

### プロジェクト紹介【寄稿】

# 積雪寒冷地におけるゼロエミッション型エネルギー地産地消モデルの構築

～十勝地方を事例として～

田島洋輔

TAJIMA Yousuke  
株式会社建設技術研究所  
東京本社環境部  
北海道環境室  
技師



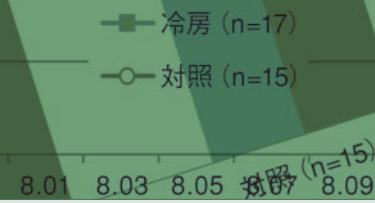
松嶋健太

MATSUSHIMA Kenta  
株式会社建設技術研究所  
東京本社地球環境センター  
主幹



千葉雅広

CHIBA Masahiro  
株式会社建設技術研究所  
東京本社環境部  
北海道環境室  
主幹



### はじめに

積雪寒冷地である北海道では、冬の暖房の必要性などから、エネルギー消費量に占める化石燃料の割合が高く、一人当たりの温室効果ガス排出量は全国平均の1.2倍<sup>\*1</sup>と高い状態となっている。そのため、雪氷冷熱や家畜ふん尿等のバイオマス資源など、自然エネルギーを有効に活用する方策の提案が求められている。

そこで、各種クリーンエネルギー源の組み合わせによる地域内のエネルギー的自立と、温室効果ガス・廃棄物等の排出抑制の両立を図る「ゼロエミッション型エネルギー地産地消」の実現に向けたモデルを構築するために、北海道農業の中心である十勝地域を対象として、雪氷熱及び太陽光の双方に関する実証実験を行った。

なお、本報告では、モデルを構築するに当たり実施した雪氷冷房実証実験の概要、効果と今後の方向性について述べる。

### 雪氷冷房システムの実験概要

冬季間において日平均気温が0℃を下回る十勝地域の特性を生かし、酪農農業における暑熱対策に雪氷冷熱を活用する可能性を

検討するために、天然の水を用いた冷房システムによる牛体冷却の実証実験を行った。

#### ・雪氷の保管状況

雪氷冷房システム実証実験を行うために、平成21年1～2月に約60tの雪氷を製造し、同年3月に保管した。保管に当たっては、夏季まで雪氷を保管できるよう断熱材及び遮光シートで覆ったコンテナ(写真1)とした。また、実験前(同年7月)の雪氷残存量は約18t(写



写真1 雪氷庫の状況



写真2 雪氷の残存状況(7/14確認)



写真3 牛群待機室・冷房区(直接送風式)

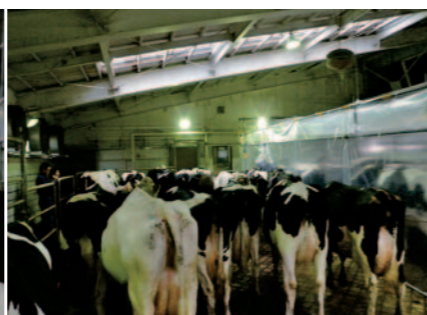


写真4 牛群待機室・対照区

真2)であり、これを実証実験に用いた。

#### ・調査対象

調査対象は、酪農家が主生産物として飼育する乳牛(ホルスタイン種)とした。冷房箇所は、搾乳前の乳牛がすし詰め状態で待機することで、夏季の暑熱ストレスを最も感じるとされる牛群待機室とした。また、牛群待機室を冷房区(写真3)と対照区(写真4)に30頭ずつ分割し、各区画の乳牛を冷房

群と対照群として比較した。冷房面積は105m<sup>2</sup>であり、送風ファン(0.9kw)を1台使用した。

#### ・冷房システムの構築

冷房システムは、以下に示す課題を考慮して構築した。

- ①牛群待機室内の半分のみを密閉空間とすることが、事実上、困難であること。
- ②一般酪農家等での実用の場面で採用されやすいシステムであること(なるべく安価に抑える必要がある)。

この課題点を考慮し、密閉空間を造成せずに、冷気を送る直接送風方式(写真3)とした。冷気搬送にはビニールダクトを用いたことにより実用面の解決を図った。

#### ・雪氷冷房実証実験の概要

##### ①実験期間

実験期間は、牛舎内における湿度が上昇し、暑熱対策の導入が

特に必要となる夏季(平成21年7月21日～8月10日の21日間)とした。

##### ②実験期間中の計測内容

乳牛に与える外的及び内的ストレスを定量的に把握するために、冷房区及び対照区の温湿度(温湿度指数(THI)<sup>\*2</sup>)、乳量、乳成分、血液成分、生体反応(体内温度・体表温度・反芻回数・パンティング(開口呼吸)回数)等について計測した。

また、雪氷庫から牛群待機室への搬送中の冷熱エネルギーの損失量を把握するために、外気温、雪氷庫内温度、待機室噴出し口温度を計測した。

### 実証実験の内容及び分析結果

実験期間において雪氷から取り出した冷気を用いた牛体冷却効果の検証を行った。

#### ・温湿度計測と分析結果

牛群待機室(冷房区及び対照区)における温湿度及び、乳牛に与える暑熱ストレス(温湿度指数(THI))を表1に示す。

この結果より、実証実験中の牛群待機室の温度について、乳牛の生産適温域(4～24℃)の上限値である24℃以上の日数(表1:茶・橙色表示箇所)は、対照区では8日あったものが、冷房区では6日となった。また、冷房区と対照区の温度差は平均値で0.7℃であり、冷房区の温度が低下したことが確認された。

温度と湿度から算出される温湿度指数(THI)がTHI≥72(中程度の暑熱ストレス)となった日数(表1:赤色表示箇所)は、冷房区及び対照区ともに8日(欠測日を除く)であったが、対照区に比べて冷房区で平均値が0.7℃低くなった。

#### ・搾乳量の計測と分析結果

冷房群及び対照群における搾乳量の推移を比較した結果、冷房群は対照群よりも平均1kg/日程度高く推移した(図1)。これは、冷房区の温度及び温湿度指数(THI)の低下に示される暑熱ストレスの軽減により、搾乳量が増加したものと考えられ、一定の効果があったといえる。

なお、一般的に産次や乳期によって搾乳量に違いがあるため、対象個体は産次・乳期のほぼ等しい乳牛を選出して比較を行った。

表1 冷房区及び対照区の温湿度測定結果及び温湿度指数(THI)

月日	天候	対照区			冷房区			湿度(%)
		温度(℃)	湿度(%)	温湿度指数(THI-exp)	温度(℃)	湿度(%)	温湿度指数(THI-exp)	
7月21日	雨	17.3	99.2	63.1	17.9	95.0	64.0	-0.6
7月22日	晴れ	21.3	83.0	69.1	21.0	96.0	69.5	0.3
7月23日	曇り	21.4	89.5	69.7	20.7	78.0	67.8	0.7
7月24日	曇り	21.8	96.0	70.9	20.5	98.0	68.8	1.3
7月25日	雨	22.6	99.5	72.5	—	—	—	—
7月26日	曇り	21.5	94.3	70.2	—	—	—	—
7月27日	雨	19.3	98.8	66.7	19.0	99.0	66.2	0.3
7月28日	晴れ	27.0	75.8	77.5	25.2	85.3	75.7	1.8
7月29日	曇り	20.5	89.5	68.2	19.9	96.8	67.6	0.6
7月30日	晴れ	21.8	84.0	70.0	21.0	92.2	69.3	0.8
7月31日	晴れ	21.0	85.0	68.8	20.4	96.0	68.4	0.6
8月1日	晴れ	23.1	77.6	71.7	22.8	91.0	72.3	0.3
8月2日	曇り	20.3	90.3	67.9	19.3	99.0	66.7	0.9
8月3日	曇り	21.4	92.0	69.9	21.0	99.0	69.7	0.4
8月4日	晴れ	24.3	82.3	73.9	23.0	80.4	71.7	1.3
8月5日	晴れ	26.1	78.0	76.3	24.6	91.8	75.4	1.5
8月6日	晴れ	27.6	70.0	77.7	25.8	91.0	77.4	1.8
8月7日	晴れ	26.2	70.8	75.7	25.0	70.2	73.8	1.2
8月8日	晴れ	25.7	79.2	76.0	25.0	86.8	75.7	0.7
8月9日	曇り	24.2	85.5	74.2	23.6	98.2	74.4	0.6
8月10日	晴れ	26.4	82.7	77.4	25.6	86.7	76.5	0.8
平均値		22.9	85.8	71.8	22.2	91.1	71.1	0.8

(注意) ・「—」は欠測を示す。  
 ・冷房区の欠測は牛のいたずらによるものである。(予備の測定機器も破損)  
 ・温湿度については、冷房運転時間内の温湿度データの平均値を用いて算出した。  
 (凡例) ■:24～27.4℃、■:27.5℃以上、■:THI-exp≥72を示す。

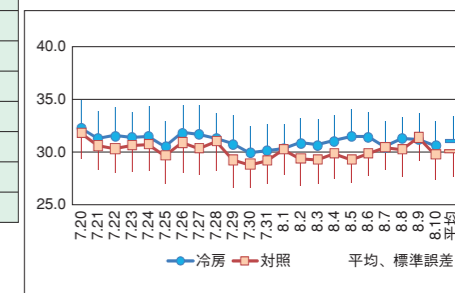


図1 乳量の推移(単位:kg)

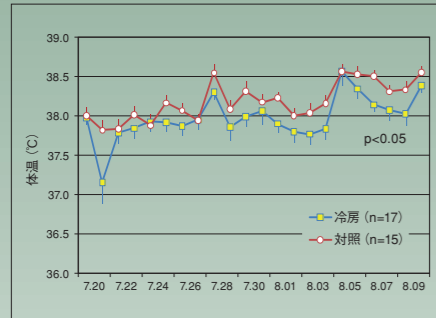


図2 冷房群と対照群の体内温度

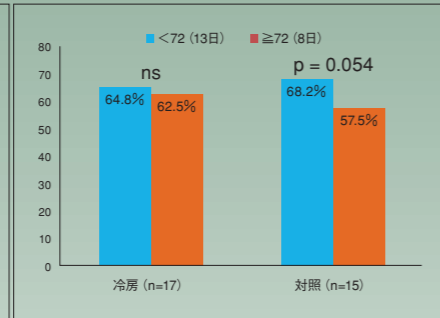


図3 冷房群と対照群の反芻回数

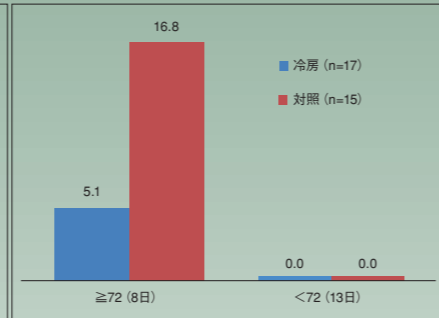


図4 冷房群と対照群のパンティング回数

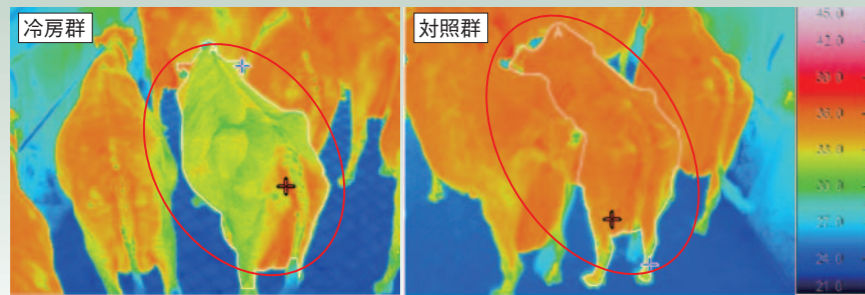


写真5 サーマグラフィによる乳牛の体表温度差(入室11min時)

・生体反応の計測と分析結果

生体反応として計測した項目は、体内温度、体表温度、反芻行動、パンティング回数についてモニタリングを行った。

①体内温度、体表温度

体内温度の測定は、搾乳入室直後の乳牛の内股部で計測を行った結果、冷房群が対照群よりも、平均0.2℃低く推移した(図2)。

また、サーモグラフィによる体表温度測定では、調査時間内の平均で冷房群は対照群よりも約0.58℃の体表温の低下が確認できた(写真5)。

このように、雪氷冷房により冷房区の個体の牛体温度(体内温度及び体表温度)が低下しており、雪氷冷房は乳牛の暑熱ストレスを軽減し、体調維持に寄与することが示唆された。

②反芻行動

反芻は牛が飼料を消化する際に観察される行動であり、これが確認されない場合、暑熱ストレスによる消化不良が懸念される。

搾乳時に反芻行動が確認された回数をTHI≥72日数とTHI<72日数を比較すると、対照群においては68.2%から57.5%と反芻行動の抑制が観察されたが、冷房群においては64.8%から62.5%と抑制がほとんど確認されなかった。これより、牛群待機室における搾乳前の牛体冷却は、暑熱ストレスによる反芻行動の抑制を軽減したと考えられる。

③パンティング(開口呼吸)

牛が熱放射のために行うパンティングは、暑熱ストレスが大きい時に観察される。

搾乳時にパンティングが確認さ

れた回数を記録した結果(図4)、気温の低い日には確認されなかったものの、THI≥72(中程度の暑熱ストレス)には確認され、その割合は、対照群が冷房群よりも3倍以上高いことを把握した。これより、雪氷冷房はパンティングとして確認される乳牛の暑熱ストレスを軽減したといえる。

・乳成分及び血液成分の計測と分析結果

暑熱ストレスによる食欲低下に伴う乳成分の低下が想定され、雪氷冷房によるその改善が期待された。冷房群及び対照群の各14頭の乳成分(脂肪、無脂固形分、たんぱく質、乳糖、体細胞数、乳内尿素窒素、氷点)を計測した(写真6)が、冷房群と対照群の間に有意な差は認められなかった。

また、乳牛のストレスマーカーとして、実験期間中に4回、搾乳直後に採血を行い血中の副腎皮質ホルモン濃度を測定した(写真7)が、冷房群と対照群の間に有意な差は認められなかった。



写真6 生体情報の確認状況



写真7 血液サンプル採取状況

・エネルギー使用量及びCO<sub>2</sub>排出量の削減

雪氷冷房システムで使用したエネルギーは、送風機の動力用の電力であり、冬季に雪氷を製造するためのエネルギーはほとんど必要ないことから、電気冷房に比べて使用電力量及び温室効果ガス排出量の削減が可能となる。

一方、暑熱対策のため酪農家で一般的に使用されているトンネル換気は、畜舎内の空気を強制的に換気するため換気扇を複数台設置し、多くの電力を必要とする。

実際の運用に際して約300m<sup>2</sup>を対象とすると仮定し、雪氷冷房システムの規模を3倍とした場合とトンネル換気を行う場合の電力使用量及びCO<sub>2</sub>排出量を表2に整理した。

その結果、電力使用量、CO<sub>2</sub>排出量とも従来使用量の2/3程度に削減が可能であり、十勝地域をはじめとした積雪寒冷地では、ゼロエミッションの実現に向けて、雪氷の活用が有効であると考えられた。

まとめ

クリーンエネルギー源の組み合わせによる「ゼロエミッション型エネルギー地産地消モデル」の構築に必要な雪氷冷房システムのエネルギー削減効果について整理した。

十勝地域におけるモデルの構築に当たっては、酪農農家の主なエネルギー使用施設である牛舎内の各設備の稼動に必要なエネルギーを地産地消することが重要となる。そのため、本報告では「雪氷冷熱実証実験」のほかに、牛舎内の各設備の稼動で使用する「電気」「熱」「軽油」をクリーンエネルギーで代替することを前提として、「バイオガスパラント稼動実験」

「BDF<sup>※3</sup>の製造及び使用に係る実証実験」「太陽光発電実証実験」を実施した。

また、それらの結果を活用して、家畜ふん尿によるバイオガスの製造及びバイオガスによる電力・熱の製造、廃食用油(菜種油)によるBDFの製造、雪氷熱利用、太陽光発電による補助電力などの4種のクリーンエネルギー源を組み合わせた「ゼロエミッション型エネルギー地産地消モデル」を構築し、酪農家単位での再生可能エネルギーによる地産地消の可能性を見出した。

また、このモデルを十勝地域まで拡張した場合、酪農のみならず他の再生可能エネルギーの供給者やエネルギー需要家との連携を考えることができ、地域内における電力、熱、ガスのエネルギー供給網の形成に寄与できると考えられる。実現した場合には、地域内のエネルギー循環モデルが形成されるとともに、エネルギーの売買による地域経済モデルが形成されることになる。

表2 トンネル換気と雪氷冷房システムの規模

項目	トンネル換気	雪氷冷房システム
対象面積	300m <sup>2</sup>	300m <sup>2</sup>
ファン台数	6台	3台
ファン容量	0.49kW/台	0.9kW/台
運転日数	60日/年	60日/年
運転時間	10時間/日	10時間/日
電力使用量	2,539kWh/年	1,620kWh/年
二酸化炭素排出量	1,493kg-CO <sub>2</sub> /年	953kg-CO <sub>2</sub> /年

(備考)  
 ・トンネル換気の電力使用量は、一般酪農家へのヒアリング結果を基に設定した。  
 ・運転日数及び運転時間は、年間60日間(7~8月の2ヶ月間)、1日当たり10時間程度運転すると設定した。

以上から、本モデルは、酪農家ばかりでなく地域単位として活用することが可能なモデルであり、今後求められる低炭素社会の形成に向けた道筋をつけるものと考えられる。

(補注)  
 ※1 北海道庁の発行する「北海道の温室効果ガス排出実態について(2007年度)」に示される値を参考とした。  
 ※2 温湿度指数(THI):人間で言う「不快指数」のこと。Johnsonらが提示した式THI=0.8Tdb+0.01RH(Tdb:14.3)+46.3(Tdb:乾球温度、RH:相対湿度)により算出される。乳牛は主に、THI≥72で中程度のストレス、THI≥79で強いストレス、THI≥89で厳しいストレスを感じるなどの指標として用いられている。  
 ※3 BDF:バイオ・ディーゼル・フューエルの略で、生物由来油から作られるディーゼルエンジン用燃料の総称。

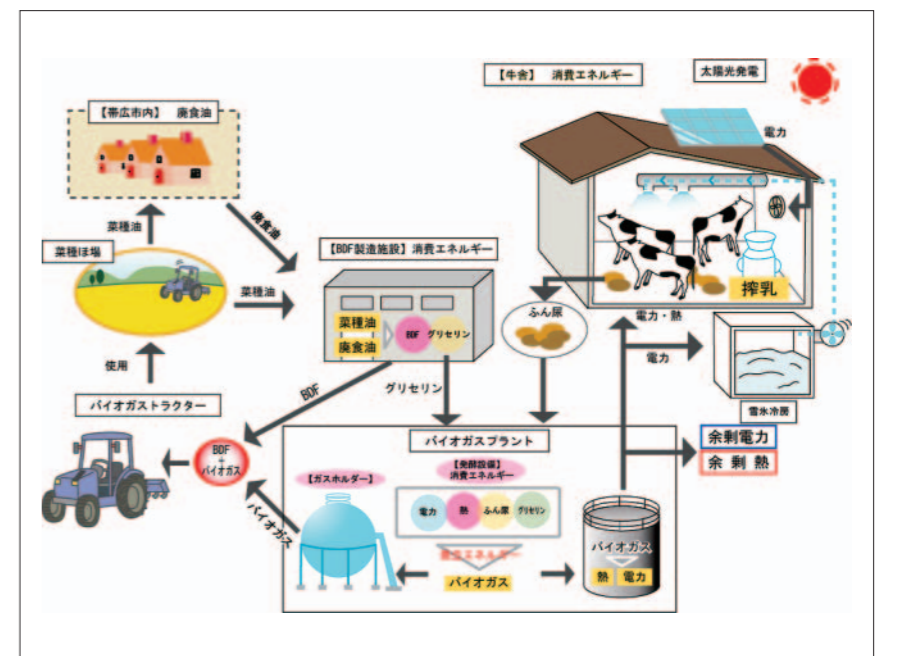


図5 エネルギー地産地消モデルの概要