

令和5年度 成績概要書

課題コード（研究区分）： 2103-124231 （重点研究）

1. 研究課題名と成果の要約

- 1) 研究成果名：乳用牛舎における機械換気設備の設計指針
（研究課題名：北海道の気候に適した牛舎の機械換気システムの開発）
- 2) キーワード：酪農、牛舎、機械換気、換気扇、送風機
- 3) 成果の要約：機械換気牛舎の実態調査から、成牛舎では暑熱期の牛舎内外温度差および牛舎内風速、寒冷期の牛舎内外絶対湿度差、哺乳牛舎では寒冷期の夜間牛舎内外絶対湿度差について機械換気設備の設計値を明らかにし、設計シートを開発した。シートの活用により牛舎内環境および消費電力等を予測して適切な運転を行うことができる。

2. 研究機関名

- 1) 代表機関・部・グループ・役職・担当者名：酪農試験場・酪農研究部・乳牛グループ・研究職員・田辺智樹
- 2) 共同研究機関（協力機関）：北方建築総合研究所・建築研究部・環境システムG（根室農業改良普及センター、（株）ソーワテクニカ、（株）番匠伊藤組、（株）光化成）

3. 研究期間：令和3～5年度（2021～2023年度）

4. 研究概要

1) 研究の背景

- (1) 近年、酪農において大型の換気扇や送風機を用いた機械換気、またはシートダクトを用いた機械（陽圧）換気を導入する農場が増加しているが、北海道の気象に合わせた配置法および運転条件は不明である。
- (2) これらのことから、JAや農業改良普及センター等から最適な機械換気の導入・利用方法に関するニーズや支援要請が数多く寄せられており、効果の高い機械換気の技術開発が強く求められている。

2) 研究の目的

機械換気導入牛舎における適切な牛舎内環境を明らかにし、適切な機械換気設備の設計指針を提示する。

5. 研究内容

1) 機械換気導入牛舎の実態把握（R3～5年度）

- ・ねらい：既存の機械換気牛舎の実態調査から適切な換気設備の設計および運転方法の設計値を明らかにする。
- ・試験項目等：【調査項目】牛舎内外温湿度、牛舎内風速・風向、牛舎内二酸化炭素濃度、乳量、飼養頭数

2) 設計指針に基づいた機械換気設備設計シートの開発（R3～5年度）

- ・ねらい：1)の結果を基に数値解析を行い、機械換気導入における設計シートを開発する。

- ・試験項目等：【検討項目】牛舎内の温湿度・気流のシミュレーション

3) 設計シートを用いた機械換気の効果検証（R4～5年度）

- ・ねらい：2)で開発した設計シートの機械換気導入効果および消費電力量削減効果を検証する。

- ・試験項目等：【消費電力量削減の実証試験】成牛舎1棟、【機械換気導入の実証試験】哺乳牛舎1棟

6. 研究成果

1) - (1) 暑熱期の機械換気牛舎では出荷乳量への影響が小さく、送風機による1m/s以上の送風により体感温度を低下させ、牛舎内温度 - 外気温度が1℃以下の機械換気の運転方法を実施していたことから、暑熱期では牛舎内風速を1m/s以上、牛舎内温度 - 外気温度が1℃以下を機械換気設備の配置および運転の設計値とした。寒冷期の夜間の牛舎内外絶対湿度差は、機械換気牛舎の方が自然換気牛舎よりも低かった。機械換気牛舎2棟(A, C)では結露発生の目安となる外気との絶対湿度差(1.3g/kg')を上回っていたものの、結露の発生がみられなかったことから、寒冷期では牛舎と外気との絶対湿度差を1.7g/kg'以下を設計値とした。

1) - (2) 寒冷期の哺乳牛舎では、牛舎内の二酸化炭素(CO₂)濃度および夜間の牛舎内温度に大きな違いは見られなかったが、日中および夜間の牛舎内絶対湿度は陽圧換気あり(F, G, H, I)の牛舎で低かった。一方、夜間の牛舎内外絶対湿度差に差はみられなかった(表2)。上記より、哺乳牛舎の陽圧換気の設計値は、牛舎内絶対湿度2.5g/kg'以下、夜間の外気と牛舎内の絶対湿度との差を0.5g/kg'以下にすることが適当と考えられた。

2) 成牛舎および哺乳牛舎の機械換気について1)の結果を基に数値解析を行い、「換気扇設計シート」、「送風機設計シート」および「陽圧換気設計シート」を開発した(表3)。また、暑熱期の成牛舎の必要換気量は牛舎内容積や牛の密度よりも屋根の断熱による影響が大きいと考えられた(データ省略)。

3) 設計シートに基づき成牛舎(A)において日中(8～18時)の換気扇と送風機の運転方法を変更することにより、牛舎内温度と風速を維持しながら、消費電力量を7～12%低下させることができた(表4)。また、哺乳牛舎1棟(J牛舎)にシートダクトを導入した結果、牛舎内の絶対湿度や外気との絶対湿度差は既存のシートダクト導入牛舎と同程度であったが、導入前よりも牛舎全体のCO₂濃度の差が小さくなり、浮遊細菌数も減少する可能性が示唆された(データ省略)。このことから設計シートの有効性が確認できた。

<具体的データ>

表1. 成牛舎における暑熱期と寒冷期の牛舎環境

		機械換気			自然換気	
		A	B	C	D	E
暑熱期	牛舎内風速 (m/s)	2.5	1.6	1.3	0.9	1.0
	牛舎内温度 (日中) (°C)	26.4	26.6	26.5	27.0	26.8
	外気との温度差 (日中) (°C)	0.9	1.1	1.0	1.5	1.2
	外気との温度差 (夜間) (°C)	0.9	1.0	1.3	1.9	2.4
	出荷乳量比 (最大減少率) (%)	4	1	5	13	12
	夜間牛舎内温度 (°C)	2.6	1.5	2.3	4.1	4.8
寒冷期	夜間牛舎内外絶対湿度 ¹⁾ 差 (g/kg')	1.7	1.3	1.7	2.0	2.5

暑熱期: 2021年7月15日~7月20日、寒冷期: 2021年12月16日~2022年1月10日
 日中(6:00~17:50)、夜間(18:00~5:50)の10分ごとのデータの平均値
 1) 乾燥空気1kgあたりに含まれる水蒸気の量(g/kg)

表2. 哺乳牛舎における寒冷期の牛舎環境

		陽圧換気あり				陽圧換気なし	
		F	G	H	I	J	K
寒冷期	二酸化炭素濃度 (ppm)	738	553	606	493	538	473
	夜間牛舎内温度 (°C)	-2.3	-3.1	-3.4	-5.1	-0.5	-2.6
	日中牛舎内絶対湿度 (g/kg')	2.4	2.2	2.2	1.9	2.8	2.6
	夜間牛舎内絶対湿度 (g/kg')	2.1	2.0	2.0	1.8	2.5	2.4
	夜間牛舎内外絶対湿度 ¹⁾ 差 (g/kg')	0.4	0.4	0.3	0.1	0.5	0.4
	日中(6:00~17:50)、夜間(6:00~17:50)の10分ごとのデータの平均値						
	1) 乾燥空気1kgあたりに含まれる水蒸気の量(g/kg)						

表3. 設計シートの概要(一部抜粋)

シート	主な入力項目	主な出力項目	設計値
成牛舎 送風機設計シート 換気扇設計シート	①牛舎情報 (牛舎長さ、幅、屋根・天井の断熱材熱抵抗値等) ②換気量の設計 (牛の最大頭数) ③換気設備の必要量 (送風機最大風速、角度、高さ等) ④牛舎内環境予測 (①~③の入力情報をもとに算出)	①牛舎情報 (容積、最高高さ) ②換気量の設計 (夏および冬の必要換気量、換気回数等) ③換気設備の必要量 (換気扇および送風機台数、給気口面積等) ④牛舎内環境予測 (牛舎内温度および絶対湿度、消費電力等)	暑熱期 ・牛舎内温度 - 外気温度が1°C以下 ・牛舎内風速1m/s以上 寒冷期 ・夜間牛舎内外絶対湿度差1.7g/kg'以下
	哺乳牛舎 陽圧換気設計シート	①牛舎情報 (牛舎長さ、幅、子牛の最大頭数等) ②換気量の設計 (最小・最大換気量/頭、排気ファンの有無等) ③陽圧ダクト設計 (ダクトの長さ、設置高さ、本数、孔の径、間隔等)	①牛舎情報 (容積、床面積) ②換気量の設計 (最小・最大換気回数等) ③陽圧ダクト設計 (吹出し風速、換気量、換気回数等)

表4. 換気扇および送風機の運転方法の違いによる風速、牛舎内外温度差、牛の呼吸数、電力消費量

	試験処理			測定結果			
	妻面開口部	換気扇 (%)	送風機 (%)	牛舎内風速 (m/s)	外気との温度差 (°C)	牛の呼吸数 (回/分)	消費電力量 (kwh)
対照	入気側	80	80	1.8	-2.5	65	25.1
処理①	両側	0	100	1.8	-4.3	55	22.2
処理②	入気側	60	90	1.9	-2.3	62	23.3

牛舎内風速および外気との温度差は日中2回(10:00と13:30)の定点測定値

【用語解説】

機械換気は牛舎内の空気を強制的に牛舎外に排気または給気するための換気扇と牛に向かって送風するための送風機を設置して換気する方式であり、陽圧換気は牛舎内にシートダクトを設置し、換気扇により取り入れた外気をシートダクトの穴から排出して換気する機械換気の種類である。

7. 成果の活用策

1) 成果の活用面と留意点

- ・成果はJAや農業改良普及センター、建築会社などが、牛舎を設計・建築する際に活用できる。
- ・機械換気設備の配置と運転条件を検討可能な設計シート(換気扇設計、送風機設計、陽圧換気設計)は酪農試験場に電子メールまたはFAXで申込み後、配布する(Microsoft Excel形式)。

2) 残された問題とその対応

なし

8. 研究成果の発表等

田辺ら(2023) Animal Behaviour and Management 59 (3) 106