

寒冷地の集中型バイオガスプラントで発生する余剰熱の利用

Utilization of Surplus Heat from Centralized Biogas Plants in Cold Regions

中山 博 敬*
(NAKAYAMA Hiroyuki)

横 濱 充 宏*
(YOKOHAMA Mitsuhiro)

I. はじめに

北海道内では、複数の酪農家からふん尿を収集して処理する集中型バイオガスプラントが7カ所で稼働している。これらのバイオガスプラントでは、バイオガスをコジェネレータ（以下、「CHP」という）で電力と熱に変換してエネルギー利用している。電力の一部は施設内で利用し、残りの電力は売電している。また、熱はバイオガスプラント内での原料ふん尿の加温や発酵槽の温度維持、消化液の殺菌などに使用しているが、夏期に余剰熱が発生する¹⁾。

2012年7月からは、再生可能エネルギーによる発電電力の固定価格買取制度（以下、「FIT制度」という）が始まり、売電がプラント運営を支える大きな収入源となった²⁾。しかしながら、集中型バイオガスプラントを対象にした運営収支の解析では³⁾、FIT制度による売電収入を考慮しても、設備更新費用の半分程度しか利益が得られないことが明らかとなっている。その原因の一つは、CHPから発生する熱の利用が不十分であり、バイオガスプラントの収入につながっていないためである³⁾。すなわち、集中型バイオガスプラントによって再生可能エネルギーである電力を産出し続けるには、プラントの経営を安定させるためにも、熱の有効利用を図る必要がある。バイオガスプラントが普及しているデンマークでは、CHPから発生

する熱を地域暖房の熱源に利用しており⁴⁾、熱の販売収入がプラントの経営を支えている³⁾。日本では、デンマークのような熱利用を促進させる仕組みが整備されていないため、熱を有効に利用できていない。

北海道鹿追町は、「余剰熱の有効利用」という課題を解決するため、その利用方法を検討してきた。その結果、町内に1カ所あった集中型バイオガスプラントの隣にチョウザメ飼育施設を建設し、2014年から余剰熱で飼育用水槽を加温する試験を始めた（写真-1）。毎年水槽の加温は、チョウザメ飼育環境の急激な変化を避けるため、春期にいったん始めれば中断することなく初冬まで継続することが望ましいと考えられる。一方、春期と初冬期の気温は年によって変動があるため、余剰熱の発生量も変化する。それゆえ、年ごとの気温の変動による余剰熱発生量の変化を考慮して、安定した加温を行える期間を明らかにする必要がある。

本報では、集中型バイオガスプラントから発生する余剰熱の有効利用方法について、鹿追町の取組み内容を紹介する。なお、寒地土木研究所では集中型バイオガスプラントのエネルギー収支の解析を行い、鹿追町の余剰熱利用の取組みに協力しており、ここでは、チョウザメ飼育施設の加温可能期間についての検討結果をあわせて報告する。

II. 鹿追町におけるバイオガスのエネルギー利用

鹿追町では、市街地周辺における乳牛ふん尿の臭気問題などを改善するため、2007年に集中型バイオガスプラント（以下、「中鹿追BP」という）の運営を開始した。中鹿追BPでは、バイオガスをCHPで燃焼して得られる電力の一部を施設の稼働に利用するとともに、残りの電力はすべて売電している。一方、熱エネルギーはプラント内で利用するが、余剰熱は有効利用されてこなかった。そこで2014年から魚類の養殖に余剰熱を利用する試験が開始された。さまざまな魚



写真-1 チョウザメの飼育状況

*土木研究所寒地土木研究所



バイオガスプラント、シミュレーション、余剰熱、熱エネルギーの利用、乳牛ふん尿、チョウザメ

種の中から、需要が見込めて付加価値が高く、また、生存できる温度範囲が広くて飼育しやすいチョウザメが選定された⁵⁾。チョウザメのオスは魚肉として町内2つの飲食店に出荷されている。また、魚卵は高級食材のキャビアの原料であるが、メスが採卵可能になるまでには8年程度の飼育が必要なため、今後、それまで飼育を進めて魚卵からキャビアを製造し、鹿追町の新たな特産品として出荷することを目指している。なお同町では2015年に新たな集中型バイオガスプラント（以下、「瓜幕BP」という）が稼働し、これにより両施設の発電量の合計は、町内の一般家庭で消費する電力の約8割に相当する⁶⁾量になった。

III. バイオガスプラントの余剰熱量算出方法とチョウザメ水槽加温時の消費熱量計測方法

1. バイオガスプラントの施設概要

調査対象とした集中型バイオガスプラントは、中鹿追BPである。中鹿追BPは、成牛換算で約1,300頭分の乳牛ふん尿を処理することができる⁷⁾。発酵槽は、800 m³の円柱形が2基と400 m³の直方体形が4基設置されている。円柱形の発酵槽上部はゴムシートで覆われており、ガスホルダーとなっている。

2. 中鹿追BPでの熱の消費と供給

中鹿追BPでは、ふん尿の加温に最も多くの熱が消費される。中鹿追BP内でのふん尿の動きと熱の消費は次のとおりである。酪農家から収集したふん尿は原料槽に貯留され、1時間に1回、それぞれの発酵槽へ移送される。原料槽では、プラントへの運搬、搬入までに温度が低下したふん尿の加温のために熱が消費される。また、発酵槽では、発酵温度を約40℃に維持するために熱が消費される。発酵後のふん尿は病原菌や雑草種子の死滅を目的に、殺菌槽で約55℃まで加温するため、熱が消費される。これら各槽へは、プラント内に1カ所ある温水タンクから配管を経由して温水を送ることで熱を供給している。このときの配管からの放熱でも熱が消費される。熱の消費量は、夏期よりも冬期に多い。これは、各槽のふん尿温度と気温との差が大きくなることで、各槽からの放熱量が増加するためである。

中鹿追BPでは、熱供給機器にCHP、ガスボイラー、重油ボイラーを使用している。これらの機器は、以下のような条件で稼働、停止する。ガスホルダーの貯留量がある下限値を下回らない限りCHPは稼働させる。ガスホルダーの貯留量が設定下限値を下回った場合は、ガスホルダーの貯留量が設定上限値に達するまでCHPを停止させる。発酵槽などの加温に

必要な熱が、CHPからの供給熱だけで足りない場合には、ガスボイラーを稼働させる。CHPおよびガスボイラーによる熱供給ができない場合には、必要に応じて重油ボイラーを稼働させる。

中鹿追BPでは上述のような熱の供給と消費が行われている。夏期には、供給される熱量よりも消費する熱量が少なくなり、余剰熱が発生する。余剰熱はラジエーターで大気中に放熱している。

3. 余剰熱量の定量的評価

熱エネルギーの有効利用を検討するためには、余剰熱量を定量的に評価する必要がある。しかし、中鹿追BPでは余剰熱量は測定していない。また、長期間にわたる安定的な熱エネルギー利用を検討するためには、複数年の余剰熱量を定量的に評価する必要がある。

余剰熱量の推定は、バイオガスプラント運転シミュレーションプログラム⁸⁾で可能である。このプログラムでは、バイオガスプラントの各種機器の起動、停止やバイオガスの消費量、貯留量などをシミュレーションできる。このシミュレーションは1時間ごとの気温を入力値として、そのときのバイオガスプラント内での熱の消費量を算出する。一方で、熱供給機器の稼働状況も模擬することで、熱の供給量を算出する。さらに、それらの差として余剰熱量を推定する。それゆえ、長期の気温データがあれば、複数年の余剰熱量を推定できる。

シミュレーションに必要なデータは、気温とバイオガスプラントでの熱消費量のほかに、原料投入量や機器のエネルギー変換効率などである。これらをそれぞれ次のようにプログラムに与えた。気温は、アメダス（鹿追）の1996年から2015年までの毎時の値を用いた。プラントでの消費熱量は、原料槽消費熱量と発酵槽消費熱量、殺菌槽消費熱量、配管放熱量の和である。このうち、原料槽消費熱量と発酵槽消費熱量の和は、中鹿追BPでの実測データから推定した「発酵槽温度

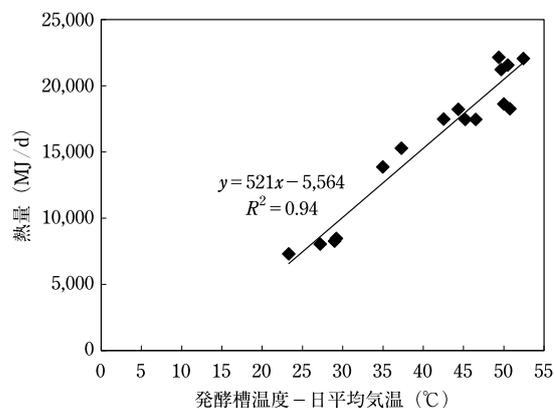


図-1 「発酵槽温度 - 日平均気温」と消費熱量との関係

表-1 シミュレーションの主なパラメータ

項目	入力値	根拠
原料投入量	95 m ³ /d	施設設計値
バイオガス中のメタン濃度	59.5%	実測値
原料1 m ³ 当たりのバイオガス発生量	33.8 m ³	実測値
ガスボイラーのエネルギー変換効率	熱：80%	実測値
CHPのエネルギー変換効率	電力：30%	実測値
	熱：51%	
発酵温度	40.4℃	実測値
殺菌温度	55℃	設定値

「日平均気温」と消費熱量との関係式から求めた(図-1)。また、殺菌槽消費熱量については、中鹿追BPの殺菌槽稼働時のデータを得ることができなかった。そのため、既往の研究⁹⁾で得られた別海資源循環試験施設の殺菌槽のデータをもとに、中鹿追BPのふん尿処理量に相当する殺菌槽加温熱量を推定して用いた。温水配管からの放熱は、中鹿追BPでの冬期の実測値をもとにして、プラント全体で消費される熱量の15%とした⁹⁾。その他の主なパラメータは表-1のとおりである。

4. チョウザメ飼育施設での消費熱量の計測

調査対象としたチョウザメ飼育施設の飼育水槽は1.5 m³のものが3基と5 m³のものが7基である。飼育には、年間を通じて水温が約10℃と安定している地下水を利用し、チョウザメの成長促進のためにバイオガスプラントの余剰熱で水槽の水を加温している。なお、バイオガスプラントの余剰熱は100 m³の蓄熱槽に温水として貯留されている。

チョウザメ飼育施設の消費熱量は、水槽ごとに設置されている熱交換器の計測データを使用した。測定期間は2015年1月1日から12月31日である。この年の水槽の水の加温期間は2015年1月21日から11月19日であった。チョウザメ施設の消費熱量は各月の上旬、中旬、下旬の積算値として集計した。なお、年ごとに気温が変動しても地下水の温度が安定していることから、チョウザメ飼育施設の消費熱量の年ごとの変動は無視できると考えた。

IV. 水槽加温可能期間の検討と将来の熱利用に向けたシミュレーション手法の活用

図-2に2015年の気温でシミュレーションした中鹿追BPの余剰熱量とチョウザメ飼育施設で実測した消費熱量を示す。チョウザメ飼育施設加温期間の消費熱量平均値は0.94GJ/dであった。いずれの時期も消費熱量が余剰熱量を下回ったが、1~2月の冬期では、その差は小さい。

次に、水槽を安定して加温できる期間を明らかにするため、20年分のシミュレーションで得られた余剰熱量から、チョウザメ飼育施設での消費熱量平均値の

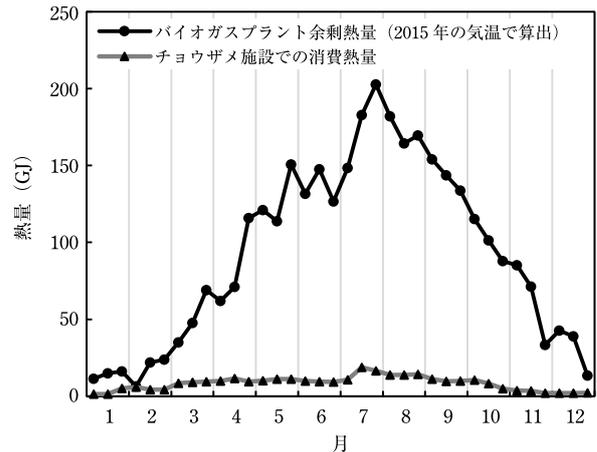


図-2 バイオガスプラント余剰熱量およびチョウザメ飼育施設での消費熱量

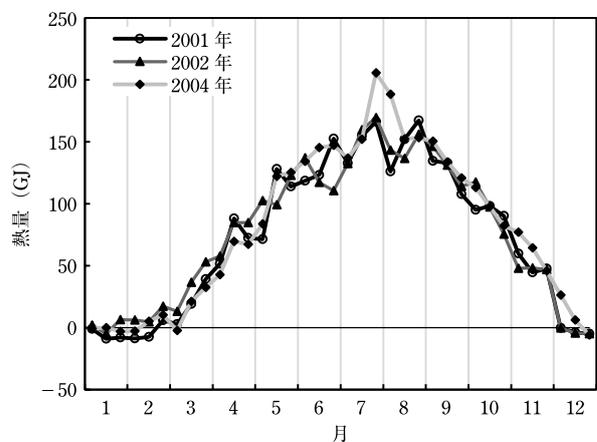


図-3 余剰熱量から水槽での消費熱量を差し引いた熱量

0.94GJ/dを差し引く計算を行った。以下、この計算結果を「利用後熱量」という。利用後熱量がマイナスを示す場合は、プラントから発生する余剰熱量だけではチョウザメ飼育施設を加温できないことを意味する。図-3に、利用後熱量がマイナスとなる旬が春期に最も遅かった2004年と、冬期に最も早かった2001年および2002年の計算結果を示す。2004年は3月上旬に、2001年および2002年は12月上旬に利用後熱量がマイナスを示した。したがって、気温の変動に影響されずにチョウザメ飼育施設を安定的に加温するためには、加温期間を3月中旬から11月下旬とすることが適当であるとわかった。また、図-3より、この期間にはさらに利用可能な余剰熱が発生しているとわかった。

本報では、余剰熱のみを利用した水槽の加温可能期間をシミュレーションにより明らかにしたが(図-4上段)、余剰熱発生量が少ない冬期に水槽を加温するケース(図-4中段)や、余剰熱量の利用度を高めるケース(図-4下段)などの検討も可能である。鹿追町

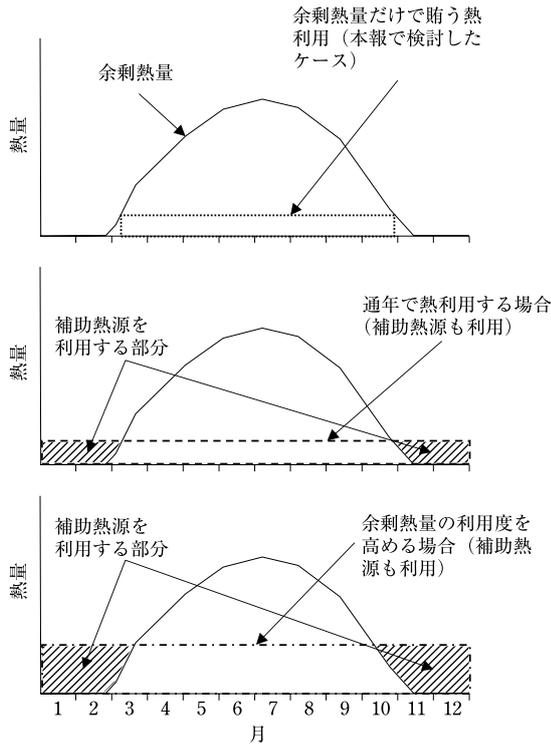


図-4 将来の熱利用検討のイメージ

では外部機関の助言を得ながら、チョウザメの生育に最適な水温管理方法を調査している。今後、チョウザメの成長促進による収益増加を推定できれば、補助熱源に必要な燃料購入経費との比較検討が可能となる。

V. おわりに

寒冷地の集中型バイオガスプラントによって再生可能エネルギーである電力を産出し続けるためには、プラントの経営を安定させるために、熱の有効利用を図る必要がある。

北海道鹿追町では、集中型バイオガスプラントから発生する余剰熱をチョウザメ飼育施設の水槽の加温に利用する試験を2014年に開始した。チョウザメ飼育施設で実測した消費熱量と、過去20年間の気温データを用いた余剰熱量のシミュレーション結果から、チョウザメ飼育施設を安定的に加温するためには、加温期間を3月中旬から11月下旬とするのが適当であるとわかった。

鹿追町では2018年に8区画の屋外人工池を建設し、成長した大型魚の飼育環境整備を進めている。また、チョウザメの成長を促進させるための温度管理方法などの調査を続けている。前述のとおり、鹿追町ではチョウザメの魚卵からキャビアを製造し、新たな特産品として出荷することを目指しており、経済効果についての評価は今後の課題である。鹿追町では瓜幕BPにおいても余剰熱の有効利用が検討されており、

筆者らは今後もシミュレーションの手法を活用して、バイオガスのエネルギー利用による地域の活性化に協力していきたい。

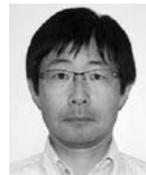
謝辞 鹿追町役場の城石賢一氏には鹿追バイオガスプラントでのエネルギー収支計測にご協力いただきました。また、同役場の鈴木 綾氏にはチョウザメ飼育施設のエネルギー収支データを提供いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 中山博敬, 干場信司, 横濱充宏, 城石賢一, 植松武泰, 森田 茂: 大規模バイオガスプラントにおけるガス利用方法とエネルギー収支の特徴, 2011年度農業施設学会大会講演要旨, pp.59~60 (2011)
- 2) 中山博敬: メタン発酵施設における再生可能エネルギー利用について, 畜産技術 692, pp.15~18 (2013)
- 3) 吉田文和, 村上正俊, 石井 努, 吉田晴代: バイオガスプラントの環境経済学的評価, 廃棄物資源循環学会論文誌 25, pp.57~67 (2014)
- 4) 中山博敬: デンマークのバイオガスプラント視察報告, 農業土木北海道 35, pp.53~57 (2013)
- 5) 北海道鹿追町: 施設紹介リーフレット「鯨鮫ーチョウザメー」
- 6) 北海道鹿追町: 「北の住まいるタウン」の実現に向けて (鹿追町) (2017), <https://www.town.shikaoi.lg.jp/file/contents/1133/8307/2906kitanosumairu.pdf> (参照2018年12月31日)
- 7) 北海道鹿追町: バイオガスプラントの特徴, <https://www.town.shikaoi.lg.jp/work/biogasplant/tokucho/> (参照2019年1月5日)
- 8) 土木研究所寒地土木研究所: バイオガスプラント運転シミュレーションプログラム, プログラム著作物 P8806-1, (2006)
- 9) 中山博敬, 干場信司, 石田哲也, 横濱充宏, 今井俊行, 菱沼竜男, 森田 茂: バイオガスプラントにおけるガス利用方式の違いが運転時のエネルギー収支に及ぼす影響, 農業施設 42(3), pp.109~118 (2011) [2019.2.18.受理]

略 歴

中山 博敬 (正会員・CPD 個人登録者)



1971年 北海道に生まれる
1997年 酪農学園大学大学院修士課程修了
北海道開発局開発土木研究所
2015年 土木研究所寒地土木研究所
現在に至る

横濱 充宏



1963年 北海道に生まれる
1987年 北海道大学農学部卒業
北海道開発局土木試験所
2015年 土木研究所寒地土木研究所
現在に至る