

FITに頼らない牛ふんバイオガスプラントの事業運営に関する研究 —バイオガスプラントの導入効果を踏まえて—

三宅 琢¹・石井一英²・藤山淳史³・佐藤昌宏⁴

¹非会員 北海道大学修士課程 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:miyaketaku@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学特任助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:fujiyama@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 北海道大学助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp

バイオガスプラント(BGP)は、電力網が脆弱なFIT適用外地域での、あるいはFIT終了後の運営は厳しい。そこで本研究では、①BGP導入が酪農経営に及ぼす効果を明らかにし、②FIT適用外あるいは、FIT終了後のBGP運営方法を検討する。①については、北海道の3町を対象に、BGP導入酪農家、BGP事業主体らに、BGP導入効果に対してシートに記入して頂いた。②については、普及が進む規模を想定し、年間事業収支を算出した。個別型BGPは、FIT終了後も飼養頭数の増加が見込まれれば運営は可能であるが、FIT適用外地域では売ガスなど新たな収入源が必要である。集中型BGPは、FIT終了後売電価格が下がっても運営可能であり、FIT適用外地域では、ふん尿処理や液肥散布費の値上げ、売ガスを検討する必要がある。

Key Words : dairy farmer, cow manure, biogas plant, Feed-in Tariff, selling electricity

1. 研究背景と目的

北海道で1年間に発生する産業廃棄物排出量約4000万トンであり、そのうち家畜ふん尿の占める割合はおおよそ半分に当たる2000万トンである¹⁾。道内で飼育されている乳牛全体の頭数自体は減ってきているが、酪農家一戸あたりの乳牛の飼育頭数は増えてきているという現状である²⁾。

現在、乳牛の飼養形式は、大きく分けてスタンション方式とフリーストール方式がある。スタンション方式では、乳牛から発生したふん尿を敷料と混合するため固形ふん尿が発生し、堆肥として用いられることが多い。一方で、フリーストール方式では、投入する敷料の割合がスタンション方式に比べると少ないため、液状ふん尿(スラリー)が発生する。近年、多数頭の管理が可能であるということから、フリーストール式での飼養が増えてきている。そのためスラリー状の牛ふん尿の排出が多くなっている。スラリーは、固形ふん尿のように好気発

酵が困難であり、発酵が不十分な状態で草地などに散布すると悪臭や土壌汚染、地下水汚染といった周囲の環境に悪影響を及ぼしてしまう恐れがある。

家畜ふん尿の堆肥化以外の利用法の一つとして発生した液状ふん尿(スラリー)をバイオガスプラントに投入し、メタン発酵させ、発生したメタンガスをエネルギーとして利用するバイオガス化がある。バイオガスプラントを導入することでスラリー状のふん尿を毎日処理することができ、そのため悪臭問題を改善することができ、また発酵残渣は液肥として酪農家や畑作農家に還元することができる。また発生したバイオガスはバイオガスとして直接用いたり、コージェネレーションシステムを用いることで電気や熱といったエネルギーに変換し、利用することが可能となる。

近年では、固定価格買取制度(FIT制度)の影響もありバイオガスプラントを新たに新設するところが増えてきている。バイオガスプラントを導入することで、化学肥料や敷料、光熱費といった酪農に関する経費の削減や、

いままでふん尿処理に費やしていた時間を乳牛の飼育管理や、酪農製品を作る時間に当てることが可能になり酪農収入が上がるといった効果がもたらされると期待されている。

FIT制度を追い風に北海道ではバイオガスプラントの施設数は年々増えてきている。しかし、FIT制度が適用される期間は20年間で定められており、FIT制度が終了する20年後に果たしてバイオガスプラントは運営上事業採算がとれるのか分からない。また送電線が脆弱なためFITを適用することが不可能な地域で、今後バイオガスプラントを普及していくためには、あるいはバイオガスプラントを維持し酪農経営が成り立つにはどういった条件、設備、方法が適切であるのかを示す必要がある。そこで本研究においては、バイオガスプラントを導入することで飼料、敷料、化学肥料、燃料といった酪農にかかわる経費を削減でき、酪農にかかる時間の削減による製品生産量が増えることによる製品売上増加が見込めるといった酪農経営全体に及ぼすバイオガスプラント導入効果を考慮し、バイオガスプラントの運営を検討することとした。

そこで課題としては下記の2点があげられる。

- ①FIT適用外の地域に（送電線が脆弱な主に道東地域）においてバイオガスプラントをどのように運営すれば良いのだろうか？
 - ②FITにより事業が成り立っているバイオガスプラントにおいて、FITが終了する20年後どのようにバイオガスプラントを運営するのか？
- 上記2点においてバイオガスプラント導入効果を踏まえ、酪農経営全体を考慮し、FITに頼らないバイオガスプラントの運営方法に関して以下を本研究の目的とした。
- ①ヒアリングシートを基にバイオガスプラント導入による酪農経営に及ぼす効果を明らかにする。
 - ②①の結果を元にFIT適用外地域あるいはFIT終了後のバイオガスプラントの運営を検討する。

2. 牛ふんバイオガスプラントの説明とその導入効果

(1) 牛ふんバイオガスプラントとは

個別型バイオガスプラントでは、酪農家個人が運営を行っており（場合によっては、業者に運転を委託しているプラントも存在している）、自身の所有する牛舎から発生したふん尿をバイオガスプラントに投入することで、バイオガスを発生させ、発酵残渣を得る。バイオガスに関しては、コージェネレーションシステムを用いることで発電し、発電時の廃熱を発酵槽のための熱として利用される。また、発酵残渣を固液分離することで、固分は

敷料利用、液分は液肥利用することが可能である。液肥を自身の所有する草地に散布することで、化学肥料の代替としての役割を担え、化学肥料の購入量を減らすことができる。

集中型バイオガスプラントでは、個別型とは異なり複数の酪農家が、行政や組合などが運営を行っているバイオガスプラントに参加するという形をとっている。複数の酪農家で発生したふん尿をプラントの事業主体が収集し、プラントまで運搬し処理を行う。そのため、酪農家はふん尿処理費を事業主体に払っている。プラントに運ばれたふん尿をメタン発酵させることで、バイオガスを発生させ、発酵残渣を得る。バイオガスをコージェネレーションシステムを用いて、電気と熱に変換する。発酵残渣は固液分離し、固分は敷料として、液分は液肥として利用することができる。事業者は液肥の利用において、ふん尿を回収した酪農家の草地に液肥を散布し、液肥散布費を酪農家から頂いている。

以上のことより個別型と集中型バイオガスプラントでは、事業主体が異なり、システムも異なるため収入源も違い、個別型、集中型それぞれにおいて運営を考えていかなければならない。

(2) バイオガスプラント導入の効果

FIT制度が20年後に終了するため、売電価格が下がることで現在運営が成り立っているバイオガスプラントも運営は厳しくなると予想される。また送電線が脆弱でそもそも売電をすることができない主に道東地域でバイオガスプラントの運営は現状でも厳しい。

そのため本研究で考えることは、バイオガスプラントを導入することによって、ふん尿の処理の手間削減効果による酪農本業にかかる時間の増大による飼養頭数の増加、それに伴う生乳売り上げの増加、酪農製品の売上の増加、また液肥利用による化学肥料購入量の削減、その他敷料や電気代、水道代といった光熱費等酪農に関する経費の削減効果などの酪農経営全体に及ぼす効果を考える。すなわちバイオガスプラントの収支がマイナスであっても、バイオガスプラントが酪農経営に与える効果が相当以上のプラスであれば、運営が成り立つと考えた。

3. ヒアリングシート記入方式によるバイオガスプラント導入効果の把握

(1) 目的

ヒアリングを行う目的としては、バイオガスプラント導入、あるいは参加することの効果、酪農経営にあたる影響を定量的に、もしくは定性的に把握することで、FIT終了後またはFIT適用外地域でのバイオガスプラント

の運営方法を検討することに役立てることである。本研究では、FIT適用地域と、FIT適用外地域それぞれの個別型バイオガスプラントを運営している酪農家、集中型バイオガスプラントを運営している事業主体と参加している酪農家と個別型バイオガスプラント導入を検討中の酪農家、集中型バイオガスプラントに参加検討中の酪農家にヒアリングシートへの記入を頂いた。

(2) ヒアリングシートの内容

ヒアリングシートの内容を以下に示す。

まず酪農経営概要として飼養頭数や発生したふん尿量の他に、酪農経営収支（生乳売上、経費）、そしてバイオガスプラント導入前後で導入効果があり、変化が考えられる9つの項目（①飼育頭数、②生乳の売り上げ、③酪農製品の売り上げ、④化学肥料・⑤飼料・⑥敷料の購入費、⑦水道代、⑧電気代、⑨燃料費）について導入前後の変化量を記入して頂いた。

また、バイオガスプラントについては施設規模、バイオガスの利用方法、利用量、発酵残渣の発生量、散布車の台数といった事柄の他に、イニシャルコスト、ランニングコスト、施設設備についても記入して頂いた。

さらに、FIT終了後についての対応状況や、プラント導入・参加してマイナス面があったか、プラント導入後、酪農時間に増減があるか、FIT終了後の液肥散布費やふん尿処理費の価格についての意見を追加事項として記入して頂いた。

(3) ヒアリングシートの内容

ヒアリングシートへのご記入にご協力頂いたところは、個別型バイオガスプラントを運営しているA町の酪農家5件、B町の酪農家1件、C市の酪農家1件、集中型バイオガスプラントを運営されている事業主体として、B町とC町の2件、また集中型バイオガスプラントに参加している酪農家6件、集中型バイオガスプラントへの参加を検討中のE町の酪農家3件、F町の酪農家6件である。

(4) ヒアリング結果

ヒアリングの結果から、個別型バイオガスプラントでは、定性的ではあるが飼養頭数が増加すると見込めるという結果を得た。生乳の売上、酪農製品売上の増加、飼料の購入費に関しては、飼養頭数の増加分がそのままそれぞれの項目に影響与えることが示された。

次に化学肥料購入費に関して、個別型バイオガスプラントでは、液肥を自己利用することができ、化学肥料の代替品としての価値があるので、明確に削減効果が得られることが分かった。

一方、集中型バイオガスプラントでは、定性的ではあるが、個別型よりもふん尿処理の手間削減効果が多いこ

とから、プラスの効果が出るものと考えられた。

4. FITに頼らないバイオガスプラントの事業運営方法の検討

(1) 対象地域と前提条件

対象地域は北海道とする。前提条件として、北海道では、酪農家が多く自分の草地を持っているので、液肥の散布先がある。また冬の期間は液肥散布は行わない、そのため液肥散布期間は半年間である。また、施設設備は発電機を備えたバイオガスプラントを想定した。

(2) 評価方法と評価範囲

a) 個別型バイオガスプラント

イ) 規模の設定

施設規模はヒアリングシートの回答をしていただいた個別型バイオガスプラントを運営している酪農家の飼養頭数を踏まえて500頭規模の酪農家を想定した。

ロ) 物質・エネルギーフローの設定

個別型バイオガスプラントの物質・エネルギーフローの流れは図-1の通りであり、酪農家の牛舎から排出されたふん尿をバイオガスプラントに投入し、バイオガスと発酵残渣が発生する。バイオガスは発電機を使うことで発電を行い、半分を施設内利用し残りを売電する。発酵残渣を液肥として自己利用し、自分の所有する草地に還元する。

現状はFIT価格で売電を行っている地域とそうでない地域がある。FIT適用地域では、FIT終了後に売電価格が下がるため売電収入の減少がみられる。FIT適用外地域では、売電を行うことができないため、施設内利用のみに電気を使っているとした。またFIT価格で売ることができる条件として、施設内利用分は自分で使い余剰のみFIT価格で販売することとした。

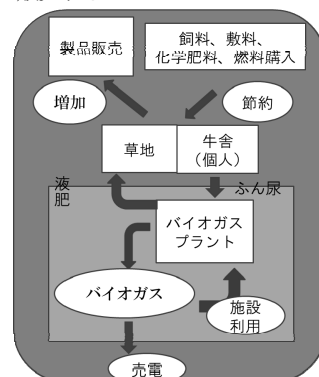


図-1 個別型バイオガスプラントの物質・エネルギーフロー

表-1 個別型バイオガスプラントのパラメータ^{3&10)}

項目	記号	値	単位
施設規模	F	500	頭
乳用牛飼育比率	5:1:4 =	搾乳:乾乳:育成	
ふん尿発生原単位	d	搾乳:乾乳:育成 = 0.0589:0.0358:0.0246	t/頭/日
ふん尿バイオガス原単位	b	30	Nm ³ /t
バイオガス中のメタン濃度	C _{CH4}	60%	%
メタン発熱量	H _{CH4}	37.18	MJ/m ³
発電効率	e _{EL}	30	千円/kW
プラント建設費用	C _{pl}	3030	千円/kW
運転維持費	C _{op}	129	千円/kW/年
電気料金	I _e	23.54	円/kWh
FIT売電価格(税込)	I _{in}	42.12	円/kWh
建築物耐用年数(年)	Y	20	年
化学肥料節約	S	1500	千円

表-2 個別型バイオガスプラントの計算式

項目	記号	数式	単位
ふん尿発生量(t/日)	U	= F × d	t/日
バイオガス発生量(Nm ³ /日)	B _g	= U × b	Nm ³ /日
メタン発生量(Nm ³ /日)	B _{gm}	= B _g × C _{CH4} ÷ 100	Nm ³ /日
発電電力量(kWh/日)	E _{EL}	= B _{gm} × H _{CH4} × e _{EL} ÷ 3.6 ÷ 100	kWh/日
発電電力量(kWh/年)	E _{EL365}	= E _{EL} × 365	kWh/年
発電機容量	E _{EV}	= E _{EL} ÷ 24	kWh
建設費用	C _l	= E _{EV} × C _{pl} ÷ Y	千円/年
運転維持費	C _R	= E _{EV} × C _{op} ÷ Y	千円/年

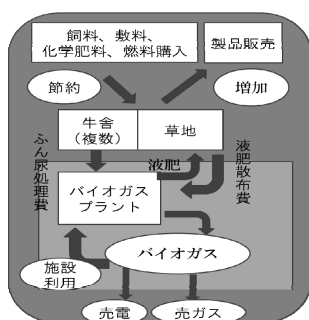


図-2 集中型バイオガスプラントの物質・エネルギーフロー

ハ) 評価項目と評価方法

計算式とパラメータとして用いた値を表-1と表-2に示す。

バ) 集中型バイオガスプラント

イ) 規模の設定

ヒアリングシートの回答から一般的な規模として1500頭規模の集中型バイオガスプラントとした。

ロ) 物質・エネルギーフローの設定

図-2に示すように、複数の酪農家からふん尿を運びバイオガスプラントに投入する。バイオガスは発電機で発電し、電気と熱は施設内利用する。バイオガスが余った場合は売ガスを行うものとする。発酵残渣を固液分離した液肥を酪農家の草地に散布している。

ハ) 評価項目と評価方法

計算式とパラメータとして用いた値を表-3、表-4、表-5に示す。

表-3 集中型バイオガスプラントのパラメータ^{3&10)}

項目	記号	値	単位
施設規模	F	1500	頭
乳用牛飼育比率	5:1:4 =	搾乳:乾乳:育成	
ふん尿発生原単位	d	搾乳:乾乳:育成 = 0.0589:0.0358:0.0246	t/頭/日
ふん尿バイオガス原単位	b	30	Nm ³ /t
メタン発生量	C _{CH4}	60%	%
メタン発熱量	H _{CH4}	37.18	MJ/m ³
発電効率	e _{EL}	30	千円/kW
プラント建設費用	C _{pl}	2260	千円/kW
運転維持費	C _{op}	129	千円/kW/年
電気料金	I _e	23.54	円/kWh
FIT売電価格(税込)	I _{in}	42.12	円/kWh
建築物耐用年数(年)	Y	20	年

表-4 集中型バイオガスプラントの計算式

項目	記号	数式	単位
ふん尿発生量(t/日)	U	= F × d	t/日
バイオガス発生量(Nm ³ /日)	B _g	= U × b	Nm ³ /日
メタン発生量(Nm ³ /日)	B _{gm}	= B _g × C _{CH4} ÷ 100	Nm ³ /日
発電電力量(kWh/日)	E _{EL}	= B _{gm} × H _{CH4} × e _{EL} ÷ 3.6 ÷ 100	kWh/日
発電電力量(kWh/年)	E _{EL365}	= E _{EL} × 365	kWh/年
発電機容量	E _{EV}	= E _{EL} ÷ 24	kWh
建設費用	C _l	= E _{EV} × C _{pl} ÷ Y	千円/年
運転維持費	C _R	= E _{EV} × C _{op} ÷ Y	千円/年

表-5 ふん尿運搬・液肥散布費の計算概要⁹⁾

ふん尿の運搬				
車両購入費(千円/台)	購入台数(台)	運搬車両購入費(千円)		
5000	3	15000		
平均往復運搬距離(km)	総走行距離(km/日)	燃費(km/L)	燃料費(千円/L)	燃料費合計(千円/年)
12	120	5	0.12	1051.2
人件費(千円/人/年)	雇用者数	人件費(千円/年)	運搬費合計(千円/年)	
3000	3	9000	10051.2	
液肥の運搬				
※液肥発生量は原料投入量と同量				
車両購入費(千円/台)	購入台数(台)	運搬車両購入費(千円)		
5000	3	15000		
※液肥運搬は冬季を除く半年間の費用となる				
平均往復運搬距離(km)	総走行距離(km/日)	燃費(km/L)	燃料費(千円/L)	燃料費合計(千円/年)
17	170	5	0.12	1489.2
人件費(千円/人/年)	雇用者数	人件費(千円/年)	運搬費合計(千円/年)	
1500	3	4500	5989.2	

(3) 評価結果・考察と事業運営のための方策

ア) 個別型バイオガスプラント

イ) FIT適用地域での将来の事業運営

結果を図-3に示す。FIT適用期間である現状に関しては、利益が約45万円ある。それに比べFIT終了後に関しては、売電価格が下がるため年間の収支では、売電収入価格の下がる分だけ減少する。そのためバイオガスプラント運営を可能とする(収支をプラスマイナス0にする)には約360万円の収入が不足することとなり、運営としては厳しくなることが分かった。

ロ) FIT非適用地域での事業運営

FIT適用外地域では売電することができないため、施設内で半分消費するとし、余剰電気を牛舎や搾乳機などの酪農経営に使う電気として割り当て、その分の電気代が節約できることとして、導入効果とし収入扱いにした。しかしながら、それでも運営が成り立つためには、約478万円の収入が不足することが分かった。

以上、FIT終了後及び、FIT適用外地域では、バイオガスプラント運営が厳しくなることが想定される。地域電力会社を立ち上げるなどでの電気利用を価格がバイオガスプラント運営に見合う形にするための工夫が必要である。

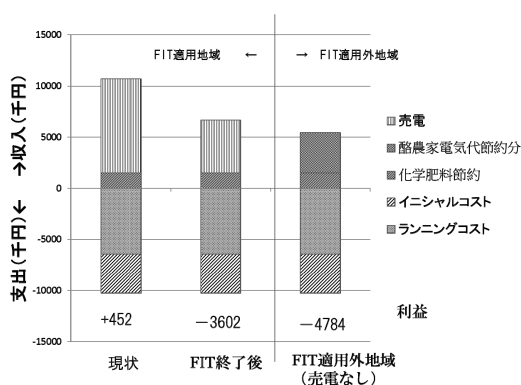


図-3 個別型バイオガスプラント導入の場合の事業収支

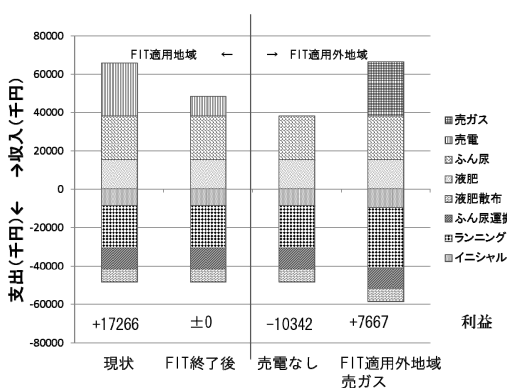


図-4 集中型バイオガスプラントの場合の事業収支

b) 集中型バイオガスプラント

イ) FIT適用地域での将来の事業運営

結果を図-4に示す。FIT適用地域では、個別同様、現状では利益があり、運営がなりたっているのが分かる。FIT終了後では、売電価格が15.8円/kWであれば成り立つこと（収支がプラスマイナス0になる）を示すことができた。

ロ) FIT非適用地域での事業運営

FIT非適用地域で運営を成り立たせるためには収入の不足分をふん尿処理費、液肥散布費の値上げにより補わなければならない。その時、ふん尿処理費であれば1.45倍あるいは液肥散布費であれば1.68倍にすることで、不足分の手間約1,000万円を埋め合わせることができる。なおこの場合、余剰バイオガスを周囲の地域に無償で与えるとした。

一方、そのバイオガス売ることができると想定すると、例えばバイオガスを80円/m³で売ると約766万円の収入が見込める¹⁾。なお、収支が0になる場合のガスの販売価格は21.8円/m³である。

5. 結論

- ①個別・集中型バイオガスプラント導入により、飼養頭数の増加など酪農経営にプラスの効果があることを示した。
- ②個別型バイオガスプラントは、FIT終了後及び、FIT適用外地域では、運営が厳しくなることが想定される。地域での電気利用を価格が見合う形で運営するなどの工夫が必要である。
- ③集中型バイオガスプラントは、FIT終了後、売電価格が下がっても運営可能である。また、FIT適用外地域では、ふん尿処理費や液肥散布費の値上げする必要がある。あるいは売ガスが可能であれば、ふん尿処理費や液肥散布費を値上げしなくても運営できる可能性がある。

今後は、バイオガスプラント導入効果を定量的に表すことが難しかったため、特に個別型は市町村などで協力し、しっかりデータとしてプラント導入効果を記録していく必要がある。化学肥料の代替として液肥がどれほどの効果があるのかも今後示した上で経済評価をする必要があると考える。

謝辞：ヒアリング調査に協力してくださった酪農家の皆様、バイオガスプラントの事業者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 北海道庁：北海道産業廃棄物処理状況調査、2015
- 2) 農林水産省：畜産統計、2015
- 3) 社団法人中央酪農会議：平成 23 年度酪農全国基礎調査結果報告書、2012
- 4) 農林水産省食糧産業局バイオマス循環資源課：都道府県・市町村バイオマス活用推進計画作成の手引き、2012
- 5) 総務省統計局：農業経営統計調査、畜産物生産費、確報、平成 25 年度畜産物生産費 2013 年度、2014
- 6) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：廃棄物バイオマス利活用導入マニュアル(詳細版)(案)、2015
- 7) 調達価格等算定委員会：平成 27 年度調達価格及び調達期間に関する意見、2016
- 8) 北海道電力：北海道電力 HP 従量電灯基本料金 <http://www.hepco.co.jp/home/price/unitprice/unitprice01.html>, 2016 年 1 月閲覧
- 9) 中村稔：酪農バイオガスシステムにおけるメタン発酵由来消化液の活用効果 酪農学園大学学術研究コレクション第 36 巻 第 2 号、2012
- 10) 北海道開発土木研究所：積雪寒冷地における乳牛ふん尿を

対象とした共同利用型バイオガスシステム導入の参考資料,2006

- 11) 足寄町：足寄町バイオマスエネルギーセンター導入可能性調査報告書,2014

(2106.8.26 受付)

STUDY OF MANAGEMENT OF COW MATURE BIOGAS PLANT INDEPENDENT OF FIT -BASED ON EFFECTIVENESS OF INTRODUCTION OF BIOGAS PLANTS-

Taku MIYAKE, Kazuei ISHII, Atsushi FUJIYAMA and Masahiro SATO

Management of biogas plants (BGP) is difficult especially in the area where Feed-In Tariff (FIT) program is not introduced because of vulnerable power grid, or in post FIT program. This study attempted to 1) clarify the effect of introducing BGP on dairy management, 2) to investigate BGP management methods in post FIT program or in the area where FIT program is not applicable. For 1), we conducted questionnaire survey using a sheet for dairy farmers introducing BGP and owners of BGP. For 2), assuming a scale of BGP considering the hearing survey, we calculated an annual business budget. As a result, an individual-type BGP will be managed if the number of cows is expected to increase even after FIT program finish. However, in the area where FIT program is not applicable, an additional income is needed, for example, by selling biogas. A centralized BGP will be able to be managed even if the selling price of electricity decreases after FIT program finish. However, in the area where FIT program is not applicable, the gate fee for manure and fee for spreading liquid fertilizer should be increased.