

乳牛の飼養環境改善のための断熱自然換気方式牛舎

(オープンリッジ乳牛舎)

※ ※ ※
渡辺 亨、住川 隆行、山口 純二、皆川 秀夫、瀬能 誠之、堂腰 純

(※北里大学、※※岩手大学(現、筑波大学)、※※※北海道大学(現、日本気象協会北海道本部))

目 次

緒 言

試験方法

結果及び考案

摘 要

参考文献

緒 言

従来の乳牛舎は、冬期間の寒冷環境を考慮して乳牛を寒さから守ることを主目的に建てられており、換気が不十分なため衛生的環境が悪く、夏は通風が悪いために暑いなどの欠点がある。

北海道における牛舎構造に関する実態調査結果でも自然換気構造のあり方、吸気口のあり方、換気扇の位置および能力、適正な断熱施工、オープンリッジベントの開き方など畜舎環境維持設計のための牛舎構造の設計法が今後の課題であると指摘されている¹⁾。

さらに、最近のように乳成分や衛生的乳質に対し高品質化が求められてくると、牛舎内の環境が重要な課題になると思われる。

牛舎内の環境は、舎外の気象や牛舎構造、飼養密度、管理方法などに影響される。

また、舎内の環境の制御方法としては、換気が重要であり、機械換気と自然換気に分けられる。機械換気では、定量的に換気量を調節できるが、維持管理のための経費がかかり、自然換気では換気量が一定しないが換気のための維持管理費が安価であるなど一長一短がある。また、自然換気方式には、キング式牛舎²⁾、開放通風方式、モニターおよびセミモニター方式、棟換気方式(オープンリッジ)などがある³⁾。

最近、わが国においても、棟換気方式が注目

され始めている⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

当場の乳牛舎(1985年完成)は断熱自然換気方式(オープンリッジ乳牛舎と略称する)を採用し、十分な換気量を保持することによって良好な衛生環境を維持しながら、夏は涼しく、冬には温かい環境を同時に確保できる牛舎の構造を明らかにしようとして建築された。

当牛舎の構造(後記)で目標とした環境が得られるか否かを知るために温度環境、衛生環境、管理作業環境などについて調査を実施してきた。その結果、概ね良好な環境が得られることが明らかになったので報告する。

試験方法

オープンリッジ乳牛舎の概要

当牛舎の平面図を図1に示す。同図中央のホールより右側の336.4㎡の牛床部分が断熱自然換気方式を採用した区分である。尚、ホールより左側は、陽圧換気方式を採用した機械換気とした。

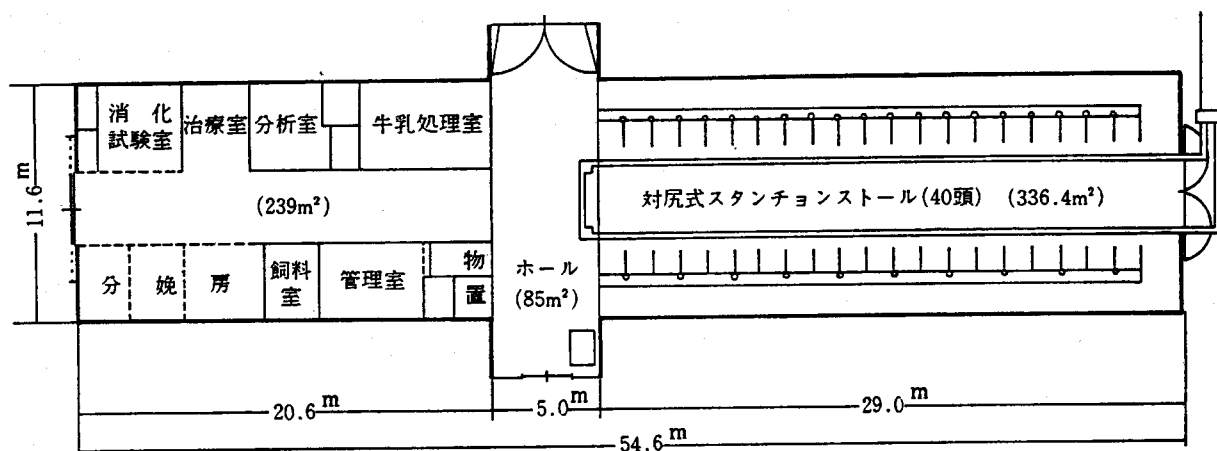


図-1 乳牛舎の平面図

当牛舎は対尻式、スタンションストール繋養方式、1頭当たり牛床面積が8.4㎡で、冬期間(1月)の気温の平均値は、最高、最低、平均それぞれ0.4℃、-8.2℃、-3.9℃で、年に数回最低気温が-18~20℃迄低下することがあるところに建設されている。

換気に関する構造として、図2・3・4・5に示した。

- (1)棟開口部(オープンリッジ)：幅150mm、連続開口(図2-イ)
- (2)棟部連続立ち上がり(バッフル)：高さ550mm(イ)
- (3)南北の窓(内倒し窓・床面より2400mm高窓)：冬期間幅30mm、夏期間幅600mm連続開口(イ)

(4)屋根裏開口部：天井裏換気のため連続開口(ロ)

(5)屋根下母屋による換気損失防止のための天井(ニ)

(6)断熱施工：屋根-50mm×2乱張り工法及び防湿層として垂鉛鉄板使用(図3) 木造外壁-50mm(図4)、コンクリート外壁-50mm+耐アルカリガラスファイバー強化セメント板の外断熱工法(ホ、ヘ、ト、図5)等を採用した。

更に、温度環境保持に関する構造として断熱施工(上記)および白色の屋根(ホ)を採用した(図1)。

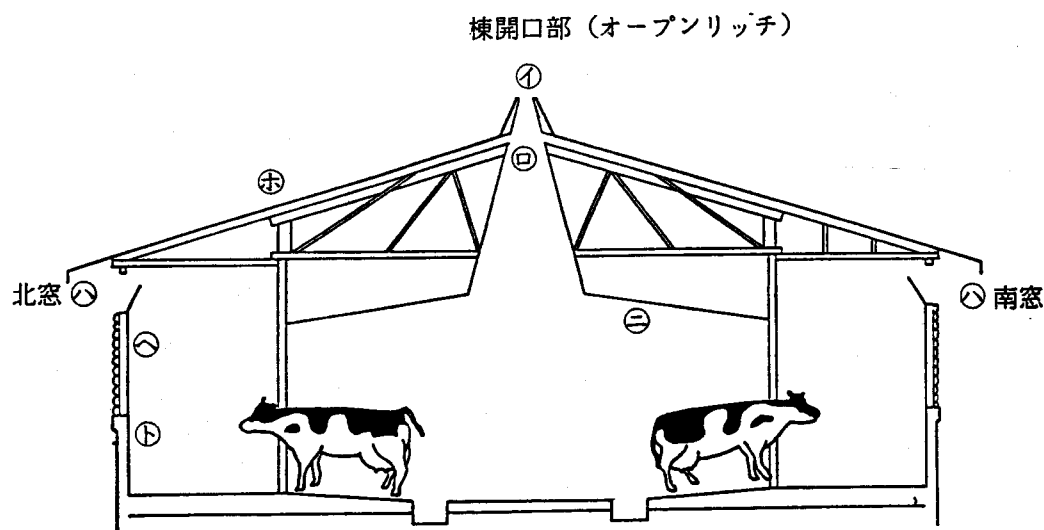
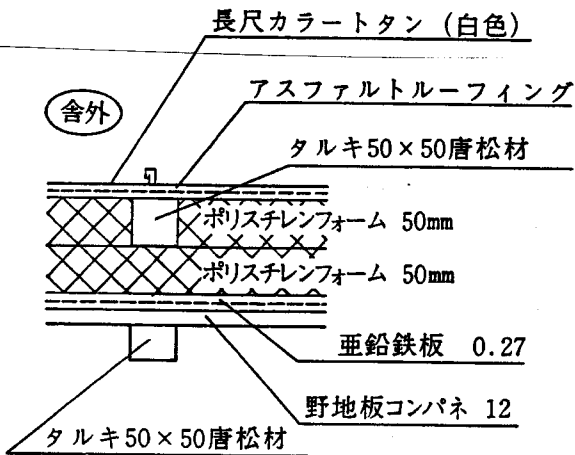


図-2 換気のための開口部など



A. 屋根断面

図-3 屋根の断熱

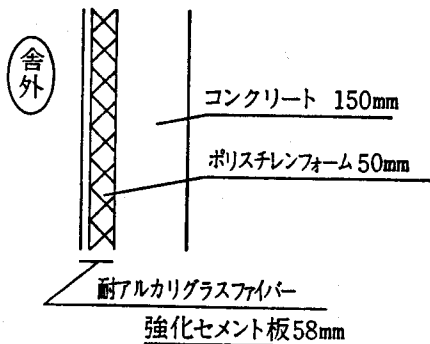


図-4 外壁部の断熱

B. 外壁コンクリート部分詳細

図-5 コンクリート部分の断熱

牛舎内外の温湿度はサーミスタ及び熱伝対を用いて温度記録計により連続記録した。

また、2月と8月には2～3日間連続して換気量、気流、浮遊細菌、浮遊粉塵濃度、有毒ガスなどについて精査した。

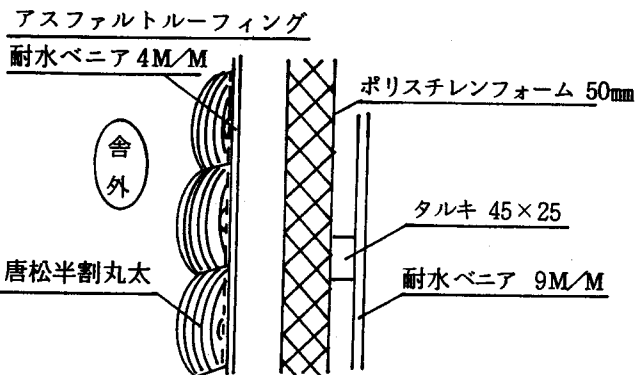
換気量は熱線風速計を棟開口部及び窓の排気部の風速を測定し、開口面積を乗じて算出した。

この換気量を畜舎容積で割って換気回数として表示した。

また、畜舎内の気流分布は、線香を用いて調査した。

屋根に日射計を設置し日射量及び屋根の日射反射率を測定した。

浮遊細菌数は、簡易型浮遊細菌測定機（RCS型サンプラ）を用い、浮遊粉塵は、圧電結晶振動式粉塵計（略称、ピエゾバランス粉塵計）を用い測定し、アンモニア濃度及びCO₂濃度は、ガス検知機により測定した。



これらの衛生環境に関する項目については、従来牛舎（当場内、1968年建設、切り妻木造平屋建て、28頭、対尻式スタンションストール繋養方式）についても調査し、比較した。

雨量は、貯水型雨量計を用いた。

舎内への雨の降込み量は、牛舎中央部、床面より3.0mの高さに貯水型雨量計を設置し測定した。

降雨時の作業性調査として、降雨時と晴天時の搾乳作業動線及び搾乳時間を比較した。

作業動線については、作業通路の中央部を幅1mに区切り、これを南北に半分の区分に分け、北側牛床での搾乳作業のために、北側区分を通過する頻度を測定した。

また、バッフル内に、上部より20cm及び30cm下の中空に雨トイ（幅：150mm）を設置し、この雨トイの受ける雨の量を測定した（図6）。

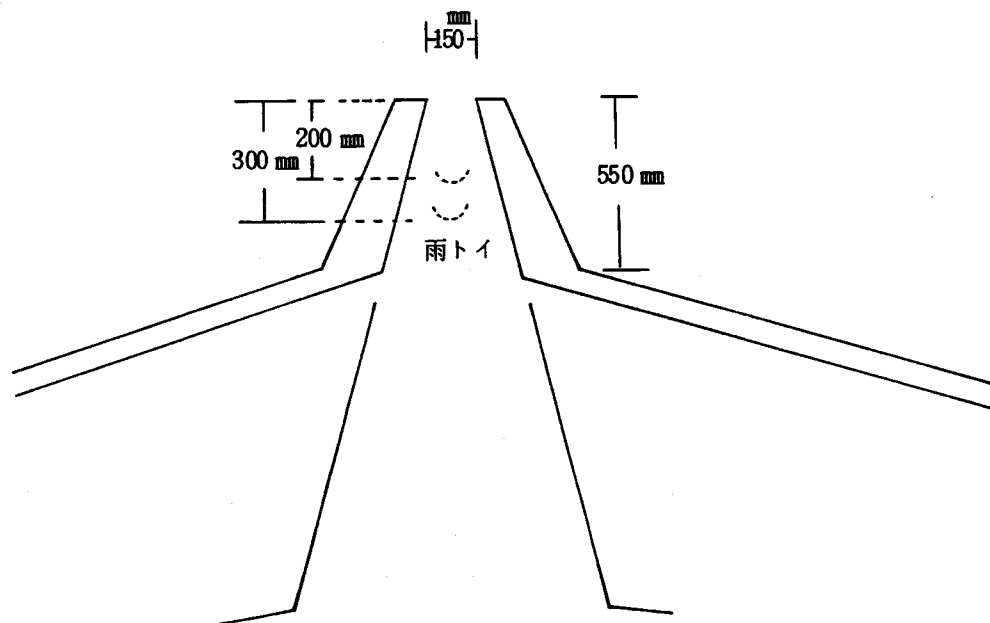


図-6 雨トイの設置位置

経済効果について、同牛舎と同等の換気量を確保した（換気量として、6-8月の夏期間は20回/時、その他の時期は、10回/時とした）機械換気の場合と比較した。

冬期間10~15、夏期間16~50回/時の換気量が得られた。

牛舎の換気量の基準として冬期間：5~10回/時および夏期間：約10回/時以上が望ましいとされており、今回得られた結果は、当牛舎の構造で年間を通して十分な換気出来ることを示している（表1）。

結果及び考察

1. 換気量

表1. 換気回数 風速および温度

測定項目	測定時間	冬期（2月）			夏期（8月）		
		20:00	00:00	04:00	20:00	04:00	11:00
棟開口部換気（回/時）		15	12	10	10	8	23
窓開口部換気（回/時）		0	0	0	23	8	27
総換気回数（回/時）		15	12	10	33	16	50
舎外風速（m/秒）		0.9	1.4	0.6	1.5	0.7	2.9
舎外温度（℃）		-0.3	-1.1	-1.9	23.0	22.1	28.6
舎内温度（℃）		6.7	7.1	7.1	25.5	24.1	28.3

舎内の空気が流れについて出入り口の戸を閉めた状態で線香の煙を目視することにより調査したが、成書に示されているごとく夏と冬で違いがみられた¹⁰⁾¹¹⁾。

夏は舎外の風に影響され、舎外の風上側の窓から入気し、横方向に流れ、出口は風上側の窓

と棟開口部であった。冬期間は舎外の風向に関係なく両側の窓より入気し、主として壁づたいに下降し、乳牛に向かった。その後天井沿いに上昇し、一部は屋根裏に向かった。出口は棟開口部だけあった（表1. 図7）。また、屋根裏もよどみなく空気が流れていた。

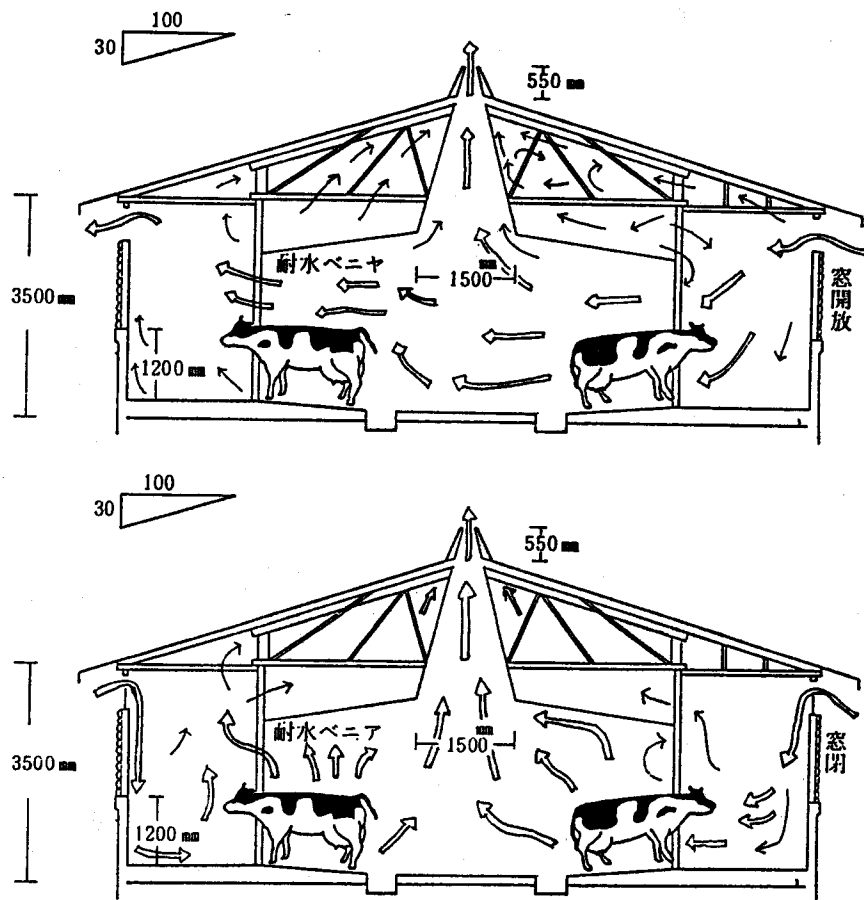


図7. 畜舎内の空気の流れ上図：夏季（8月）
下図：冬季（2月）

舎外の風速と換気回数について図8に示した。冬期間の換気量は舎外の風速に影響されにくい、夏期間は反対に影響されることも明らかになった。

以上の結果から、夏期間は、戸も開放して少しでも開口部を大きくした方がよいこと、冬期間は空気の流れから対尻式の繋養方式がよいことが示唆された。

また、バツフル中空に設置した雨トイは、20cmの位置で換気量を45%程度抑制したが、7回/hr以上の換気回数は確保された（図8）。

更に、冬期間の舎内の結露が防止され、十分な換気量と断熱施工の結果が確認された。

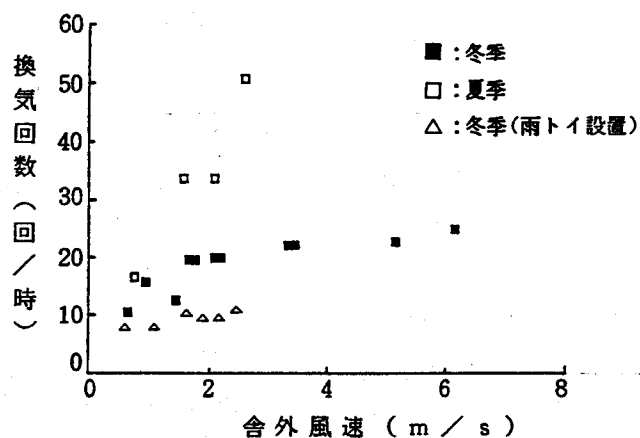


図8. 自然換気に及ぼす舎外風速の影響

2. 衛生環境

牛舎内の換気的重要性はよく認識されており、舎内の浮遊細菌数を減らすことが主目的の一つであるが、この浮遊細菌の測定例は少ない。わずかに干場ら¹³⁾のカーフハッチについてのデータがあるだけのものである。従って牛舎内の浮遊細菌数の基準値は見あたらない。当牛舎の浮遊細菌数は40CFP/L以下であり、従来牛舎の60~150CFP/Lに比べて著しく低かった。

浮遊粉塵の発生源は、牛体、敷料及び飼料などであり、通常0.18mg/m³、静隠時には0.05mg/m³、最大時には0.44mg/m³以下で従来の乳牛

表2 浮遊細菌および粉塵濃度 (舎内平均)

牛 舎	測定年月	浮遊細菌数	粉塵濃度	アンモニア濃度	CO ₂ 濃度
		CFP/L	mg/m ³	ppm	%
		平均	平均	平均	平均
オープンリッジ 乳牛舎	'86. 2	8	0.03	<1.0	0.14
	'86. 7	24	0.03	—	—
	'86. 8	31	0.02	<1.0	0.05
	'87. 2	38	0.04	0.81	0.05
	'89. 3	52	—	—	—
従来乳牛舎	'86. 2	65	0.04	4.67	0.21
	'87. 2	159	0.36	—	—
	'89. 3	254	—	—	—

3. 冬季の温度環境

寒冷時の舎内温度で重要なのは最低気温が何度まで下がるかと言う点である。

舎外の最低温度と畜舎内外の温度差の関係をみると、図9の関係となり、舎外が-20℃の時に最低温度で、畜舎内・外の差が15℃以上になった。

また、最も寒かった日(1986.2.8)の記録を図10に示したが、外気温-18.8℃、舎内中央部-2.7℃、給餌通路壁面-5.0℃、ウォーターカップ付近の水道管-4.0℃であり、水道管の凍結や搾乳作業上0℃以上に保持できるように改善が必要と思われた。また、同図では、10:00~16:00は、乳牛をパドックに出し運動させた。この乳牛の出入り後の30分程度の時間の中に舎内温度の著しい変化があり、家畜から放散される

舎と比較して著しく低かった。

アンモニア濃度は、通常10ppm以下とされているが、当牛舎は1ppm以下であり、従来牛舎が4.67ppmであるのに比較しても低かった。

CO₂濃度は牛舎環境設計指標で0.2ppm以下とされているが、従来牛舎が0.21ppmなのに対して0.14ppmと低く良好な環境であることが分かった³⁾。

これらの衛生環境の経年変化を見ると、特に浮遊細菌数の増加の傾向があり、牛舎内の清掃や消毒等の日常的な衛生管理も重要であることが示唆された(表2)。

熱がいかに大きいかを示している。

また、8:00と16:00の辺りで水道管温度が上昇しているのは乳牛が飲水したため、より温度の高い水が入ってきたことによる。

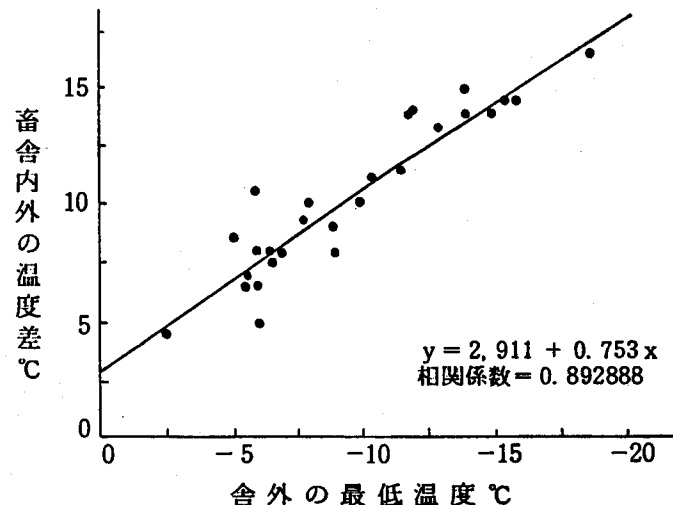


図9. 舎外の最低気温と舎内の最低気温との差異

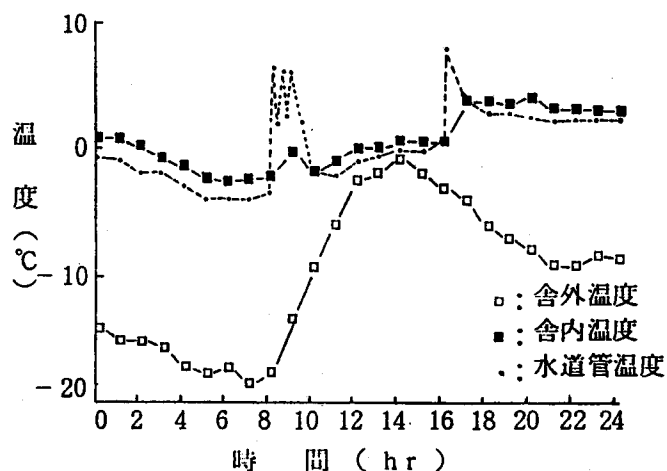


図10. 畜舎内・外気温の日内変動(2月)
(1986.2.8)

4. 夏季の温度環境

図11に1987年8月の最高気温と当牛舎及び従来牛舎内の最高気温の推移を示した。従来牛舎では、最高気温に比べて1~4°Cも高かった。当牛舎では、最高気温が20~23°C辺りでは同程度かやや高いが、それ以上の時は2~3°C低く推移した。

最も暑かった日(1986.8.1)の温度の日内変動を図12に示した。屋根の温度は、日照に影響され、日の出と共に急激に上昇し、雲によって日射が遮られると急速に下がった。舎内温度は、夜間は気温より高いが、気温の上昇時にはより緩慢に上昇し、最高気温時には2.8°Cも低かった。この最高温度時の畜舎内外の温度分布を図13に示した。外気温34.9°C、屋根表面50.6°Cの

時、屋根裏面30.9°Cと低かった。さらに、牛床コンクリート部分の温度が25~26°C程度と低いままであることが注目される。

これらの結果は、白色の屋根(今回の測定結果でも約70%の日射を反射した)及び断熱の効果を示すとともに、夜間は乳牛を畜舎外に出しておく方がより良いことを示している。なお、このような断熱効果は、屋根を中空の二重構造にしても得られることが知られている¹⁹⁾。

また、乳量の季節変化について図14に示した。86年8月の1ヶ月間、日中(8~17時)舎内に繋養したところ、前年度の旧乳牛舎での飼養時(5~10月の10~14時は放牧)と比較して、夏期間の乳量の低下が見られず、防暑効果が認められた。

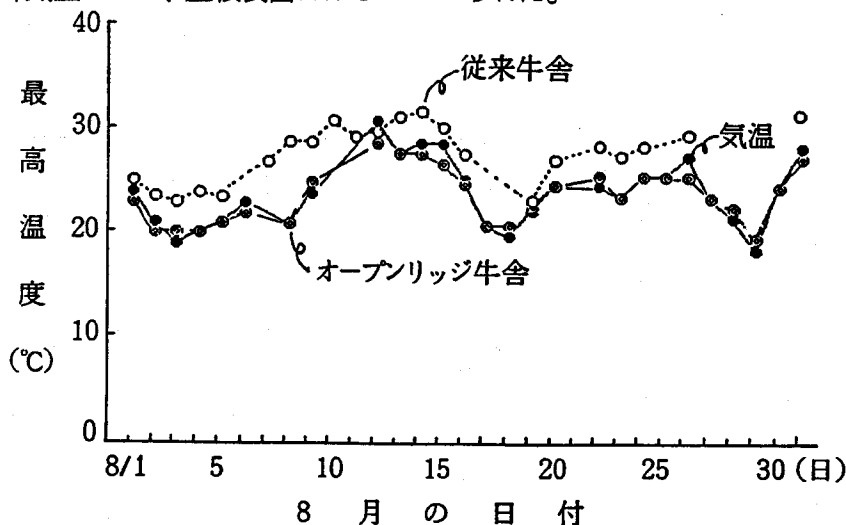


図11. 畜舎内・外の最高気温

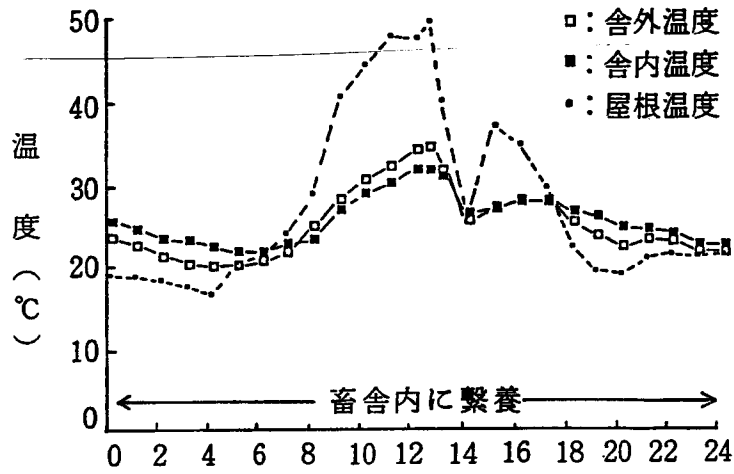


図12. 畜舎内外温度の日内変動
(1986.8.1)

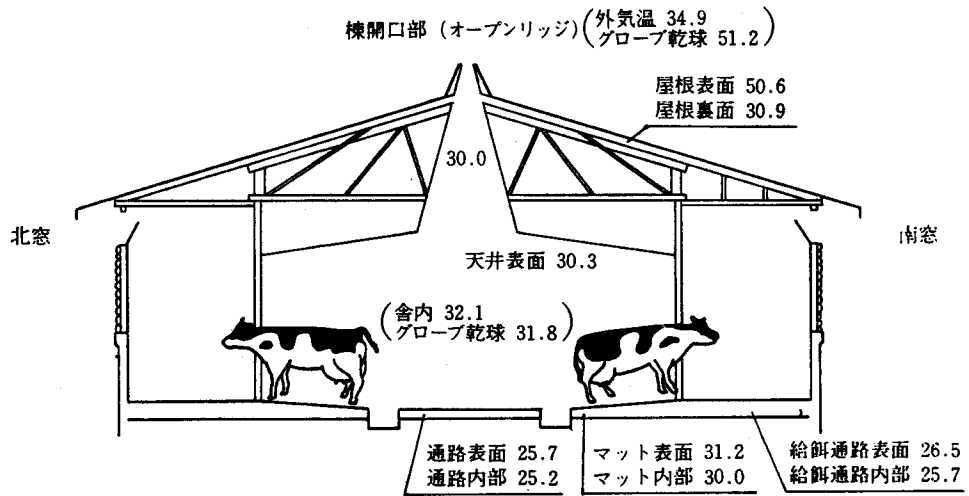


図13. 夏期の畜舎内外の温度分布 (°C)

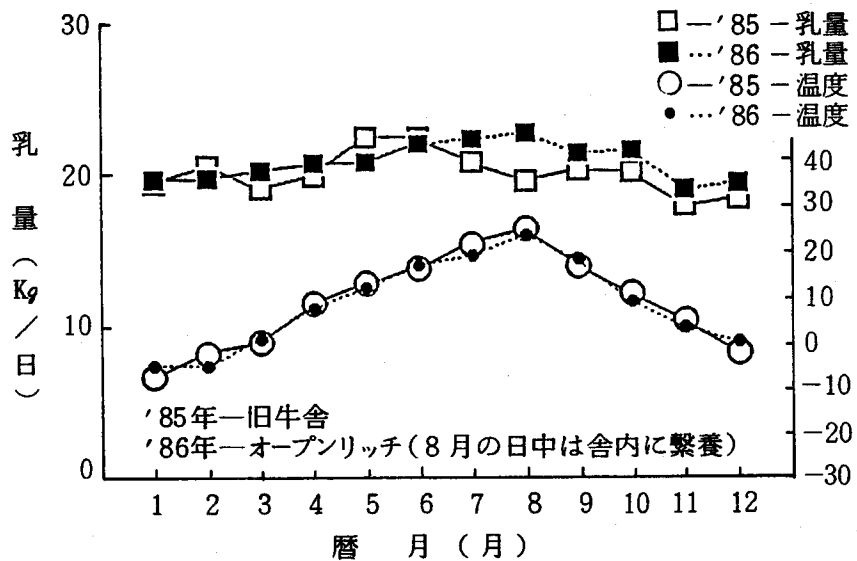


図14. 舎外温度と乳量の暦月変化

5. 降雨時の舎内の作業環境

オープンリッジ方式では、雨の進入が問題されている¹⁴⁾ので当牛舎でどの程度の雨の進入があるかを調査した。単位面積当たりの降水量で比較すると、舎外の降雨量と舎内（床面から3.0mの高さ）への雨の降り込み量の間に関連が有り降雨量の30%程度であった。また、降雨時の作業性についての調査を実施したが、調査時（1986年7月）は、主として南風であり、牛舎内に進入した雨は、中央通路の北側に片寄るので、搾乳時に、北側牛床の乳牛を受け持つ作業員の動線のみを調査し、雨の降り込む北側半分

を避けて通るか否かを調べた。その結果、北区分通過率は降雨時、晴天時ともに80%程度で差異がなかった。また、朝、夕の搾乳時間ともに天候に影響されなかった（表3）。

以上のごとく牛舎内に進入する雨の作業性に対する影響は、大きいものでないことが分かったが降り込み量を軽減する方法についても検討した。その結果、バツフル中空に設置した雨トイは、20cmおよび30cmの位置でそれぞれ67.6±10.1および53.6±13.8%の雨の降り込みを軽減できた。

表3 降雨時の作業性

区分		区分	
		降雨時	晴天時
作業動線（北区分通過率）：%		81.4 (n=4)	79.1 (n=5)
作業時間：分	朝搾乳	45.3 (n=4)	46.7 (n=2)
	夕搾乳	33.0 (n=1)	33.5 (n=2)

※舎外の雨量：0.3-1.6mm/hr

舎内の降水量：0.1-0.8mm/hr（床面から3mの高さ）

6. 経済性

牛舎の建築に当たっては低コストであることが望まれる。中央畜産会の最近の東北ブロック5戸の調査では36,601~85,600円/㎡、平均59,191円/㎡と報告されているが¹⁵⁾、当牛舎は55,000円/㎡で同等であった。どんな換気方法でも、主な建築材料は変わらないので、換気に関

わる費用についてだけ検討した。当牛舎で得られたと同量の換気量を換気扇で確保する場合と比較して、当牛舎では、建築時に断熱材のコストがかかるが、機械換気ではランニングコストがかかり、結果として当牛舎の方が1年当たりの費用で15万円以上低コストであると試算された（表4）。

表4 経済性（換気に関わる費用）

(万円)

	耐用年数	取得価格	ランニングコスト/年	1年当たり費用
断熱材（畜舎）	18年	224.4	0.0	12.5
換気扇	5年	53.0	17.6	28.2

牛床面積(容積)：340㎡ (1,500㎡) 40頭スタンションストール繋養
 換気量；夏（6-8月）：20回/時（3万㎡/時）-換気扇4台
 ；その他：10回/時（1.5万㎡/時）-換気扇2台
 換気扇；8,000㎡/時、0.43w/時、1台当たり13.2万円
 電気料；夏：19.8円/KWh、冬：18.0円/KWh
 断熱材価格内訳；断熱材：6,000円/㎡
 ；防湿層：600円/㎡

摘 要

当牛舎の換気量、温度環境、衛生環境、管理作業環境などについて調査した結果、冬期間：10～15回/時、夏期間：16～50回/時の換気量があり、他の牛舎に比べて、浮遊細菌数、粉塵濃度等が低く、また、舎外と比較して舎内の温度が冬期間の最低温度で15℃以上高く、夏期間の最高温度で2～3℃低かった。また、冬期間における舎内の結露を防止できた。以上、当牛舎の構造で概ね良好な環境が得られ、しかも低コストであることが明らかとなった。

また、当場に建設したような断熱自然換気牛舎は県内一円に普及できるものと思われるが1頭当たりの牛床面積が8㎡程度の牛舎に適用され、これより狭い牛舎（フリーストール方式など）では断熱施行及び天井構造をより簡易にすることが可能と思われ、これより広い牛舎についてはさらなる試験研究を要する。また、舎内の結露を防止しながら温度を0℃以上に保持する対策も必要と思われた。

また、当牛舎と同様の換気方式について北海道その他で試験研究を進行中であり、今後に期待される¹⁶⁾¹⁷⁾。

参考文献

1. 松山龍男ほか(1985)：北海道酪農における牛舎構造及び飼養管理技術の特徴－実態調査－：北海道農業試験場研究資料, 28,31-116.
2. C. A. Ocock : (1982)牛舎のキング換気システム：畜産の研究 36 (6), 746-750.
3. 農林水産省、農林水産技術会議事務局(1986)：乳用牛・肉用牛の飼養施設設計指針
4. 浦野慎一(1979)：モニター式乳牛舎の熱的環境に関する研究 (I)：農業施設, 9 (2), 26-32
5. 片山秀策ほか(1984)：積雪寒冷地向け乳牛舎開発のための実験畜舎について①施設の構造：農業施設学会講演要旨, 11-12.
6. 堂腰純ほか(1984)：自然換気搾乳牛舎に関する研究①断熱自然換気牛舎の目的と構造：農業施設学会講演要旨, 5-6.
7. 片山秀策ほか(1984)：自然換気搾乳牛舎に関する研究②温度環境：農業施設学会講演要旨, 7-8
8. 五十部誠一郎ほか(1984)：自然換気搾乳牛舎に関する研究③換気特性：農業施設学会講演要旨, 9-10.
9. 長谷川三喜ほか(1985)：酪絵研, NO. 70, 612-614.
10. 酪農施設・設備ハンドブック：(1987)北海道農業施設研究会
11. Midwest Plan Service (1983)：STRUCTURES and ENVIRONMENT HANDBOOK：Midwest Plan Service
12. 干場信司ほか(1986)：カーフハッチにおける空中浮遊細菌数：農業施設, 16(3), 41-47.
13. 相原良安ほか(1977)：畜舎壁体内通気層の伝熱特性に関する研究 (II)－屋根壁体内通気層の日射断熱効果について－：農業施設, 7 (2), 3-10.
14. 干場信司ほか(1985)：畜舎の棟換気 (Open Ridge Vent) に関するこれまでの研究と残された問題点：北海道の農業気象 36, 21-26.
15. 中央畜産会(1985)：畜舎の築造価格について：畜産経営 指導情報, 235,1-5.
16. 北海道立根釧農業試験場：総合試験牛舎の概要：同試験場資料
17. A S A E (1988)：第3回国際家畜環境シンポジウム I L E S III抄訳集