

第1章 吸引通気式堆肥化方式による 排熱の回収と温水利用

1. はじめに

家畜ふんの堆肥化過程で発生する発酵熱は、発生する“量”が多いものの、工業分野で発生する排熱に比べて温度が低く、エネルギーの“密度”が低いといった特徴があります。ここでは、悪臭の除去を目的に開発された吸引通気式堆肥化方式によって、この発酵熱を効率良く回収し、温水に変換して利用する技術について紹介します。

2. 吸引通気式堆肥化方式による発酵熱の回収

家畜ふんを堆肥化する際には、アンモニアを中心とする悪臭が発生します。この悪臭原因ガスを回収し、処理することを目的として吸引通気式堆肥化技術は開発されました。本方式では、通常おこなわれる、堆肥原料底部から空気を送る方式(圧送方式)とは異なり、堆肥の底部から空気を吸引することで、原料の表面から内部へと空気が供給されます。これにより、発生した悪臭原因ガスを大気中へ放出することなく、原料の底部から回収することができます(図1, 文献1)。それだけではなく、本方式では、堆肥化過程で発生する熱についても、底部から空気を吸引することで、外気によって冷やされずに、発酵排気とともに直接回収することが可能です。

この吸引通気式堆肥化方式によって回収できる熱量は、使用する副資材や堆肥化する条件によって異なります。図2に、430L規模の吸引通気式堆肥化装置を使って、乳牛ふんのみ(乾燥ふん)もしくは副資材を所定の条件で混合し、28日間堆肥化した場合に回収できる期間全体の平均排気温度と排気熱量を示しました。条件によっては、発酵不良もしくは一次発酵が早期に終了したことによる平均排気温度の低下がみられましたが、良好に堆肥化が進行した条件では平

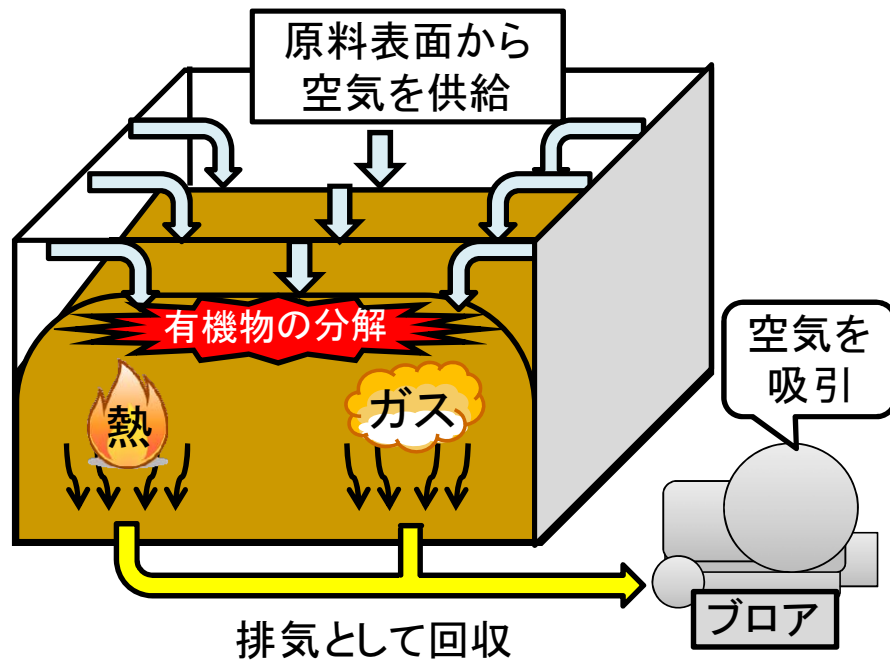
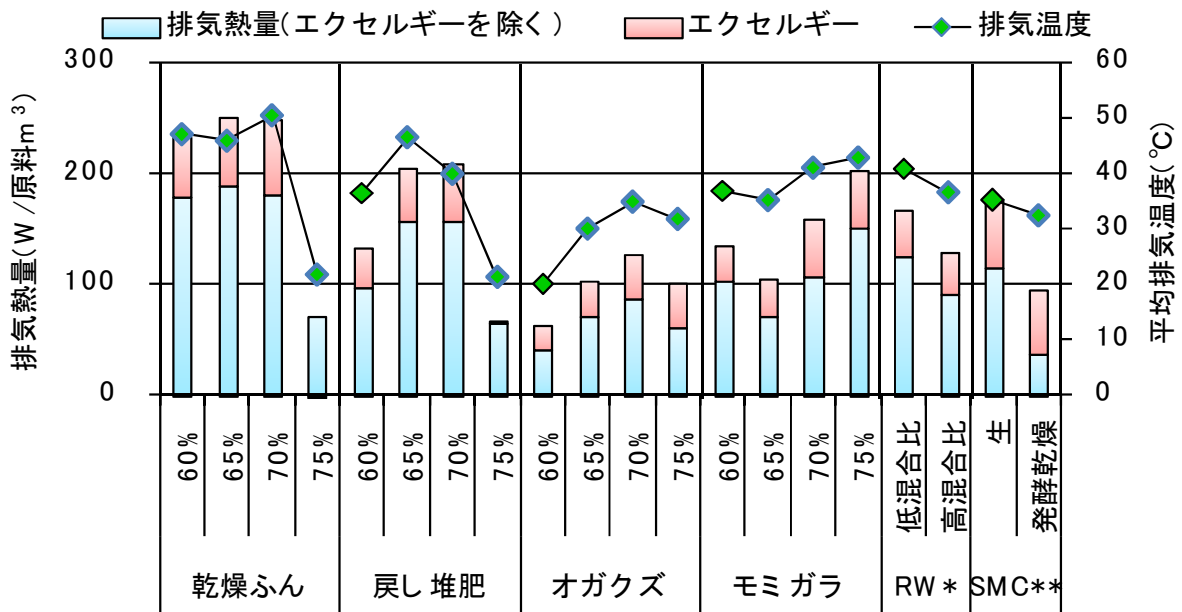


図1 吸引通気式堆肥化による排熱回収の模式図



各条件の数字は含水率を表し, *RW: 廃農業用ロックウール, **SMC: 廃菌床を表す
表中エクセルギーは周辺空気を環境条件とした場合の数値

図2 堆肥化条件を変えた場合に排気として回収できる熱量

(文献2を参考)

均の排気温度は 30～50℃程度でした。吸引通気式堆肥化方式で回収した排気中の水蒸気はほぼ飽和した状態であり、排気の持つ熱量には、水が水蒸気になるために必要なエネルギー(蒸発潜熱)が含まれます。そのため、堆肥原料 1m³あたり 68～249W の熱量の排気が回収できました。ただし、回収した排気の熱量がすべて有効に使えるとは限りません。

ここで、排気の持つ熱量のうち、有効に利用できる熱量の指標として、「エクセルギー」という値を用いました。このエクセルギーは有効エネルギーとも呼ばれ、熱源が外部に働きかけることができる最大の仕事量、すなわち利用可能な最大のエネルギー量を表します。排気のエクセルギーは排気的全熱量のうち最大で 40%程度を占め、全ての条件の平均値は、原料 1m³あたり 40W 程度でしたが、平均の排気温度が 30℃を下回るような条件では、エクセルギーは非常に小さくなりました。つまり、一般的に発酵不良な堆肥からの実質的な熱回収は難しく、発酵熱を回収して利用する上では、いかに良好な発酵を促進し、排気を高い温度で回収できるかが重要だといえます。

以上のように、小規模の堆肥化装置を用いた試験の結果、①吸引通気式堆肥化方式では排気が外気で希釈されず高温のまま排出されるため、発酵熱を排気とともに直接回収できること、および②回収した排気のもつ利用可能なエネルギー量が示されました。次に、酪農家に設置した実証吸引通気式堆肥化施設を用いて、実際に堆肥化過程で出る排気を回収し、水の加温に利用するシステムについてご紹介します。

3. 実証施設における堆肥発酵熱回収システムフロー

図 3 に、栃木県那須塩原市の酪農家に設置した実証施設におけるシステムフローを示しました。この酪農家では搾乳牛 120 頭規模で、副資材としてオガクズ、バーク、戻し堆肥を混合した堆肥原料を 1 日あたり 15t 処理しています。実証施設では、堆肥クレーン方式による自動切り返しと吸引通気式堆肥化方式を導入しており、吸引通気の対象発酵槽容積は 240m³ です。一次発酵初期の原

料から吸引通気によって回収された排気は、まず、アンモニアスクラバーに通され、悪臭の原因物質である排気中のアンモニアガスを希硫酸やリン酸と反応させて回収します。ここで回収したアンモニアは、硫安やリン安として液肥利用が可能です。その後、スクラバー後段に設置した熱交換器に排気を導入し、農業用水と熱交換することで温水を得ます。こうして得られた温水は、牛の飲水として利用します。また、熱交換器を通過した後でも、排気には外気温よりわずかに高い程度の熱と、アンモニア以外の臭気が含まれますので、一次発酵後期の堆肥原料へ送気し、堆肥の有機物の分解が停滞した原料へ熱を供給することで、有機物の再分解を促すとともに、アンモニア以外の悪臭を堆肥脱臭により処理しています。

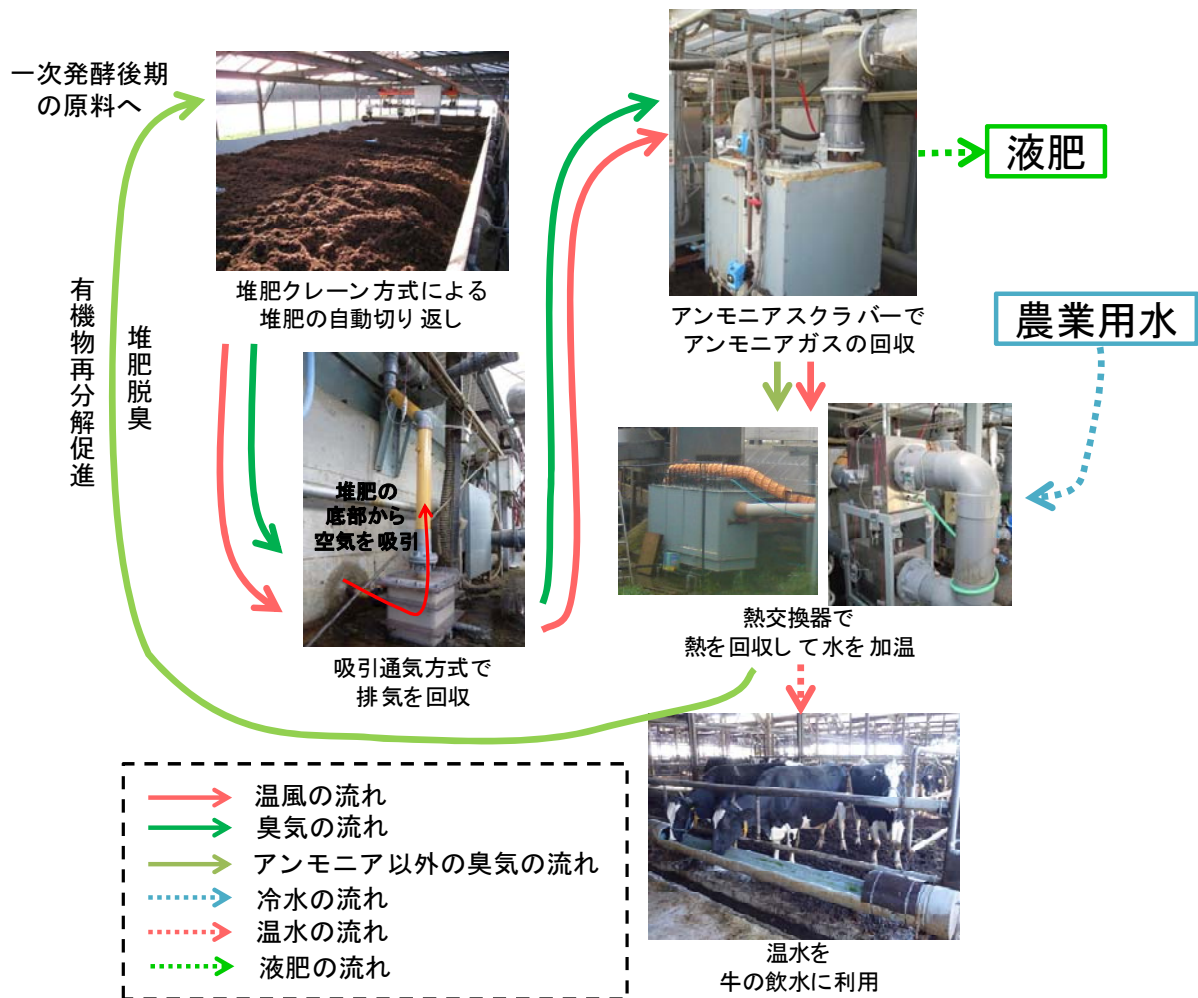


図3 実証施設におけるシステムフロー

4. 発酵排気を熱源とした水の加温

図 4 に、吸引通気式堆肥化施設で回収できる発酵熱量の例として、実証施設における 2012 年 3 月から 12 月までの期間の発酵排気の温度と熱量を示しました。この間、排気の温度は外気温にほとんど影響されず、40～50℃の間で推移しました。また、期間平均の排気量は 7.2m³/分であり、常時 20～50kW(≒80～200W/発酵槽容積 m³)の熱量の排気を回収できました。

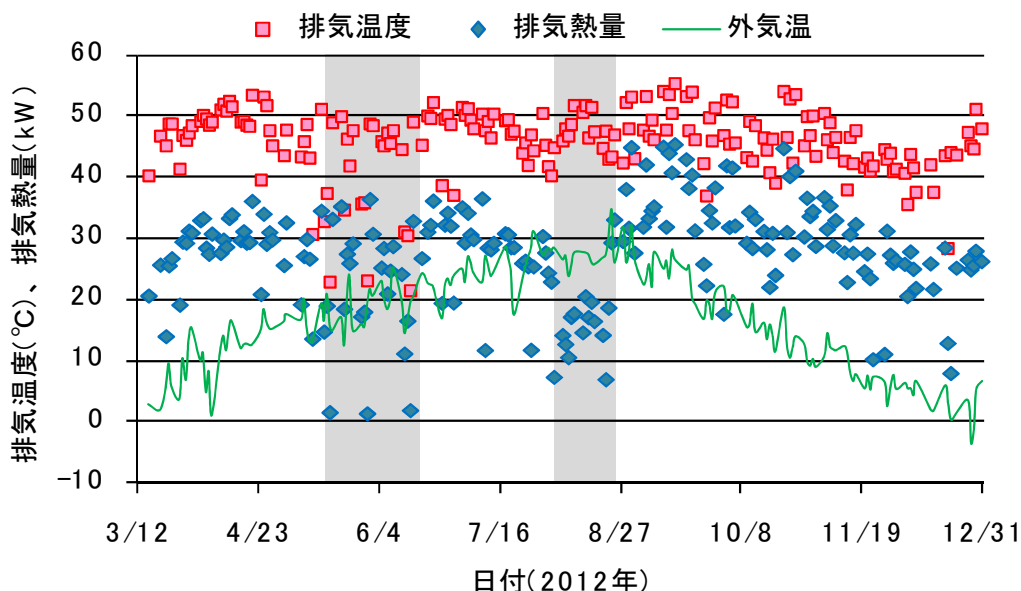
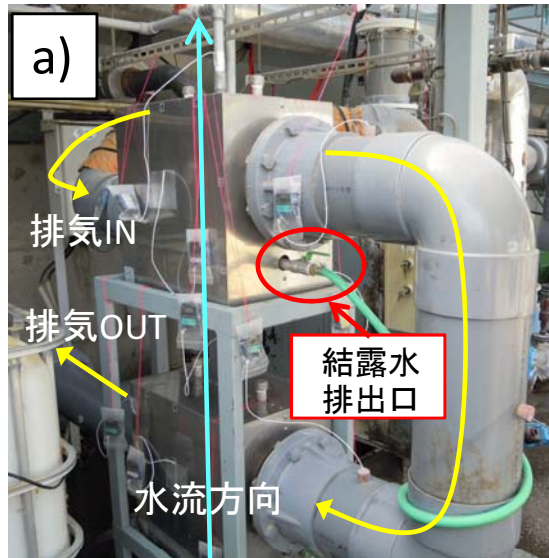


図4 実規模吸引通気式堆肥化施設で回収した排気の温度と熱量

こうして回収した発酵排気の温度は、工業系の排熱に比べて低いものの、水蒸気がほぼ飽和しているため、本施設では蒸発潜熱を回収できる熱交換器を使用しています。図 5 に、使用している熱交換器の概略を示しました。本施設では、この熱交換器(容量 75L、伝熱面密度 123m²/m³)を、排気と水の接触時間を長くするために、2 台直列に繋いで使用しており、排気(高温)と水(低温)を熱交換器内に導入することで、排気の持つ熱を水に移し、水を加温します。また、排気が熱を失う過程で水蒸気が結露し、1 日あたり数百 kg の結露水が発生するため、熱交換器には結露水の排出口を取り付けています。この結露水は、畜舎

内でのリサイクル利用や放流が可能です。ただし、排気中のアンモニアを事前に回収していても、結露水の発生状況に応じて結露水中の窒素濃度が変動するため、結露水を放流する場合には排水基準を満たしているかを確認する必要があります。



b)

熱交換器諸元	
方式	直交流プレートフィン型
材質	SUS304
サイズ	500 × 500 × 360 (mm)
容積	75 × 2 L
伝熱面積	9.2 × 2 m ²
伝熱面密度	123 m ² /m ³
質量	65 × 2 kg
備考	伝熱板層数;43 結露水排出口設置

図5 熱交換器の概略 a) 熱交換器外観 b) 熱交換器諸元

この熱交換器を用いて、実際に回収した発酵排気と農業用水を熱交換し、農業用水の通水量を変えた場合に得られる温水の量と温度を図 6 に示しました。毎分 1~5L の通水量までは、通水量を増加させても温水温度はあまり低下しませんが、5L/分以上の通水量では、通水量が増加するにしたがって温水温度の低下幅が大きくなりました。こうしてできる温水は、例えばお風呂と同じ程度の水温 40℃であれば、一日あたり 11.5t、牛 1 頭あたり約 100kg/日得ることができます(通水量 8L/分)。また、これだけの水を加温するために必要な熱量は、一ヶ月あたり A 重油 1230L に相当し、A 重油の価格を 90 円/L とすると 11 万円/月の価値と見積もることができます。ただし、得られる温水の温度は、最高でも排気と同じ 50℃前後ですので、蓄熱して遠方に輸送するよりは、経営内で利用することが有効と考えます。例えば温水を、冬期の除雪や、畜舎暖房の熱源、

あるいはボイラーやヒートポンプと組み合わせて、殺菌・洗浄・消毒用途の、より高温の温水を得るための供給水や熱源に利用することで、経営内で消費する燃料を削減することが可能です。

それでは、次項で、得られた温水の利用方法の例として、実証施設でおこなわれている、乳牛への温水給与の取り組みについてご紹介します。

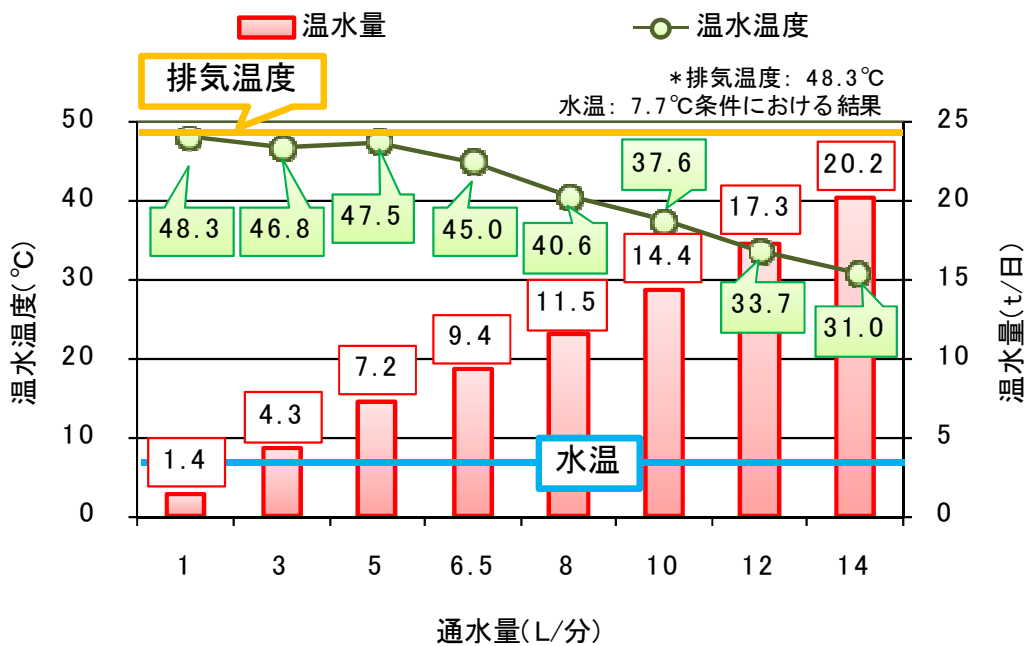


図6 通水量を変えた場合に行われる温水の温度と1日に得られる温水量

5. 乳牛への温水給与の可能性

実証施設がある栃木県那須塩原市は、関東のほぼ最北に位置し、冬期の平均気温は 5°C以下、最低気温は氷点下になります。そのため、冬場に牛は 10°C以下、場合によっては凍る寸前の温度の水を飲まなくてはなりません。牛は寒さには強い動物ですが、寒冷期に冷水を給与すると飲水量が減少するという報告があります(文献 3)。しかし、牛の飲水量は 1 日・牛 1 頭あたり 100kg にもなり(文献 4)、燃料を使って飲水を全量加温することはコスト的に難しいと考えられます。そこで、牛の健康を増進することを目的に、冬季に飲水量を制限するこ

となく、場合によっては自由飲水が乳量の増産に寄与しないか検討するために、本施設では、排気との熱交換で得られた温水を牛に給与しています。

図7に、温水(平均温度 27°C)もしくは冷水(平均温度 6°C)を給与したときの牛の飲水量、および泌乳量の変化を示しました。温水および冷水の給与は、50 頭 1 群を対象に 4 日を 1 サイクルとして、2~3 サイクルの間隔で転換しました。そうすると、転換直後の各パラメーターに差はないものの、時間が経つにつれ、図中の矢印で示したような傾向が見られました。つまり、温水から冷水に転換すると泌乳量は減少傾向になり、反対に、冷水から温水に転換すると増加傾向になります。調査期間が短かったため今後のさらなる検討が必要ですが、各温度の水を給与した期間の後期における平均乳量を比較すると、温水を給与した期間では冷水を給与した期間より、数%増加しました。仮に温水を給与することで冬期間(12~3月)に 2%乳量が増加するのであれば、100 頭規模の酪農家で、平均乳量を 32kg/(頭・日)、乳価 90 円/L とすると、1 ヶ月あたり 17.3 万円、期間全体では約 70 万円の増産となります。そのため、現在は実証施設で温水を給与することと平行して、実験農場における精密試験で、乳牛への温水給与の詳細な影響を検証しています。

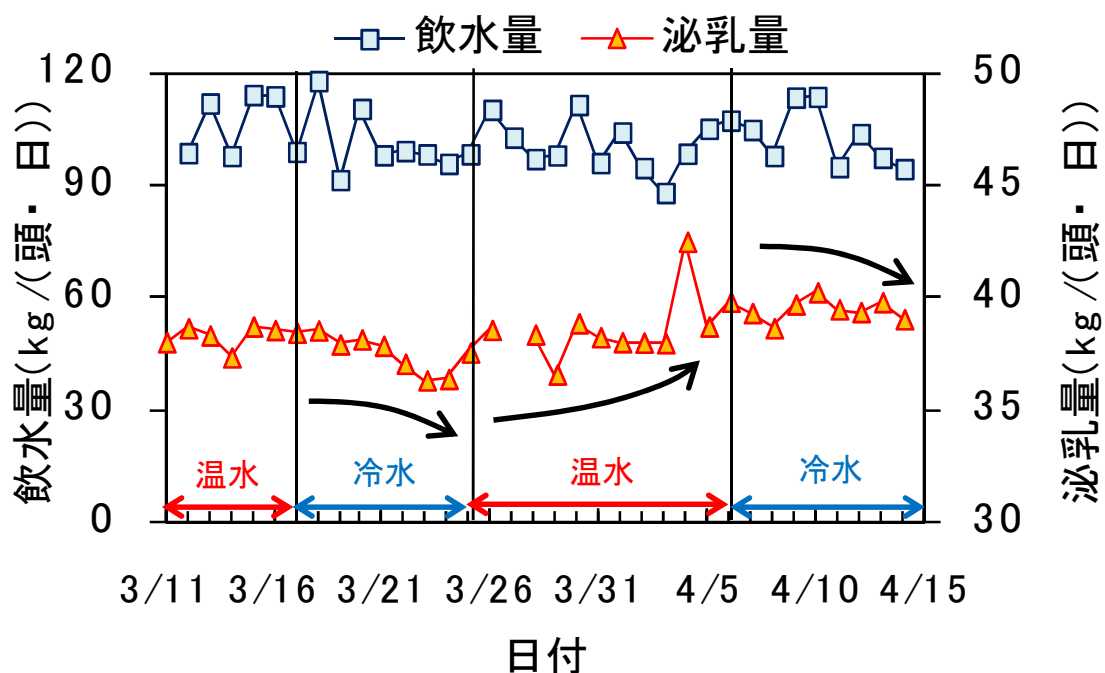


図7 温水もしくは冷水を給与したときの牛の飲水量および泌乳量

6. 留意点とまとめ

以上のように、吸引通気式堆肥化方式により発酵熱を回収し、温水へ変換するシステムについてご紹介しました。ただし、本システムを導入した場合でも、一般的に発酵不良な堆肥からは十分に熱を回収することはできませんし、熱交換器によって得られる温水の温度は、最高でも排気と同じ温度であることに留意する必要があります。また、窒素を環境中へ過剰に放出しないために、排気中のアンモニアを薬液等で事前に回収し、有効に利用することが求められます。つまり、堆肥原料の含水率や通気量などを調整することで、適正に堆肥化を管理し、それにより得られた熱や液肥を経営全体で利用していくことが、本システムを運用していく上で重要だと考えます。そうすることで、経営内で使用する燃料の消費量削減や、生産効率の向上により利益につなげることができ、省エネルギー的な畜産経営の実践に寄与することが可能となります。