

地下水熱源式ヒートポンプを用いた効率的な豚房温度管理システムの確立

星 光雄・齋野 弘・齋藤友佳・富樫克博*

(山形県農業総合研究センター養豚試験場・*山形県庄内総合支庁)

Establishment of efficient pigsties temperature control system by underground water source heat pump

Mitsuo HOSHI, Hiroshi SAINO, Yuka SAITO and Katsuhiro TOGASHI*

(Swine Experiment Station of Yamagata Integrated Agricultural Research Center・

* Yamagata Shonai Area General Branch Administration Office)

1 はじめに

繁殖豚は暑熱ストレスにより、繁殖成績の低下や授乳子豚の発育不良を伴う。また、温暖化の影響から、暑熱環境の過酷さが増し、繁殖豚への暑熱対策の必要性が高まっている。

一方、子豚（哺乳豚、離乳豚）は寒冷ストレスにより、発育の不良や疾病の発生を伴う。このため、寒冷対策は一般的に行われており、ガスブルーダーやコルツヒーターが利用されている。これらの暖房装置については、1台あたりの定格出力は小さいものの、農場全体で飼養する台数が多く、長時間稼働するため、消費電力量が非常に大きいという報告¹⁾がある。

このことから、繁殖豚や子豚が飼養されている分娩豚房や離乳豚房の効率的な温度管理が、生産性の向上を図るためには重要である。そこで、エネルギー消費効率が良い地下水熱源式ヒートポンプ（以下、HP）を用いて、効率的な豚房温度管理システムを開発するとともにその実用性を検証する。

2 試験方法

(1) システムの開発

HP（エナーテック（株）製 enafull130）1台を用いて、繁殖豚向け（15ヶ所）に冷房、哺乳豚向け（12ヶ所）及び離乳豚向け（12ヶ所）に暖房ができるシステムを分娩豚舎内に設置した。冷房はHP、バッファタンク（以下、BT）、ファンコイル（以下、FC）を介して熱を吸排し、FCより冷風を吹き出し、ポリダクトを通じて繁殖豚の首に冷風を当てる方式（以下、スポット冷房）とした。暖房はHP、BTを介して熱を吸排し、子豚の居住スペースに設置する床パネル（74cm×54cm）内へ温水を循環させる方式（以下、HP床暖）とした。（図1）

(2) システムの性能調査

夏季にスポット冷房、冬季にHP床暖の性能調査（冷暖房温度、HPシステム運転状況（HP稼働時間、冷暖房熱量、エネルギー消費効率（COP）、システム（SCOP）、システム内循環水温度、使用水量、使用電力量））を行った。

(3) 豚への影響調査

夏季にスポット冷房処理区と無処理区を設け、繁殖豚（呼吸数、直腸温度、血漿中TAS、血球中SOD活性）及び哺乳豚（増体量）を調査した。冬季にHP床暖区とコルツヒーター（100V300W）区を設け、哺乳豚及び離乳豚（増体量）を調査した。

3 試験結果及び考察

(1) スポット冷房

豚舎内 $30.1^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ （平均±標準偏差）の時、スポット冷房（ポリダクト下70cm（繁殖豚起立首高））では $25.7^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ （平均±標準偏差）と 4.4°C 低下した（図2）。スポット冷房を15豚房、8時間33分運転した時、HP稼働時間4.8時間、COP4.7、SCOP2.6、使用水量10.6トンとなり、使用電気料金を試算すると274円（15.2kwh（HP、循環ポンプ2個、FC）×@18円/kwh）となった（表1、表2）。

スポット冷房下の繁殖豚における呼吸数が低下傾向（ $P<0.10$ ）、血漿中TASが増加（ $P<0.05$ ）となり、直腸温度及び血球中SOD活性は試験区間に有意差はなかった（表3、表4）。スポット冷房下の繁殖豚が授乳する哺乳豚の発育成績は、試験区間に有意差はなかった（表5）。

(2) HP床暖

床上表面温度がコルツヒーター（100V300W） $20.6^{\circ}\text{C} \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ （平均±標準偏差）の時、HP床暖では $33.1^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ （平均±標準偏差）と暖かく、温度ムラも小さくなった（図3）。HP床暖を24豚房、24時間運転した時、HP稼働時間23.0時間、COP3.3、SCOP2.7、使

用水量37.0トンとなり、使用電気料金を試算すると、1,363円(75.7kwh(HP、循環ポンプ3個)×@18円/kwh)となった(表6、表2)。

HP稼働時間が24h/日となるHP床暖豚房数は25.5となり、暖房能力を維持できる最大規模は25豚房であることが示唆された(図4)。使用電力量は、5豚房以上で、HP床暖がコルツヒーターより低く、豚房数が増える程、効率が高くなり、25豚房ではコルツヒーターの約6割を削減した(図5)。

熱量千キロカロリーあたりのコストを試算したところ、コルツヒーター20.9円、ガスブルーダー11.3円、HP床暖7.6円となった(図6)。

HP床暖下における哺乳豚及び離乳豚の発育成績は、

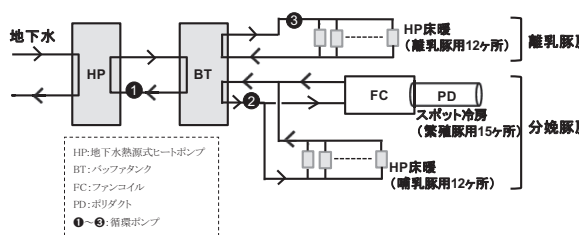


図1 地下水熱源式ヒートポンプの概略

表2 システムの使用電力量と電気料金

	使用電力量(kwh)					電気料金(円)
	HP	FC	①	②	③	合計
スポット冷房(15豚房)	8.2	3.4	1.5	2.1	—	15.2
床暖房(24豚房)	61.9	—	4.9	4.4	4.5	75.7
注1) HP、FC、①～③は図1のとおり						
注2) 運転時間は、スポット冷房8h33min、床暖房24h						
注3) 電気料金は18円/kwhにて試算						

表3 スポット冷房下の繁殖豚における呼吸数と直腸温度

	無処理 (n=9)	スポット冷房処理 (n=9)	単位	P値
呼吸数	129 ± 32	101 ± 30	回/分	<0.1
直腸温度	40.04 ± 0.47	39.23 ± 0.63	℃	NS

NS: not significant.

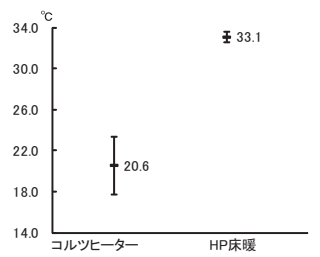


図3 暖房時の床上表面温度

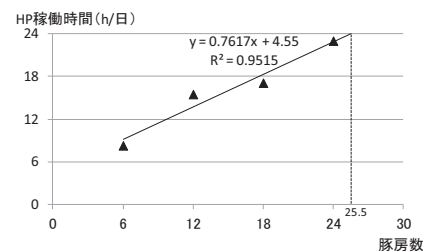


図4 HP床暖豚房数とHP稼働時間

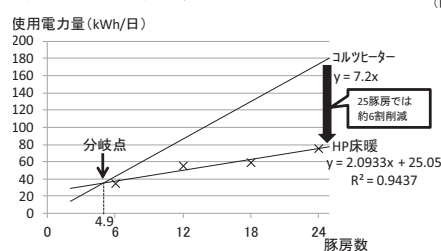


図5 コルツヒーターとHP床暖の使用電力量

試験区間に有意差はなかった(表7)。

4 まとめ

繁殖豚向けのスポット冷房と子豚向けのHP床暖を備えたHPシステムは、分娩豚房や離乳豚房の効率的な温度管理が可能である。

引用文献

- 川村英輔, 高田陽, 高柳典弘. 2015. 2養豚場の「消費電力の可視化」と消費電力の負荷平準化. 日本養豚学会誌. 52: 50-63.

表1 スポット冷房運転成績(15豚房、8h33min運転)

項目	数量	単位
HP稼働時間	4.8	時間
冷房熱量	-39.0	kWh
エネルギー消費効率(COP)	4.7	
システムCOP(SCOP)	2.6	
HP稼働時水道水温度	15.9	℃
HP稼働時排水温度	21.0	℃
HP稼働時BTからHPへの冷水水温度	13.4	℃
HP稼働時HPからBTへの冷水水温度	10.3	℃
HP稼働時BTからFCへの冷水水温度	13.3	℃
HP稼働時FCからBTへの冷水水温度	16.8	℃
使用水量	10.6	t

HP: ヒートポンプ, BT: バッファタンク, FC: ファンコイル

図2 スポット冷房の有無と温度

表4 スポット冷房下の繁殖豚における血漿中TASと血球中SOD活性

	無処理 (n=3)	スポット冷房処理 (n=4)	単位	P値
TAS	1.12 ± 0.08	1.42 ± 0.16	mmol/L	<0.05
SOD	76.6 ± 30.1	89.3 ± 9.7	U/mL	NS

TAS: Total Antioxidant Status (総抗酸化能)

SOD: Superoxide Dismutase

NS: not significant.

表5 スポット冷房下の繁殖豚が授乳する哺乳豚の発育成績

	無処理 (n=4)	スポット冷房処理 (n=5)	単位	P値
授乳期間子豚生存率	100 ± 0	100 ± 0	%	NS
0日齢(出生時)子豚総体重	13.7 ± 0.9	14.1 ± 1.3	kg	NS
28日齢(離乳時)子豚総体重	81.6 ± 6.3	84.2 ± 4.0	kg	NS
一日平均増体量	0.242 ± 0.024	0.250 ± 0.018	kg/日	NS

NS: not significant.

表6 HP床暖運転成績(24豚房、24時間)

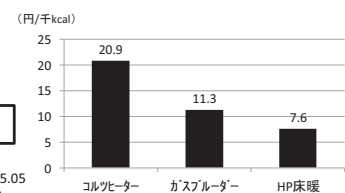
項目	数量	単位
HP稼働時間	23.0	時間
暖房熱量	206.6	kWh
エネルギー消費効率(COP)	3.3	
システムCOP(SCOP)	2.7	
HP稼働時水道水温度	13.5	℃
HP稼働時排水温度	9.9	℃
HP稼働時BTからHPへの冷水水温度	42.1	℃
HP稼働時HPからBTへの冷水水温度	45.8	℃
HP稼働時BTからYP(分娩豚房)への冷水水温度	42.4	℃
HP稼働時YP(分娩豚房)からBTへの冷水水温度	39.6	℃
HP稼働時BTからYP(離乳豚房)への冷水水温度	42.9	℃
HP稼働時YP(離乳豚房)からBTへの冷水水温度	40.2	℃
使用水量	37.0	t

HP: ヒートポンプ, BT: バッファタンク, YP: 床パネル

表7 HP床暖下における子豚の発育成績

	コルツヒーター	HP床暖	単位	P値
子豚生存率	100 ± 0	100 ± 0	%	NS
0日齢(出生時)体重	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.2	kg/頭	NS
生後28日齢(離乳時)体重	9.2 ± 1.5	9.0 ± 1.3	kg/頭	NS
生後56日齢体重	23.6 ± 3.6	24.5 ± 3.0	kg/頭	NS
一日平均増体量	0.275 ± 0.051	0.266 ± 0.042	kg/日・頭	NS
28日齢-56日齢	0.482 ± 0.087	0.539 ± 0.071	kg/日・頭	NS
0日齢-56日齢	0.396 ± 0.060	0.410 ± 0.053	kg/日・頭	NS

NS: not significant.



試算条件
・コルツヒーター: 100V300W、単価18円/kwh
・ガスブルーダー: 12,000kcal/ガス1kg、単価135円/LPaス1kg
・HP: SCOP2.7、単価18円/kwh

図6 熱量あたりのコスト