飼育
飼育密度	体　重　30 — 50kg：<0.50m²/頭	
	体　重　50 —100kg：<0.90m²/頭	
豚房；床型	デンマーク式・側方排糞所式，平床	
敷料	わら，のこくずの使用	
豚舎内温度	≧10℃	外気温が1～2月の最低時
	<27℃	外気温が7～8月の最高時
豚舎内湿度	<80%	
炭酸ガス濃度	<0.3%	
アンモニアガス濃度	<15ppm	
風速	<0.5m/sec	豚体付近で

豚舎内環境温度

北海道においては，1月下旬から2月上旬の夜間から早朝にかけて，その地方の最低外気温を記録し，それに伴って豚舎内温度が最も降下する。そこで，豚舎内の最低基準温度を，冬期の最低外気温時に対応するものとし，10℃以上と定めた。第2章の試験3～8の結果，肉豚の日増体量，飼料要求率は熱的中性温域に比較し，環境温度の降下と共に不良となるが，10℃以上での悪化度合は著しいものではない。

実際の豚舎において最低外気温時（1～2月の夜から早朝）に舎内温度を10℃以上に保持できるならば，外気温が上昇する日中，あるいは他の時期においては当然のことながら，10℃以上の舎内温度となる。

試験11～13によると，日内変化のある環境温度に対する肉豚の生産反応は，日内変化の平均温度のそれに一致することが確められた。したがって，最低外気温時における舎内温度を，10℃以上に保持するならば，実際の豚舎で飼育中の肉豚生産反応は，常に10℃より高い舎内平均温度に対するそれとなり，生産性の低下は著しく軽減できる。また，外気温の著しく降下する時期は，1～2月の約1か月間と比較的短い。一方，第1章の実態調査成績や最近の断熱材の普及状況を勘案すると，実現可能な温度条件と考えられる。以上のことから10℃を基準温度と決定したが，ASAE—Data[2]においても10℃を採用している。

最高温度は，三村[58,59]の適温域上限に一致させたが，ASAE—Data[2]のそれに比べ3℃高い。北海道の夏期は短く，外気温の著しい上昇は7月下旬から8月上旬の約3週間であり，なおかつ夜間の外気温は相当降下する。したがって生産反応に影響する舎内平均温度は，さらに低くなるので，暑熱の影響は短期間に限られる。

豚舎内環境湿度（相対湿度）

第2章の試験9，10成績によると，低温域における舎内高湿度は，換気が十分図られ空気汚染の少ない条件で，肉豚の生産性にほとんど影響しない。高温域ではMorrisonら[61]の試験結果からみて，高湿度条件での発育遅延が明確であるため，ASAE—Data[2]では基準を50～80％と広く設定し

ている。EWBANK[16]は45～75%を提唱し，三村[59]は高温域で80%以下，低温域で70%以下としている。著者は床面の湿潤が著しくない状態を前提とし，舎内相対湿度の冬期の基準を80%以下とした。

豚舎内空気の性状

第2章で述べた環境制御室での低温度に関する試験（3～8），第4章の断熱・換気と加温に関する試験（16，17）および第1章の実態調査（調査2）によると，換気が十分な場合には，舎内の炭酸ガス・アンモニアガス濃度が著しく高くなることはなかった。第4章において，換気量の関連で空気汚染と豚の生理・生産反応について考察したように，炭酸ガス，アンモニアガス，硫化水素および塵埃が，生産性に直接的影響を及ぼすのは，著しく高濃度の場合である。

MUEHLING[67]は総説の中で，換気の良好な豚舎での炭酸ガス，アンモニアガスおよび硫化水素の濃度は，それぞれ0.06～0.18%，21 ppm，0.09 ppmを示したとしている。炭酸ガス以外は，いづれも新鮮外気中に含まれないので，舎内に存在しないことが望ましい。ヒトの限界値は炭酸ガスで0.5%，アンモニアガスで50 ppmとなっている[67]。ASAE—Data[2]では基準値を示していない。炭酸ガス濃度は，温湿度のように飼育者が簡単に測定できないが，アンモニアガスのおよその濃度を測定できる比色ろ紙が市販しており，家きん飼育者が利用している。

実態調査や断熱・換気と加温の試験などを総合して経験的な値を示すならば，炭酸ガス濃度0.3%以下，アンモニアガス濃度15 ppm以下が目安とみられる。

豚舎内空気の移動（風速）と光

風速と光に関する試験を今回は実施していない。

風は体熱の放散を促進するので，動物の体熱平衡の点で高温域において生産性に寄与し，低温域では阻害要素と考えられる。

BONDら[9]は，10℃において風速を0.18から1.5 m／secに増加すると，体重68 kgと104.3 kgの豚の日増体量は，それぞれ14，36.2%減少し，飼料要求率は同じく3.5，51%高くなったと報じている。MOUNT[66]は，体熱放散量に対する風の影響は低温域で大きいとしているが，HOLMES and MOUNT[38]は12℃で風速を0.1から0.26 m／secに変化しても，一時的な熱放散量の増加にとどまったとしている。第1章の実態調査(2)で舎内風速，特に豚体付近のそれはほとんど認められなかった。ASAE-Data[2]では，舎内風速の基準を提示していない。しかし，低温域では豚体付近の気流が少ないことが望ましいと考えられることから，各試験成績から総合して0.50 m／sec以下を基準とした。

スヴエチン[95]はソビエトにおける光に関する研究を紹介し，暗所で飼育した豚の卵巣・精巣・脳下垂体の成長が遅れ，骨中のカルシウム・リンの蓄積量が減少するとしている。JENSEN[42]は子豚や肉豚の行動や生産性，光の有無による明らかな差のない試験を，朝日田[4]は，豚房を暗くすると尾かじりなどの悪癖を少なくする効果があるという報告を，それぞれ引用している。ASAE-Data[2]では光の増体や飼料効率への影響はないとして，基準を明示していない。

EWBANK[19]は分娩豚10ルーメン，それ以外は5ルーメンの光量を推奨しているが，光の波長・照度・時間など要因が複雑であり，ここではとりあげなかった。

5—2　豚舎設計基準温度と断熱基準

舎内温度は，外気温の降下度合と建物の断熱性能によって大きく変化するため，建設予定地の寒冷の程度は，豚舎設計にあたり重要な条件である。北海道を1月の気温[51]により区分すれば，図19のとおりほぼ3気候区となる。1月の平均気温が－6℃以上の第I気候区，－6～－10℃の第II気候区，そして－10℃以下の第III気候区である。

それぞれの1月最低気温の平均値は，およそ－8℃，－13℃および－18℃である。そこで，豚舎の冬期設計基準温度を表45のように定めた。

ヒトの住宅に対しては，渡辺[39]が同様の建築気候区と設計温湿度を提示している。堂腰[17]は市町村別の農業施設冬期最低・夏期最高設計温度を1977年

に発表しており，本基準温度もそれとほぼ一致している。

豚舎内空気から隔壁に伝わった熱は，壁材料の中を伝わり舎外空気に伝達される。このため，隔壁は熱の貫流しにくい断熱構造とし，さらに気密な構造にすることが望ましく，その基準は外気温の降下程度によって異なる。森田[59]は畜舎の平均熱貫流率を，1 kcal／m²・h・℃以下とし，中央畜産会発表の豚舎設計資料（1978）[100]では，外気温－7℃，寒冷地型の場合，屋根，天井および側壁の熱貫流率をそれぞれ5.4，0.57，0.82 kcal／m²・h・℃としている。堂腰[16]は－20℃の設計温度地帯に乳牛舎を建築する場合，天井，地上基礎，および地下基礎の熱貫流率を，それぞれ0.285，0.40，0.50および0.50と計画している。

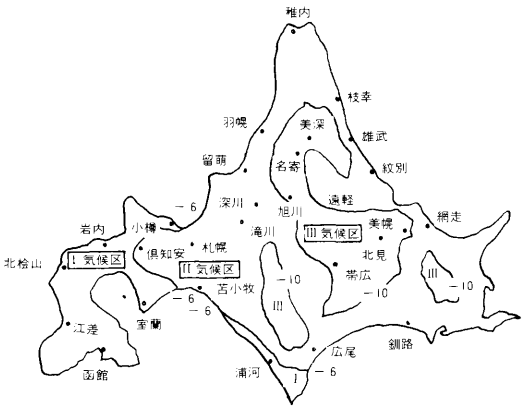


図19　北海道の豚舎用気候区

注　1月平均気温分布℃

アメリカのMidwest Plan Servis[54]（MWPS－1と以降略す）には，気候区別に必要な畜舎の断熱価（insulation value "R" 値・Btu／ft²・h・°F）が表示されており，これを熱貫流率に変換すると，外気の基準温度が－18～－23.3℃の地帯における壁・天井は0.54～0.35・0.31，－18℃以上の地帯のそれは0.54・0.41となっている。以上の値を参考に3気候区に対する断熱基準を表45のように決定した。市販の保温断熱材を利用して，これらの基準に適合させるとすれば，壁，天井それぞれ100，150 mmの厚さが必要である。

表45　豚舎用気候区分と豚舎設計基準外気温度

気候区分	I	II	III
外気温（℃）	－2 ―― －10	－7 ―― －15	－12 ―― －20
相対湿度（%）	70 ―― 80	70 ―― 85	70 ―― 85
代表地	函館，室蘭	札幌，釧路，稚内	旭川，釧路，北見
豚舎設計最低温度[2]（℃）	－10	－15	－20
熱貫流率K　天井	0.54	0.35 ― 0.31	0.21
（Kcal/m²h℃）　壁	0.54	0.54 ― 0.35	0.35

注　1）1月の夜間外気温のおおよその範囲　2）外気温

5－3　肉豚舎の断熱換気計画

豚舎内では常に豚から顕熱（Q_S）と潜熱（Q_L）の発生があり，Q_Sは舎内温度を高めるエネルギー源であるが，Q_Lは水分の発散を伴うので舎内相対湿度（RHi）を高める要因となる。舎内空気に比べ，外気の絶対湿度（Xo）は常に低い。外気を豚舎内に取入れ，豚のQ_Sを受けて昇温すればRHiは低下し，さらにRHiの高い舎内空気と混合されると湿度が低下することになる。すなわち，換気によって舎内の水分を除却できる。

一方，換気を図ることにより豚からのQ_Sの相当量を同時に舎外へ排出することになるため，換気量を多く計画するためには，建物からの放熱量を抑制するか，Q_S以外の熱源が必要になる。第四章の試験16，17で考察したように、前者は豚舎の断熱であり、後者は加温が具体的対応となる。しかし，試験17で考察したように加温は、断熱と換気によって安定した舎内環境を維持できない場合の対応であり，断熱・換気を中心とした肉豚舎の環境制御モデルを組立てることにした。

計画豚舎の概要

中央通路複列式側方排糞所型の肉豚舎（図20）を，気候区分II（図19）に建築するものとし，肉豚の生産環境基準（表44）を満足するように計画した。床から天井までの高さは2.12 mで，各隔壁の断熱構造は表45の基準に従って表46のとおりである。

豚舎内熱発生量の算出

豚の体重・環境温度別の全熱発生量は，BONDら[1]が風速0.10～0.15 m／sec，相対湿度50％の条件における値をグラフで示し，さらに，その潜熱（Q_L）の割合を別に報じている[7]。そこで，表47のように体重別の10℃における全発生熱量をBONDらの図から読みとり，15％のQ_L相当分を差引き総顕熱量（Q_P）とした。なお，MWPS－1[54]では，10℃おける体重100 lb単位のQ_Sを293 Btu／h（73.8 kcal／h），同Q_Lを127 Btu／h（32.0 kcal／h）として総体重を乗ずる方法をとっている。

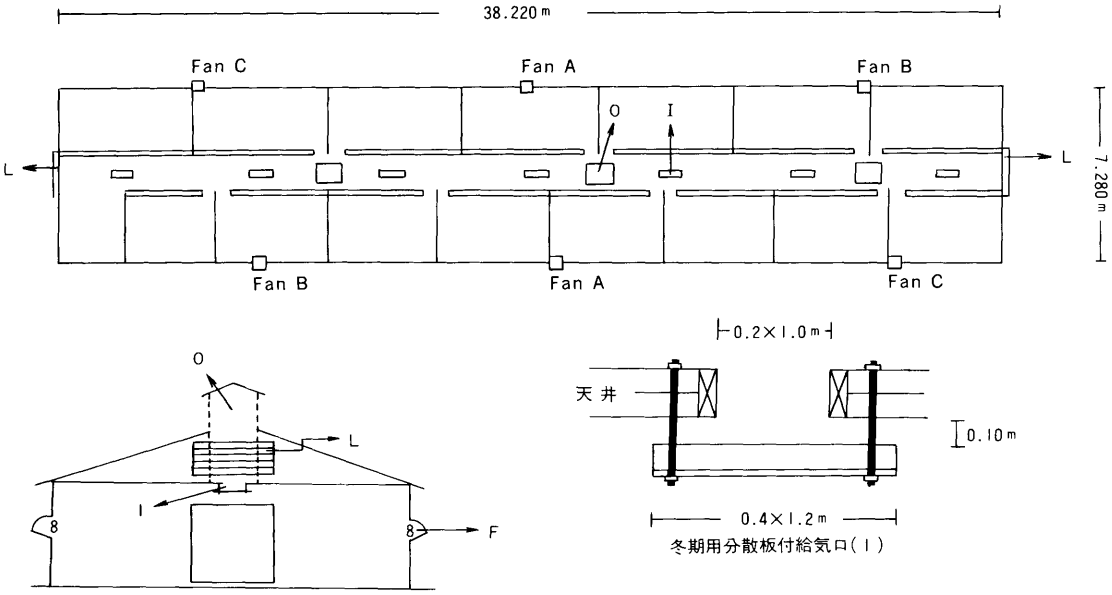


図20　断熱・換気豚舎の概略図

注　(F)換気扇φ40cm　(I)冬期用分散板付給気口　(L)冬期用天井裏への入気口 0.9×1.8m
(O)夏期用排気口，冬完全閉鎖 1.2×1.2m

表46　計画豚舎の条件

項　目	天　井	上　壁	腰　壁	窓	基　礎[1]
面　積　A (㎡)	278.24	71.09	91.0	30.83	91.0
熱貫流率K[2]	0.56	0.56	1.29	3.00	2.38

備　考　天井：ホームポリスチレン　or　グラスウール[3]　100－150mm
上壁：ラスモルタル・下地板・グラスウール[3]　50mm・耐水ベニヤ
腰壁：ブロック・ホームポリスチレン18mm・モルタル
窓　：2重ガラス窓　　基礎：コンクリート・モルタル

注　1）周井長　2）Kcal/h℃　3）舎内側に防湿膜を施工する

表47　飼育豚の総顕熱発生量（Qp）

体重区分	顕熱量[1]	頭　数	合　計
kg	(Kcal/h)	(頭)	(Kcal/h)
体重45	102	88	8,976
68	136	86	11,696
91	157	86	13,502
総　計[2]		260	34,174

注　1）1頭当りQp　2）総体重17,634kg

許容換気熱量の算出

Q_Pから豚舎隔壁の総損失（貫流）熱量（Qb）を差引いた残熱量は，換気と共に舎内から排出されて良い許容換気熱量（換気による熱損失：Qv）である。

Qbは外気温（to），豚舎表面積（A），熱貫流率（K）から次式で求めることができる[16]。

$$Qb\ kcal/h = \Sigma KA\ (ti-to)$$

気候区分IIのto，舎内基準温度（ti）を用いて各部位ごとのQbを求め，さらにQp 34,174 kcal／hからQbを差引きQvを求め表48に掲げてけある。

温度調節換気量の算出

換気と共に舎外へ排出されるQvと換気量（Vm^3／h）の間には次式が成立する[63]。

$$Qv = 0.3V\ (ti-to)$$

そこで，この式に各温度のQvを代入して温度調節換気量（表48）を求めた。気候区分IIの設計温度－15℃で舎内基準温度10℃を維持するには，2,483 m^3／hの換気量が最大で，これより多い場合はtiが10℃以下となることを示している。toが－15℃のときの換気量を換気回数に変換すると4.2回／hとなり，MWPS－1[54]が推奨する冬の最小3.0回より多くなった。以上で，予測される最低外気温に対し舎内を基準温度に，維持する換気量が求められた。

表48　豚舎の熱損失と温度調節の換気量

外　気　温 to	(℃)	－25	－20	－15	－10	－5	0	5	10	15
計画舎内温度 ti	(℃)	5	5	10	12	15	18	20	20	25
内外温度差 △t[1]		30	25	25	22	20	18	15	10	10
豚舎熱損失 Qb[2]		18,663	15,552	15,552	13,686	12,442	11,198	9,331	6,221	6,221
許容換気熱量 Qv[3]		15,511	18,622	18,622	20,488	21,732	22,976	24,843	27,953	27,953
換　気　量 V[4]		1,723	2,483	2,483	3,104	3,622	4,255	5,521	9,318	9,318

注　1）△t ＝ to － ti　2）Kcal／h　3）$Q_v = Q_p - Q_b$ Kcal／h　4）m^3／h

表49　湿度調節の換気量

計画舎内温度 ti	(℃)	5	5	10	12	15	18	20	20	25
計画相対湿度 RHi	(%)	80	80	75	75	75	75	75	70	65
計画絶対湿度 Xi[1]	(kg/kg)	.00425	.00425	.0057	.0064	.0078	.0097	.0108	.0102	.0130
外　気　温 to	(℃)	－25	－20	－15	－10	－5	0	5	10	15
設計相対湿度 RHo	(%)	75	75	75	75	75	75	75	80	80
設計絶対湿度 Xo[1]	(kg/kg)	.00025	.00048	.00065	.0012	.00185	.00282	.004	.006	.0085
換　気　量[2] Q_L／Q_S	1／4	2,881	3,057	2,283	2,216	1,937	1,675	1.695	2,745	2,562
	1／3	3,844	4,078	3,043	2,956	2,583	2,234	2.260	3,659	3,417

注　1）湿り空気線図（内田秀雄，湿り空気と冷却塔．裳華房．東京．1963）より　2）m^3／h

湿度調節換気量の算出

寒地の冬期では，舎内の過剰な水蒸気と汚染空気の排出が主要な問題であり，温度維持の換気量は，とりもなおさず舎内を基準計画相対湿度(RHi)に維持する換気量でなければならない。そこで第4章，試験17で舎内湿度の推定に用いた式[64]により，湿度調節のための換気量を求めた。

豚舎全体の潜熱量Q_Lは，舎内の温・湿度，床の構造，水の使用状況，敷料の有無などにより一定ではないもののQsに比べ極端に大きくなく，Q_L／Qs比が牛で1／3，鶏で1／4とされている[107]。MWPS－1[54]の豚の場合は1／2.27と計算上なるが，舎内の水の使用を極力さけ，床や尿溝の勾配に注意して速やかに排出するなど，日常の節水管理を密にするものとして，Q_L／Qs比を1／3とした。外気の相対湿度は75％とし，各外気温に対する基準計画相対湿度75％とし，外気温が－20℃では80％として最低換気量を算出し表49に示した。

図21は，基準に従った舎内温・湿度を維持するための換気量を，外気温ごとに示したものである。

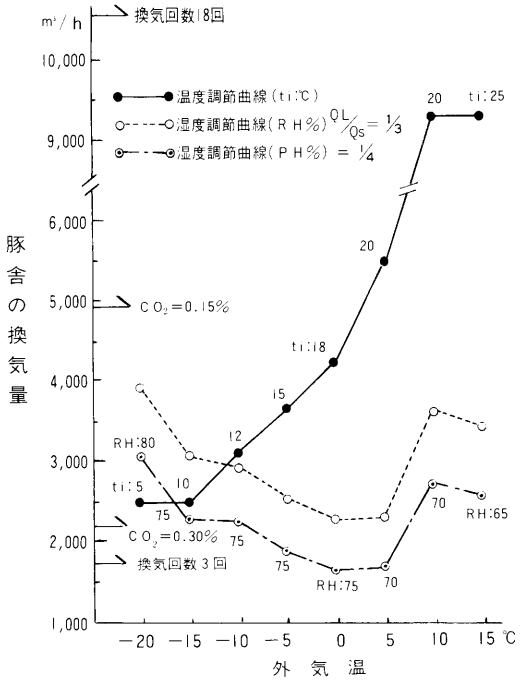


図21　豚舎内温湿度調節換気曲線

toが－10℃以上では，温度調節換気量が湿度調節換気量より常に多い。したがって，温度調節換気量を基準に換気を図るならば，湿度も基準どおり制御できる。toが－12℃以下に降下した場合は，温度調節換気量では舎内相対湿度が75％を越えて高くなる。75％を維持するためには，建物の断熱性能を高めるか，補助的加温が必要である。しかし，対象地の冬期夜間温度が－12℃以下に降下するのは短期間で，日中には0～－4℃まで上昇するため，夜間の相対温度が一時的に80％前後まで上昇することが許容できるので，加温の必要はない。なお，MWSP－1[54]で基準とする冬期の換気回数3回は，本豚舎では約1,770 m³／hになり，ここで計画した－10℃と－15℃の湿度調節換気量はさらに多い量になっている。

新鮮外気の炭酸ガス濃度は0.03％であり[48]，許容濃度に対する必要換気量は，次式[48]で求められる。

$$\text{必要換気量}(m^3/h) = \frac{\text{炭酸ガス発生量}(m^3/h)}{\text{許容濃度}\% - 0.03\%} \times 100$$

豚での炭酸ガス発生量を336 cc／kg・h[56]とすれば，許容濃度0.30％の場合は2,194 m³／hの換気量となり，前述した計画換気量で満足できる。

5－4　寒地における肉豚舎の換気法

機械換気法の採用

換気法には自然換気法と機械換気法がある。寒地の肉豚舎では，前節で計画したように，外気温の降下に伴って換気量を適宜調節できる機能が必要であり，機械換気法が適している。第1章の実態調査では，冬期において自然換気法の効果は認められなかった。そこで，電動換気扇を用いる第3種機械換気法[59]を採用した。この方式は，多量に発生する臭気，水蒸気などを積極的に排気し，それに伴って新鮮外気を導入するのに適したもので，換気量の調節が可能であり，構造も簡単である。一方，豚舎に気密性が求められ，導入空気を分散させるために換気扇の個数が多く必要とな

る。

4月から10月までの夏期は，自然換気法を採用した。北海道の夏期にあって暑熱期は7月から8月と短く，夜の外気温は20℃以下の地域がほとんどである[51]。第1章の調査2によると，夏期に窓や出入口の開放による自然換気法を作用する例が一般的であり，舎内環境は良好であった（表5）。しかし，道南を中心とする気候区分Ⅰで，棟幅の広い3列豚房型の豚舎においては，中央部の通風が不足する例もあり，機械換気の併用が必要であろう。

表46が示すように，ガラス窓の熱貫流率は大きく，冬期の保温上から不利であるため，無窓豚舎化が考えられる。無窓豚舎では季節をとわず機械換気が必要であり，夏期には舎内温度上昇を抑制すために，冬期の10倍から20倍の大換気量を必要とし[54]，換気装置と運転費用が高額となる。前述したように，北海道の暑熱期は短く，その程度も軽く，春・秋は肉豚にとって適温域に属する。高い温度保持の必要な分娩・哺育，および離乳後の育成子豚舎では無窓化することも考えられるが，ここでは採用しなかった。

なお，冬期に断熱パネル板を付設して無窓化する，セミウインドレスが有効と考えられ，特に厳寒の気候区分Ⅲで推奨できる。

給排気口と換気型式

換気型式は天井給気，側壁排気方式を採用した。

第1章の実態調査2によると，屋根の排気筒に換気扇を付設する例が多い。しかし，給気口のない豚舎が多く，夏期は窓や出入口，冬期は「すき間」が給気口となっている。腰壁の床面付近に給気口を設置する例もあるが，冬期の積雪により無効である。

第4章の試験17でも腰壁にブロック1枚分の給気口があるが，加温施設との併用ではじめて有効なものとみられる。そこで，第4章の試験16で実証した，事前保温排出方式を採用した。すなわち，妻壁の給気口より天井裏へ新鮮外気を導入し，舎内へ分散入気するものである。

豚舎の機械換気による能力（最大換気量）は，秋の外気温が降下する頃から，翌春の外気温が最低で15℃までの時期を対象とし，11,000 m³／h（換気回数18.6回）とした。換気扇は径40cm（100V）で公称風量2,220 m³／hのものを使用する。換気扇は入気経路や風圧によって抵抗を受けるため，畜舎の場合は静圧3.2 mm[54]での量を有効風圧としなければならない。ここでは有効風量85％として，6台の換気扇により分散排気する。

外気の給気口面積が小さすぎると，十分な新鮮空気を導入できないし，大きすぎると逆流してすき間風となる[54]。逆流を防止するための入気風速は，最小換気量の場合で0.5 m／sec以上とされている[54]。本計画－15℃における換気量25,000m³／hに対する適面積は1.39 m²となる。そこで両妻壁の天井裏への給気口は，0.9×1.8 mとし，天井の冬期用分散板付給気口（図20）は0.2×1.0 mのもとを7個中央通路部に設置する。夏期の排気筒（天井から屋根へのダクト付）は1.2×1.2 mのものを3個設置し，自然換気時以外の冬期は天井部で完全に閉鎖する。

換気扇の運転方法は，2台ごとにサーモスタットと連動させ，外気温の日変動をみながら10～15日ごとに設定温度を調節する（表50）。例えば，to

表50　外気温別の換気扇運転計画

外気温の日内変化（℃）	換気量（m³/h）	サーモスタット設定温度（℃）		
		Fan A	Fan B	Fan C*
－15（－20）―― ＋5	2,500 ―― 3,700	5	12	off
－10 ―――― ＋5	3,100 ―― 5,500	10	15	20
－ 5 ―――― ＋10	3,700 ―― 10,000	15	18	20
0 ―――― ＋15	4,300 ―― 10,000	15	18	20

注　＊図20参照

が－15～5℃で推移する厳寒時には，2台の換気扇をti 5℃以上で作動し（最小換気量の確保），残る4台のうち2台は12℃以上で作動するようにサーモスタットを設定する。外気温は天気予報を参考とし，舎内温度は，豚舎中央部に設置した最高・最低温度計を用いて実測する。

管理作業上の注意と加温施設の導入

冬の舎内湿度を調節することからは，舎内の無駄な水の使用をさけ，余分な水は速やかに排出することが重要となる。糞尿の水洗搬出方式は水分負荷を高めるので冬期は中止し，床や排尿溝の勾配を適正に建築し，飲水器の破損は早く修理するなど細かい管理が必要となる。また，飼育豚は計画的に導入して空豚房を作らないようにすることが，豚舎の保温上重要である。

気候区分IIIでは外気温が－15℃以下に降下する。本計画豚舎で舎内温度を10℃，75％に維持するとすれば，外気温－20℃で建物・換気による熱損失が1,000～10,000 kcal／hとなり，建物の断熱性能を高めるか，加温器具を導入するとすれば，第4章の試験17の結果から温風式加温機が適当と判断される。

豚舎内環境制御の効果

低温環境が産肉性に及ぼす影響は，第2章で考察したように泌乳や産卵に及ぼすそれと異なり，直接的に飼料要求率の低下を招く。肉豚の飼育期間は約3か月と短いことから，長期に及ぶ他の家畜のように，寒冷に対する適応能力に多く期待できない。安価な粗飼料を多量に利用できない多頭数肉豚肥育では，配合飼料の消費量を節減することが急務と考えられる。したがって，豚舎内環境を積極的に制御することの有利性の第1は，飼料要求率の改善と飼育日数の短縮にある。

高密度肉豚肥育では単に低温度だけでなく，舎内高湿度，湿潤および空気汚染が，慢性呼吸器系疾患の発生要因となる。したがって，有利性の第2は，疾病発生率の低下とその症状の進行を防止し，ひいては治療薬剤の節減などの，波及効果をもつ点である。

第3には，豚舎内の乾燥が保たれることにより，建物材料の腐食が少なく，耐用年数の延長と保守管理費用の軽減が図れることである。

表51　断熱施工のための豚舎経費増加額

内容		備考
断熱材施工面積（m²）	440	天井・壁・腰壁
断熱材施工単価（円/m²）	1,500 [1]	豚舎床面積当 2,374円/m²
断熱施工総額（円）	660,000	
年間経費増加額（円）	66,000	断熱施工部分の償却・金利 [2]

注　1）硝子繊維協会編：「通産省生活局・住機能力向上製品対策調査研究報告書」の要約と解説（昭和49年5月）の算出法により北海道現行価格をあてはめて算出した
　　2）残存率0％，償却年数25年，金利6％とした

表52　換気装置のための経費増加額

項目	金額	備考
換気装置総額	375,000（円）	換気扇，サーモスタット等施工費
換気装置償却・金利	68,000*	年間経費増
電気代金	8,000	冬期4か月分
換気装置のための経費増	76,000	

注　*償却年数10年，残存率10％

表53　豚舎内環境制御の経済性評価

環境制御の経費増		環境制御による生産費節減	
		飼料要求率の改善[1]	飼料費節減額[2]
断熱施工	66,000[3] (円)	0.091	141,960 (円)
換気装置	76,000[4]	0.1	156,000
計	142,000	0.2	312,000
		0.3	468,000
		0.4	624,000

注　1）環境制御を実施した場合としない場合の要求率の差
　　2）飼料要求率差×増体量×飼育頭数×飼料単価
　　冬期4か月に 260頭（30→105kg）を出荷し，飼料80円/kgとした
　　3）表51より　　4）表52より

本技術を導入するには，断熱施工と換気装置のための投資増が必要である。豚舎内環境制御技術を導入することによる生産性の改善効果が，費用増加額（償却費，金利および運転経費）を上まわるものであれば，経済的に有効な技術と考えられる。断熱・換気装置の施工と，運転のための年間経費増加額は，表51，52のとおり積算された。一方，本技術導入の場合の飼料費節減額は，豚舎全体としての飼料要求率の改善値×増体量×飼育頭数×飼料単価として算出できる。本章で計画した豚舎で，冬期間に260頭（年間出荷頭数の33％）を体重35kgから105kgまで飼育して出荷するとし，飼料単価が現行水準（80円／kg）とすれば，飼料要求率の改善値が0.091以上で，年間経費増加額を回収できることになる（表53）。

第1章の実態調査，肥育試験1，2，第2章の低温域における生産反応に関する各試験および第4章の断熱・換気に関する試験16を総合的に検討すると，ここで計画した制御技術を導入することにより，飼料要求率で代表する生産性の格差が0.2～0.5程度とみることが出来る。さらに，疾病発生の減少による要求率の向上と治療・予防薬剤費の節減効果を含めて考察するならば，良好な豚舎内環境を保持する制御技術の導入が，総合的に有利なことが明らかとなった。

要　　約

本研究は，寒地とくに北海道における安定した高生産性を保障する肉豚の生産環境の究明と，具体的制御法を総合的に考察することを目的として行なった。成果を要約すると以下のとおりである。

1．北海道における大規模養豚の飼育施設の実態を，147戸について調査した結果，豚舎の屋根・壁材は単層で，無天井が多く，断熱材の利用は少なかった。

屋根に排気口を設置する自然換気法が多く認められたが，給気口を欠き，電動換気扇を所有する例では，利用するものが少なかった。暖房器具は半数で所有し，冬期に終日利用しているが，豚舎内で給水器がしばしば凍結し，天井や壁面の結露が恒常的に認められた。このため，肉豚の出荷日齢は，夏期と冬期で明らかに差のあることを，80％以上の飼育者が認めている。

2．13棟の豚舎構造と舎内環境を実測した結果，夏期の良好な環境に比較して，冬期には低温度・高湿度・空気汚染・結露などが認められた。断熱材は，防湿処置，厚み，利用部位の点で不備がめだち，その効果が不明であった。一方，暖房豚舎でも，結露を防止できない例があった。

3．大型の肉豚舎で，夏期と冬期の発育・飼料効率を，117頭を供試して比較した結果，冬期の日増体量と飼料要求率が不良であり，呼吸器系疾病と舎内環境の関係が示唆された。

4．環境調節室で延196頭の肉豚を用い，環境温・湿度，床面湿潤および日内温度変化の発育，飼料効率に及ぼす影響を検討した。肉豚の生理的適温域から環境温度が降下するに伴って，日増体量，飼料要求率の悪化が著しく，特に10℃以下では5℃の温度差で飼料要求率が7～10％不良となった。

環境温度1℃の降下が，日増体量で育成子豚5.76g，肥育豚14.06gの減少となり，飼料要求率ではそれぞれ0.042，0.092の悪化と見積られた。

5．低温域における相対湿度の発育に対する影響は，空気汚染が伴わない場合には，一定の傾向が認められず，豚房の床面が湿潤すると乾燥した床での飼育に比較して，日増体量，飼料要求率が劣る傾向にあった。

6．低温域で6℃から14℃に日内変化する変温区と10℃恒温区を比較した結果，変温区の日増体量と飼料要求率は，その平均温度である恒温区のそれと著差がなかった。

7．128頭の枝肉について，飼育時期間差を検討した結果，枝肉の長さは冬期飼育でわずかに長い傾向にあったが，その他の枝肉形質に明確な差異を認めなかった。

8．枝肉脂肪の融点と脂肪酸組成に対する飼育時期間差を，19頭の枝肉を用いて検討した結果，冬期飼育枝肉の背内層脂肪融点が高く，背外・内層と腎周囲脂肪の飽和脂肪酸割合が低くかったが，枝肉の肉眼検査では明確な差を認めなかった。

9．適飼育環境を維持するための具体的な環境制御法を検討するため，天井の上壁に断熱材を施工し，電動換気扇を時間タイマーにより作動させる断熱・換気豚舎と，同一規模の無断熱・自然換気豚舎を用い，豚舎環境と肉豚の発育を比較した。断熱・換気豚舎は対照に比較し，舎内温度で3.6度高く，相対湿度で8％低く，結露をほぼ完全に防止できた。炭酸ガス濃度は，0.2～0.3％と対照に比べ低い値を示した。3回の肥育試験の結果，いず

れも断熱・換気豚舎の増体が良く，特に12月から3月の厳寒期の試験では，飼料要求率が0.20～0.37良好な値を示した。

10．適飼育環境を維持するための具体的な方法として，重油を燃料とする温風加温と電熱線による床面加温の効果を比較検討した結果，厳寒期の両豚舎最高・最低温度は，それぞれ12～15℃，3～6℃で，相対湿度80％を維持し，結露はほとんど認めなかった。加温と無加温時における肉豚の生産性を試算検討した結果，豚舎の断熱性能が低い場合には，温風機による直接舎内空気の加温が有効と考えられた。

11．以上の成果を総合的に考察し，寒地における肉豚舎の生産環境基準を，次のとおり設定した。

冬期の外気温最低温度時の舎内温度を10℃以上，相対湿度を冬期の最高で80％以下，炭酸ガス濃度0.3％以下，アンモニアガス濃度15ppm以下，体表付近風速0.5m／sec以下とした。また，冬期の外気温により北海道を3気候区に分け，それに対応する豚舎の断熱基準を示した。

12．肉豚の生産環境基準を満足する肉豚舎の環境制御モデルを，260頭規模の中央通路複列式豚舎を例に計画した。外気温が－15℃における換気量は，約2,500m³／hとなった。新鮮外気を両妻壁より天井裏へ入気し，さらに中央通路天井の分散板付給気口から舎内へ導入して，側壁の電動換気扇で排出する強制換気方式を採用した。換気量の調節は，サーモスタットと換気扇の組合せにより自動化した。組立てた豚舎内環境制御モデルを，飼料要求率を中心とする生産性について考察した結果，寒地の肉豚舎に対し本制御枝術の導入が総合的に有利であることが明らかになった。

謝　辞

本論文の作成にあたって，終始，ご懇篤なるご指導を賜わり，かつご校閲の労をおとりいただいた北海道大学教授朝日田康司博士に衷心から感謝する。また，北海道大学教授八戸芳夫博士，ならびに同教授堂腰純博士には，ご校閲の労をおとりいただき，有益なご助言を賜わった。ここに厚く感謝の意を表する。

未開の分野であった豚の生産環境と制御に関する本研究の着手にあたり，元広島大学水畜産学部教授三村耕博士(現麻布大学教授)，北海道大学農学部教授朝日田康司博士，広島大学生物生産学部教授山本禎紀博士，ならびに北海道大学農学部教授堂腰純博士に多大のご教示を賜った。ここに，これらの諸先生に心から謝意を捧げる。

本研究は，1971年以降，北海道立滝川畜産試験場で実施したものであり，終了までに，元場長難波直樹博士，同高倉正臣氏，同平沢一志氏，ならびに現場長渡辺寛氏から多大なるご便宜とご激励をいただいた。

研究の実施にあたっては，共同研究者である滝川畜産試験場研究職員森嵜七徳氏に環境調節室の運転と供試畜の飼育で，同元衛生科長籠田勝基氏(現北海道大学獣医学部助教授)，および同前研究職員佐藤和男氏には，断熱・換気豚舎の試験で，さらに，同前研究職員黒沢不二男氏（現北海道専門技術員）には，経営的評価について，それぞれ多大のご協力とご助言をいただいた。枝肉形質の分析では滝川畜産試験場研究職員梶野清二氏に，脂肪の分析では同宮崎元氏のご協力を得，また，同元飼養科長吉本正博士(麻布大学助教授)，同元科長米田裕紀氏，飼養科，衛生科，ならびに養豚科の諸氏に絶大なるご協力をいただいた。また，現地試験は，多くの養豚生産者，農業改良普及所，家畜保健衛生所，農業協同組合，ならびに市町村関係者の多大の協力がなければ達成できなかったものと考えられる。ここに以上の各位に対し，衷心から感謝の意を捧げる次第である。

引 用 文 献

1) ASAE Data, Effect of thermal environment on production, heat and moisture loss and feed and water requirements of farm livestock. 1971-Agr. Eng.Yearbook ASAE D249. 2: 396-407. 1971.

2) ASAE Data, Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. 1980-Agr. Eng. Yearbook ASAE D270. 4: 379-397. 1980.

3) ASAHIDA, Y., A. MADSEN, and K.E. NIELSEN, Slagtesvinenes tilpasning til staldtemperaturen. Ugeskr. Agr. Hort. Forst. Lic. 123: 33-34. 1978.

4) 朝日田康司, 豚の環境生理.「農業技術大系畜産編」4 豚. p基125－139. 農山漁山村文化協会. 東京. 1979.

5) 安保佳一, 最近10年間における畜産学の進歩. 家畜・家禽の生理に関する研究の動向. 日畜会報. 45(特別号): 39-47. 1974.

6) BARBER, R. S., R. BRAUDE, K.G. MITCHELL, and R. J. PITTMAN, Effect of level of feed intake on the performance and carcass composition of growing pigs. Anim. prod., 14: 199-207. 1972.

7) BOND, T. E., C. F. KELLY, and H. HEITMAN, Heat and moisture loss from swine. Agr. Engng., 33: 148-154. 1952.

8) BOND, T. E., C. F. KELLY, and H. HEITMAN, Effect of diurnal temperature on heat loss and well being of swine. Transactions of the ASAE, 6: 132-135. 1963.

9) BOND,T. E., H. HEITMAN, Jr., and C. F. KELLY, Effects of increased air velocities on heat and moisture loss and growth of swine. Transactions of the ASAE, 8: 167-174. 1965.

10) BRODY, S., BIOENERGETICS AND GROWTH. (reprited 1964) Hafner Publ. New York. 1945.

11) CURTIS, S. E., C. R. ANDERSON, J. SIMON, A. H. JENSEN, D. L. DAY, and K. W. KELLEY, Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide and swine-house dust on rate of gain and respiratory-tract structure in swine. J. Anim. Sci., 41: 735-739. 1975.

12) CURTIS, S. E., J. G. DRUMMOND, K.W. KELLY, D. J. GRUNLOH, V. J. MEARES, H. W. NORTON, and A.H. JENSEN, Diurnal and annual fluctuations of aerial bacterial and dust levels in encldsed swine houses. J. Anim. Sci., 41: 1502-1511. 1975.

13) CURTIS, S. E., J. G. DRUMMOND, D. J. GRUNLOH P. B. LYNCH, and A. H. JENSEN, Relative and qualitative aspects of aerial bacteria and dust in swine houses. J. Anim. Sci., 41: 1512-1520. 1975.

14) 堂腰純, 屋外気温と畜舎換気量の関係式. 生物環境調節. 5: 99-103. 1968.

15) 堂腰純, 畜舎換気の具体例. 北海道家畜管理研究会報. 5: 26-32. 1970.

16) 堂腰純, 環境設計.「畜産施設」(長島守正編) p.38-114. 文永堂. 東京. 1977.

17) 堂腰純, 北海道地域別農業施設設計温度表. 昭和52年度日本農業気象学会北海道支部講演要旨. p.87-96. 1977.

18) DONE, S. H., The relationship between respiratory disease, environment and economic production. in PIG PRODUCTION. p.107-128. (ed. COLE, D. J. A.) Butterworths. London. 1972.

19) EWBANK, R., Pigs. in THE UFAW HANDBOOK ON THE CARE AND MANAGEMENT OF FARM ANIMALS. p. 140-167. (ed. UFAW) Churchill Livingstone. Edinburgh and London. 1971.

20) FILMER, D. G., and M. K. CURRAN, Climatic environment and practical nutrition of the growing pig. in NUTRITION AND

THE CLIMATIC ENVIRONMENT. p.75-92.(ed. HARESIGN, W., H. SWAN, and D. LEWIS.) Butterworths.London. 1977.

21) FINDLAY, J. D., and W. R. BEAKLEY, Environmental physiology of farm mammals. in PROGRESS IN THE PHYSIOLOGY OF FARM ANIMALS. p. 252-298. (HAMMOND, J.) Butterworths. London. 1954.

22) FULLER, M. F., The effects of environmental temperature on the nitrogen metabolism and growth of the young pigs. Brit. J. Nutr., 19: 531-546. 1965.

23) FULLER M. F., Climate and growth. in ANIMAL GROWTH AND NUTRITION. p. 82-120.(ed. HAFEZ, E.S. E., and I. A. DYER,) Lea and Febiger. Philadelphia. 1969.

24) FULLER, M. F., and A. W. BOYNE, The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. I. Nitrogen metabolism, growth and body composition. Brit. J. Nutr., 25: 259-272. 1971.

25) GEHLBACH, G. D., D. E. BECKER, J. L. COX, B. G. HARMON, and A. H. JENSEN, Effects of floor space allowance and number per group on performance of growing-finishing swine. J. Anim. Sci., 25: 386-391. 1966.

26) GORDN, W. A. M., Environmental studies in pig housing. 1. Air velocity. Brit. vet. J., 118: 171-205. 1962.

27) GORDN, W. A. M., Environmental studies in pig housing. 2. Ventilation and its measurement. Brit. vet. J., 118: 243-256. 1962.

28) GROSSE, F., and H. PFEIFFER, Influence of environmental temperature on rate of gain, feed consumption and energy utilization by the pig. Nutr.Abstr.and Rev., 33: 1170. 1963.

29) HAARTSEN, P. I., Insulation of floor in livestock buildings. Farm Mechanization and Building., Dec. 25-26. 1967.

30) HALE, O. M., J. C. JOHNSON, and E. P. WARREN, Influence of season, sex and dietary energy concentration on performance and carcass characteristics of swine. J. Anim. sci., 27: 1577-1582. 1968.

31) HALE, O. M., and J. C. JOHNSON, Effects of hormones and diets on performance and carcass characteristics of pigs during summer and winter. Anim. Prod., 12: 47-54. 1970.

32) 林兼六，デンマーク式養豚．農山漁村文化協会．東京．1960.

33) HEITMAN, H., C. F. KELLY, and T. E. BOND, Ambient air temperature and weight gain in swine. J. Anim. Sci., 7 : 62-67. 1958.

34) HEITMAN, H., and E. H. HUGHES, The effects of air temperature and relative humidity on the physiological well being of swine. J. Anim. Sci., 8: 171-181. 1949.

35) HEITMAN, H., E. H. HUGHES, and C. F. KELLY, Effects of elevated ambient temperature on the pregnant sow. J. Anim. Sci., 10: 907-915. 1951.

36) HOLME, D. W., and. W. E. COEY, The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pig. Anim. Prod., 9: 209-218. 1967.

37) HOLMES, C. W., and W. H. CLOSE., The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. in NUTRITION AND CLIMATIC ENVIRONMENT. p. 51-73. (ed. HARESIGN, W., H. SWAN, and D. LEWIS,) Butterworths. London.

1977.

38) HOLMES, C. W., and L. E. MOUNT, Heat loss from growing pigs under various conditions of envirtnmental temperature and air movement. Anim. Prod., 9: 435-451. 1967.

39) 北海道建築部・道立寒地研究所, 寒地住宅の防寒工法. p.95-97. 北海道建築士会. 札幌. 1964.

40) 古橋圭介, 萩原達也, 佐藤安弘, 床面温水暖房の肉豚肥育効果に関する研究. 日豚研誌. 9: 76-81. 1972.

41) 伊藤真次, 適応のしくみ一寒さの生理学. 北海道大学図書刊行会. 札幌. 1974.

42) JENSEN, A. H., Environment and facilities in swine production. J. Anim. Sci., 23: 1185-1196. 1964.

43) JENSEN, A. H., D. E. KUHLMAN, D. E. BECKER, and B. G. HARMON, Response of growing-finishing swine to different housing environments during winter seasons. J. Anim. Sci., 29: 451-456. 1969.

44) 籠田勝基, 佐藤和男, 冬期間の畜舎環境と家畜の生産性について. 実態調査成績を中心として. 北海道家畜管理研究会報. 5: 33-48. 1970.

45) 籠田勝基, 佐藤和男, 北海道における大規模養豚の飼養技術. 2. 疾病発生および衛生管理の実態. 北獣会誌. 17：154-160.1973.

46) 堅田彰, 三島哲夫, 宮谷内留行, 子豚の発育に対する寒冷の影響. 日豚研究誌. 1: 9-13.1964.

47) 堅田彰, 宮谷内留行, 三島哲夫, 平尾厚司, 肥豚育に対する寒冷の影響. 北農試彙報. 86: 64-71.1965.

48) 勝田千秋, 牛舎の環境設計.「牛舎の設計」(畜産施設研究会編) p.79-111. 朝倉書店. 東京. 1972.

49) 糟谷泰, 首藤新一, 阿部登, 米田裕紀, 所和暢, 豚の冬期保温方式に関する研究. 1. 離乳子豚に対する保温の効果について. 滝畜試研報. 5: 86-90. 1967.

50) 糟谷泰, 首藤新一, 阿部登, 米田裕紀, 所和暢, 豚の冬期保温方法に関する研究. 2. 肉豚に対する保温の効果について. 滝畜試研報, 6: 58-64. 1968.

51) 気象協会編, 北海道の気候. 気象協会北海道地方部. 札幌. 1964.

52) LUCAS, I. A. M., Some further observations upon pigs reased in cold pens. J. Anim. Sci. 44: 369-376. 1954.

53) Midwest Plan Service, SWINE HOUSING AND EQUIPMENT HANDBOOK. (MWPS-8) 7th. ed. North Dakota State University Agricultural Extension Servise. 1970.

54) Midwest Plan Servise, STRUCTURES AND ENVIRONMENT HANDBOOK. (MWPS-1) 7th ed. Iowa State University. 1975.

55) 三村耕, 家畜管理に関する生態学的研究について. 日畜会報. 31: 161-168.1960.

56) 三村耕, 家畜管理の技術. 養賢堂. 東京. 1965.

57) 三村耕, 家畜の環境調節技術の変遷.「戦後農業技術発達史」 第8巻 畜産編. p. 607-618. 日本農業研究所編. 東京. 1969.

58) 三村耕, 環境制御の畜産進展に及ぼす効果.「世界の食糧事情とわが国畜産学術の展望. 創立50周年記念シンポジウム記録」p. 53-64. 日本畜産学会創立50周年記念事業実行委員会編. 東京. 1974.

59) 三村耕, 森田琢麿, 家畜管理学. 養賢堂. 東京. 1980.

60) MORRISON, S. R., R. L. GIVENS, and H. HEITMAN, A note on growth and food conversion in pigs at different air temperatures and ventilation rates. Anim. Prod., 23: 249-252. 1976.

61) MORRISON, S. R., H. HEITMAN, and T. E.

BOND, Effect of humidity on swine at temperatures above optimum. Int. J. Biometear, 13: 135-139. 1969.

62) MORRISON, S. R., H. HEITMAN, and R. L. GIVENS. Effect of diurnl air temperature cycles on growth and food conversion in pigs. Anim. Prod., 20: 287-291. 1975.

63) 森田琢磨，環境の制御.「畜産大事典」(内藤元男監修) p. 746-770. 養賢堂. 東京. 1978.

64) 森野一高(監修)，畜舎の換気設計法.「Hand book 畜産施設」p. 145-159. 酪農技術普及協会. 東京. 1970.

65) MOUNT, L. E., The influence of huddling and body size on the metabolic rate of the young pig. J. Agric. Sci., 55: 101-105. 1960.

66) MOUNT L. E., THE CLIMATIC PHYSIOLOGY OF THE PIG. Edward. London. 1968.

67) MUEHLNG, A. J., Gases and odors from stored swine wastes. J. Anim. Sci., 30: 526-531. 1970.

68) MYRES, A. W., and J. P. BOWLAND, Effects of environmental temperature and dietary copper on growth and lipid metabolism in pigs. 1. Growth, carcass quality, and tissue copper levels. Can. J. Anim. Sci., 53: 115-120. 1973.

69) MYRES, A. W., and J. P. BOWLAND, Effects of environmental temperature and dietary copper on growth and lipid metabolism in pigs. 2. Fatty acid composition of adipose tissue lipids. Can. J. Anim. Sci. 53: 121-126. 1973.

70) 永光俊一，省力的なアメリカ豚舎の構造と器具. 畜研. 23: 951. 1967.

71) 三上仁志，西田朗，豚の育種.「畜産大事典」(内藤元男監修)p. 1188-1198. 養賢堂. 東京. 1978.

72) 西部慎三，他13名，北海道畑作地帯における畑作複合養豚の実態. 北農試験技連資料. 41号 1-84. 1968.

73) 西部慎三，豚脂肪の性状と飼料条件との関係に関する解析的研究. 北農試研報. 第102号 1-59. 1972.

74) 農林水産技術会議事務局，畑作複合養豚技術体系（地域標準技術体系畜産17）p. 65-73. 農林統計協会. 東京. 1969.

75) 農林水産技術会議事務局，豚舎の構造と機能に関する研究.（研究成果53）1972.

76) 岡本正幹，家畜・家禽の環境と生理，養賢堂. 東京. 1970.

77) 大武由之，中里孝之，斉藤馨，佐藤清之，谷田部治之，高橋光輝，岸本赴夫，飼料，性別および畜積部位による豚脂肪酸組成の差異. 日畜会報. 41: 407-413. 1970.

78) 尾崎繁，冬季における畜舎の防寒と結露対策. 畜研. 20: 1586-1590. 1967.

79) PEARSON, A. M., E. P. PEINEKE, J. A. HOEFER, and R. F. MORROW, Effect of environmental temperture and thiouracil feeding upon growing-fattening pigs. J.Anim. Sci., 25: 994-999. 1966.

80) SAINSBURY, D., PIG HOUSING (3rd. ed.) Farming press. Ipswich. 1972.

81) SAINSBURY, D. W. B., Climatic environment and pig performance. in PIG PRODUCTION. p. 91-105. (ed. COLE, D. J. A.) Butterworths. London. 1972.

82) SAINSBURY, D. W., and N. J. SCORGIE, Studies on the climate of pig houses. 1. The ventilation of piggeries. Brit. vet. J., 111: 324-333. 1956.

83) SAINSBURY, D. W. B., and N. J. SCORGIE, Studies on the climate of pig houses. 2. Air temperature and humidity in piggeries. Brit. vet. J., 112: 357-365. 1957.

84) 佐原伝三，蓑輪雅好，増田典良，鶴崎孝，伊藤代次郎，橋本静夫，夏季における肥育豚舎の形式別舎内環境について. 農業施設. 6: 4-17. 1976.

85) SEERLEY, R. W., M. C. MCDANIEL, and H. C. MACCAMPBELL, Environmental influence on utilization of energy in swine diets. J. Anim. Sci., 47: 427-434. 1978.

86) 芹川慎, 米道裕彌, 扇勉, 所和暢, 谷口隆一, SEPの人工感染実験例について. SPF SWINE. 7: 1-8. 1976.

87) SEYMOUR, E. W., V. C. SPEER, V. W. HAYS, D. W. MANGOLD, and T. E. HAZEN, Effects of dietary protein level and environmental temperature on performance and carcass quality of growing-finishing swine. J. Anim. Sci., 23: 375-379. 1964.

88) SIEGEL, H. S., and L. H. DRURY, Broiler growth in diurnally cycling temperature environments. Poult. Sci., 49: 238-244. 1970.

89) SØRENSEN, P. H., Influence of climatic environmemt on pig performance. in NUTRITION OF PIGS AND PULTRY. p. 88-103. (ed. MORGAN, J. T., and D. L. LEWIS,) Butterworths. London. 1962.

90) STAHLY, T. S., G. L. CROMWELL, and M. P. AVIOTTI, The effect of environmental temperature and dietary lysine source and the performance and carcass characteristics of growing swine. J. Anim. Sci., 49: 1242-1251. 1979.

91) STAHLY, T. S., and G. L. CROMWELL, Effects of environmental temperature and dietary fat supplementation on the performance and carcass characteristics of growing and finishing swine. J. Anim. Sci., 49: 1478-1488. 1979.

92) STEPHENS, D. B., The metabolic rates of newborn pigs in relation to floor insulation and ambient temperature. Anim. Prod., 13: 303-313. 1971.

93) STOMBAUGH, D. P., H. S. TEAGUE, and W. L. ROLLER, Effects of atmospheric ammonia on the pig. J. Anim. Sci., 28: 844-847. 1969.

94) SUGAHARA, M., D. H. TEAGUE, and W. L. ROLLER, Effect of ambient temperature on performance and carcass development in young swine. J.Anim.Sci., 31: 59-62. 1970.

95) スヴェチン (亀井健三訳), 家畜の個体発育. たたら書房. 米子. 1969.

96) 滝川畜産試験場, 寒地における豚の飼養管理技術に関する試験. 昭和47年度成績書. 1973.

97) 所和暢, 糟谷泰, 寒冷環境が肉豚の前期発育, 血液成分および甲状腺機能に及ぼす影響. 滝畜試研報. 7: 36-39. 1969.

98) 友成巧, 環境ならびに管理の不良原因と思われる豚の疾病例について. 北獣会誌. 11: 109-113. 1967.

99) TURNBULL, J. E., and N. A. BIRD, CONFINEMENT SWINE HOUSING. Canada Department of Agriculture Publication. Ottawe. 1976.

100) 中央畜産会, 豚舎の標準設計と利用の手引. 1978.

101) VERSTEGEN, M. W. A., W. H. CLOSE, I. B. START, and L. E. MOUNT, The effects of environmental temperature and plane of nutrition on heat loss, energy retention and deposition of protein and fat in groups of growing pigs. Brit. J. Nutr., 30: 21-35. 1973.

102) VERSTEGEN, M. W. A., G. MATEMAE, H. A. BRANDSMA, and P. I. HAARTSEN, Rate of gain and carcass quality in fattening pigs at low ambient temperatures. Livestock Prod. Sci., 6: 51-60. 1979.

103) VERSTAGEN, M. W. A., and W. VAN DER HEL, The effects of temperature and type of floor on metabolic rate and effective critical temperature in groups of growing pigs. Anim. Prod., 18: 1-11. 1974.

104) VERSTEGEN, M. W. A., W. VAN DER HEL, and G. E. J. M. WILLEMS, Growth depression and food requirements of fattening pigs at low environmental temperatures when housed either on concrete slats or straw. Anim. Prod., 24: 253-259. 1977.

105) WAHLSTROM, R. C., J. F. FREDRIKSON, and G. W. LIBL, Effects of housing environment, dietary protein level and sex on performance of growing-finishing swine during winter seasons. J. Anim. Sci., 32: 1138-1142. 1971.

106) WEAVER, M. E., and D. L. INGRAM, Morphological changes in swine associated with environmental temperature. Ecology, 50: 710-713. 1969.

107) 山家光治, 温度調整と水分除却とに関する乳牛舎の換気量. 総合農学. 7:8-12. 1958. 同 8：7-13 1959.

108) 山本禎紀, 最近10年間における畜産学の進歩. 家畜・家禽の管理・生態に関する研究の動向. 日畜会報45 (特別号): 77-84. 1974.

109) 山本禎紀, 畜産領域における環境生理学(総説). 日畜会報. 47：687-697. 1976.

110) 山本禎紀, 所和暢, 富島信行, 伊藤敏男, 三村耕, 家畜の体感温度に関する研究. 2. 豚体感温度, 特に育成豚の生理反応におぼす温湿度の影響. 日畜会報. 42：609-616. 1971.

111) 屋部憲清, 鈴木康雄, 原薫, 病性鑑定控 II. 集団飼育豚に発生した流産, 寒地養豚の環境衛生の実態. 日獣学雑誌. 26学会号: 432. 1964.

112) 米内山昭和, 他14名, 農業構造改善地区における技術確定調査, IV. 上富良野町有明養豚組合について. 滝川畜試企画資料. 32号. 1966.

113) 米内山昭和, 他10名, 農業構造改善地区における技術確定調査. V. 恵庭養豚センターを中心とした肉豚生産団地形成. 滝川畜試企画資料. 33号. 1967.

114) 米田裕紀, 吉本正, 所和暢, 宮川浩輝, 杉本亘之, 寒冷環境における肉豚の飼料法改善に関する研究. 1. 飼料の増し飼いによる発育の遅延防止について. 日豚研誌. 8：44. 1971.

Studies on the Environmental Requirements for the Production of Fattening Pigs in Hokkaido

by
Kazunobu TOKORO

Summary

The effects of environment on the growth of pigs have been investigated in a number of studies. To design pig houses and their ventilation and air-conditioning systems, a great deal more study is required on the relation between environmental factors and the growth of pigs.

This study was conducted to clarify the environmental need of pigs, and to establish economically a model for pig houses and their ventilation systems in Hokkaido.

The results are summarized as follows:

1. A survey of pig housing and management in Hokkaido

In the questionnairing conducted on 147 swine producers, it has been found that almost all pig houses have roofs and walls with poor thermal insulation and no ceilings, and have natural ventilation with air outlets on the roof, while many houses have no air inlet.

Almost half the pig houses were equipped with electric or oil-fired heaters. During cold season, dew condensation is observed on the inside of roofs and walls. More than 80% of the answerers found that in winter they needed a longer feeding period up to about 100 kg live weight than in summer. Two trials involving 117 pigs were carried out in the large scale Danish-type pig house of a producer.The growth rate and feed efficiency were remarkably depressed during winter compared with summer.

The results of the investigation revealed that pig houses and their air-conditioning in Hokkaido were far below optimum condition for efficient pig production.

2. The effects of ambient temperature, relative humidity, wet floors and diurnal temperature changes on the growth and feed efficiency of pigs

The objective of this experiment was to determine the effect of growth and feed efficiency of groups of pigs maintained in cold ambient conditions.

A total of 196 pigs wre used for four experiments in two windowless rooms under contolled temperature and relative humidity at the Takikawa animal husbandry experiment station in Hokkaido.

In Exp. 1, three groups of 4 pigs weighing average of 15 kg were housed at 0, 5, 10, 15 and 20℃ of temperatures for a minimum of 42 days.

In the same way, pigs of an average 45 kg live weigth were housed at 5, 10 and 15℃ of temperatures. Cold (below 15 for 15 kg and 10℃ for 45 kg pigs) expoursure increased the quantity of feed required per unit of weight gain. The daily gain of growing pigs fell by 5.76g/℃ in the range of temperature between 0 and 20℃, whereas for the finishing pigs the corresponding value was 14.06g/℃. The feed conversion ratio increased by 0.042 units per ℃ for the growing pigs and by 0.092 units for the finishing pigs.

In Exp. 2, ambient relative humidities from 91 to 95% and 60 to 70% were compared at weight ranges from 17 to 30 kg under low ambient temperature with ventilation. Growth rates and feed conversion ratios of pigs were not affected by the environmental humidity level when the mean temperature was 5℃.

In Exp. 3, a total of 22 growing pigs, average 27.2 kg live weight, were housed at low temperature (7.5℃). Half the pigs were provided with about 1.5cm thick wet sawdust bedding on the concrete floor and the other pigs with dry sawdust during the experimmental period. Pigs kept on dry sawdust gained weight remarkably faster than those on wet sawdust. The feed conversion ratio of pigs on the dry sawdust was lower than on the wet.

Experiment 4 was desingned to determine the effect of the diurnal air temperature cycle on growth and feed efficiency. In two experiments with 24 pigs growing from 25 to 55 kg and from 60 to 85 kg, the growth rate and feed conversion ratio were not significantly affected by changes in diurnal air temperature ranging from 6 to 14℃ with average of 10℃ compared with the constant temperature equal to the mean of diurnal temperature.

From these results, the ambient temperature was shown to be the limiting factor in growing-finishing pigs housing. The practical implicatons of this study indicate that housing system for growing-finishing pigs must be equipped with some devices to maintain the ambient temerature in the range of thermo-neutral zone. The date of constant temperature (Exp. 1) can be used for designing air-conditioning systems for pig houses.

3. The effects of seasonal changes in the housing environment on the carcass and body fat characteristics of finishing pigs

The objective of this experiment was to evaluate the effects of enclosed housing in different seasons on the carcass characteristics of the finishing pigs.

In Exp. 1, 128 data of carcass characteristics obtained from performance tests at Takikawa anim. exp. stat. were analyzed. The results suggest a trend toward longer carcasses with decreasing ambient temperature, though there were no significant seasosal difference among the carcass measurements recorded.

In Exp. 2, 19 finishing pigs, averaging 60 kg live weight, were housed at 10℃ during winter and 20℃ (from 15 to 27℃) during summer. They were fed similar diets *ad-libitum* for a minimum of 50 days, and were slaughtered at a weight of 100 kg. The melting point of the inner layer of backfat for the pigs reared during winter was significantly higher, 2.6℃, than for those reared during summer. Saturated fatty acids of backfat and kidney leaf fat in winter were lower than in summer, while unsaturated fatty acids were significantly higher. There was no apparent difference in the market grade of carcasses.

4. Ventilation and heating of pig houses

Experiments were carried out to establish an ambient air-condition control technique of pig house in winter.

In Exp. 1, two wooden pig houses of the Danish-type were used for testing. One of the houses was insulated with polystyrene on the ceilings and the upper walls, and had mechanical ventilation with an interval timer. The other pig house had no insulation, and relied on natural ventilation. Comparing house without insulation and forced ventilation, the inner ambient temperature of the fan ventilated house with insulation was 3.6℃ higher and the relative humidity 8% lower, without dew condensation on the upper walls and ceilings. The concentration of carbon dioxide in the fan ventilated house ranged from 0.2 to 0.3%. From the renults of three tests, the growth rate in the fan ventilated house was higher than without forced ventilation. The feed conversion ratio during severely cold season (from November through February) was 0.2～0.3 lower for animals in the fan ventilated house than in the house without forced ventilation. It became clear that pig house for growing-finishing in Hokkaido need insulation of walls and a ventilation system.

In Exp. 2, two wooden pig houses were equipped with a warm air blower attached to an oil-fired heater and electric floor heater was used, but no insulation was installed. During cold season (from December through February), the maximum and minimum temperatures inside of both houses were maintained at 12 to 15℃ and at 3 to 6℃ , respectively, and the relative humidity was below 80%. Dew condensation on ceilings and walls was not observed. From these results it was concluded that when the thermal insulation of a pig house is poor, warming the air directly is helpful.

5. The standard of environmental conditions for efficient pig production and environmental control systems for growing-finishing pig house in Hokkaido

From the results obtained in a series of experiments, the standard was established for environmental conditions necessary for growing-finishing pig house in Hokkaido.

Ambient temperature should be above 10℃ and relative humidity below 80%. Concentration of carbon dioxide and ammonia gases should be below 0.3% and 15ppm, respectively. Air movement in the house should be below 50cm/sec. These standard rates are set for the condition at the minimum outside temperature found in winter of Hokkaido.

A standard model housing designed to satisfy the environmental requirements set above was constructed and tested for the performances of growing-finishing pigs. It had insulated walls and ceilings and a mechanical ventilation system and can hold about 260 pigs. Fresh air is supplied through two gable louvers. Insulated ceiling inlet baffles (to let in air from ceiling to inside) are set on the center of the building. Exhausts of electric fans are set in the upper walls. A ventilation rate of about 2,500m³/h is required for the house with 260 growing-finishing pigs at a minimum outside temperature of −15℃. This model resulted to be successful to ensure efficient pig production in Hokkaido.