

【論 文】

バイオガスプラントの環境経済学的評価

— 北海道鹿追町を事例として —

吉田 文 和*・村上 正 俊**・石井 努**・吉田 晴 代***

【要 旨】 国内最大のバイオガスプラント、北海道鹿追町環境保全センター施設を対象として、循環型社会を分析する物質循環、制度・参画者、経済の3つの視点から、その持続的操業成功の要因を分析した。物質循環では、有機系廃棄物の循環利用とエネルギー生産が行われている。制度・参画者では、地域の環境問題解決に町がリーダーシップをとり、関係者を巻き込んで入念な事前調査に基づくプラント設計、運転トラブル防止対策がとられた。経済分析では、プラントの運営収支および投資効果の分析と、公益的機能の定量的分析を通じて、以下の点が明らかとなった。FIT（再生可能エネルギー固定価格買取制度）適用により売電収入が大幅増となっても、廃棄物処理は依然として収入の柱である。FITが適用されても初期投資の回収が十分に行われない原因は、熱利用が不十分なこと、ならびに環境保全などプラントの公益的機能が十分評価されなかったためである。バイオガスプラントへのFIT適用と補助金による支援には正当性がある。

キーワード：バイオガスプラント、家畜糞尿、FIT（再生可能エネルギー固定価格買取制度）、有機系廃棄物の処理、循環型社会

1. はじめに：論文の目的

家畜糞尿バイオガスプラントは、家畜糞尿等を主原料として、飼料残渣等、有機系廃棄物を投入し、メタンガスを発生させ、その燃焼エネルギーを利用して、電気と熱を生産する施設である。そのため、日本では新たに導入された再生可能エネルギー固定価格買取制度（以下FITと略）により、バイオガスプラントからの電力は、39円/kWh（税込40.95円/kWh）で20年間買取りされることになった。それだけでなく、メタンガス発生過程の副産物である消化液は、循環資源として使用できる。そのためバイオガスプラントは、①有機系廃棄物の適正処理、②再生可能エネルギー資源の生産、③地域資源の循環利用（消化液）、という3つの特徴を有する。した

がって、バイオガスプラントの環境経済学的評価が求められているのである。そこでは、電力のみならず、熱および廃棄物の循環利用の総合的評価が必要となっている。

日本におけるバイオガスプラント普及の背景を見ると、国内の畜産業の大規模化によって、家畜糞尿による環境負荷の増大が深刻化してきた¹⁾。そのため1999年には家畜排せつ物法が施行された。北海道では、この対応策の一つとして、2000年前後から累計50基以上のバイオガスプラントが設置、運転されてきた²⁾。しかし、現実には管理コストの高さ、冬期の凍結等、機械的トラブルの発生、またエネルギー発生量や消化液が計画どおりに出ないなどの理由により、現在まで継続して運転しているバイオガスプラントは多くはない³⁾。

そのなかで、この種のバイオガスプラントのうち、国内最大級の集中型プラントが、北海道十勝鹿追町において2007年から継続して運転してきた。その成果と課題を考察することによって、バイオガスプラントの環境経済学的評価が可能になると思われる。その際に、バイオガスプラントは有機系廃棄物の総合的処理施設であることから、循環型社会を分析する3つの視点を、方法論として活用することで、この課題に答えようとするものである。

原稿受付 2013. 12. 24 原稿受理 2014. 5. 13

* 北海道大学大学院 経済学研究科

** 農地域計画センター 地域調査部

*** 札幌大学

連絡先：〒060-0809 札幌市北区北9条西7丁目

北海道大学大学院経済学研究科 吉田 文和

E-mail: yoshida@econ.hokudai.ac.jp

2. 方法論：循環型社会を分析する3つの視点

はじめに、分析の方法論として用いる循環型社会分析の3つの視点について説明したい。3つの視点とは、①物質循環分析、②制度・参画者分析、③経済分析であり、これらを統合することにより、循環型社会を分析する方法である。この方法ですでに国内の個別リサイクル制度を含めた循環型社会の分析を行ってきた⁴⁾。

物質循環分析とは、糞尿の発生による悪臭や水質・土壌汚染等の環境問題について、物質の投入と産出の両面を明らかにすると同時に、地域資源の循環的利用という面から、化学肥料に代わる消化液利用等についても検討する。糞尿処理は、プラントのみの分析にとどまるのでは不十分であり、地域の資源・環境条件との関係、酪農経営との関わりにおいて検討する必要がある。

制度・参画者分析とは、問題解決に関わる法律・制度を背景に、国と都道府県、市町村、農家、地域住民、農協、施設メーカー、施設管理・運転者等、関係者の役割分担と協力による計画づくり、糞尿の貯蔵・回収処理、消化液の配布・散布システム構築等、知識と経験を積み重ねて、どのように問題対処の能力構築を果たしてきた

かを解明する。

経済分析は、第1にバイオガスプラント関連施設の建設費と毎年の運営収支、補助金分も含めた投資回収について、減価償却に基づいて計算し、投資効果について検討する。第2に環境対策等、公益的機能の便益評価を行う。それらを併せてプラントの投資効果、補助金の果たす役割、プラントの更新を含めた持続可能性を評価することができる。

3. 物質循環分析

北海道の十勝地方に位置する人口5,600人の鹿追町は、酪農、畜産、畑作等、農業と観光を産業の柱とし、町内で乳牛1万4千頭、肉牛1万頭(成牛換算頭数)を飼育している。1万2,364haの農地に対して、1haあたり平均2頭の家畜飼育の密度となる。鹿追町における農地の肥料成分要求量(環境容量)と家畜糞尿発生量と比較すると、農地の環境容量はN=426 ton/ha、P₂O₅=383 ton/ha、K₂O=1,193 ton/haであるのに対し、家畜排せつ物発生量は含水率70%の堆肥換算で、N=283 ton/ha、P₂O₅=254 ton/ha、K₂O=792 ton/haであることから、畑作農

表1 鹿追町における家畜排せつ物発生量と環境容量との比較

区 分	作付面積または家畜頭数 (ha, 頭)	堆肥の施用限度量または堆肥発生量			肥料成分換算量				
		N (kg/ha) (kg/頭)	P ₂ O ₅ (kg/ha) (kg/頭)	K ₂ O (kg/ha) (kg/頭)	N (ton/ha)	P ₂ O ₅ (ton/ha)	K ₂ O (ton/ha)		
	①	②	③	④	①×②	①×③	①×④		
環境容量	飼料畑	牧草	4,929	40	36	112	197.2	177.4	552.0
		青刈りトウモロコシ	1,498	50	45	140	74.9	67.4	209.7
		計	6,427	/	/	/	272.1	244.8	761.7
	普通畑	小麦・雑穀	1,741	30	27	84	52.2	47.0	146.2
		ばれいしょ	1,011	30	27	84	30.3	27.3	84.9
		てんさい	1,193	30	27	84	35.8	32.2	100.2
		豆類	683	30	27	84	20.5	18.4	57.4
		スイートコーン等野菜	509	30	27	84	15.3	13.7	42.8
		計	5,137	/	/	/	154.1	138.6	431.5
	合 計	11,564	/	/	/	426.2	383.4	1,193.2	
家畜排せつ物発生量	堆 肥	乳牛(搾乳牛)	13,868	11.79	10.61	33.01	163.5	147.1	457.8
		肉牛(乳用種)	10,110	11.79	10.61	33.01	119.2	107.3	333.7
		計	23,978	/	/	/	282.7	254.4	791.5
環境容量-発生量		/	/	/	/	143.5	129.0	401.7	

注1：作物別作付面積および家畜飼養頭数(成牛換算頭数)は「鹿追町調べ、2011年」による

注2：堆肥の施用限度量は土壌条件別にみる作物の成分要求量「北海道施肥ガイド、北海道農政部、2003年⁵⁾および堆肥の肥効^{*}「家畜ふん尿処理利用の手引き、北海道立農業畜産試験場、2004⁶⁾」から算定した

注3：堆肥発生量は「堆肥化施設製造マニュアル、中央畜産会、2000年⁷⁾」に基づき、含水率86%の生ふんを原料に水分調整材として麦稈(含水率5%)を用いて、含水率70%の堆肥を製造した場合の肥料成分含量

注4：生ふん発生量は「家畜ふん尿処理利用の手引き、北海道立農業畜産試験場、2004⁶⁾」による

注5：牛尿は、作付作物が牧草単一の地域では、飼料のカリウム過多による家畜疾病(グラスタニー症^{**})要因となるが、鹿追町の場合、畑作物への牛尿施用が可能であることから堆肥量換算で算定した

※「肥効^{*}」とは、有機性肥料に含まれる成分のうち作物に吸収・利用される割合を示す(化学肥料≒100)

※※「グラスタニー症」とは、牛や羊において飼料となる牧草のカリウム過剰を主な原因とする低マグネシウム血症で、興奮および痙攣等の神経症状を示す疾病である

家の家畜ふん尿利用を促進することで環境容量の範囲内で有機性資源の循環利用を図ることが可能であり(表1)、鹿追町「新エネルギービジョン2009」でも、町内の牧草・畑作物への消化液散布が十分可能としている。

それによれば家畜糞尿のバイオガス資源としてのポテンシャルは、同町のすべての家畜糞尿発生量を仮にバイオガスプラントで処理して発電した場合、約2,000万kWhの電力を発電可能であり、同町の消費電力量とバランスするものとなる。

本プラントは、そのなかで同町家畜糞尿発生量の約10分の1を処理する。国内最大級のバイオガスプラントであり、冬期の平均最低気温が -7.7°C という積雪寒冷地の厳しい環境下で運転されている。全酪農家約100戸のうち、11戸の酪農家(フリーストール7戸、スタンション4戸)から、麦稈等の長い敷料が混ざる乳牛糞尿を運搬用車両2台で毎日回収する。プラントの処理能力は、家畜糞尿と麦稈等を合わせて95ton/日である。それを主原料として浄化槽汚泥や食品加工残渣等、有機系廃棄物を追加して、中温メタン発酵させる(37日間)。産出物は、メタンガスと消化液(液肥)である。メタンガス専焼タイプのコージェネレーション発電機2基(100kWと200kW)で、電気と熱を発生させる。熱は、施設内の原料槽と発酵槽の加温と近くの温室ハウスの暖房に利用している(図1)。

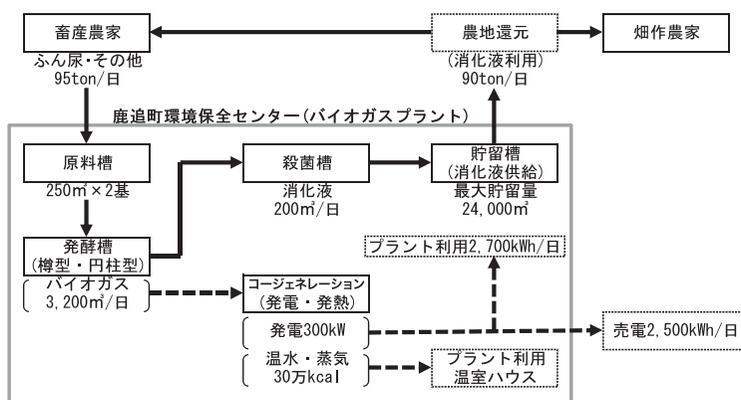
2007年から2012年までの運転経年変化を見ると、変動はあるものの、原料投入の増加と対応してガス発生量が増加している。乳牛糞尿以外の有機系廃棄物投入量(動植物性残渣、浄化槽汚泥、生ごみ)が重量比で2009年から平均約5%程度あり、2009年から処理収入を得ている。さらに、発電量も増加しているため、施設内使

用電力量も増えているものの、売電比率は増えている(図2)。ただし、2010年から2011年5月にかけては200kW発電機が修理のためドイツに送られ、発電量は1/2以下となり、余剰ガスはガスボイラー等で利用された。これと関連して、これまでは各年度とも余剰ガス燃焼装置での消費が数%から10%を超えることもあり、余剰ガス燃焼に相当するバイオガスが利用されずに廃棄されていることになる⁸⁾。その原因はRPS制度(電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法、以下RPS制度と略す)では買取価格が平均7.19円/kWh(昼間9.5円/kWh、夜間4.5円/kWh)と低かったことにもよる。

4. 制度・参画者分析

バイオガスプラントを、鹿追町で建設するにいたったのは、酪農経営に起因するさまざまな環境問題が発生して深刻化し、とくに市街地周辺の酪農家が畑に散布する糞尿からの悪臭問題が深刻であったことによる。1999年には家畜排せつ物法が施行され、家畜排せつ物の管理基準の遵守が求められた。問題解決には市街地周辺の全酪農家参加が必要であり、その条件である集中型のバイオガスプラントの建設が、町から提起された。また、消化液が活用できれば、化学肥料の使用は減り、農産物や食品の残渣等、有機系廃棄物の投入処理を同時に行えば、地域資源の循環的活用と再生可能エネルギーの活用ができることも背景にあった。実際、北海道内の稼働バイオガスプラントの調査によっても、悪臭対策と消化液利用がプラント導入の2大目的である²⁾。

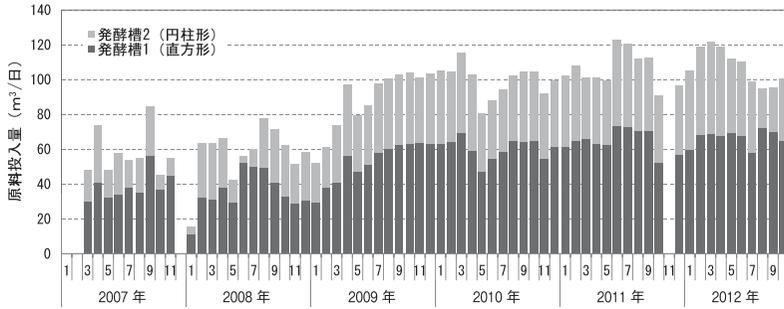
以上のような課題の解決のために、バイオガスプラン



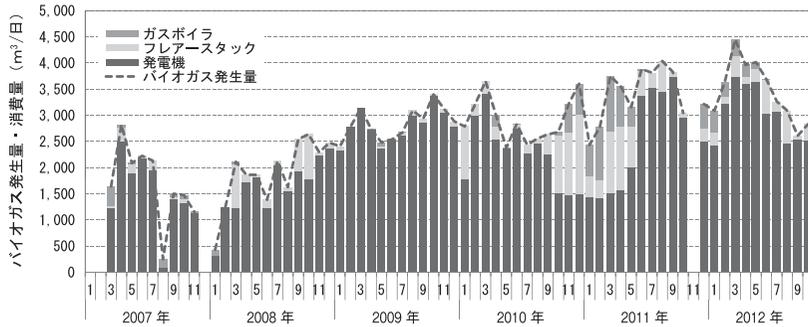
- 注1: \longrightarrow は原料ライン、 \dashrightarrow はバイオガスラインを表す
 注2: 各工程の数値は施設の処理能力であり過年度の処理実績とは異なる
 注3: 発電量のうち売電量とプラント内利用用量は2012年実績

図1 集中型バイオガスプラントの概要

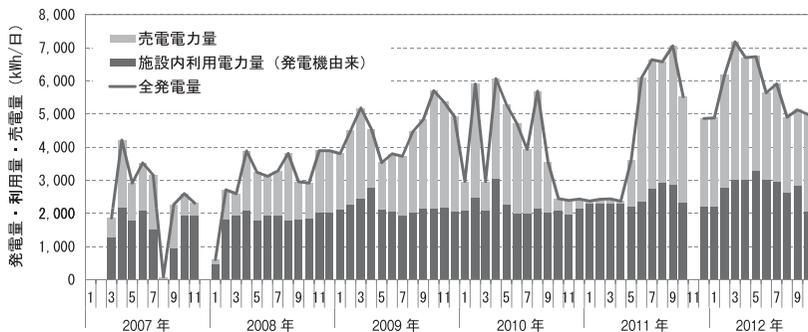
原料投入量



ガス発生量



発電量と売電量



注1：運転継続されたが、データ欠損月（2007年12月、2011年11月）は作図できず

図2 鹿追町環境保全センターにおける物質バランスの推移（2007～2012年）

ト建設が、町において1990年代後半から検討開始され、1999年の家畜排せつ物法施行を背景に2000年代に入り計画の具体化が進み、2006年に正式決定されたのである。国においても、再生可能エネルギー利用拡大の枠組みとして2003年からRPS制度やグリーン電力制度が始まった。さらに2012年からはFITが導入された。これまでのRPS制度では、電力買入は余剰分のみの平均7.19円/kWhであったため、売電のインセンティブが弱く、かつ設備投資のコストと手続きが負担となり、バイオガスプラントによる電力販売はなかなか進まず、この

プラントでも売電収入は収入全体の13%程度にすぎなかった。それが新規のFITのもとでは、40.95円/kWhで売電可能となる。これがプラントの運営にどう影響するかは本論文の検討課題であり、これは5.3で検討する。

バイオガスプラントに関わる関係者、アクターは多岐にわたるが、中心は各酪農家・畑作農家と町関係者である。建設は道営事業であるが、町がイニシアチブをとり、国と北海道の補助金を使い、設計、建設、試運転を行い、町有施設として運転管理は、町と農家からなる鹿追町バイオガスプラント利用組合が行い、糞尿の回収を含め4

人の担当者を雇用した。当事者である農家は、原料の収集、消化液散布等、体制づくりで協議、協力をした。プラントメーカーは、詳細調査、プラント設計・建設・運転に関わった。酪農家と畑作農家との間に交換耕作等の協力関係があったことが、消化液散布実施の基礎となった。消化液の施肥効果を農家に説得するために、実証試験等も重要であった。さらに各酪農家の参加条件として、プラントが確かに自分達の問題解決になり地域にとっても有用だという理解と動機が重要であり、集中型プラント建設による農家の家畜糞尿処理の労力および施設投資の負担軽減も大切な成果であった。

バイオガスプラントの設計に際しては、原料の成分調査を綿密に行い、正確に把握することが極めて重要であった。糞尿は短期変動で不安定であり、天候条件に依存し、季節による変動があり、敷料の変化もある。また集中型プラントの場合、各農家の飼育形態で糞尿の状態が異なる。したがって、原料の種類と量の変動の正確な見積もりや、この変動を考慮したプラントの仕様設計と運転が大切であり、さらにメーカーの協力を得て、プラントの各種トラブル、リスクと解決策をあらかじめ準備することが必要であった。

以上、制度・参画者の側面をまとめれば、自治体のリーダーシップ、農家の理解と協力、施設管理者による説明、この3者の合意形成と役割分担、それに基づく動機と知識、経験の深まりと拡大を通じた能力構築が成功の鍵であるといえる。

5. 投資効果の分析

5.1 分析の方法と減価償却費の算定

分析の目的は、バイオガスプラントの初期投資の費用に対して、プラント運用による効果を明らかにすることである。以下に示すように、初期投資の大部分は補助金で賄われているので、町の実質的負担額は一部である。しかし町がその事業に支払う価値があると考え負担した額なので、これを施設の耐用年数で割る定額法により減価償却費を算定し、運営収支に含めて利益を確定する⁹⁾。さらに、施設の運用期間を通じた累積利益の初期投資額に対する割合を、プラント更新を含めた事業の持続可能性を判断する目安として算定する。

鹿追町のバイオガスプラント建設は、北海道を事業主体とする中山間地域総合整備事業であり、総投資額841,915千円のほとんどは国と道の補助金で賄われる。そのため表2に算定方法を示したように、過疎債充当や交付税措置により、町の実質負担額は総投資額の8%、60,900千円となる。発電施設を伴わない一般の肥培かんがい用「廃棄物処理・利用施設」と発電・熱利用を行う「バイオガス利用施設」とでは前者30年、後者20年と耐用年数が異なるので、各々定額法で減価償却費を算定した。両者合わせて町の実質的負担額の減価償却費は2,537千円とする。なお、「バイオガス利用施設」がFITによる認定発電設備に相当する。

これ以外に、原料収集運搬車と消化液散布機の「機械

表2 鹿追町環境保全センターバイオガスプラントの町実質負担分の減価償却

(単位：千円)

項目	算定法	廃棄物処理・ 利用施設建設	バイオガス 利用施設建設	機械購入	合計
事業費①		422,000	419,915	154,098	996,013
町負担率(%)②		22.5	22.5	50	
町負担額③	①×②	94,950	94,481	77,049	266,480
過疎債充当率(%)④		95	95	95	
過疎債⑤	③×④	90,123	89,677	73,100	252,900
利息⑥		11,628	11,568	9,432	32,628
償還額⑦	⑤+⑥	101,751	101,245	82,532	285,528
交付税措置(%)⑧		70	70	70	
交付税⑨	⑦×⑧	71,225	70,871	57,772	199,868
町実質負担額⑩	(③-⑤)+(⑦-⑨)	30,526	30,374	24,760	85,660
耐用年数(年)⑪		30	20	7	
減価償却費(圧縮)⑫	⑩÷⑪	1,018	1,519	3,537	6,074

注1：鹿追町提供の資料に基づき作成

注2：廃棄物処理・利用施設の建設費は農林水産省「たい肥舎等建築コストガイドラインについて」¹⁰⁾に基づき算定した

注3：廃棄物処理・利用施設の耐用年数は農林水産省「農畜産業用固定資産評価基準」¹¹⁾、バイオガス利用施設は経済産業省資料¹²⁾に基づき算定し、両者の平均25年を施設全体の耐用年数とする

注4：機械購入は、環づくり事業として運搬収集車両2台と消化液散布機1台を購入したもので、これらの車両・機械の償却期間は7年間だが、プラント運営に不可欠なので、同じ条件で繰り返し購入すると考え計上した

購入]費用が154,098千円あり、町の負担率50%、過疎債充当と交付税措置により7年の耐用年数で算定すると3,537千円の減価償却費が必要となる。これを施設の減価償却費に加えると、2.4倍近い高額となる。しかし車両・機械は集合型バイオガスプラントに不可欠であり、これらの購入費用に含めなければ、プラントの投資効果を評価することはできないと考えた(表2参照)。

5.2 プラントの運営収支の分析

バイオガスプラントの2007～2012年の運営収支を表3に示した。表には、筆者等の算定による5.1で述べた減価償却および操業が軌道にのった2009～2012年の運営収支の各項目の平均値も併せて示した。収入を見ると、施設利用料金とされている糞尿処理代金、消化液の散布・販売代金が約60%を占め、浄化槽汚泥や生ごみ等、有機系廃棄物の処理代金は約25%である。投入重量で約5%程度を占める有機系廃棄物の処理収入が収入全体の約25%を占めることは重要である。また有機系廃棄物は消化液のリン成分を高める効果がある。他方、収入のうちで売電が占める割合は13%のみであり、熱や

ガスの販売料金はなく、収入のほとんどは糞尿処理、消化液散布等、プラントの「廃棄物処理・利用」機能に依存した運営形態となっていた。「バイオガス利用」機能による収入は少ないのである。

支出のうち、消化液散布機、攪拌機、発電機等、プラント設備の修繕費と、修繕に必要な部品を含む消耗品費を合わせると全体の50%以上を占める。それに対して、同じく30%以上を占める人件費はプラントの維持管理に当たる従業員3名の給与であり、そのうち2名は原料収集運搬車運転手として雇われている。また燃料費の大部分は上記車両の燃料代である。こうして見ると、集合型プラントに不可欠な原料収集運搬のコストが支出に占める割合も小さくない。

以上の運営収支全体を見ると、償却前利益では全年度で黒字となるが、収入に貢献しているのは有機系廃棄物処理およびそのリサイクル品である消化液の散布・販売代金である。しかし、この利益から町実質負担額の減価償却費を差し引くと、最終利益は6年のうち4年は赤字である。本格稼働となった2009～2012年度の平均でも赤字である。その原因の一つは売電収入が少なく、熱収

表3 鹿追町環境保全センターバイオガスプラントの減価償却を想定した運営収支

		単位：千円						
項 目		2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	09～12年平均
収入	施設利用料金	5,125	8,753	12,040	11,907	14,598	15,252	13,450
	消化液散布	4,503	9,077	11,338	16,968	16,044	16,123	15,120
	消化液販売	0	0	0	0	91	186	70
	堆肥製造	0	0	2,000	2,000	1,000	1,000	1,500
	浄化槽汚泥	3,888	4,566	4,047	3,789	3,619	4,536	4,000
	動物性残渣	0	0	2,414	5,366	*24,064	2,813	3,530
	生ごみ処理	0	0	2,062	2,027	2,023	2,067	2,040
	雑草処理	0	0	0	0	0	2,909	730
	機械等使用料	3,375	1,047	31	0	0	547	140
	売電料金	3,540	4,945	6,489	3,560	8,499	6,572	6,280
	グリーン電力	0	0	0	435	798	0	
合計	20,431	28,388	40,421	46,052	70,736	52,005	46,860	
支出	事務・人件費	9,053	9,887	12,996	13,325	14,334	14,822	13,870
	光熱水費	1,928	2,586	1,979	2,091	2,004	2,442	2,130
	消耗品費	2,806	5,686	7,985	10,865	5,663	7,255	7,940
	燃料費	1,673	1,914	2,347	1,891	2,348	3,304	2,470
	修繕費	1,386	2,590	7,632	8,931	18,787	19,637	13,750
	保険料	306	71	81	102	103	114	100
	委託料	280	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
	租税公課	359	357	444	302	302	272	330
	合計	17,791	24,591	34,964	39,007	45,041	49,346	42,090
償却前利益	2,640	3,797	5,457	7,045	25,695	2,659	4,770	
減価償却費	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	5,956	
利 益	-3,316	-2,159	-499	1,089	19,739	-3,297	-1,186	

注1：鹿追町環境保全センター資料から作成

注2：収入のうち2011年の動物性残渣(※印の金額)は、バイオエタノール廃液処理を含む一時的な収入増のため除外して平均値を求めた

入がないことである。収支が赤字となるもう一つの原因は、車両購入費を含めたため、減価償却費が高額となったことである。集合型プラントでは、処理についての規模の経済が働き、個別酪農家の負担軽減につながるメリットがある一方で、回収車両購入の減価償却費と回収に関わる人件費、燃料代等の負担が大きい。

5.3 FIT の効果と熱利用の可能性

当プラントの操業条件で大きく変化したのは、2013年4月よりFIT認定施設として総発電量から自家消費分を除いた余剰分を40.95円/kWhで売電していることである。さらに設備改造により全量買取の条件を満たすので、総発電量から発電関連施設で消費する分を除いた80%程度が売電可能となることである。ただし、買取期間は、すでに操業した6年間を除く14年間である。そこで、FITの効果があつたプラントの経営にどのような影響を及ぼすのか、検討する。

収支には表2に示す減価償却費を含め、さらに表3から2007～2012年の期間については操業実績に基づき、それ以降は操業が軌道に乗った2009～2012年の平均をもとに推定する。①2013年以降はFIT適用となる場合について、2007年からFIT適用終了までの20年間の収支および利益と初期投資回収率、②2007年から施設の平均償却期間終了までの全25年間にRPS制度適用の

場合の収支を計算し、合わせて表4に示した。

2012年度までの余剰電力分が、既設分についても2013年度にはFITによる売電価格(40.95円/kWh)となったことで、それまでの6年分の累積売電収入を上回る売電料金となった。さらに2013年度実施の施設改造(投資額約30,000千円、2013年12月)により全量買取で総発電量の約80%が売電可能となり、RPS制度のもとでは収入の約13%にすぎない売電料金が全収入の約58%を占める。他方、廃棄物処理・利用施設に必要な総発電量の約30%の電力は通常の買電契約(20円/kWhを想定)により購入することになる。いずれにせよFIT効果としてプラントの年間収入は2倍以上の大幅増収となる。

これらの結果をまとめると、2007年の操業開始からFIT終了までの20年間の償却後累積利益は511,957千円で、初期投資の996,013千円に対して、施設の費用効果の指標となる投資回収率は約51.4%となる。ただし、施設や設備の老朽化による修繕費増加は見込んでいない。FITによる売電価格上昇のために、投入原料等を工夫することで売電量を増やすことも考えられる。またFIT終了後から償却期間が終了するまでの5～10年間は、売電価格が市場価格となるので、収支はRPS制度の時期とほぼ同じようになると考えられる。設備更新には、FITの効果として費用の半分程度は賄えるという

表4 投資回収率の算定

(単位：千円)

2013年度からFIT導入		償却終了まで全期間(2007～2031年度)RPS	
2007～2012年度の合計:		2007～2012年度の合計:	
収入	258,033	左と同じ	
うちグリーン電力含む売電料金	34,838		
支出	210,740	両方ともRPSによる売電で売電単価は	
償却前利益	47,293	昼間 9.5円/kWh, 夜間 4.5円/kWh	
2013年度:		2013～償却終了までの19年間:	
収入	76,131	2009～2012年度4年間の平均収支に基づき	
うち2009～2012年度平均売電量とFIT		収入	46,860
単価40.95円/kWhに基づき売電		うち平均売電量による売電収入	6,280
料金	35,551	支出	42,090
支出	72,090	償却前利益	4,770
施設改造費	30,000	19年間累積償却前利益	90,630
償却前利益	-4,041		
2014～26年度:			
収入	98,444		
うち売電料金	57,864		
支出	53,041		
うち買電料金	10,951		
償却前利益	45,403		
13年間累積償却前利益	590,239	償却終了までの25年間(2007～2031年度)合計:	
FIT終了まで20年間(2007～2026年度)合計:		25年間累積償却前利益	137,923
20年間累積償却前利益	633,437	25年間累積減価償却費(圧縮)	151,850
20年間累積減価償却費(圧縮)	121,480	25年間累積償却後利益	-13,927
20年間累積償却後利益	511,957		
初期投資額	996,013		
投資回収率(%)	51.4%		

意義はあるものの、それを補う相当額の補助金が必要となる。

以上のように FIT 認定による売電収入の大幅増加が見込まれるにもかかわらず、施設の投資効率が良好といえない原因の一つは、熱電併給のバイオガス発電設備で生産される熱の利用が不十分なことである。その熱を利用した温水ボイラー 3 基合計の熱出力量は 45,000 kcal/h であり、原油換算¹³⁾で 4.87 L/h になる。しかし現状では、冬期間の発酵槽加温や野菜等の育苗ハウス等で試験的に一部利用するのみであり、熱利用はプラントの収入にはなっていない。当プラントと同じ家畜糞尿処理主体のデンマークのバイオガスプラントでは、熱の販売収入が売電収入と同程度で経営を支える。

これは、デンマークがバイオガスを含む熱電併給と地域暖房を結合するエネルギー政策を強力に推進してきた成果である。またドイツでは、熱電併給法のもとで、電力の買取保証とともに、熱電併給の設備投資に対して熱貯蔵や温水管等、熱利用施設の助成金がある。フランスやイギリスでも温水管建設の助成が行われるようになった。これに対して日本でも熱電併給の熱利用促進のための制度的枠組の拡充が不可欠である。このような制度的な支援のもとで生産にコストのかかるバイオガスを地域のエネルギー源としていかに効率よく利用するかが、日本における今後のバイオガスプラント普及の鍵を握ると思われる。鹿追町としては温水を利用した魚の飼育等、新たな地域産業と雇用創出について検討している。今後、熱の活用による新たな収益確保と地域産業創出が期待される。

6. 環境対策の公益的機能の分析

これまでの投資効果分析では、直接に費用として計算・計上されている部分のみの検討を行ったが、これ以外に直接、費用に反映されない環境対策の公益的機能の効果の経済的分析が必要である。

6.1 糞尿の処理と消化液の利用効果

消化液利用による畑作農家の化学肥料の節減量は、地域資源の循環利用という点で、そのままプラント建設による環境負荷軽減量と見込まれる。具体的には、鹿追町環境保全センター分析による「消化液の肥料成分含量」に「肥効率（有機性肥料が作物に吸収・利用される割合）」を乗じた成分量（ $N=3.0 \text{ kg/ton} \times 40\%=1.2 \text{ kg}$, $P=0$, $K=4.2 \text{ kg/ton}$, 表 5 参照）が、消化液利用による化学肥料節減可能量であり、これに畑作農家の消化液利用量 14,336.5 ton/年を乗じた成分量（ $N=43 \text{ ton/年}$,

表 5 消化液の成分量と概算価格

肥料成分	消化液成分含量 (kg/ton) ①	市販肥料の成分単価 (円/kg) ②	肥効率 (%) ③	消化液推定価格 (円/ton) ①×②×③
窒素 (N)	3.0	129	40	155
リン酸 (P)	1.4	82	0	0
カリ (K)	4.2	133	100	559
計				714

注 1：消化液成分含量と肥効率は「鹿追町環境保全センター分析 (2008, 2009)」による

注 2：市販肥料の成分単価は「肥料経済研究所『肥料の農家購入価格情報』」¹⁴⁾による

注 3：肥効率とは消化液に含まれる成分のうち作物に吸収・利用される割合（化学肥料=100）

$K=60 \text{ ton/年}$) が、プラント建設後に化学肥料から消化液に代替された環境負荷軽減量である。

畜産農家は、プラント建設以前から堆肥の自家利用を行っていたため、プラント建設による肥料成分の利用促進効果は、畑作農家での利用増加分となる。

したがって、消化液成分価格 714 円/ton と畑作農家への消化液販売代金 100 円/ton の差額 614 円/ton に畑作物への散布量 14,336.5 ton/年（2011 年度実績）を乗じた 8,800 千円/年がプラント建設による、畑作農家にとっての肥料費節減効果額として見込まれる。

プラント建設前は、畑作農家にとって堆肥は肥料ではなく、土壌改良材と評価されていたため、プラント建設により消化液として供給することで、畑作農家が家畜糞尿を肥料として評価するようになったことに対する評価額といえる。

またバイオガスプラントが導入され消化液が圃場に散布されることにより、集落ごとの窒素 (N)、リン酸 (P)、カリ (K) の収支がどのような変化したかを分析した結果を見ると、プラント導入後には、発生する消化液が広域に散布されることにより、糞尿由来の肥料成分が酪農家、耕種農家の圃場に均等に還元されるようになっていくことが明らかになっている²⁾。

6.2 悪臭対策効果

鹿追町のバイオガスプラントは、地域住民や観光客から寄せられていた悪臭問題の解消を目的に、市街地に近い酪農家の家畜糞尿を主な原料としている。このため、臭気対策効果はバイオガスプラントで処理されている家畜糞尿全量を対象とした。

農林水産省「強い農業づくり交付金及び農業・食品産業競争力強化支援事業における費用対効果分析の実施について」¹⁵⁾に基づいて、悪臭対策の効果を薬剤散布の節約効果により計算すると、バイオガスプラント建設によ

表6 悪臭対策の効果

家畜排泄物処理量 2012年実績 (ton/年)	薬剤散布単価 (円/ton)	臭気対策効果額 (千円/年)
28,291	918	25,971

注1：農林水産省「強い農業づくり交付金及び農業・食品産業競争力強化支援事業等における費用対効果分析の実施について」¹⁵⁾より作成

る臭気対策の効果額は25,970千円/年である(表6)。

酪農家がバイオガスプラントを利用するメリットは、糞尿処理・散布作業や悪臭に対する苦情からの解放という金銭面で表すことが難しいものが多い。たとえば、同町のC牧場は、この問題のために、移転もしくは自分の代での離農を考えていたが、プラントの稼働により問題が解決されたために移転することなく営農ができていた²⁾。

6.3 CO₂削減効果

鹿追町によると、町内全体の家畜糞尿から排出される温室効果ガスはCO₂換算で約15,000 ton-CO₂/年で、町全体の排出量55,610 ton-CO₂/年の27%に相当する。

環境省の資料¹⁶⁾に基づき計算すると、家畜糞尿由来と化石燃料由来の電気・熱利用にバイオガスプラントを利用したことで削減される温室効果ガス量は1,934 ton/年であり、これは上記の町全体における家畜糞尿からの排出量の13%に相当する(表7)。

これをton CO₂=1~ton CO₂=10米ドルとして(EU-ETSのCO₂価格はこの5年間で3~15ユーロ/ton CO₂)、経済的に評価すると、約200千円から2,000千円となる。

6.4 バイオガスプラントの公益的機能

以上の6.1~6.3の環境対策の公益的機能の経済的評価をまとめると、年間単位で、悪臭対策の効果25,970千円、肥料節約効果8,800千円、CO₂削減効果が200千円から2,000千円となり、これらを合計すると少なくとも年間34,970千円となる。そこでこれを20年間合計699,450千円とし、表4左欄の20年間累積償却後利益

表7 バイオガスプラントの温室効果ガス削減量

区分	成牛換算頭数 (頭) ①	排出係数 (kg/頭・年) ②	地球温暖化係数 ③	CO ₂ 換算排出量 (kg/年) ①×②×③
CH ₄	1,200	5.30	21	134
N ₂ O	1,200	4.84	310	1,800
計	1,200	/	/	1,934

注1：環境省「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(2003年7月)」¹⁶⁾より作成

511,957千円に加えると、1211,357千円となり、初期投資額996,013千円を上回る。これにより初期投資の大部分を占める補助金(表2)が環境対策の公益的機能を果たしていることが経済的に示される。5.で示したように、当プラントの費用効果が良好とはいえないもう1つの原因は、こうした公益的機能の経済的評価が含まれていないことである。

7. 結論：総合的評価と課題

本稿の目的は、国内最大のバイオガスプラントの継続的運転の成功要因を分析して、さらなる課題を明らかにすることであった。3つの側面から分析した結果は以下のとおりである。

第1の物質循環側面では、家畜糞尿による悪臭対策を含む環境汚染対策で成果をあげ、物質循環利用としても、廃棄物処理とその消化液還元で成果を上げた。またCO₂削減効果もあった。つまり再生可能エネルギー利用と同時に地域の資源循環利用でも成果を上げた。

第2の制度・参画者側面では、成功の要因として関係者が明確な目的と動機を共有し、分担と協力、とくに各農家と自治体、施設管理運営者の間で家畜糞尿の貯蔵と回収、消化液散布、プラントの維持管理に関する知識と経験の蓄積があげられる。成果として、市街地住民の生活環境改善と農家の負担軽減がはかられた。プラントの建設と運転で大切なことは、関係者の十分な合意と協力を得て、第1に前提となる処理原料の性状と変動を正確に把握し、その性能要求を満たすプラントを計画設計することであり、第2に厳しい気候条件で運転中に発生する各種トラブルと対策をあらかじめ予測し、準備することである。この2点において、関係者の能力構築に成功したことで本プラントは国内最大級の実績で運転を続けることができたのである。

第3の経済分析では、バイオガスプラントの投資効果と公益的機能の定量的評価を通じて、以下の点が明らかになった。FITによる売電収入が大幅増となってもなお、廃棄物処理収入がそれに劣らぬ重要性をもつ点で、当プラントは総合的有機系廃棄物処理と再生可能エネルギー利用という2つの機能を兼ね備えた施設であることが確認される。他方で、FITによる電力買取が40.95円/kWhという水準になっても、初期投資の回収が十分に保証されない一つの理由は、生産される熱が収入になっていないためである。もう一つの理由は、環境対策の公益的機能が経済的に評価されなかったからである。さらに集合型プラントは地域の環境改善や農家の負担軽減という効果を有するものの、他方で原料回収に関わるコス

ト負担は大きい。地域経済への貢献としては、プラント従業員の雇用だけでなく、地域の農業を含めた産業存続の基盤として果たす役割に注目すべきである。これらを考慮すると、FITと農業補助金によるバイオガスプラントへの支援は、経済的に見ても有用で必要なものと評価できる。

[謝 辞]

本稿を作成するにあたり、各種データの提供や聞取調査等に快く協力して下さいました。鹿追町吉田弘志町長様、松本新吾副町長様、喜井知己農業振興課長様、城石賢一環境保全センター係長様、元係員植松武泰様、鹿追町役場と環境保全センターの皆様、鹿追町農業者の皆様、中崎正好全日本地域研究交流協会事業部長様へ感謝の気持ちを込めて御礼を申し上げます。

なお、本研究は平成25年度環境研究総合推進費(2-1301)「コージェネレーションネットワーク構築のためのCO₂削減・経済性・政策シナリオ解析」の助成を受けた。

参 考 文 献

- 1) 村上正俊, 吉田文和: 農村地域における有機性資源需給バランスの定量分析, 廃棄物資源循環学会論文誌, 第20巻, 第5号, pp. 279-290 (2009)
- 2) 帯広市: バイオガスプラントの稼働実績調査業務 (2012)
- 3) 梅津一孝, 竹内良曜, 岩波道生: 先進国におけるバイオガスプラントの利用実態に学ぶ——北海道における再生可能エネルギーの利用促進に関する共同調査報告書——, 畜産の情報, 2013年6月号, pp. 67-78 (2013)
<http://lin.go.jp/alic/month/domefore/2013/jun/spe-02>
(閲覧日2014年5月13日)
- 4) 吉田文和: 循環型社会, 中央公論新書 (2004)
- 5) 北海道農政部: 北海道施肥ガイド (2003)
- 6) 北海道立農業畜産試験場: 家畜糞尿処理利用の手引き 2004 (2005)
http://www.agri.hro.or.jp/sintoku/SiryouG/ecolo/manual2004/manual_04_information.htm
(閲覧日2014年5月13日)
- 7) 中央畜産会: 堆肥化施設製造マニュアル (2000)
- 8) 菊池貞雄, 梅津一孝, 岩崎匡洋, 竹内良曜, 大井基寛, 城石賢一, 植松武泰, 保井聖一: 積雪寒冷地における集中型バイオガスプラントの構築とその稼働状況, 農業施設, 第41巻, 第4号, pp. 170-178 (2011)
- 9) 中村 稔, 肉絲坦木買買提・大場裕子・市川 治: 酪農共同利用型バイオガスシステム導入の経営経済的評価による分析——北海道鹿追町の事例を対象に——, 酪農学園大学紀要, 第34巻, 第2号, pp. 111-121 (2010)
- 10) 農林水産省畜産経営課畜産環境対策室: たい肥舎等建築コストガイドラインについて (2007)
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_info/03_tuti/pdf/5_cost3.pdf
(閲覧日2014年5月13日)
- 11) 農林水産省: 農畜産業用固定資産評価標準 (1999)
http://www.library.maff.go.jp/GAZO/20005375/20005375_07.pdf (閲覧日2014年5月13日)
- 12) 経済産業省資源エネルギー庁調達価格等算定委員会: ヒアリングの結果について, 2012年4月 (2012)
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/005_02_00.pdf (閲覧日2014年5月13日)
- 13) 経済産業省資源エネルギー庁: 平成23年度(2011年度)におけるエネルギー需給実績(確報), 2013年4月 (2013)
<http://www.meti.go.jp/press/2013/04/20130412003/20130412003.pdf> (閲覧日2014年5月13日)
- 14) (一)肥料経済研究所: 肥料の農家購入価格情報 (2012)
http://www.hi-kei-ken.jp/hiryou/price/h_price.html
(閲覧日2014年5月13日)
- 15) 農林水産省: 強い農業づくり交付金及び農業・食品産業競争力強化支援事業における費用対効果分析の実施について, 2009年5月最終改定 (2007)
http://www.maff.go.jp/j/seisan/suisin/tuyoi_nougyou/t_tuti/h21/pdf/4-1-1.pdf (閲覧日2014年5月13日)
- 16) 環境省: 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン, 2003年7月 (2003)
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf1_6/mat_01.pdf (閲覧日2014年5月13日)

A Cyclical Economic Analysis of the Biogas Plant in Shikaoui Town

Fumikazu Yoshida*, Masatoshi Murakami**, Tsutomu Ishii** and Haruyo Yoshida***

* Graduate School of Economics, Hokkaido University

** Division of Regional Research, Rural Planning Center Co., Ltd.

*** Sapporo University

† Correspondence should be addressed to Fumikazu Yoshida :

Graduate School of Economics, Hokkaido University

(Kita9 Nishi7, Kita-ku, Sapporo 060-0809 Japan)

Abstract

In an environmental economic analysis of the largest biogas plant in Japan, a number of matters were clarified through the quantitative assessment of the plant's investment effects and environmental functions. Income earned from waste processing remains as important as revenue from electricity sales even after the introduction of a feed-in tariff (FIT) scheme significantly boosted the latter. This confirms that the plant successfully performs the two functions of treating organic waste and utilizing renewable energy. However, the initial investment has not been fully recouped even though electricity is purchased under the FIT scheme. One reason for this is insufficient income from the heat generated, and another is that the public welfare functions of the environmental measures have not been assessed economically. In terms of contribution to the local economy, attention should be paid not only to jobs at the plant but also to the facility's role as a basis for the survival of agriculture and other local industries. Considering these points, support for the biogas plant via the FIT scheme and agricultural subsidies can be seen as economically useful and necessary.

Keywords : biogas, livestock manure, renewable energy, feed-in tariff (FIT), economic valuation