

経済・環境面での持続性両立を目指した 酪農施設集中化の効果

稲葉陸太¹, 古市徹², 小松敏宏³, 西則雄⁴

¹博(工) 北海道大学助手 大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻(〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

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

²正会員 工博 北海道大学教授 工学部環境社会工学科(〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

³工博 北海道大学客員助教授 大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻(〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

⁴理博 北海道大学客員教授 大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻(〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

本研究では、家畜ふん尿バイオガス化導入時の酪農経営全体の問題構造の把握、根本的な改善策の提案、酪農経営の評価モデルの作成、および種々の改善策の比較評価を実施し、酪農の持続性を向上する効果的な方策を示すことを目的とした。まず、問題点としては飼育頭数規模に対する酪農の収益性等が抽出された。また、統計データ等に基づき、飼育頭数規模に関する酪農経営および家畜ふん尿処理の費用および収益の関数を求め、酪農経営全体を評価するモデルを作成した。さらに、酪農経営の改善策として複数の代替案を想定し、前述した評価モデルを適用して比較を行った。その結果、乳牛飼育・バイオガス化を集約・連携化すれば、家畜ふん尿の適正処理を行いつつ従来の所得を維持でき、持続的な酪農経営を行う可能性が示された。

Key Words: dairy farming, animal excreta, biogasification, centralization, sustainability

1. 研究の背景

日本における有機系廃棄物の全排出量において家畜ふん尿は大きな割合を占めている(図1)。特に、北海道では酪農が盛んであることから、家畜ふん尿の発生割合の大きさは顕著である。従来、家畜ふん尿は野積み等の不適正管理が行われる例も多く、栄養塩の土壌や水系への流出による硝酸態窒素汚染や富栄養化が社会的な懸念となっていた。このような背景から、日本では2004年11月に家畜ふん尿の適正処理と利用に関する法律が本格施行された。バイオガス化は、家畜ふん尿の適正処理・リサイクルを目指した技術の一つとして期待されているが、その導入にあたっては様々な課題が残されており、順調に技術が普及していないのが現状である。

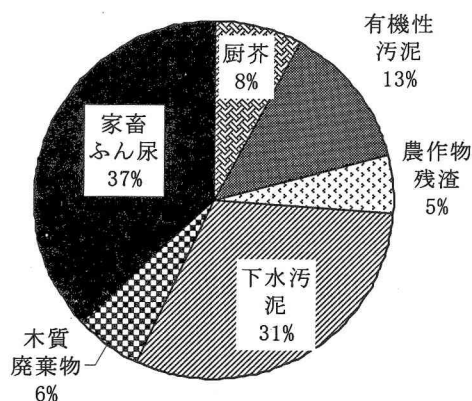


図1. 有機系廃棄物の排出 (日本全国)

2. 目的

本研究では、まず、酪農経営収支に着目して、家畜ふん尿バイオガス化システム導入における問題構造を把握し、抽出された根本的な課題を改善するシステムの提案を第一の目的とした。また、家畜ふん尿バイオガス化を含む酪農経営全体の経済性を評価するモデルを構築し、提案システムを含む代替案の収支を比較することによって、より持続性の高い酪農形態を示すことを最終的な目的とした。

3. 家畜ふん尿バイオガス化導入における問題

家畜ふん尿のバイオガス化導入における問題構造の把握は、著者らによる下水汚泥リサイクルの検討¹⁾と同様に、既知の問題を挙げた上でそれらの原因や影響を考察し、根本的な問題を抽出することにした。

これまで実施されているバイオガス発電事業においては収益性の低さが懸念されているが、これはバイオガス化事業が成立している欧州諸国と比較して、再生可能型エネルギー由来の電力価格が低いことと関連している。その根本的な問題は、地球温暖化を抑制するための制度が十分整備されていないことである。

バイオガス化の採算性は施設の規模とも関係しているが、行政の政策は施設建設費用への補助が主で、施設規模に関する誘導は特になされていない。また、バイオガス化は施設運用時の費用が大きく、施設建設費用への補助だ

けでは事業採算性の面で不十分な場合がある。かといって、運用費用まで行政が補助を行えば財政自体の持続可能性が危ぶまれる。

北海道では家畜ふん尿の集約型バイオガス化システムも移動しているが、酪農自体の収益性が上がるわけではないので採算性が大幅に向上するには至っていない。また、ふん尿輸送時の費用や臭気等といった課題も依然として残されている。このように、適正処理施設だけに着目した政策には限界があることが根本的な問題の一つである。

ここで、酪農経営自体に眼を向けると、農家にとって、家畜ふん尿の適正処理費用は決して安いものではなく、追加投資は経営を圧迫する可能性がある。また、農家の大きな問題である後継者不足は、経営難だけが原因ではなく、労働時間の長さ等も考えられ、特に小規模の酪農家では労働力や労働時間に余裕が無い。一方、これまでの環境政策では酪農経営の規模に対しては注意が払われておらず、収益性が変わらないまま追加投資を強いる形になっていたため、適正処理の採算性が課題となっていた。すなわち、酪農経営規模に注意を払わない政策にも根本的な問題があり、最終的に酪農の持続可能性を低下させかねない。

以上の問題構造を図4に示す。問題要因とそれらの関係は、それぞれ四角と線で示される。既知の問題は太線の四角で、根本的な問題は二重線の四角で示されている。特に、根本的な問題はシステムの制約条件であり、これを改善することがシステム最適化の鍵となる。

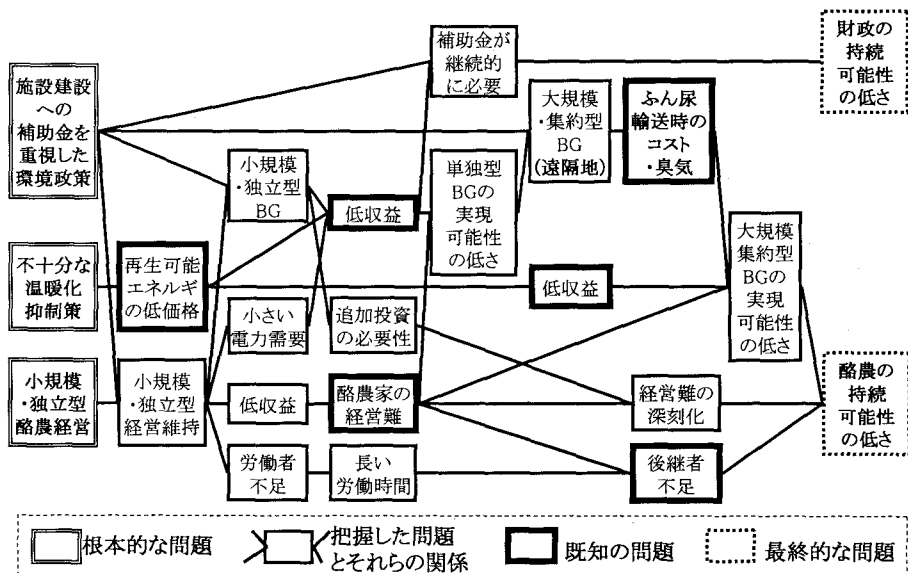


図2. 家畜ふん尿バイオガス化における問題構造

4. 改善システムの提案

前述したように、集約バイオガス化システムにおいても個別農家からのふん尿輸送における問題が残されている。家畜ふん尿は毎日排出され、かつ長期保管は難しいことから、集約システムでは毎日輸送する必要がある、輸送経路周辺地域に与える影響は大きい。また、ふん尿集約処理だけを導入しても酪農経営、特に収益性は変化しない。施設導入に対する補助金投入は重要だが、このような政策に依存することは持続的ではない。もし酪農家に追加投資を強いるなら、廃棄物処理にとどまらない酪農経営全体の改善策を提示する必要がある。

酪農経営規模、すなわち乳牛飼育規模の拡大は収益性を向上させる最も単純な方策だが、各農家の権利や独自の方針が存在するため、農家の連合は容易でない。しかし、家畜排泄物法の施行によって、単独農家での適正処理が容易でなくなったため、連合による飼育規模拡大への誘因が大きくなる可能性はある。多くの個別農家と集約バイオガス化施設の組合せでは、家畜ふん尿の輸送距離は増大する。もし発生源が一つであれば、輸送距離を抑制することができる。さらに、発生源と集約処理施設が隣接していれば、輸送距離を限りなく小さくできる。

以上の議論を踏まえた改善策として、乳牛飼育とふん尿バイオガス化の集約・連携システムを提案することにした。従来のシステムとの比較を図3に示す。

図3に示すように、バイオガス化の副産物である発酵液は液肥(LF)として各農家が保有する草地(GL)に散布されている。バイオガス燃焼で産出した電力(EL)は牛舎で自家消費され、その分外部からの購入電力が削減される。図3の左は単独バイオガス化システムであり、現在最も一般的なものである。バイオガス化施設(BG)は牛舎(DH)に隣接しているが、規模の効果は小さい。中央は集約バイオガス化システムであり、規模の効果は期待できるが、施設が個別農家から離れて立地しているため、家畜ふん尿(EX)および液肥の大量輸送が必要である。右は集約乳牛飼育・ふん尿バイオガス化連携システムであり、バイオガス化のみならず乳牛飼育についても規模の効果が期待できる。このシステムでも液肥や飼料(サイレージ:SL)の輸送が必要だが、保管上の問題が少なく輸送頻度はふん尿よりも小さくて済む。集約飼育を行う牛舎(と隣接するバイオガス化施設)はいずれかの農家の敷地に立地させ、放牧は牛舎に隣接する草地で行うものとする。また、各農家の草地においてサイレージの製造および液肥の散布を行い、適正な有機物循環を図る。

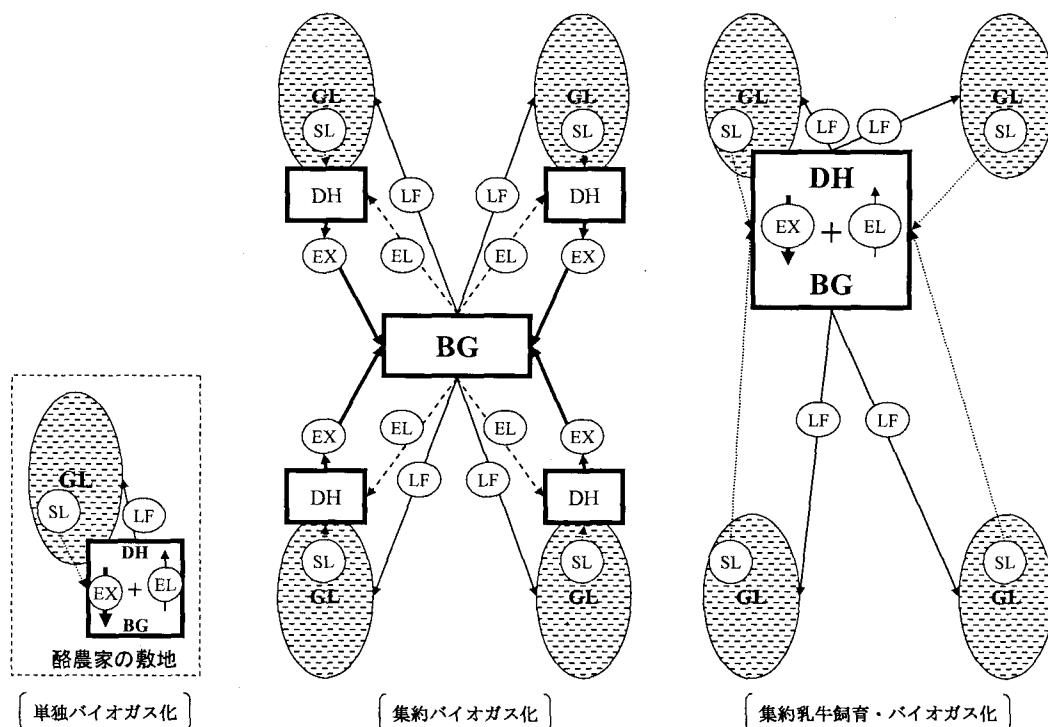


図3. 集約型乳牛飼育・ふん尿バイオガス化システムの提案

5. 評価モデルの構築

2章で述べたように、本研究では、ふん尿管理を含む酪農経営収支を評価するモデルを構築し、現状の収支や、2章で提案した改善策を導入した経営収支を評価することを目的としている。評価モデルでは、規模の効果を分析するために、乳牛の飼育規模やふん尿の処理規模に対する収入と支出の関数を組み込むことにした。牧草生産量、酪農経営収支の関数におけるパラメータは、農水省の酪農に関する統計^{2) 3)}に基づいて求めた。集約型乳牛飼育では新規に大型牛舎を設置する必要があるため、同モデルでは、牛舎建設費用の関数も組み込むこととし、これについてはPereiraらの研究⁴⁾における関数を参考とした。ふん尿処理量に対するバイオガス化施設総費用の関数は、国土交通省のバイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル⁵⁾に示された汚泥消化施設に対する関数を参考とした。家畜ふん尿、発酵液、およびバイオガス発電量等についてはいくつかの報告書を参照した。評価の手順としては、まず、基準となる酪農家の飼育規模を設定する。続いて、前述の関数を用いて種々の費用および収入を算出し、これらを合算した総収入と総支出から所得を求める。これを現状の経営と改善策を導入した経営とで比較し、元の所得以上であれば持続可能とみなすことにする。同モデルは、ふん尿バイオガス化や乳牛飼育の集約化だけでなく、補助金の導入や電

力価格の向上といった施策も評価できるように作成した。以上の議論に基づいて構築した評価モデルの全体像を図4に示し、モデルで適用した代表的な数値を表1に示した。

6. A町におけるケーススタディ

酪農家の経営収支は日本全体における統計データや、酪農が盛んな地域の統計データを適用することにした。5章で構築したモデルを用いて、飼育頭数規模と経営収支の関係をバイオガス化施設導入の有無で比較したところ、バイオガス導入の場合、収入は一定で支出が増加するため所得は減少した。飼育規模が50〔頭/戸〕では負の値を示し、100〔頭/戸〕でようやくバイオガスを導入しない場合の7割に達する結果となった。

今回のケーススタディでは、100〔頭/戸〕規模の酪農家を基準として、バイオガス化を導入しつつも導入しない

表1. 評価モデルで適用した変数

変数	値	単位	根拠
ふん尿排出量	50	kg/頭/日	文献7)
バイオガス発生量	30	m ³ /t-ふん尿	文献7)
液肥発生量	0.98	t/t-ふん尿	文献7)
バイオガスの熱量	5,500	kcal/m ³ -BG	一般値
電力の熱量換算値	860	kcal/kWh	一般値
発電効率	0.25	-	文献7)
輸送単価	40	円/km/t	仮定値
電力購入単価	7	円/kWh	文献7)

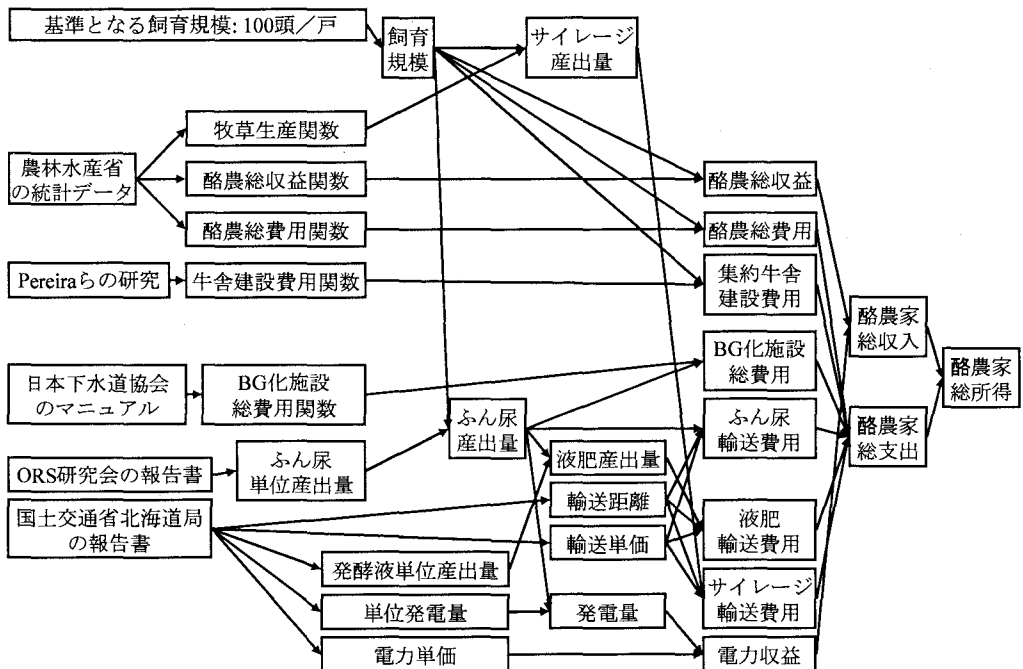


図4. 酪農経営収支の評価モデル

場合と同等の所得が得られるような改善策を検討することにした。

基準となる 100 [頭/戸] の酪農家において、バイオガスを導入しない場合の所得は約 851 [万円/戸/年] と試算され、今回のケーススタディではこれを持続可能性評価の基準とした。

経営改善策は、「牛ふん尿の集約バイオガス化」、「乳牛飼育・牛ふん尿バイオガス化の集約化」、「補助金の導入」、「電力価格の上昇」の4つを想定した。また、評価モデルを用いた各代替案の導入効果の試算結果を図5, 6, 7にまとめて示した。

まず、酪農家の総支出額とその内訳を図5に示す。最大の支出額を示した内訳は酪農総費用で、バイオガス化施設総費用がそれに次いだ。他の内訳は、集約牛舎の建設費用でさえ相対的に小さくなった。個別農家が連合し、ふん尿処理の集約化とともにバイオガス化施設総費用は小さく

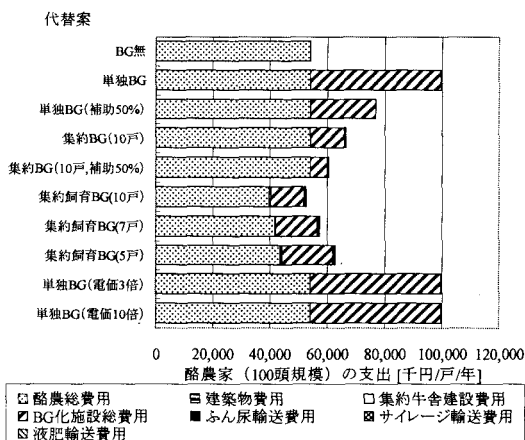


図5. 代替案導入による酪農家総支出の変化

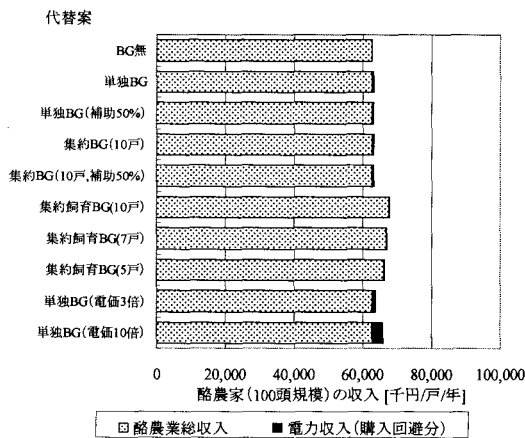


図6. 代替案導入による酪農家総収入の変化

なり、また、乳牛飼育の集約化が進むにつれ酪農総費用は小さくなった。

酪農家の総収入額とその内訳を図6に示す。収入のほとんどは酪農業から得られるもので、外部電力購入を回避する分の効果は相対的に小さい。酪農業総収入は乳牛飼育集約化において増加した。電力価格を10倍に上昇させたとしても全体の経営収支規模と比べると依然として小さい。

導入を検討した代替案ごとの酪農家の所得を図7に示す。図7では、10戸の農家連合による乳牛飼育の集約化(1000 [頭/戸])で最大の所得額を示した。一方、補助金政策では、建設費用に50%投入しても依然赤字になるという結果であった。また、電力価格の上昇では顕著な改善は見られなかった。酪農経営がバイオガス化施設を導入しつつも元の所得水準を得るためには、おおよそ700 [頭/戸]であることが分かった。

7. まとめ

家畜ふん尿のバイオガス化実施における問題の一つは、酪農家の経営(飼育)が小規模の場合、バイオガス化施設を受け入れるほど収益性が十分にないことが挙げられる。他方、環境政策の施設建設への補助金投入への偏り、システム改良の努力不足も問題として挙げられる。また、家畜ふん尿の集約バイオガス化システムは輸送量の増大に伴う費用増大や臭気などが問題となりうる。

本研究では、家畜ふん尿バイオガス化を含む酪農経営収支を評価するモデルを構築した。このモデルでは、乳牛飼育頭数やふん尿処理量等の規模の効果に着目し、それを表現する費用関数等を組み込んだ。

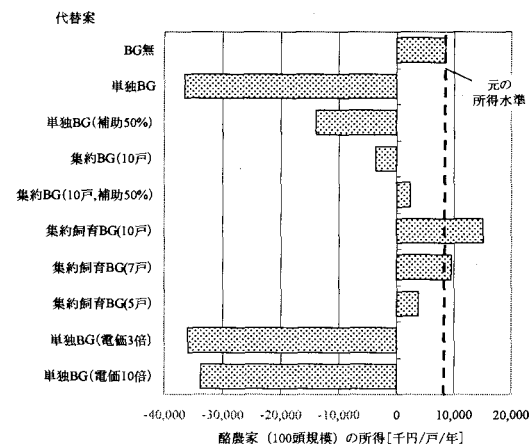


図7. 代替案導入による酪農家所得の変化

また、酪農経営改善策として、乳牛飼育とふん尿バイオガス化の集約・連携システムを提案し、これ以外の代替案として牛ふん尿の集約バイオガス化、補助金の導入、電力価格の上昇も想定した。

さらに、構築したモデルによる評価の結果、今回のケーススタディにおける条件では、乳牛飼育とふん尿バイオガス化の集約化が有効であり、酪農経営がバイオガス化施設を導入しつつも元の所得水準を得るために必要な規模は、おおそ 700 [頭/戸] という結果になった。一方、補助金政策や電力価格上昇は顕著な改善効果を示さなかった。

課題としては、統計では確認しきれなかった収入と支出に関する詳細なデータの分析、および酪農家に対するヒアリング調査、乳牛の飼育環境の検討等が挙げられる。

参考文献

- 1) Inaba, R., Furuichi, T. and Nishi, N. : Systems Approach to Promotion of Sewage Sludge Recycling in Japan, ISWA World Environment Congress and Exhibition (CD-ROM), 2004.
- 2) 農林水産省統計情報局：家畜統計(2003年2月1日), 農林水産省ウェブサイト(<http://www.maff.go.jp>), 2005年1月時点

- 3) 農林水産省統計情報局：牛乳生産費用 (2003年全国), 農業経営経済統計調査報告 (経営動向統計), 農林水産省ウェブサイト(<http://www.maff.go.jp>), 2005年1月時点
- 4) Pereira, J. M., Alvarez C. J. and Barrasa M. : Prediction of Dairy Housing Construction Costs, Journal of Dairy Science, Vol.86, No.11, pp. 3536-3541, 2003
- 5) 国土交通省・地域整備局下水道部, 社団法人日本下水道協会：バイオソリッド利活用基本計画 (下水污泥処理総合計画) 策定マニュアル, 社団法人日本下水道協会, 2004年
- 6) 有機系廃棄物資源循環システム研究会：平成15年度有機系廃棄物資源循環システム研究会 (ORS研究会) 研究活動報告書 (第二期活動 その二), 有機系廃棄物資源循環システム研究会, 2004年
- 7) 国土交通省北海道局：平成15年度北海道特定開発事業推進調査 有機性廃棄物広域総合処理基盤整備推進調査報告書, 2004年

CENTRALIZATION OF DAIRY FARMING FACILITIES COPING WITH BOTH ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Rokuta INABA, Tohru FURUICHI, Toshihiro KOMATSU and Norio NISHI

Biogasification has been expected to be one of contributor to adequate management of waste biomass and promotion of renewable energy. Technological, economic, social and environmental factors have to be considered when a biogasification system is introduced into a region. In this study, we discuss these factors and identify their structure. Both qualitative and quantitative factors were found in the structure. Based on these considerations, we establish a model that describes the factors surrounding biogasification systems. Several alternatives were proposed to improve the sustainability of such systems, and we evaluated the sustainability of the alternative and suggested the optimum one. As a result of the evaluation, the combination of intensive breeding of cows and biogasification of their excreta was found to guarantee a sustainable level of income without any subsidy. The intensive scale may be as low as 700 cattle, created by the alliance of seven farmers. The other problems, such as stress of cattle in intensive breeding, are future assignment.