

〈特集〉

バイオマス資源の利用によるゼロカーボン社会への挑戦

安東 貴史

北海道興部町 まちづくり推進課 バイオエネルギー推進係 係長
(〒098-1692 北海道紋別郡興部町字興部710 E-mail: takasi.andou@town.okoppe.lg.jp)

概要

北海道は日本有数の酪農地帯であり、オホーツク海に面する興部町においても酪農が基幹産業である。この基幹産業が発展する一方で、家畜ふん尿処理の問題が顕在化し適正処理が求められてきた。ふん尿処理施設であるバイオガスプラントを活用した環境負荷の低減や再生可能エネルギーへの取り組み、化石燃料に代わるカーボンニュートラルな有用ケミカル製造の研究開発について紹介する。

キーワード：酪農、バイオマス、カーボンニュートラル、有用ケミカル、再生可能エネルギー

原稿受付 2022.5.9

EICA: 27(1) 7-12

1. はじめに

興部町は北海道の北東側オホーツク海に面する酪農、漁業を基幹産業とする一次産業の町である。年平均気温が6℃程度と年間通して冷涼な気候から、酪農に適しており近年では乳牛飼養頭数で11,000頭、生乳生産量は5万トンを超えるほど生乳生産が盛んな町である。興部町の酪農業は昭和30年代頃から盛んになり、それまでは畑作中心の町であった。もともと冷涼な気候ではあったが、当時度重なる冷害の影響により、より土地に適した農業へ転換することを迫られ、町をあげて酪農へ大転換を行った。当時1戸あたりの飼養頭数は平均2頭程度であったが、現在は180頭を数えるまで成長を遂げ、基幹産業となるに至った。その一方で、飼養頭数の増加によるふん尿処理問題が顕在化してきた。この問題を解決するだけでなく、同時に産出されるバイオエネルギーとして活用すべく興部町のゼロカーボンへの取り組みについて紹介する。

2. 酪農業の変化

2.1 循環型酪農とふん尿処理

酪農業は、私たちの生活に欠かすことのできない生乳の生産を行なっている。北海道の生乳生産は400万トンを超え、日本全国の約半分の生産を担っている。北海道の農業総生産額で見ると35%をこの生乳生産が占めており農業全体としても大変重要な産業である。北海道の生乳生産量は年々増加傾向にあるものの、酪農家戸数は担い手不足による離農が相次ぎ、平成22年の21,900戸に対し、令和3年には13,800戸と約37%の減少傾向にある (Fig. 1)。酪農家は、飼養す

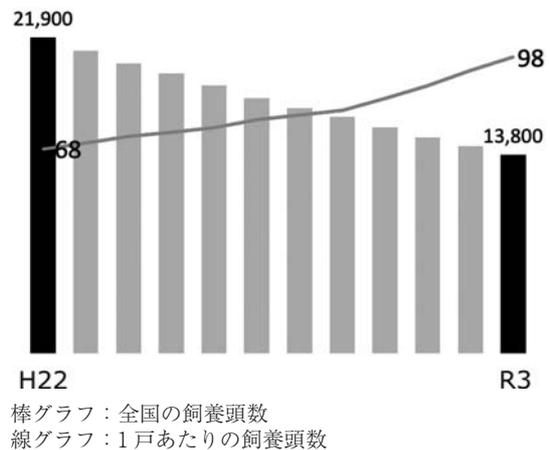


Fig. 1 飼養頭数の変化

る乳牛に与える餌作りのため、それに見合った牧草地を抱えている。離農した場合には近隣の酪農家が牧草地を引き続き管理することもあり、飼料生産と生乳生産の均衡を保ちながら経営を行う。このように、離農の増加による酪農家の規模拡大が見られると同時に、近年では、国の環太平洋パートナーシップ協定 (TPP) 対策事業を活用した規模拡大を進められており、設備の増築や更新等が盛んに行われてきた。その結果、1戸あたりの飼養頭数は増加傾向にあり、平成22年の平均68頭に対し、令和3年には98頭と、この12年間で約1.4倍に成長を遂げている¹⁾。増加する乳牛に対応すべく、飼養形態や搾乳方法の変更、またふん尿処理方法の変化につながった。このような酪農を取り巻く環境の変化が、ふん尿処理問題という新たな形で現れることになる。

2.2 飼養形態の変化

酪農家の使用形態は主につなぎ飼いと放し飼 (フ

Table 1 飼養形態による違い

項目	つなぎ飼い	放し飼い
搾乳方法	ミルクカー	パーラーやロボット
ふん尿処理方法	堆肥化	スラリー化
酪農家規模	小規模	中大規模
飼養頭数目安	50頭未満	50頭以上

リーストール) に大別される。前者は家畜を繋いだまま飼育する形態であり、飼養頭数が少ない酪農家に多く見られる。後者は牛舎内を自由に歩き回れる状態で飼育されており、飼養頭数が多い酪農家に見られる。他にも搾乳方法やふん尿処理方法にも違いがあるため、Table 1 に示す。

家族経営等、少人数で営農をしているつなぎ飼いの酪農家の飼養頭数が増加することにより、飼養形態も含めてより高効率な経営を行えるよう、リーストール(放し飼い)化する傾向にある。これまでつなぎ飼いにおけるふん尿処理では、高固形分である糞を好気性発酵による完熟堆肥化を行っていた。これを、リーストール化することによりスラリーとして処理することに移行するため、ふん尿の完熟化が困難となる。さらにこれを起因とする様々な問題が顕在化し始めたのである。

2.3 ふん尿処理の問題点

規模拡大による飼養形態の変化により、ふん尿の完熟化が困難となることにより様々な問題が発生することになる。酪農家は飼養する家畜に給餌するための餌を自らが所有する牧草畑等で生産する。その生産の際に飼養する乳牛のふん尿を肥料として牧草畑等に還元する循環型酪農を行なっている。このふん尿が未熟な状態であることにより次の問題が発生する(Photo. 1)。

(1) 散布時の悪臭

ふん尿は発酵処理されることにより、ふん尿中の悪臭物質である有機酸やメチルメルカプタン、アンモニア等が分解されることにより悪臭の低減が図られる。未熟状態であるスラリー状のふん尿は十分にこの分解が進んでいないため、悪臭物質が残存したままとなり、草地等に還元する際に悪臭の拡散につながる。この悪



Photo. 1 肥料散布の様子

臭の拡散は、牧草地を多く抱える酪農地帯では大きな問題点である。

(2) 雑草種子の拡散

前述の通り乳牛は牧草等を飼料としている。牧草地にはチモシー等に代表される牧草品種の他にも栄養価の低い雑草も植生している。牧草の収穫は大型機械により収穫するため、雑草の選別を行うことができない。乳牛は知らず知らずのうちに栄養価の低い雑草も与えられる事となる。乳牛の体内では4つの胃により消化されふん尿として排出されるが、体内に入り込んだ雑草に含まれる種子は消化後も不活化されずに排出される。その雑草種子を含んだふん尿が牧草地へ散布されることから、栄養価が相対的に低い飼料生産につながってしまう。このように良質な飼料生産の妨げになってしまうことが大きな問題となっている。

3. バイオガスプラント

3.1 メタン発酵によるふん尿処理

前述した様々な問題を解決すべく、北海道では近年ふん尿をメタン発酵処理するバイオガスプラント(以下、BGP)が導入され、酪農基盤の強化と住民生活基盤の向上につなげる取り組みが行われている。興部町においても2006年に個人酪農家がBGPを導入したのを皮切りに、2015年には町内一のメガファームが、2016年には町営の興部北興BGP(Photo. 2)を導入し、3基で町内の2割に相当するふん尿をメタン発酵処理している。この3基のBGPはそれぞれメタン発酵過程で発生するバイオガス(CH₄, CO₂で構成)を用いバイオガス発電を行い、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(以下、FIT制度)により売電を行なっている。このように、BGPは酪農におけるふん尿処理の問題点を解決と再生可能エネルギーを創出する複合的な施設である。このことは、太陽光発電を代表とする他の再生可能エネルギー生産設備と大きく異なる点である。



Photo. 2 興部北興バイオガスプラント

3.2 バイオマス資源の有効活用

興部町では、2000年の新エネルギービジョン策定後から、再生可能エネルギーを活用した研究を進めてきた。2008年には興部町内に賦存するバイオマス資源の調査を行い、家畜ふん尿の他、生ごみ、下水汚泥、林地残材等の活用可能性が明らかとなり、興部町のバイオマスを活用したまちづくりの基礎となった。

2009年度には、前述の2006年稼働のBGPでの生ごみと家畜ふん尿の混合発酵処理を開始。また同年、一般家庭におけるデスポーザーの導入支援を開始し、家庭から排出される生ごみ量の軽減対策を行うなど、生ごみの資源化に関する取り組みを始めた。

2014年には国が認定するバイオマス産業都市に選定され、2016年の興部北興BGPの稼働以降、本格的にBGPでのバイオマス資源の活用を始めた。前述の生ごみは受け入れ先を興部北興BGPに変更し処理を開始。また、下水終末処理場から排出される脱水汚泥も資源として受け入れを行なっている。現在は、家畜ふん尿の他生活系バイオマス資源の処理を行う、多面的機能を持つ施設として稼働している (Fig. 2)。

3.3 BGPの普及に大きな課題

このように、BGPは酪農の問題解決に寄与するほか、生活系バイオマスの利活用において重要な施設であることは、北海道のみならず全国的に広く認知されるようになり、導入を望む声が高まっている。その一方で、高額な設備であることから事業採算性の確保が非常に重要であり、その採算性を確保するためにFIT制度による売電 (以下、FIT売電) の収益をもって運営する事業形態が一般的である。現在稼働しているBGPのほとんどがこの運営モデルであり、FIT制度が施行されたことにより、導入が進んだという背景でもある。しかし今、その運営モデルが崩壊しようとしている。北海道では一般送配電事業者が所有する電力系統の空き容量不足が顕著に見られ、電力系統への接続が困難な事例が発生しているのである。興部町に

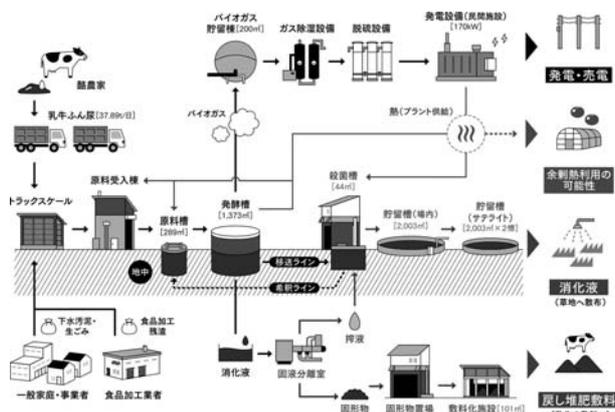


Fig. 2 BGP システムフロー

においても、BGPによる酪農基盤の更なる強化を目指し新規BGP建設計画の検討を進めていたところであるが、運営にとって重要な収入源となるFIT売電が行えない以上、新たな収益モデルの検討を進めることになるが、それに代わるモデルの構築は容易ではない。先述の通りBGPの運営モデルのほとんどがFIT売電モデルだからだ。FIT売電は、BGPをはじめとする再生可能エネルギーの普及に大きく貢献したのは事実であるが、普及が進んだ今、新たな課題となってしまう。

3.4 新たな収益モデルの構築

FIT売電による運営モデルが一般的なBGPであるが、北海道各地で新規BGP建設のため、売電以外の方法による運営モデルの検討が進められている。バイオガス発電では、原料となるバイオガスが安定して発生することから、年間通して安定した発電が可能である。太陽光や風力など気象条件により発電出力が変動する再生可能エネルギーの調整力としても期待されている。また、バイオガス発電を中心としたマイクログリッドの構築や、バイオガスを液化天然ガス(LPG)や水素に変換する実証試験が北海道各地で進められている。このように、北海道各地でBGP導入によるふん尿処理を進めるべく、酪農現場でエネルギー政策が進められているのである。酪農現場における資源の循環とエネルギーによる資金の循環が両輪となり始めてBGP事業が成立するのである。また、現在FIT売電により事業を行なっているBGPもFIT売電収入は20年間の期限付きであることを忘れてはならない。20年経過後、地域で生み出されるエネルギーをいかに地域で活用するかも検討していく必要がある。

4. 異分野との出会い

4.1 大阪大学との連携協定

興部町においても新規BGP建設に向け、様々な可能性について模索している中、異分野との出会いにつ



(左からが筆者、興部町長、大阪大学関係者)

Photo. 3 連携協定締結式

ながった。興部町は新たなバイオガスの活用によるBGPの普及のため、2019年6月26日に国立大学法人大阪大学と連携協定を締結した(Photo. 3)。バイオガスから有用ケミカルであるメタノールとギ酸を生産するための協定である。2017年12月、大阪大学の久保教授の研究グループが発表した論文^{2,3)}がきっかけだ。

4.2 ドリーム反応との出会い

大阪大学の久保教授の研究グループが発表した論文は、常温常圧でメタンをメタノールとギ酸に変換するという内容だ。これはメタンの酸化反応であり、通常メタンを酸化させると、二酸化炭素と水に分解される。この反応の途中では、メタノール・ギ酸などが存在するのだが、メタノール等はメタンより酸化しやすいため、酸化を途中で止めてメタノール等を取り出すことができない。このメタンの酸化反応は世界中の化学者が幾度となく挑戦したが、実現できなかったドリーム反応と言われていたが、久保教授が世界で初めて成功した。この反応の論文が2017年12月に発表され、様々な可能性を模索していた我々の目に止まった。

4.3 ブラックアウト

論文が発表されてから約10ヶ月経過した2018年9月。北海道胆振東部地震が発生し、北海道全域が長期間停電するブラックアウトが発生した。例に漏れず興部町も全域停電し、電気がない生活を迫られた。特に酪農業においては、牛舎環境、搾乳、ふん尿処理全てにおいて電気は欠かすことができないものである。特に搾乳ができない状態は牛体に大きな影響を与えるため、非常用発電機の確保に奔走した。搾乳後の生乳はバルククーラーに貯留されるが、冷却するためにも電気が必要。酪農業において電気が供給されないことは死活問題なのである。その時、発電所を有するBGPは、系統電力が不安定であることから発電も停止。エネルギー源であるバイオガスは常に発生するものの、供給ができない状態となった。この経験からも、電力系統に頼らない、FIT売電に頼らない、新しいエネルギー循環システムの必要性を強く感じた。

4.4 偶然の一致

ブラックアウト発生後、新たなエネルギーシステムの構築のため、全国各地の事例の再検討をする中で、メタン酸化技術がBGPの普及に寄与する可能性を秘めていることから、大阪大学の久保教授へ打診することとなった。

通常、メタノールの製造は、天然ガスを高温・高圧という環境下で大量のエネルギーを使用しながら生産

されている。一方、大阪大学の開発した技術は常温常圧での反応であることから、大規模な設備投資を要することなく、BGPへの併設の可能性が視野に入る。また生成物であるメタノールは停電等災害時のエネルギーとして、またギ酸は水素キャリアとして注目されており、新しいエネルギー循環システムの構築に貢献する。さらにはこの反応においてはCO₂排出ゼロであり、カーボンニュートラルなバイオマス資源から生産されるメタンを活用することから、日本のゼロカーボンに向けたメタン排出源対策にも貢献する技術である。

5. カーボンニュートラル循環型酪農システム

5.1 化学が酪農を変える

2019年6月の連携協定締結後、興部町営の酪農研究機関であるオホーツク農業科学研究センターにおいて共同研究を進めた。このオホーツク農業科学研究センター(Photo. 4)は、基幹産業である酪農業を多角的に分析し、酪農経営のサポートを目的として平成4年に開設された施設である。牧草の品質や牧草地土壌の分析、乳汁や血液検査など多岐にわたる分析が可能であり、長く興部町の酪農を支えてきた。このような研究施設を有していたため、メタン酸化反応の共同研究に必要な基盤が当初から整備されていたことも、本研究が加速するきっかけとなった。約1年に渡り、大阪大学と興部町両者の研究フィールドで実証研究を進め、2020年7月には、世界で初めて家畜ふん尿由来のバイオガスからメタノール・ギ酸の製造に世界で初めて成功し発表した。化学と酪農が結びついた瞬間であった。

5.2 有用ケミカルの国内生産

町営の興部北興BGPでは、成牛換算560頭分のふん尿を処理しており、メタン発酵後のふん尿は「消化液」と呼ばれる良質な牧草の肥料に生まれ変わる。また、メタン発酵の際に発生するバイオガスは年間50



Photo. 4 オホーツク農業科学研究センター

万 m³生産され、それを全量本技術で変換すると理論上、メタノールは 80 トン、ギ酸は 400 トン生産可能である。本技術が確立されることにより、日本全国の乳牛 135 万頭に適用することにより日本のメタノール輸入量の 2 割を補える計算となる。現在、メタノール及びギ酸は全量輸入されており国内生産がされていないことから、この技術は将来的に国産エネルギーを製造することが出来るだけでなく、バイオケミカル生産などの新産業創出につながることになる。

5.3 新たな BGP のモデル構築へ

最終的に目指すのは、町内に賦存する家畜ふん尿を最大限に活用し、良質な飼料生産を行うカーボンニュートラル循環型酪農システム (Fig. 3) の構築である。メタン発酵とメタン酸化技術を組み合わせることにより、酪農基盤強化とゼロカーボンの取り組みに貢献する。家畜ふん尿はメタン発酵消化液として良質な飼料生産に貢献し、生乳生産基盤の強化につなげる。メタン発酵により発生するバイオガス中の二酸化炭素は、ハウス栽培において光合成の促進に活用され、メタンはメタノール、ギ酸に変換される。メタノールは、BDF の製造や燃料電池の燃料としてエネルギー利用を。ギ酸はサイレージ生産時の添加物として利用するほか、水素キャリアとしての活用も見込める。生成物が常温常圧で液体として存在することから可搬性に優れ、活用方法は多種多様である。このように、家畜ふん尿を原料とする BGP には多くの可能性を秘めており、FIT 売電だけではない新たなモデル構築が可能だ。

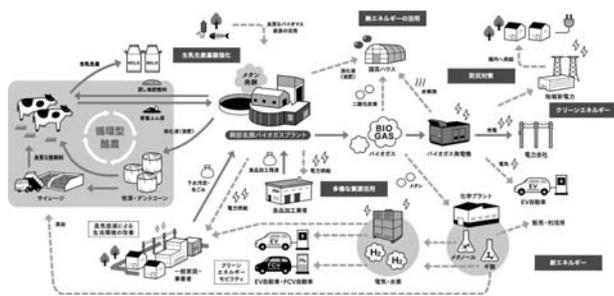


Fig. 3 カーボンニュートラル循環型酪農システム

6. ゼロカーボン北海道

6.1 持続可能な脱炭素化

2020 年の国のカーボンニュートラル宣言以降、今までにない勢いで 2050 年カーボンニュートラルに向けた動きが加速している。北海道においても 2013 年度に対比して温室効果ガスの削減を 48%⁴⁾とする高みを目指した目標を掲げ、「ゼロカーボン北海道」と銘打って取り組みを先導している。ゼロカーボンの取り

組みは容易ではない。我々の生活において石油製品はあらゆるところに存在しており、脱石油を意味するゼロカーボンを達成するには、産業革命以上の変化が求められる。しかしながら、急激な変化は痛みを伴い、人口減少が進む中、持続可能な脱炭素化により産業の転換を図っていく必要がある。ゼロカーボン推進により、生活の困窮や町の産業が衰退していくことは避けなくてはならない。

6.2 町の産業とゼロカーボン推進

カーボンニュートラル循環型酪農システムは、町の産業を守りつつ、新たな産業を創出し、ゼロカーボン推進にもつながる画期的なシステムである。酪農業以外にも適用可能で、バイオガス発電で発生する熱を有効活用した漁業における陸上養殖への展開、運輸部門での EV 推進など、今後予想される産業転換に適用可能な技術として活用可能である。そのことにより、町の産業を守りながら適正に転換し、持続可能なまちづくりにつなげていくことをこのシステムの発展の先に見据える (Fig. 4)。

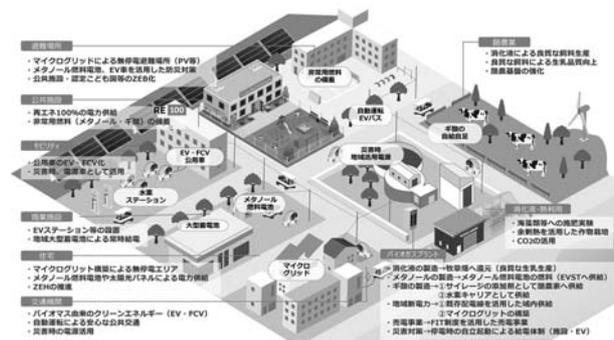


Fig. 4 興部町のまちづくり

7. おわりに

本稿では、酪農業における課題とそれを解決すべく BGP の取り組みについて紹介した。BGP は酪農飼料生産基盤の強化と、住民生活環境の改善が当初の目的であったが、時代の変化と共にエネルギー政策や地球温暖化対策など、非常に多面的な要素・視点を持ち合わせている施設であり取り組みである。同様な取り組みが興部町周辺でも活発であり、同様の目的を共同で進めるべく、北オホーツク地域循環共生圏の構築につながるなど、バイオマス資源が鍵となり地域づくりが進められている。BGP やメタン酸化技術の研究成果が、北海道また全国に波及し、日本の経済を支える技術となることを目指し、これからも興部町はバイオマス事業を推進する

参考文献

- 1) 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課：畜産統計調査
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/index.html>
- 2) K. Ohkubo and K. Hirose: Light-driven C-H Oxygenation of Methane into Methanol and Formic Acid by Molecular Oxygen Using a Perfluorinated Solvent. *Angewandte Chemie International Edition*. Vol. 57, pp. 2126-2129 (2018)
- 3) 日本特許, 6080281 (2017)
- 4) 北海道環境生活部ゼロカーボン推進局気候変動対策課：北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/tot/ontaikeikakukaitei.html>