

## 第五章 結論

### 1. 陽圧換気方式無窓豚舎の空気分布に関する研究

小屋組妻面に設けられた換気扇から屋根裏空間に空気を導入し、天井に設けられた2列のスリットから舎内に空気を送り込み、両側側壁下部に設けられたスリットから空気を排出する陽圧換気方式の無窓豚舎の模型実験から得られた結果は次の通りである。

(1) 換気量の多い場合、吹出気流速の奥行き方向による分布は屋根裏空間が大きいため、スロット開度に関係なく、不均一であった。特に換気扇近くでは、屋根裏空間に吹き込まれた気流の誘導現象によって、舎内空気が屋根裏空間へ逆流する可能性がある。

(2) 夏期条件における気流分布は、主に、吹出気流方向によって左右される。

(3) 奥行き方向の舎内の気流分布および温度分布は天井スロットからの吹出気流速を同じにすることにより均一になる。

(4) 冬期条件における無次元温度分布は換気回数が少ない方が均一になる。舎内代表温度と吹出温度との差が大きくなると、豚房付近はより高温になるが、この温度差が舎内全体に及ぼす影響は小さい。

(5) 換気扇位置から遠く、吹出気流速が大きい所での舎内無次元温度は小さくなる。

### 2. 通風式二重被覆無窓豚舎に関する研究

夏期における測定結果からは次のことがわかった。

(1) 舎内気温は外気温に対して日中で約1K、夜間で1.5Kから1.9Kそれぞれ上昇していた。舎内気温は外気温に追従して変化しており、日射が、直接的に、舎内気温に影響しない。

(2) 舎内熱収支から、日中の土壌が舎内気温上昇抑制に大きく影響することがわかった。また、飼育密度の調節によって、夜間の舎内外気温差の調節はできるが、日中はあまり効果がない。

(3) 外側被覆材の吸収放射熱量が少ないこと、および外側被覆材から内側被覆材へ伝達される対流熱量の一部が通気層空気によって外部へ排出されるために、二重被覆壁体構造と従来型豚舎に用いられる部材とで壁体からの舎内取得熱量は同程度である。

(4) 日中、舎内外気温差を約1K以下に抑えるには、換気回数は、最低でも、約20回/hが必要である。

(5) 舎内気流分布は吹出口1穴が、それ以上の吹出口数と比較して、良い結果をもたらす。吹出口1穴でも、気流誘導シート有りは、気流誘導シート無しと比較して、豚に均一な気流を当てることができる。

冬期における測定結果からは次の結果が得られた。

(6) 舎内発生顕熱量3950w、換気回数4回/hの条件下で、舎内平均気温は、外気温より、平均 $6.9 \pm 0.9$  K高くなった。その変動係数は0.1で、舎内外気温差は日射に影響されない。これから、通風式二重被覆構造壁体は従来の豚舎壁体と同程度以上の断熱性能を備えている。

(7) 壁体の断熱性が優れていることから、冬期において舎内気温上昇に関係する熱量は豚体からの発生熱である。

(8) 放射冷却による損失熱は、通気層空気の熱量で補われ、さらに、それは内側被覆材から舎内へも熱を伝える。

(9) 舎内温度分布、舎内気流方向および舎内無次元温度分布から、冬期においては、吹出口2穴が舎内環境に適している。気流誘導シート有りの利点が大きくないことから、気流誘導シート無し、吹出口2穴が冬期には適している。

(10) 東側壁体に透過性部材を用いることにより、日中の直達日

射の取得熱があるが、夜間の放射冷却によって熱が損失することから、そのメリットはない。また、透過日射の土壌蓄熱は期待できない。

### 3. 舎内気温予測数学モデルに関する研究

(1) 数学モデルによる計算値と実験による測定値を比較した結果、両者の差は $0.1 \pm 0.6$  Kとなり、計算値と測定値はほぼ一致した。したがって、ここで提案するモデルが有用であるといえる。

(2) 暑熱対策について検討した結果、換気回数と舎内外気温差の逆数は、2次曲線的な傾向を示す。

(3) 年間の計算結果から、透明壁体を用いることによって、日中、舎内気温を上昇させるが、夜間、放射冷却で舎内気温を下げ、また土壌蓄熱効果も期待できないことなどから日射を透過させる意味はない。

(4) 通風式二重被覆構造豚舎を東西棟と南北棟にした場合の舎内気温を比較した結果、両者の差は認められない。これは壁体構造が日射の影響を受けにくいことからもたらされている。

(5) 通風式二重被覆構造豚舎を全国に普及させるために、各地での舎内環境の計算結果から、関東以南の地域では冬期に補助暖房無しで、北海道、東北地方では補助暖房を用いれば生産豚舎としての管理ができる。

### 4. 今後の課題

本研究は、舎内の温度環境および気流環境について考察した。しかし、豚の健康状態にエアロゾルが関係することから、今後、エアロゾル環境についても検討する必要がある。また、長期間に渡って実際に豚を肥育した場合に、どのような反応を豚が示すか検討する必要がある。通風式二重被覆無窓豚舎で豚を実際に

飼育する場合、床面にオガクズを敷いて、糞尿等をオガクズに吸収させる方法が考えられる。その場合、舎内の湿度環境およびせん虫発生等の問題が考えられる。しかし、これらの問題は、実際に豚を肥育しなければ、わからない点が多いので、今後の検討を要する。

さらに、豚舎構造面では通風層に外部からの風が逆流する場合があるので、その対応について検討する必要がある。材料では、壁体にフィルムを用いているために、半永久的に使用できるという物ではない。そこで、フィルム等の耐久年数を考慮して経済性について検討する必要があるが今後、必要であると考えられる。

温度環境および気流速環境の検討から、通風式二重被覆無窓豚舎の実用は可能であると考えられる。しかし、より適した環境を作るには、以上の課題を解決することが望まれる。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたって、岩手大学大学院連合農学研究科生物環境科学専攻生産環境学講座、教授 伊藤 實博士には懇切丁寧な御指導を終始賜わった。また、本論文の御閲覧をしていただいた、岩手大学農学部助教授 原 道宏博士、山形大学農学部教授 小林四郎博士、弘前大学農学部教授 ト藏健治博士、岩手大学農学部助教授 黒田榮喜博士には、貴重な御指導と御助言をいただいた。ここに、慎んで感謝の意を表わします。

本研究における実験に際しては、農林水産省農業工学研究所農業施設環境制御研究室長 奈良 誠博士、同主任研究官 大谷敏郎博士、同研究官 奥島里見氏、北海道農業試験所室長 佐瀬勘紀博士の御協力を賜りました。厚く感謝いたします。

研究の端緒を開いて下さった、筑波大学農林工学系名誉教授 相原良安博士、同教授 佐原傳三博士、同助教授 瀬能誠之博士、同講師 山口智浩氏、同助手 池口厚男博士、多方面からの御助言をして下さった株式会社ケンコーマヨネーズ筑波研究所研究員 藤田世界氏、筑波大学大学院農学研究科 黄 裕益氏、同 福田直哉氏の方々に御礼申し上げます。

平成五年二月  
岩手大学大学院連合農学研究科  
生物環境科学専攻  
田中 章浩

## 参考文献

- 1)相原良安・野附 巖・佐原伝三・山口智治(1982) : 畜舎における湿度調節に関する研究, 昭和55から56年度文部省科学研究補助金(一般研究B)による研究報告書, 3-9.
- 2)相原良安(1984) : 畜舎の環境と構造. 畜産施設基本設計作成のてびき, 改訂版(全国農業協同組合連合会施設・資材部), 全国農業協同組合連合会施設・資材部, 43.
- 3)相原良安(1984) : ウインドウレス豚舎の実態調査. 豚舎の換気に関する研究報告書, 全国農業協同組合連合会施設・資材部.
- 4)ASAE Data D270. 4. (1984) : Design of ventilation systems for poultry and livestock, ASAE Standards, 350-352.
- 5)ASHRAE (1968) : Proposed procedures for determining heating and cooling loads for Energy calculations, ASHRAE.
- 6)ASHRAE (1976) : Procedure for determining heating and cooling loads for computerizing. Energy calculations 1, ASHRAE.
- 7)ASHRAE (1985): ASHRAE HANDBOOK Fundamentals. ASHRAE, Chapter 27.
- 8)Bond, T. E., Heitman, H. and Kelly, C. F. (1965) : Effects of Increased Air Velocities on Heat and Moisture Loss and Growth of Swine. Transactions of the ASAE: 167-174.
- 9)Boon, C. R. (1978) : Airflow patterns and temperature distribution in an experimental piggery. J. Agric. Engng Res., 23 : 129-139.
- 10)Carpenter, G. A., et al. (1972) : Ventilation investigations using a section of a livestock building and air flow visualization by bubbles. J. Agric. Engng Res., 17 : 323-331.
- 11)Chistianson, L. L. and Hellickson, M. A. (1977) : Simulation and optimization of energy requirements for livestock housing. Transactions of the ASAE, 20(2) : 327-335.
- 12)Close, W. H., Heavens, R. P. and Brown, D. (1981) : The effects of ambient temperature and air movement on heat loss from the pig. Animal Production, 32 : 75-84.
- 13)Collares-Pereira, M. and Rabl, A. (1979) : The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation

values, Solar Energy, 22 : 155-164.

14) Curtis, S. E. (1975) : Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide and swine-house dust on rate of gain and respiratory-tract structure in swine, Journal of Animal Science, 735-739.

15) Diesch, M. A. and Froehlich, D. P. (1988) : Production and environmental simulations in livestock housing. Transactions of the ASAE, 31(5): 1532-1539.

16)堂腰 純 (1978) : 寒冷地における畜舎と舎内環境 (1), 畜産の研究, 32(4) : 499-505.

17) Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (1980) : Solar engineering of thermal processes. Wiley-Interscience, 1-26.

18)Esmay, M. H., Heavens, R. P. and Brown, D. (1986) : Environmental control for agricultural buildings. 1st ed.. The AVI publishing company, Westport, 77-99.

19)藤川洋一郎 (1986) : 偏微分方程式の解法, 初版, サイエンス社, 9-17.

20)藤田世界 (1990) : 陽圧換気無窓豚舎の屋根裏空間の熱収支に関する研究, 筑波大学修士論文, 23-46.

21)長谷川房雄 (1965) : 不定常熱伝導, 建築計画原論II (渡部 要編), 丸善株式会社, 123-135.

22) Hellickson, M. A., Walker, J. N. and Sainsbury, D. (1983) : Ventilation of agricultural structures. ASAE, 150.

23) Henderson M. A. (1983) : Ventilation of agricultural structures, ASAE.

24)干場信司・堂腰 純・鮫島良次・浦野慎一・佐藤義和・金谷尚智 (1981) : 豚舎の環境と生産に関する実証的比較研究 (4) 豚舎内環境の衛生的環境, 昭和56年度農業施設学会大会講演要旨, 7-8.

25)細谷光利 (1972) : 仕上げ肥育豚舎の換気. 養豚便り, 22, 36-39.

26)細谷光利 (1972) : 仕上げ肥育豚舎の換気 (2). 養豚便り, 22, 70-73.

27)市田浩三・吉本富士市 (1990) : スプライン関数とその応用, 初版, 教育出版, 29-79.

28)池口厚男・相原良安・山口智治・佐瀬勘紀・奈良 誠 (1986) : 無窓分娩豚舎の舎内気動に関する研究 (I) - 夏期条件における模型実験 -. 農業施設, 17(2) : 3-15.

- 29)池口厚男・相原良安・佐瀬勘紀・奥島里見(1988)：無窓分娩豚舎の舎内気動に関する研究(III)有限要素法による気流分布の予測 その1. 昭和63年度農業施設学会大会講演要旨集：33-34.
- 30)池口厚男・相原良安(1988)：無窓分娩豚舎の舎内気動に関する研究(III)有限要素法による気流分布の予測 その2. 昭和63年度農業施設学会大会講演要旨集：35-36.
- 31) Ikeguchi, A., Aihara, Y., Yamaguchi, Y., Nara, M. and Sase, S. (1988) : Studies on ventilated air movement within swine breeding house (II) Model experiment for winter ventilation. Journal of the Society of Agricultural Structures. Japan, 18(3) : 34-48.
- 32)池内俊策・山本あや・山本禎紀(1984)：豚の生理反応に及ぼす環境温度と風速の影響および風速を含めた体感温度表示の試み. 日本畜産学会会報, 55(11) : 815-820.
- 33)石野久弥(1988)：HASP/ACLD/8001(空衛工学会方式動的熱負荷計算プログラム・第3版)解説. 空調設備の動的熱負荷計算入門, 第1版(日本空調衛生設備士協会コンピュータ・プログラム委員会), 日本空調衛生設備士協会, 45-78.
- 34)板硝子協会編(1985)：HASP-L利用者マニュアル, 日本建築設備士協会, 85-89.
- 35)勝田高司・土屋喬雄(1967):室内空気分布の模型実験法について.日本建築学会論文報告集,号外:527.
- 36)空気調和・衛生工学会(1971)：計算機による動的空調負荷計算法. 空調負荷計算に関するシンポジウムテキスト, 空気調和・衛生工学会, 46(3), 3-37.
- 37)空気調和・衛生工学会(1972)：手計算による最大負荷計算法. 空調負荷計算に関するシンポジウムテキスト, 空気調和・衛生工学会, 46(3), 39-76.
- 38)空気調和・衛生工学会(1972)：手計算による最大負荷計算法. 空調負荷計算に関するシンポジウムテキスト, 空気調和・衛生工学会, 46(3), 70-71.
- 39)空気調和・衛生工学会(1981)：空気調和・衛生工便覧(第10版)第2巻, 空気調和・衛生工学会, H32-40.
- 40)前田敏男・石黒一郎・松本衛(1959):室内の熱対流の近似相似則.日本建築学会論文報告集,第63号:17-20.
- 41)前田敏男・石黒一郎(1960):強制換気のある室の熱対流の近似相似則. 日本建築学

会論文報告集, 第66号:73-76.

42)松浦邦男(1974): 建築環境工学I, 初版, 朝倉書店, 2-8.

43)皆川秀夫(1987): 湿り空気線図の使い方. 農業環境実験法, 第1版(渡辺一郎), サイエンスハウス, 232-236.

44)森山則男・五十嵐眞哉・石塚明・徳重英明(1989): 豚産肉性の選抜に及ぼす気温の影響. 日本畜産学会北陸支部会報, 59: 34-40.

45) Mount L. E., Start I. B. and Brown D. (1980): A note on the effects of forced air movement and environmental temperature on weight gain in the pig after weaning. *Animal production*, 30: 295-298.

46)奈良 誠・小綿寿志(1989): 生産補助エネルギーを利用した施設園芸加温システムのシミュレーション. 北部地域における自然エネルギーの効率的利用による栽培植物生産システムの開発. 農林水産技術会議事務局, 273-285.

47) Nienaber J. A., Shanklin M. D., Hahn G. L. and Manak R. C. (1985): Performance of neonatal and newly-weaned pigs as affected by temperature and diet. *Transactions of the ASAE*, 28 (5): 1626-1633.

48)日本建築学会編(1969): 建築設計資料集成6, 丸善, 26.

49)西川兼康・北方直方(1990): 図解伝熱工学の学び方, 第1版, オーム社, 195-205.

50)農林統計協会(1991): 農業白書附属統計表, 平成2年度版. 農林統計協会, 89-100.

51)沼田尚登・菅野 勇・土倉道之(1985): 簡易吸排気装置による豚舎の換気とその効果, 畜産の研究, 39(9): 67-68.

52)岡田光弘(1986): 豚の知識と豚舎構造. 畜舎設計資料, 第1版. 全国農業協同組合連合会施設・資材部, 環境II-3-5.

53) Pattie, G. R. and Milne W. R. (1966): Ventilation air-flow patterns by use of models. *Transactions of ASAE*, 9(5): 646-649.

54) Philipps, H. (1940): Zur Theorie der Warmestrahlung in Bodennahe, *Grerl. Beitr. Z. Geophys*, 56: 229.

55) Randall, J. M. (1975): The Prediction of airflow patterns in livestock buildings. *J. Agric.*

Engng Res., 20 : 199-215.

56) Randall, J. M. and Battams V. A. (1979) : Stability criteria for airflow patterns in livestock buildings. J. Agric. Engng Res., 24 : 361-374.

57) Riskowski, G.L. and Bundy, D.S. (1990) : Effect of air velocity and temperature on growth performance of weaning pigs. Transactions of ASAE, 33(5) : 1669-1675.

58) Riskowski, G. L., Bundy, D.S. and Matthews J. A. (1990) : Huddling behavior and hematology of weaning pigs as affected by air velocity and temperature. Transactions of ASAE, 33(5) : 1677-1685.

59) Sallvik, K. and Walberg, K. (1984) : The effects of air velocity and temperature on the behavior and growth of pigs. J. Agric. Engng Res., 30 : 305-312.

60) 瀬能誠之・中村善光・沢口勝一・皆川秀夫 (1988) : 農業施設空間内における浮遊粉塵と浮遊微生物環境に関する研究(I)乳牛舎の環境特性, 農業施設19(1), 16-21.

61) 瀬能誠之 (1988) : 農業施設空間内における浮遊粉塵と浮遊微生物環境に関する研究(II)無窓ブロイラー鶏舎の環境特性, 昭和63年度農業施設学会大会講演要旨, 29-30.

62) 奏 寛・小泉 徹・宮崎 元・阿部英則・杉本亘之・藤田 保 (1986) : 環境温度に対する群飼離乳子豚の行動と成長の反応. 日畜会報, 57 (10) : 796-800.

63) 正田良次・土屋喬雄・市川智章・勝田高司 (1969) : 集会室内の空気分布に関する実測および模型実験. 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) : 231-232.

64) 田中章浩 (1989) : 無窓豚舎の陽圧換気による環境調節に関する研究, 筑波大学農学修士論文, 25-27.

65) Timmons, M. B. (1984) : Use of physical models to predict the fluid motion in slot-ventilated livestock structures. Transactions of the ASAE : 502-507.

66) Timmons, M. B., Hoshiya S., Sase S. and Ikeguchi A. (1991) : Engineering analysis of economic returns from Japanese poultry layer systems. The journal of society of agricultural structures, Japan, 21(3) : 51-60.

67) 戸原三郎・川端麻夫・古郡 浩・石井忠雄・鈴木俊二 (1971) : 豚舎の構造と機能に関する研究, 家畜の管理, 6(2) : 1-30.

68) 戸原三郎 (1980) : 豚の呼吸エネルギー代謝に関する研究 - 4) 豚の熱発生量に及

- ぼす温度調節の影響, 日畜研報, 17(3): 190.
- 69)戸原三郎(1987): 環境と豚のストレス. 養豚便り, 全国養豚協会, 27, 20-27.
- 70)所 和暢(1973): 寒冷環境が肉豚の生産性に及ぼす影響と防寒対策. 養豚便り, 23, 10-14.
- 71)東京天文台(1987): 理科年表昭和62年, 丸善株式会社, 200-203.
- 72)富家武男・青笠 悟・関島忠人・林 正生・山内 弘(1985): 夏季のダクト送風が肉豚の生産性に及ぼす影響, 畜産の研究, 39(8): 69-70.
- 73)塘 直樹(1990): 湿気, 環境工学, 初版, 朝倉書店, 58-65.
- 74)土屋喬雄・勝田高司・寺沢達二(1969): 室内の渦動粘性係数について. 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道): 229-230.
- 75)宇田川光弘(1986): 空気調和計算法, 第1版, オーム社, 70-73.
- 76)山口智治・相原良安(1977): 換気用多孔膨張ダクトの送風特性. 農業施設, 8(1): 48-56.
- 77)山口智治・相原良安(1979): 畜舎内空気分布に関する研究—無窓鶏舎内気流分布の数値解析と現場測定—, 昭和54年度農業施設学会大会講演要旨集: 5-6.
- 78)山口智治・相原良安・奈良 誠・桜井喜十郎(1980): 畜舎内空気分布に関する研究(II)—強制換気時の畜舎内気流分布についての模型実験—, 昭和55年度農業施設学会大会講演要旨集: 1-2.
- 79)山口智治・相原良安・奈良 誠(1981): 畜舎内空気分布に関する研究(III)—非等温、強制換気における舎内温度と気流分布について—, 昭和56年度農業施設学会大会講演要旨集: 1-2.
- 80)米田裕紀(1975): 寒冷地における豚の飼養管理. 養豚便り, 25, 9-11.
- 81)脇本和昌(1991): 統計学, 第1版, 日本評論社, 141-154.
- 82)渡辺 要(1964): 暖冷房設計用地中温度, 空気調和・衛生工学会, 38(2): 23-32.
- 83)渡辺要(1965): 建築計画原論II, 丸善, 63-64.