

北海道における畜舎の諸問題

— 特に牛舎の換気について —

北海道大学農学部 堂 腰 純

は し が き

樹氷の華咲く頃の北海道は、畜舎の中も寒々として、壁や天井、扉、窓に露や霜が散見されるようになる。牛の吐き出す息も白く、咳をしている仔牛の容態を心配する酪農家と獣医の頭に、天井から水滴が落下する状況もまれではない。折角新築したばかりの牛舎の鉄骨梁のペンキもはげ落ち、至る所に赤錆が目につくような畜舎は、きまって冬期間、低温多湿な環境にあると言ってよい。しかし、それらの畜舎が、粗末な牛舎とは限らない。酪農家の施設投資額も多額にのぼり、その負債の北海道平均が2千400万円とも聞く。むしろ、畜舎に対する関心も強く、外見も気になり、投資額が決して少くないにもかかわらず、冬期間結露の見られる畜舎が結構多い。

家畜にとって新鮮な空気が必要であることぐらいは知らない者はないが、外気を取り入れる入気口もなければ、折角施設した換気扇を作動させることもできないと言った畜舎が多い。零度以下に畜舎内の温度が下るようでは、スイッチも入れられない。配電盤には露が一面についていて、パーンクリーナやサイレージアンローダを操作するため、うっかりスイッチにさわろうものなら感電することもあると言う酪農家の話を聞いたことがある。その農家は、配電盤の扉のハンドルにタオルを巻きつけて感電防止をしていた。これらは、畜舎の結露防止の環境対策ができていれば起きない問題であるが、水滴の入らないような配電盤を作るために、もっと金が必要だと言う案内した方の話がそれに加えられた。畜舎の設計が間違っていたと言った話が出てこなかった。

畜舎には金がかかり過ぎるとか、またかけすぎると言う声は非常に強い。経済動物を飼育し、生産するのであるから、できる限り安い合理的畜舎の建設を希望するのが普通であるから現在の牛舎建設費用に対する疑問は当然であろう。米国では、牛1頭に対する投資は現在でも2千ドルを越すことはないようである。畜舎環境対策は言うに及ばず、いかに低

廉な牛舎を建てるかが問題であると米国ミシガン大学 M.エスメイ教授も言っていた。金をかけずに、畜舎の中味をよくし、飼料効率をあげながら農家所得を増やすためには、わが国にはまだ多くの問題が横たわっているようである。

経営のために検討された予算額をどのように施設費の中味に配分すべきかは、先づ農家自身が自覚しなければならぬことである。指導する方も十分に検討を加える必要がある。補助金制度下の建築施設は、設計事務所まかせが多く、環境改善のための費用は削られて、総体的に高額になりつつあるのが現状である。

畜舎ができてから、環境不良の場合に換気を考えればよいと言った考え方では手おくれと言ってよく、寒い北海道の冬の畜舎環境に対する考え方が、畜舎設計時に概して少いように思われる。建築法規もからみ、農業建築の前途は多難であると言ってよい。

しかし、農業等の建築に対する見直しの気運も生れつつあり、国際競争力に打ち勝つためにも関係機関の協力を望みたい。

換気について

畜舎換気は新しくて古い問題であり、また古くて新しい問題でもある。家畜は常に熱と水分を空間に発散し、糞や尿と同居の汚染環境をつくり出しており、換気はひと時も休ませることのできない問題のほうである。

キング式牛舎の名前は昔から聞いているが、電気も今のように利用できない時代に、自然換気のをうまく利用して、いかに新鮮な外気を取り入れ、汚染空気を排出するために考えられた換気システムであるかと言うことが案外知られていない。北大のモデルバーンには、明治時代の米国における畜舎換気に対する基本的考え方が今に残されている。現在は、その時代とは異なった社会状況となっており、電気の利用も思うようになり、建築資材も豊富になって

いる。したがって、畜舎環境に対する技術も進歩していなければならないはずであるが、実態は、それにも劣っているのではないかと感ずる場合が多々ある。

また、家畜に対し、新鮮空気を十分に与えながら飼養管理をし、しかも経済施設としなければならないことは少しも変わっていないし、昔も今も、換気は外気を取り入れて排気すればよいという程簡単でない。外気は低温であり、しかも畜舎内を必要温度に保たなければならないし、湿度も減らさなければならない。さらに、できるだけ換気量を増やして、家畜の健康管理をするためには、家畜の出す熱、水分、畜舎面積および放熱状況等が総て関係し、前述の結露問題とも密接に関係する。

省エネルギーは何も今にはじまった問題ではない。家畜の飼養に、暖房しながら換気するのではなく、自前の発熱エネルギーを利用することをまづ先に考えるべきであろう。

家畜の出す毎時発熱量 (Q_s) (頭熱とも言う) は、換気によって失なわれる熱量 (Q_v) と建物からの放熱量 (Q_B) の和である。

$$Q_s = Q_v + Q_B$$

もし、寒い季節に、建物からの放熱量が大きければ、家畜の発生熱量は一定であるから、換気によって失なわれる熱量 Q_v を小さくしなければならない。一般に換気が行えないような畜舎は、放熱の著しい畜舎であると言うことができる。

冬の北海道であっても日中の陽ざしがあれば暖かさを感じる。しかし、日射の与えられている時間は短かく、冬の夜長の放熱時間の方がはるかに大きい。日射のエネルギーをどこかに蓄熱し、夜間利用できるようにすれば、日射のエネルギーを利用することができることになるが、そのために余計な費用を要することであり、原則的には、家畜の出す熱をいかに換気に有効に利用することができるかにかかっている。

窓の大きい、天窗のある畜舎は、日射によって得られるエネルギーより、一日平均すると、はるかに放熱量が大きく、結露も著しくなる。日中だけよ

ければよいことにはならない。したがって、換気量を増やすためには、建物からの放熱量を減らさなければならないことになる。

放熱量は次の要因によって決まる。すなわち、舎外気温: t_o と、必要とする舎内温度: t_i の差に比例し、また畜舎放熱面積: A に比例する。さらに壁、天井、屋根材等の建材の放熱特性である熱貫流率: V (1 m^2 当り、1時間に、温度差 1°C ある時の放熱量) に比例する。

いま、飼養頭数: N 頭の畜舎で、1頭当りの建物からの放熱量: q_n は

$$q_n = \frac{Q_B}{N} = \frac{A \cdot V}{N} (t_i - t_o)$$

であらわされることになる。

t_o は、その地点の冬の最低気温のあらわれる頻度により決めればよい。これを冬期設計温度と言いい、概略は、ひと冬中に2~3回あらわれる最低外気温を次式によって求めるとよい。¹⁾

12月、1月、2月の3カ月の日最高気温、日最低気温および日平均気温の平均値を T_H , T_L , T_M , とすると、冬期設計外気温 $W.D.T.$ は

$$W.D.T. = T_M - 2(T_M - T_L) = \frac{3T_L - T_H}{2} = t_o$$

したがって、 $(t_i - t_o)$ は決まった値となり、 q_n をできるだけ小さくするためには、 A と V を小さくすることであり、また N を大にすることである。こ

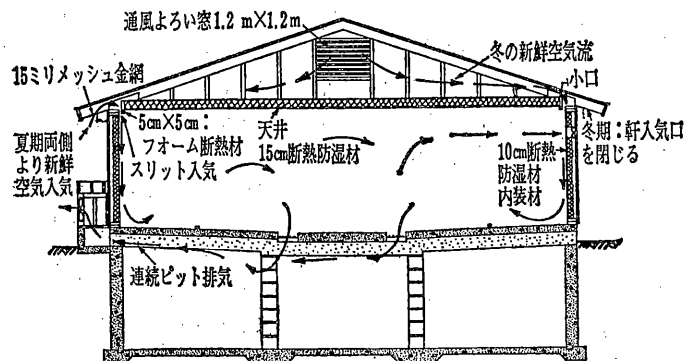


図-1 断熱強制換気畜舎の断面(Warm Barn)
(M-132, D. W. BATES)

のことは、できるだけ密飼で断熱性のよい畜舎とすることである。

現在でも、できるだけ広い畜舎に、少く飼う方が衛生的と思われ勝ちであるが、むしろ換気が困難になることを示している。密飼とすることは施設経費の節減にも通ずる。また、熱貫流率Vは次の要因に関係する。

$$V = \frac{k}{d}$$

すなわち、熱を伝導する材料の熱伝導率：kに比例し、厚さdに反比例する。Vを小さくするためには、kを小さく、dを大きくしなければならない。これは現在市販されている断熱材を十分に厚く使用しなければならないことを示している。実際の壁・天井の構成は単一材料だけではできないので複雑となり、扉や窓の要素も加わると簡単に計算することは困難となる。

しかし、壁の内より外までは、例えばブロック、断熱材、空気スペース、外壁材あり、また内外表面の空気境界層の熱抵抗 r_0, r_i が関係し、総合熱貫流率は

$$\frac{1}{V} = r_0 + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \dots + \frac{d_n}{k_n} + r_i$$

より計算される。

これらを総括すると、できるだけ狭い場所で実用的に飼養管理に支障を来さない程度の面積とし、これは建設工費の節約にも連なり、1頭当りの換気量を増やすことが可能となって、一石三鳥の効果がある。さらに断熱性の良好な畜舎はその換気効果を助長させることを示している。

熱伝導率 $0.03 \text{ kcal}/\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ の断熱材を約 $10\sim 15 \text{ cm}$ 程度の厚さを壁・天井に使用することにより、1頭当り $6\sim 7 \text{ m}^2$ の飼養面積で、北海道においてはどのような厳寒期においても、換気が困難になるようなことは先づない(図-1)。この断熱や

換気施設は畜舎ができ上ってから対策のできる問題ではない。

さらに、家畜より放散される水分が結露に関係することは言うまでもない。この水分は、換気以外には畜舎外に放出されない。すなわち、無換気状態の畜舎は、時々刻々放出される水分は空間に充満し、壁や窓、天井の露点温度で結露をおこし、畜舎内にたまることになる。換気は除湿にとっても欠くことのできない極めて重要な要因である。

畜舎の内外の空気の中に含まれている水蒸気量は、当然畜舎内が多く、水蒸気圧も高くなり、建物の壁や天井から水蒸気圧の低い外気に出ようとして、壁や天井の建材の隙間や部材の中を通過して移動する。水蒸気が建材を通過する際同時に温度も下り、丁度露点温度になった時結露する。壁の表面が露点温度となった場合は表面結露で目に見えるが、壁の内部で露点温度になると内部結露となって、知らないうちに土台まで水滴が落下し、木造の場合には、たちまちにして土台の腐朽につながり、畜舎の寿命にも直接かかわる問題である。

もし、断熱材が水蒸気を透過しやすいような材料の場合(例えばグラスウールのような)には、断熱材の内部で結露するおそれが十分あり、このような場合には、水蒸気の移動を、壁の内側で阻止するた

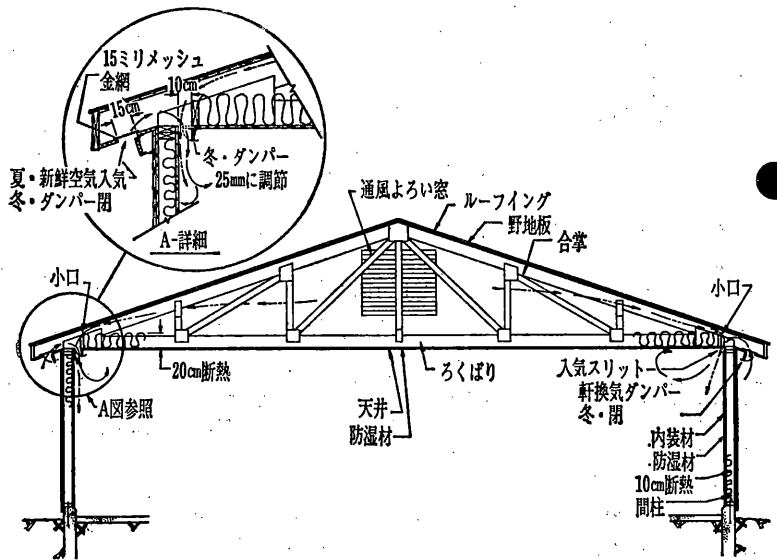


図-2 断熱換気畜舎 (Warm Barn) の新鮮空気の入力方法、軒尺入気法(M-132, D. W. BATES)

めの防湿層を必ず使用しなければならない(図-2, 3)。

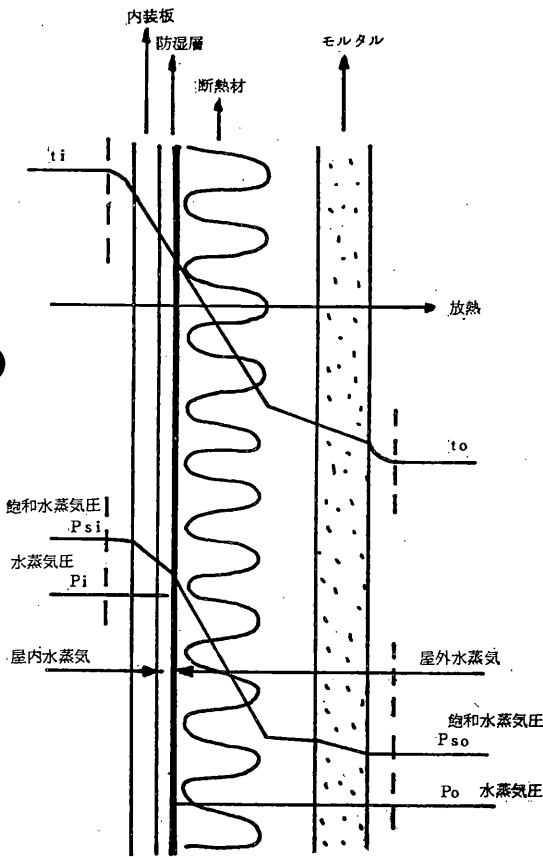


図-3 防湿層の使い方

建築紙と称するタールを塗布した程度のもでは水蒸気透過を阻止することはできない。ビニールフィルムの0.1mm厚程度以上かアルミ箔等を裏打ちしたフィルムを使用すること、釘打ちによる破れや柱等の隅角部の施工を十分丁寧に行う必要がある。断熱材が吸湿するとますます熱伝導がよくなり、結露を促進させ、建物に悪影響を与える。水蒸気透過抵抗の極めて高いスチレンフォーム系の断熱材を利用することも良いがスチロポール系の低発泡の密度の低いものは水蒸気透過が多く、断熱

性の劣化につらなる。

特に冬期間の外気は空気中に含まれる水蒸気量は少ない。したがって換気によって外気を導入することは、畜舎内の露点温度を下げるのに役立つ。しかし壁面に結露があらわれない程度の断熱と換気をすることで十分なことにはならない。

換気にはもうひとつの大きな役目がある。すなわち、舎内の汚染空気の排出と言う重要な目的である。塵埃、臭気、細菌によって汚染された空気を、水蒸気と同時に畜舎外に排出することを忘れてはならない。単に畜舎内壁が露点温度にならない程度の断熱材の厚さでよいことにはならない。壁面の結露防止程度の換気では、汚染空気の排出が十分に行なわれていないことが次第に明らかとなってくる。

しかし、換気はこれらの汚染空気と水蒸気の排出と同時に、家畜の出した熱を大量に排出することになる。したがって換気量を増すことは放熱量も増すこととなり、熱の収支バランスからも建物からの熱伝導量を減らす以外に方法がないことを示している。

表1に乳牛舎に必要とされる換気量を示す。

畜舎に結露はつきものとの考え方は間違っているし、断熱・換気によって十分防ぎ得るものであることを示している。畜舎の断熱と換気は車の両輪の関係のように片方を欠くことはできない。

畜舎の換気量は獣医衛生学的に必要な換気量を与えるべきであって、単に壁・天井に結露があらわれなければよいと言った程度のもではない。

北海道の冬の結露型畜舎は極めて憂慮すべき状況

表1 寒冷地搾乳牛舎に要求される換気設備風量, m³/毎分(3mm水柱静圧)

500 kg の乳牛頭数	最低連続換気量	サーモスタット調節換気量	冬期間全風量	夏期追加風量	夏期の設備全風量
20~29	30	70	100	100	200
30~39	35	95	130	130	260
40~49	40	120	160	160	320
50~59	45	145	190	190	380
60~69	50	170	220	220	440
70~79	60	190	250	250	500
80~89	70	210	280	280	580
90~99	80	230	310	310	620
100~109	90	250	340	340	680
110~119	100	270	370	370	740

にあると言える。すなわち、換気不足の汚染環境は特に幼牛に肺炎等の悪影響を与えており、これはとりも直さず、将来の後継牛の能力向上に大きな問題を提起していると指摘されはじめているからである。すなわち、汚染環境の畜舎からは優秀な後継牛を期待することは無理であることを意味している。断熱強制換気畜舎のことをWarm barnと言う(図-4)。Warm barnの機能を発揮しやすくするためには天井を必ず設けるようにする。

100頭以上の飼養頭数において密飼とするならば、断熱材の厚さを減らすことも理論的に可能となる。しかし、肉牛や育成牛の場合のように群飼の場合と同様の時には、家畜が相互に保温し合い、発生する熱による対流の上昇気温を利用しながら、屋根より屋外に排出するならば、必ずしも強制換気によらなくとも十分な換気を行うことができる。これらの自然換気による換気方式の研究も次第に進みつつある。

天井を設置していない畜舎で、棟木の位置に15cm程度の間隙を設け(棟木を撤去する)、ここより換

気(排気)する方法が考えられ(図-5, 6)、これをCold barnと言っている。ただし、この場合、南面は入気のため、おおむね開放とし、寒いからと言って、密閉してはならない。冬期間、温度が必ずしも高くなくともよく、飼料効率が若干低下しても、低廉な畜舎として利用したい場合に適している。しかし、いくら棟開放自然換気畜舎と言っても、寒いからと窓をつけたり、シート等で南面をふさぐ場合には、換気量が不足し、水蒸気の排出が阻害されて、著しい結露があらわれ易く、最低最悪状況となりかねない。Cold barnは外気に影響される要素も多く、畜舎内は場合によっては水が凍結することがあり得ることを前提に考え、換気を阻害しない注意がなくてはじめてその価値があると考えねばならない。

米国においては、乳牛舎においてすらCold barnが多くあらわれている。しかし多くの場合、多頭飼育の密飼であり、飼養管理技術がすぐれて、スタンションやタイストール形式のWarm barnに比し、1頭当りの産乳量に何ら遜色のない産乳成績をあげ

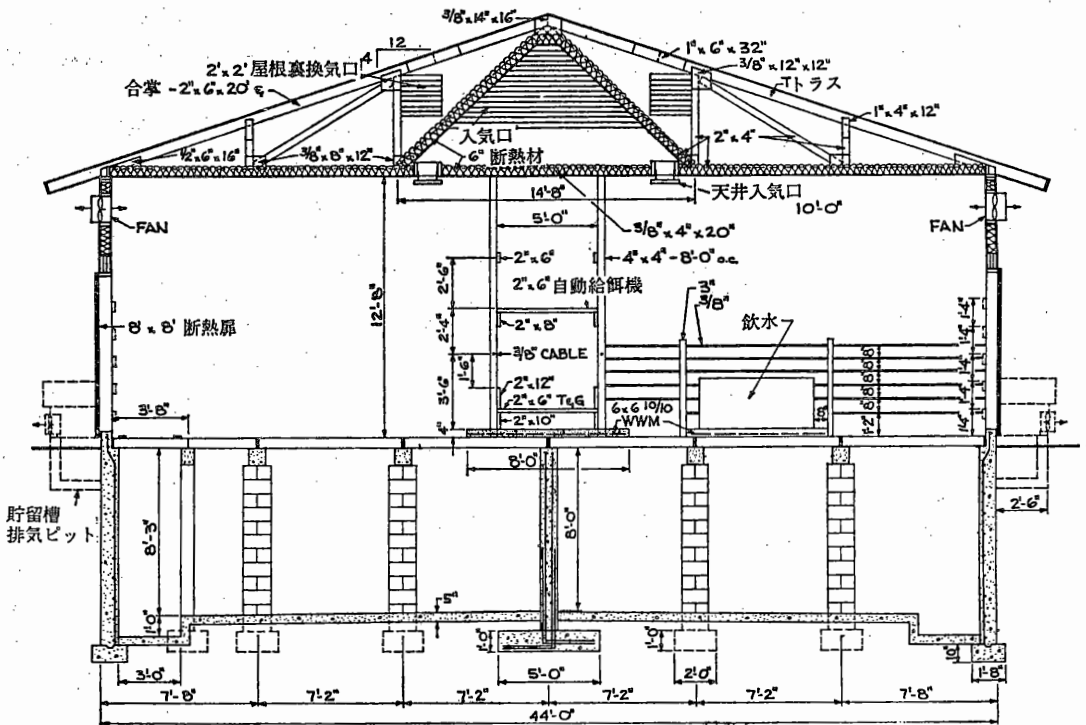


図-4 糞尿地下貯溜式フリーストール牛舎断面図(Warm Barnの例)(D.W. BATES)

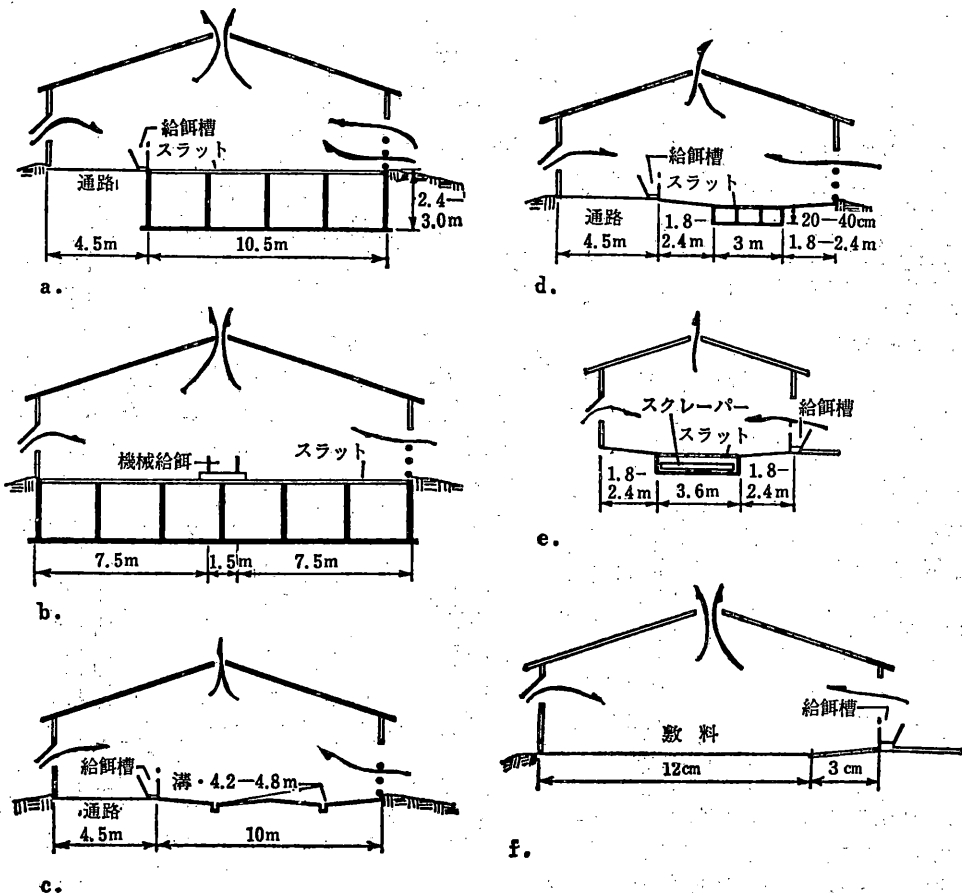


図-5 自然(重力)換気畜舎の断面(Cold barn)(MWPS-6)

ているのは特筆するに価する。

断熱と熱橋

建物は構造上、柱、梁、壁体、窓、扉等雑多な部材よりなり立っている。これらの総ては熱伝導と無縁となることはできない。梁や柱、窓ガラス等の熱の伝わり易い所から温度が下り、熱のはし渡しをする熱橋をつくり、断熱壁面より先に温度が下り、結露を促進することが多い。

現在、木材より鉄材が安価で寿命も長いと言われ、鉄骨構造の畜舎が多く見られをようになった。しかし、木材より鉄骨の方がはるかに熱の伝導は良く、鉄骨部分から冷えて結露のあらわれることが多い。特に鉄骨の梁が、直接壁を貫通している場合によくみられる。したがって、鉄骨部が直接舎内に、熱的に、露出されないよう鉄骨を包んで断熱施工される

ことが望ましい。また、建物の四隅も放熱し易い部分であり、よく隅角部に結露があらわれるのもそのためである。

一般に、断熱材の施工には、壁体の外側、壁体の中、壁体の内側の何れかにとりつける方法があり、また、壁体にはブロックと木構造の2つの場合があり、それらの組み合わせに際しては十分考慮する必要がある。

牛舎の中の温度は、外気の温度変動に対し、できるだけ変化の少いことが好ましい。換気による影響も受け易いので、壁の熱容量をできるだけ大きくすることもひとつの方法である。したがって、ブロック壁体で外壁断熱の工法が最も善いと言えよう。しかし、従来の建築工法になじまないため、あまり利用されていないが、この工法を利用した牛舎は、冬は温度が下りにくく、夏は温度が上りにくい。しか

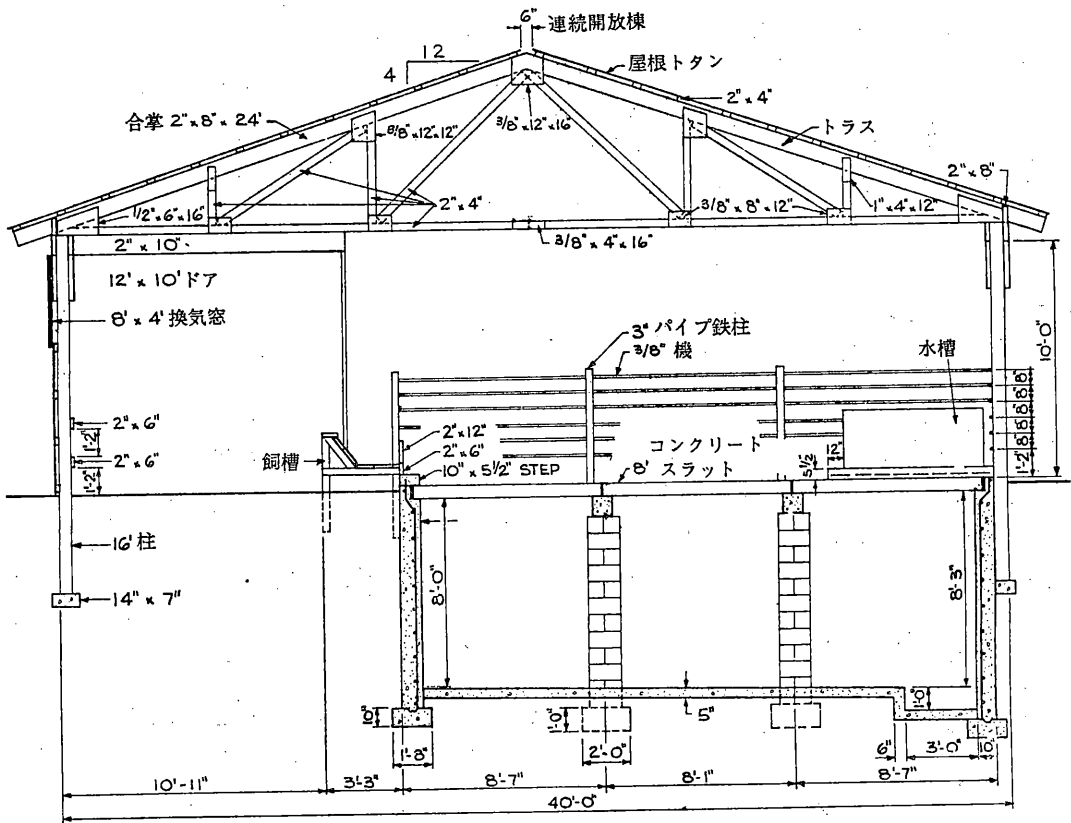


図-6 Cold Barn の断面図 (D. W. BATES)

し、ブロック壁には「ひかえ壁」と称する補強壁を設けなければならないので熱橋をつくり易い。したがって補強壁の断熱も必要となってくる。

畜舎に扉は必要であるが、無用の開口部はできる限り少くすることと面積も小さくすることである。また、できれば断熱材を入れた木製扉とし、スチールシャッターの類は断熱性が全くなく、隙間風が流入しやすいので使用を避けたい。引戸とするよりも、オーバーヘッドドア形式とすることがドアの気密性に優れている。

次いで、窓は従来の一重の引戸は気密性、断熱性共に劣り、放熱が著しく多い。窓面積はできるだけ小さく、窓の数も少くすることである。窓ガラスを複層のハメ殺しとすることで気密性と断熱性を大巾に改善することのできる余地は多分にある。窓面積は、床面積の2~3%あればよいとされており、作業に差支えない程度の明るさである。換気系が良

ければあえて窓をあける必要はなく、ハメ殺しの方が経費の節減にも通ずる。

換気扇および入気口の位置と換気制御

換気扇をどの位置にすべきかはよく論議されることである。しかし、入気口の位置と相対的に考えなければならない。入気口の位置と換気扇の位置が、空気の流れを短絡するような配置は避けなければならない、よく窓をあけて換気扇を運転している事例を見るが、畜舎の窓から換気扇に空気の流れがぬけて、畜舎全体の換気量が不足し、また電気代を無用に浪費していることにもなる。

入気口は天井もしくは、軒に近い部分に設け、大きな開口部はできるだけ避けた方がよい。大きな開口部は往々にして暖気と冷気が同時に出入りすることがあり、天井裏の結露の発生にもつらなる。入気口の面積は、換気扇風量と入気風速により決まる。

入気風速は2～3 m/sを限度とし、棟方向の長手スリット状とし、入気口の下には、流入する冷気を分散させるためのバフボードを吊り下げると天井と床面との温度差を小さくすることに効果がある(図-7)。

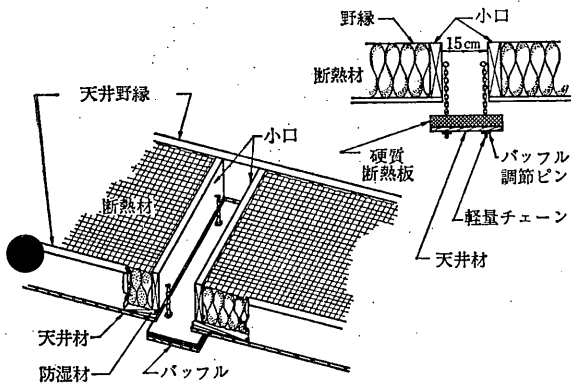


図-7 天井入気の構造詳細(M-128, D. W. BATES)

外気がいかに低温になっても最低必要換気量を確保するための換気扇は連続換気として停止することなく運転しなければならない。外気温の上昇に従って換気量を増加させなければならないが、外気温の変動に従って残りの換気扇をオン・オフ制御によって換気量の調節をするのが一般的である。そのためサーモスタットと電磁開閉器が利用されるが、サーモスタットには金属性の丈夫なものを使用し、住宅用のプラスチック製は避けた方がよい。

連続換気扇以外の換気扇はダンパー付きのものとしなければならないが、ダンパーは換気扇の運転が停止した時、十分な気密を保たなければならない隙間風をつくり、換気機能を失うことになる。一般にダンパーにごみが付着し、開閉の動きが鈍り、本来の換気調節機能を失っているものが多い。低廉なダンパー付畜産用換気扇の開発が望まれる。

換気扇は入気口の空気流れの抵抗に抗して必要換気量を導入しなければならない。従って静圧を必要とし、水柱圧2～3 mmの有圧換気扇でなければならない。十分に断熱された天井入気方式の畜舎は天井と床面の温度差が小さい。従って換気扇の高さの位置は特に問わない。作業に邪魔にならぬ高い位置に

取付けるとよい。しかし、断熱不十分な畜舎は床面の温度が低く、換気はできるだけ低い位置から空気を排出するようにした方がよい。換気扇をダクトで囲い、下の方より空気を吸って屋外に排出する方式がとられる場合もあるが、ダクトが作業の邪魔になるのは止むを得ない。換気扇を低い位置に取付け、ダンパーの気密性が不良の場合には、風向きにより、強い隙間風をつくり、床面の低温を助長することがある。

牛舎では一般に、換気扇を作動させると舎内が負圧となる方式が多いため、畜舎内の隙間となっている所から低温な空気を流入させ易い。その最も著しい例がバーンクリーナの端末である。ここより冷気の楔をつくって舎内に流入し、床面を低温化する。特にバーンクリーナの端末は気密処理の困難な場所であり、ゴムシートや板・オガ屑充填等種々の対策が考えられているが、作業性も悪く、破損の頻度を考えると実用的でない。筆者は、バーンクリーナの端末部に換気扇を組み合わせ、畜舎内の空気をバーンクリーナの通路を通じて屋外に排出させ、ここから冷気の流入を阻止するのに役立っている。

育成と哺育の換気

牛舎では搾乳牛舎に育成牛や哺育牛を同居させて、同じ空間に飼養されることが多い。しかし、搾乳牛の中には、慢性的保菌牛がいる場合があり、育成牛や哺育牛に肺炎を罹患させる引き金となっていることが指摘されており、搾乳牛舎には育成牛や哺育牛を同居させない方式が望まれている。特に多頭飼育においては十分注意する必要があるとされている。

同居牛舎では、よく哺育や育成房が著しく結露しているのを見かける。これは成牛から発散された暖かい水蒸気を含んだ空気が上昇気流を作り、哺育・育成側に流れて放熱、低温となり、結露現象をおこすことであって、このことは、とりも直さず、成牛側の細菌を含んだ汚染空気が、哺育・育成房側に流入して肺炎等の原因をつくっていることになる。成牛側から若令側に汚染空気を絶対流入させてはならないと考えなければならない。この意味から、育成牛舎と哺育牛舎を別棟とするのがよい。止むを得ず、同一牛舎で育成と哺育を行う場合には、夫々の間に隔壁を設け、成牛側から若令側に汚染空気の流れが

起きないようにしなければならない。ドアの開閉、風向等により、汚染空気の流れを止めることは一般に困難であろう。

育成牛舎はCold barnで十分であり、新鮮な外気のもとで基礎体力を作り、来るべき搾乳に備えるようにする。特に哺育牛はCalf Hutch(カーフハッチ)と呼ばれる単独の哺育箱(1.2m×1.2m×2.4m)を牛舎の外に設け、生れたばかりの牛をこのハッチに移して飼育する方式が米国において急速に普及し、非常な成果をあげている。カーフハッチによる哺育は、下痢・肺炎の発生予防にすぐれた効果を発揮し、後継牛の育成に大きな効果をあらわしている。これは、生後間もない仔牛にとって母牛をとりまく環境は、免疫が固定するまでの間極めて危険であるとされ、初乳を6時間以内に4ℓ飲ませ、体毛が乾燥したならば、外気がいかに寒かろうとハッチに入れて哺育する方式であるが、このようにしてまで哺育する背景には、いかに汚染環境が仔牛にとって危険であり、新鮮空気が大切であることを示したものと言えよう(図-8, 9)。

ミネソタ大学D. W. Bates教授が1977年北海道に来られてCalf Hutchについての効用を説かれ、新得畜産試験場においてもその効果が確められ、道内においても徐々に普及のきざしが見えている。Cold barnやCalf Hutchは搾乳牛舎のような建設費を要しない極めて簡素なものであり、直接生産性に関与する搾乳牛舎に合理的設備投資をし、経営の

合理化を図ることは意味のあることである。

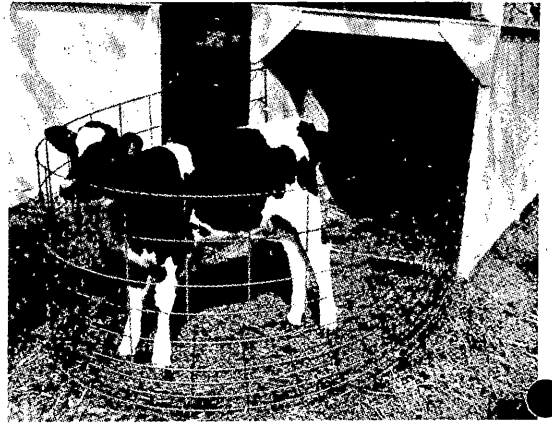


図-9 ベニヤ製のカーフハッチと金網フェンス

引用文献

- (1) 長島・堂腰他：畜産施設，文永堂，1977
- (2) Midwest Plan Service (1980)
Structure and Environment Handbook, MWP
- (3) Midwest plan Service (1976)
Dairy Housing and Equipment Handbook,
MWPS-6
- (4) 堂腰 純：寒冷地における畜舎と舎内環境 — 換気についてMWPSより —，畜産の研究 第32巻4号，5号(1978)
- (5) Appleman, R. D. and Otterby, D. E., Portable Calf Hutch, Agr. Ext. Service, Dairy Husbandry-15 U. of Minn. Data

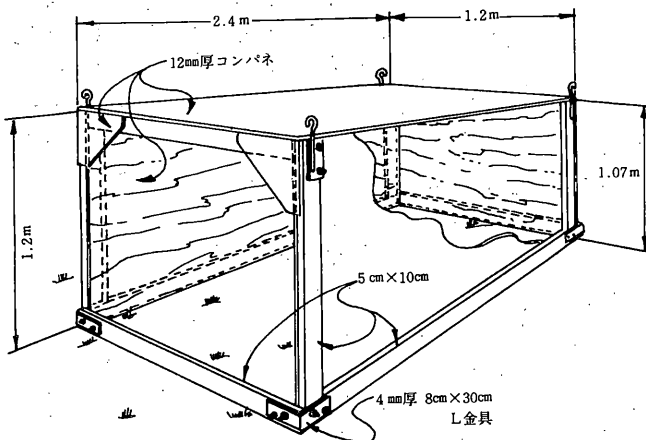


図-8 カーフ・ハッチ見取図