

2020 年度

家畜ふん尿由来の液化バイオメタンを利用したエネルギー地産地消モデル化事業

エネルギーの地産地消システム基本計画書

2021 年 3 月

2021 年 7 月改訂

大樹町

-目次-

1. 事業内容	2
1-1. 背景と町の課題	2
1-2. 事業目的	2
2. 研究開発内容	3
2-1. 事業概要	3
2-2. エネルギー有効活用計画	4
1) メタン発酵原料の調査および原料のメタン発酵試験	4
2) 原料収集計画の策定	8
3) メタンの精製、液化技術・供給システム調査および設計	8
4) 二酸化炭素の利用先および利用方法の検討	20
5) システムの物質収支、エネルギー収支	22
6) バイオガスプラントの設備・機器構成の検討	27
7) 施設配置図・フロー図	30
3. エネルギー有効活用計画の事業スケジュール	32

1. 事業内容

1-1. 背景と町の課題

大樹町は十勝地区の南部に位置し、東は太平洋、西は日高山脈に接している。中央部は歴舟川や紋別川の流域である十勝平野が広がっており、農業・酪農を中心に漁業、林業を基幹産業としている。また、「宇宙のまちづくり」を掲げ、ロケット発射場を整備し飛行実験を行うなど、航空宇宙分野の様々な取り組みが実施されている。

そうした中、現在町内では以下のような課題が発生している。

- ①増頭などにより深刻化が懸念される家畜ふん尿処理問題
- ②地域で発生するバイオマスの未活用および地域内利用エネルギーの増大
- ③家畜ふん尿の発生量増加やエネルギー利用量増大に起因する地域内環境等への悪影響

上記の課題を解決するため、家畜ふん尿を処理するためのメタン発酵処理施設（バイオガスプラント）の設置を軸とした「大樹町におけるエネルギーの地産地消モデル」を構築することとした。

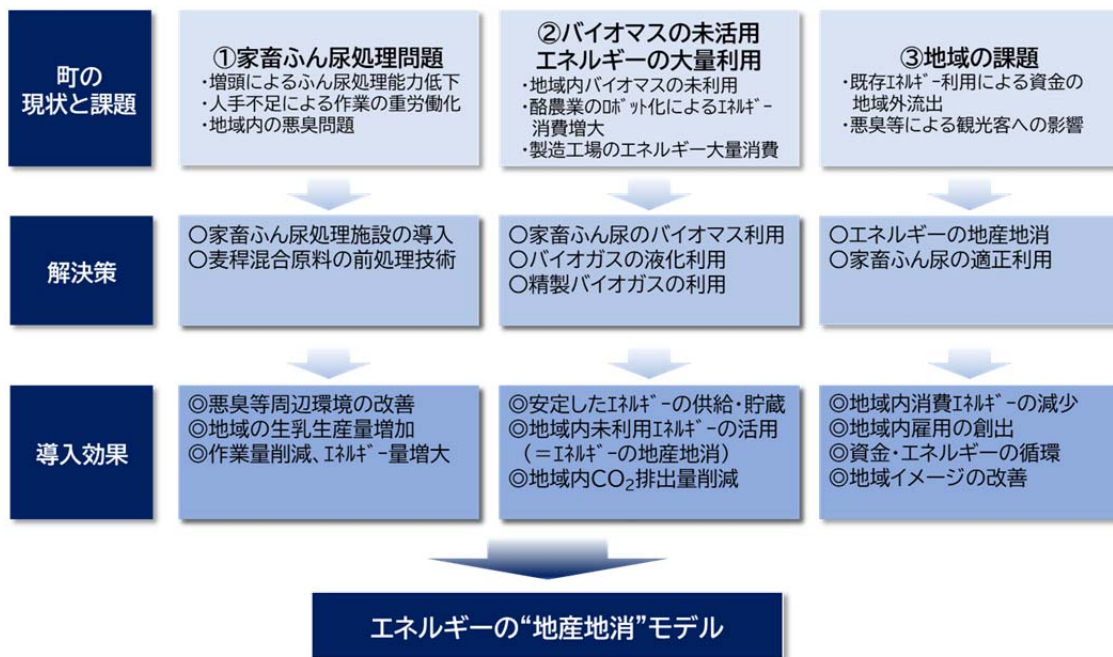


図 1-1 本事業の背景の概要（町の現状と課題、解決策、導入効果）

1-2. 事業目的

上記を踏まえ、本事業では約 1,500 頭の乳牛ふん尿を処理可能なバイオガスプラントを想定し、生成したバイオガス中のメタンを精製・濃縮・液化して町内利用するモデルの構築を検討した。本システムは、メタン発酵槽やバイオガス精製装置、メタン液化装置などから構成することで、酪農家の家畜ふん尿処理施設としてだけでなく、バイオガス生成によるエネルギー創出施設としても機能する。発生するバイオガスは精製装置によりメタン濃度を高め、酪農家内でトラクター燃料としての利用に加え、液化バイオメタンに変換し、

近隣の公共施設や民間企業等（以下、「公共施設等」とする。）へ供給するほか、ロケット燃料としての活用も検討する。これにより、地域内の未利用バイオマスを活用することで創出されたエネルギーを地域に還元する「エネルギーの地産地消モデル」を構築する。

2. 研究開発内容

2-1. 事業概要

本事業では、以下のシステムについて検討を行った。

町内酪農家（1,500頭規模の集合型・戸別型）を対象にバイオガスプラントを設置し、バイオガスプラントから発生したバイオガスの一部を発電機、またはボイラーに供給することで、電気および温水を生成する。生成した電気・温水の内、バイオガスプラントの稼働（維持）に必要なエネルギーを供給した後、余剰となったバイオガスをバイオガス精製装置に供給し、精製バイオガス（メタン 95%以上）と分離 CO₂（95%以上）を製造する。精製バイオガスは、酪農家で使用されているディーゼルエンジントラクターに供給し、トラクターの燃料として用いる。これにより、酪農家における軽油の消費量を削減する。余剰となった精製バイオガスは液化装置に送ることで、液化バイオメタン（メタン 99%以上）に変換し、町内の公共施設やロケット発射場などで利用する天然ガスの代替品として利用する。一方オフガスとして発生する分離 CO₂は、地域内の園芸ハウスへ供給することで、作物の生育促進剤としての利用を検討することとした。

原料をメタン発酵した後に排出されるメタン発酵残さ（メタン発酵消化液）は固液分離することで、分離液分は周辺の牧草地や畑作地へ散布する液体有機質肥料として、分離固形分は乾燥させた後再生敷料として牛舎で利用する。

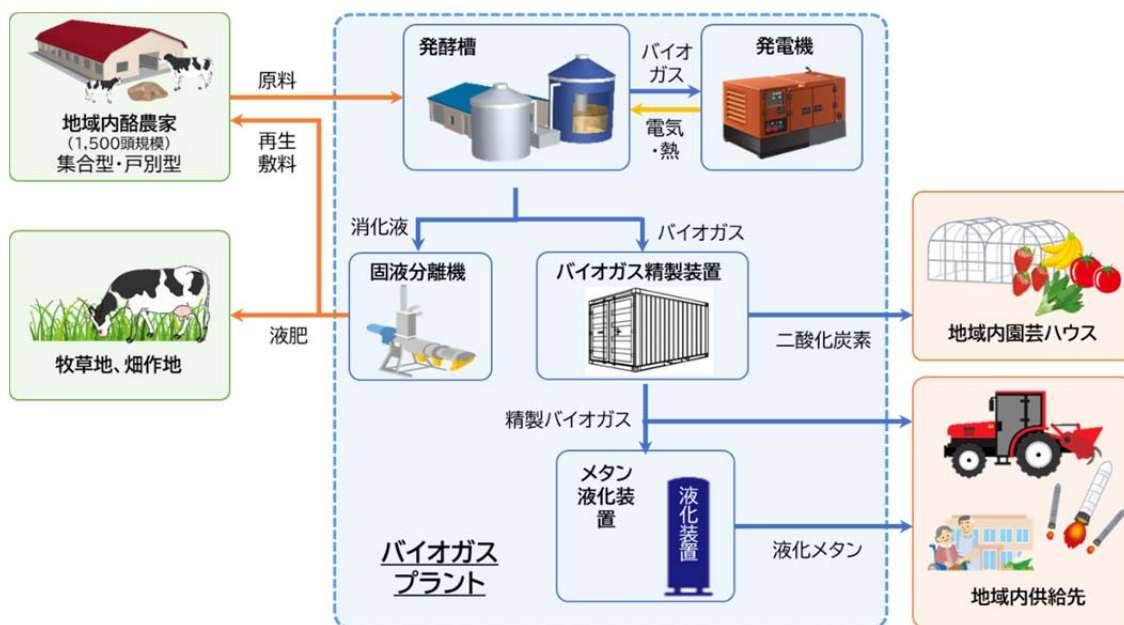


図 2-1 本モデルの事業概要

2-2. エネルギー有効活用計画

前述の事業概要を基に、地域内のエネルギー有効活用モデルを策定するため、原料の発生量からトラクターでのバイオガス利用、液化バイオメタンの利用までの基本調査を行った。それぞれについて以下に示す。

1) メタン発酵原料の調査および原料のメタン発酵試験

① 原料の発生状況および敷料利用状況調査

本モデルは乳牛飼養頭数を 1,500 頭とした場合のメタン発酵原料の発生量を検討した。なお、集合型バイオガスプラントの検討については、町内で集合型プラントの導入を希望する酪農家 6 軒を対象として現地調査を実施している。酪農家はそれぞれ A 農家～F 農家として区分した。

6 軒の酪農家を対象として、それぞれ原料の性状、飼育形態、飼養頭数、敷料の利用状況などの調査を実施した。結果を以下図 2-2、表 2-1 に示す。



図 2-2 A～F 農家の飼育頭数と飼養形態

表 2-1 農家ごとの原料発生状況および敷料利用状況

	A農家	B農家	C農家	D農家	E農家	F農家		
						つなぎ	フリーストール	
頭数 (頭)	407	268	401	138	233	287		
ふん尿量 (t/日)	17.9	11.3	16.1	6.2	10.7	7.1	5.8	
敷料	木くず (t/日)	0.3	0.4	3.5	-	1.4	-	-
	麦稈 (t/日)	-	-	0.18	0.23	0.45	0.11	0.09
水分率 (%)	89.5	86.8	82.3	87.8	87.4	88.2	84.1	
VS/TS (%)	83.9	86.6	88.7	86.5	87.3	81.8	86.1	

② 原料のメタン発酵試験

対象の酪農家から排出される乳牛ふん尿のバイオガス発生量を正確に把握し、結果を設計に反映するため、室内での小規模メタン発酵試験を実施した。本項目で実施した試験では1Lの小型容器にサンプルを期間中密閉・保温し、メタン発生ポテンシャルを測定するバッチ試験を採用している。

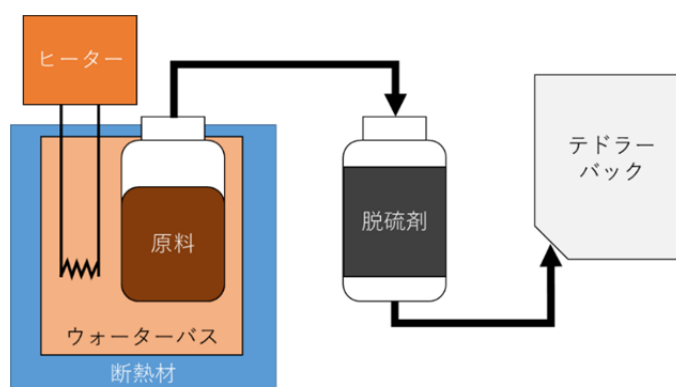


図 2-3 発酵試験装置概略図

メタン発酵試験は40日間実施した。装置概略図を図2-3に示す。発酵槽はウォーターバス、ヒーター、断熱板（スタイロフォーム）で構成されている。ガスバックは、発酵状態に合わせて1~5Lのテドラーバックを用いた。脱硫槽は、250mLポリビンに乾式脱硫剤（酸化鉄）を充填したものをを用いた。

本試験にて使用したサンプルは表2-2、2-3の通りである。各酪農家から採取したふん尿を原料とし、それぞれ3反復試験を実施している。

表 2-2 発酵試験を実施したサンプルの詳細 (A~C 農家)

サンプル	A農家			B農家			C農家		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
反復									
サンプル量(g)	147	145	153	102	103	101	107	103	103
種汚泥 (g)	549	553	502	501	507	505	511	504	505
TS (%)	4.8	4.8	4.8	13.2	13.2	13.2	12.0	12.0	12.0
VS/TS (%)	83.9	83.9	83.9	86.6	86.6	86.6	88.7	88.7	88.7
投入VS量(g)	5.96	5.88	6.20	11.68	11.79	11.56	11.39	10.96	10.96

表 2-3 発酵試験を実施したサンプルの詳細 (D~F 農家)

サンプル	D農家			E農家			F農家 (つなぎ)			F農家 (フリーストール)		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
サンプル量(g)	101	107	105	101	104	100	104	105	106	113	103	100
種汚泥 (g)	511	507	502	541	513	510	502	501	504	516	504	507
TS (%)	12.2	12.2	12.2	12.6	12.6	12.6	15.9	15.9	15.9	11.8	11.8	11.8
VS/TS (%)	86.5	86.5	86.5	87.3	87.3	87.3	86.1	86.1	86.1	81.8	81.8	81.8
投入VS量(g)	10.63	11.26	11.05	11.07	11.40	10.96	14.24	14.37	14.51	10.89	9.93	9.64

上記サンプルを用いて実施した発酵試験の累計バイオガス発生量をグラフにしたものを図 2-4 に示す。

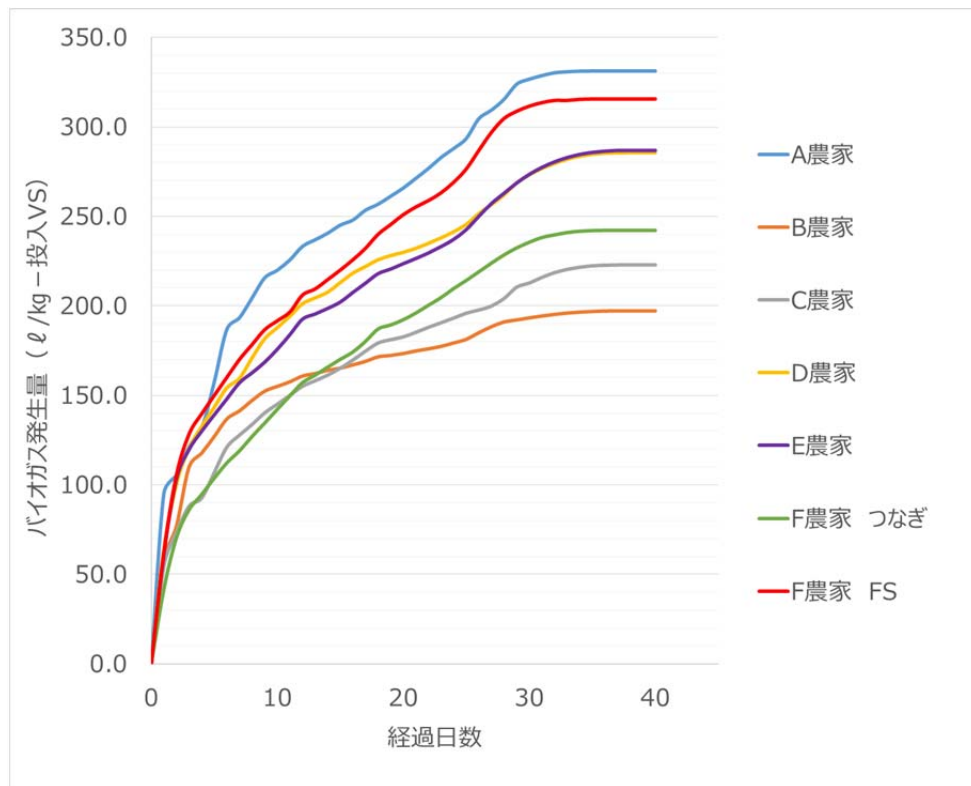


図 2-4 メタン発酵試験のガス発生量の推移

試験結果のまとめを表 2-4 に示す。

表 2-4 メタン発酵試験のまとめ (3 検体平均)

	単位	A農家	B農家	C農家	D農家	E農家	F農家 つなぎ	F農家 FS
水分率	%	95.2	86.8	88.0	87.8	87.4	84.1	88.2
固形物率	%	4.8	13.2	12.0	12.2	12.6	15.9	11.8
有機物率	%	4.1	11.4	10.6	10.5	11.0	13.7	9.6
有機物/固形物	%	83.9	86.6	88.7	86.5	87.3	86.1	81.8
バイオガス発生量	m ³ /t-VS	331.1	196.5	221.6	283.6	284.6	241.7	315.4
バイオガス発生量	m ³ /t-原料	13.4	22.5	23.6	29.9	31.2	33.1	30.4
メタン濃度 (3 検体平均)	%	58.2	58.0	57.9	58.0	57.8	58.4	58.1

一般的に乳牛ふん尿からのバイオガス発生量は 340 m³/t-VS 程度であると言われている (参考文献: メタン発酵導入のための固体バイオマスの簡易 COD_{Cr} 分析法によるメタン転換率の評価、三崎 岳郎・池本 良子、2020 年)。本試験では一般値と比較してガス発生量が低い結果となった。また、メタン濃度の一般的な値は 56%ほどであるといわれている。(バイオガスの最新技術 p. 60、西尾尚道・中島田豊、2008 年) 本試験ではメタン濃度が一般的な値以上であることから、本試験は十分な嫌気性状態の下で、良好な発酵が行われていることが確認された。

2) 原料収集計画の策定

本モデルを集合型プラントとして構築した際には、各酪農家からバイオガスプラントまで原料の運搬が必要になる。本項目では各酪農家から発生したふん尿の収集計画について検討を行った。

6農家の位置関係は前述の図 2-2 の通りである。本事業の段階では集合型プラントの設置場所が決定していないため、6農家の配置の中央付近にプラントを建設したと仮定し、検討を行った。

本検討では集合型バイオガスプラントへのふん尿の運搬に大型ダンプを用いることを検討している。今回検討したダンプは天蓋付きの架装となっており、車両後部のテールゲート、および天蓋は水密性を確保するためのゴムパッキンが取り付けられている。そのためふん尿の輸送を行う際に公道に内容物がこぼれ落ちるなどの懸念がなく、本モデルを実現する際に近隣地域に理解が得られやすい車両であると考えられる。本車両が各酪農家とプラント間を往復し、酪農家に堆積されているふん尿をホイールローダー、スラリーストアに備え付けられた汲み上げポンプなどを用いて、積載・運搬する。

3) メタンの精製、液化技術・供給システム調査および設計

液化バイオメタンの原料となる余剰バイオガスについては一般的なバイオガスの性質と同等であり、メタン濃度は 58%ほど、二酸化炭素濃度は 40%ほどと考えられる。本システムでは余剰バイオガスは膜分離技術を用いたメタン精製装置に供給され、メタン濃度を上昇させる。精製バイオガスは、トラクター燃料利用を行うほか、メタン液化装置へと供給され、液化バイオメタンを製造する。以下にそれぞれの装置についての詳細、および各生成物の利用方法を記述する。

① メタン精製装置、および液化装置の概要

メタン精製装置

メタン分離用の中空糸状の膜モジュールを用いてメタン濃度を 95%以上に上昇させることが可能である。バイオガスに含まれる H_2O 、 N_2 、 CO_2 、 O_2 などのガスはメタンと比較して膜への透過性が高く、膜の内部から外部に排出・除去される。そのため精製ガスは最も透過しにくいメタンが高濃度となり、その他のガスは微量となる。本装置の概略フロー、および主要仕様を図 2-5、表 2-5 に示す。原料となるバイオガスはブローアー、シロキサン処理設備、圧縮機を通過し、0.9MPa まで昇圧した状態で膜分離ユニットに供給され、精製バイオガスとなる。ヒーターは膜分離ユニットを加温し、内部に水分が凝縮することを防止する。ここでのメタン回収率とは「生成物に含まれるメタン (m^3) /装置に供給されるメタン (m^3)」である。

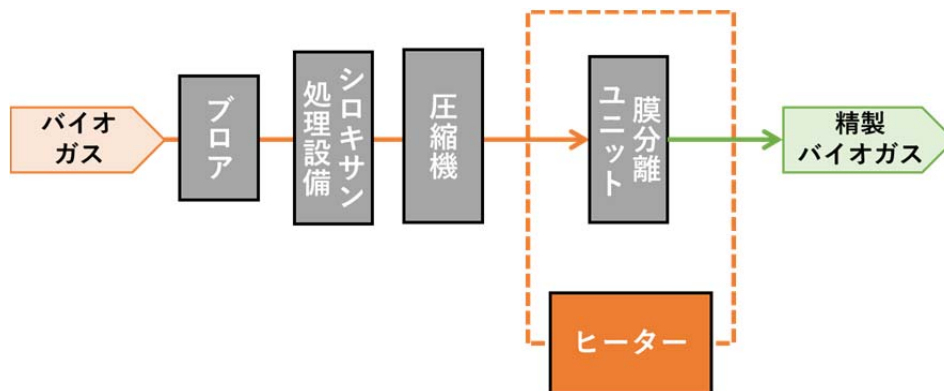


図 2-5 バイオガス精製装置の概略フロー

表 2-5 バイオガス精製装置の主要仕様

原料ガス組成	CH ₄ … 56% CO ₂ … 40% (余剰バイオガス)
原料ガス圧力	1.2kPa
原料ガス温度	38℃
生成物組成	CH ₄ … 97.44% N ₂ … 2.16% CO ₂ … 0.11% O ₂ … 0.29%
生成物圧力	0.85MPa
生成物温度	34℃
バイオガス処理量	80Nm ³ /h
メタン回収率	95%

メタン液化装置

このメタン液化装置は、天然ガス液化プラントに一般的に使用される炭化水素冷媒より取り扱いが容易な液化窒素を冷熱源としてメタンを液化するものである。保冷箱内に熱交換器、液

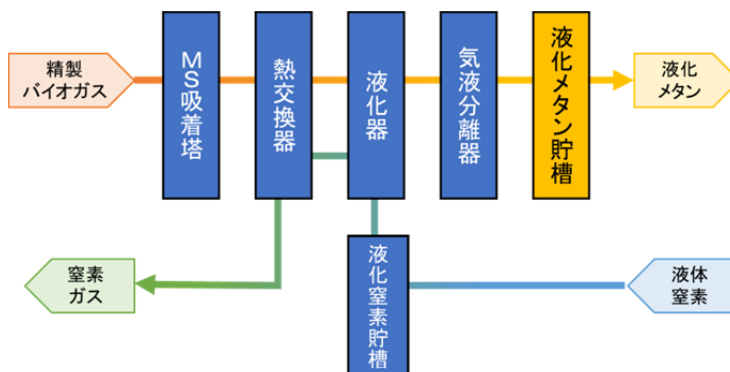


図 2-6 メタン液化装置の概略フロー

化窒素貯槽、液化器、気液分離器、液化メタン貯槽が格納されており、外部にMS吸着塔を設けている。精製されたバイオガスはMS吸着塔で不純物のCO₂を取り除かれたのちに、液体窒素の冷熱を利用した熱交換を行うことで、およそ9割のメタンを液化することができる。液化バイオメタンを気液分離器によりガスと液体に分離することでメタン濃度は99%以上となる。以降の検討では液化バイオメタンのメタン濃度は簡略化のため100%として扱う。メタン液化装置の概略フロー、主要仕様を図2-6、表2-6に示す。

表 2-6 メタン液化装置の主要仕様

原料ガス組成	CH ₄ ...	97.44%
	N ₂ ...	2.16%
	CO ₂ ...	0.11%
	O ₂ ...	0.29%
原料ガス温度	34°C	
原料ガス圧力	60kPa以上	
原料ガス処理量	60Nm ³ /h	
生成物組成	LCH ₄ ...	99%以上
生成物流量	53Nm ³ /h	
生成物温度	-162°C	
生成物圧力	10kPa	
メタン回収率	90%	

本システムでは液化バイオメタンの供給先としてロケットの燃料とすることを検討している。その際に重要となるのは液化バイオメタンの性質が安定していること

と、硫化水素の混入が見られないことである。ロケットの飛行は緻密な設計の上に、成り立っているものであり、燃料である液化バイオメタンの性質も大きく影響する要素となる。また、硫化水素の腐食性が機器に影響することは極力避ける必要がある。本システムのメタン液化装置は前例のないものであり、今後はどのような性質の液化バイオメタンが製造可能なのか、実機も視野に入れたシミュレーションが必要であると考えられる。

② 精製バイオガスの利用先および利用方法の検討

都市ガスに成分が近い精製バイオガスは都市ガスの代替品としての利用に加え、酪農家が所有する軽油を燃料としたトラクターにおいて、補助的に燃料として利用することが可能である。現状ほぼすべての酪農家において、トラクターが利用されており、「ふん尿および堆肥の運搬や散布」、「麦稈ロールなど重量物の運搬」、「飼料の攪拌、散布」、「家畜ふん尿貯留槽の攪拌機への動力供給」などの多種多様な作業を日々行っている。これらの作業では、トラクターの燃料として軽油を大量に消費している。バイオガスを有効活用し、トラクターの燃料として活用することで、これらの作業における軽油消費量を削減することができ、化石燃料の消費抑制や燃料費削減による酪農経営の改善にもつながる。また、本利用方法はバイオガスプラントを所有する酪農家内で完結するため、実現に向けた関係各所との調整などの場面が少なく、その点において実現までのハードルが低いというメリットも考えられる。

バイオガスをトラクター燃料として使用する技術の概要は以下の通りである。トラクターのディーゼルエンジン内部では軽油を燃料として吸入した空気を燃焼させているが、この空気の取り組み口に精製バイオガスを噴射し、精製バイオガス（メタン）と空気の混合気を燃焼させる。これにより、空気のみを燃焼させる通常の運転と比較して多くのエネルギーを獲得でき、軽油の消費量削減が期待できる。上記の改良を行う場合は、既存のエンジン部分については改造を必

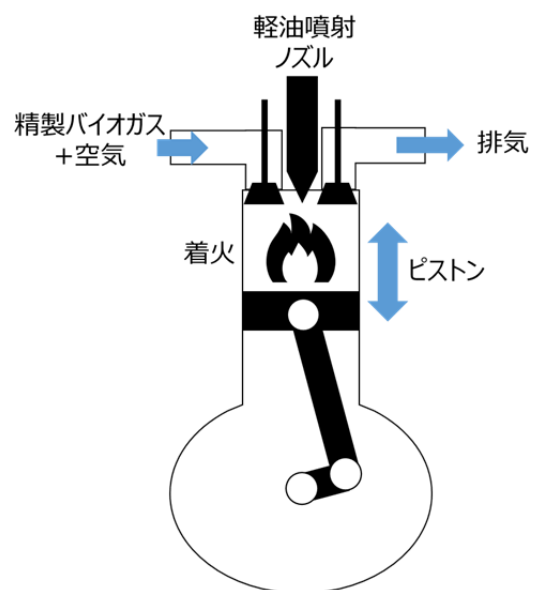


図 2-7 バイオガス利用トラクターのエンジン部分概要図

要としないため、改造は比較的容易である。なお、本技術では精製バイオガスの供給が停止した場合には、通常の軽油専焼エンジンとして稼働できるため、作業効率を低下させる恐れはない。

トラクターを利用した作業には、走行を伴う作業を行う場合と、走行を伴わず定置したトラクターで機器を稼働させ作業を行う場合（PTO : Power Take Off の略語。トラクターのエンジン動力を作業機械用の動力として外部に取り出すこと）の二通りが存在する。走行するトラクターに安定して精製バイオガスを供給するためには、車体に精製バイオガスの貯蔵容器を取り付ける必要がある。作業効率を低下させないためにも、長時間の作業にも耐えうる十分な充填量を持つ容器を取り付けることが重要となるが、作業性やトラクター車体のバランスを考慮し、決定する必要がある。また、精製バイオガスの貯蔵においてはメタンの吸着材が封入された吸蔵容器に充填することを想定している。吸着材により貯蔵容器容積のおよそ 30 倍のメタンが貯槽可能となる。トラクターが定置して稼働する場合は、同様に車体に貯蔵容器を取り付けてもよいが、定置するトラクター付近に貯蔵容器を運搬し、トラクターと接続・供給する方法も可能である。

表 2-7 に本技術の導入による具体的な効果（軽油購入費削減効果、二酸化炭素削減効果）を試算した。ヒアリングに基づき、酪農家における 10 時間のトラクター作業（1 日当たり）にバイオガス利用トラクターを活用した場合の試算を行った。バイオガスをトラクター燃料として利用することによる軽油の削減率は 50%ほどと想定している。100 馬力のトラクターを用いたと仮定し、軽油削減量を試算すると、表 2-7 のようになる。軽油の消費量を平均 10ℓ/h と仮定すると、年間の軽油削減量は 18,250ℓ/年となる。北海道における過去 1 年間の軽油平均単価は 116 円/ℓ 程であるため、年間の軽油購入費削減額は 2,117,000 円/年となる。また、軽油の消費量削減による二酸化炭素の排出量削減効果は年間 47t ほどと試算された。「大樹町地球温暖化対策実行計画（2021 年 4 月）」では、2030 年度までに町内の二酸化炭素排出量を 1,700t/年ほど削減することを目標としている。そのためバイオガストラクターの導入により、目標値の 2.7%を削減可能である。町内の複数農家での導入が進むことにより、更なる削減効果が期待できる。

表 2-7 バイオガス利用トラクターによる各種効果

項目	数値	単位
軽油削減率（想定値）	50%	
軽油消費量(バイオガス利用前)	10	ℓ/h
精製バイオガスの供給量	5	m ³ /h
トラクター作業時間	10.0	h/日
年間軽油削減量	18,250	ℓ/年
軽油単価	116	円/ℓ
軽油購入費削減量	2,117,000	円/年
軽油の単位二酸化炭素排出量	2.62	kg-CO ₂ /ℓ
年間二酸化炭素削減量	47,797	kg-CO ₂ /年
年間バイオガス消費量	29,892	m ³ /年

また、電動の機器をトラクターPTOで稼働する機器に代替することで、月々の電気代における基本料金の抑制というメリットが発生する。日々使用する機器については電動とすることが運用上望ましいと考えるが、特定の時期に限定して稼働する機器については電力ではなく、PTOで稼働可能な機器を導入することで、電力会社との契約電力（ピーク電力）を低下させることができ、基本料金の上昇を抑えることができる。PTO機器を導入する箇所としては、消化液の散布時期のみ稼働するスラリータンクの攪拌機などが適していると考えられる。また、本技術の導入に合わせ、牧場におけるPTO駆動機器の範囲を拡大させることで更なる経費削減効果が期待できる。仮に、契約電力を30kW抑えることができた場合、電気代の削減効果は年間60～70万円ほどになると試算される。

③ 液化バイオメタンの貯蔵・運搬装置の検討および設計

本項目では、液化バイオメタン貯蔵・運搬装置の検討および設計を行った。今回はエネルギー供給先の対象を公共施設4施設とロケット発射場とした。

まず、公共施設4施設へのガス供給方法として、次の2つを提案する。1つ目は液化したバイオメタンを超低温容器に充填し、ユニック車で運搬する方法である。容

器の容量は 176L、もしくは 495L を想定しており、各公共施設のエネルギー消費量によって選定する。この超低温容器を気化器に接続してガスを消費していく。2 つ目はローリーへ液化バイオメタンを充填し、各公共施設に設置したマイクロサテライトにガスを貯蔵する方法である。マイクロサテライトとは一般的な液化ガス貯留用サテライトを小型化、容易化した貯留施設であり、本事業における液化バイオメタン製造量に適したサイズの貯留槽であると考え、検討に加えている。マイクロサテライトの貯留量は 7m^3 となっている。

公共施設への供給方法である上記の 2 方法を比較すると、消費者側の接続や消費にかかる作業が煩雑になることや、容器の数が多大になるため、マイクロサテライトを消費者側に設置し、後者のローリーによる運搬方法が適していると考えられる。

次にロケット発射場への供給方法である。ロケット発射場へ供給する液化バイオメタンは、バイオガスプラントに設置した 40 フィート、容量で言うと $30,780\text{m}^3$ の液化ガス貯蔵が可能な LNG タンクコンテナに日々少量ずつ貯留し、ロケット発射時にはコンテナごと牽引して運搬し、ロケットの射場へ供給する。

④ 液化バイオメタン製造・運搬・利用に係る関連法規の調査・整理

本項目では、液化バイオメタン製造・運搬・利用に関わる関連法規の調査・整理を行った。バイオガスプラントにおける液化バイオメタンの製造・運搬・販売、エネルギー供給先における液化バイオメタンの貯蔵・消費に分けて、高圧ガス保安法における必要な資格・資格者と届出・許可をまとめた。

本検討にあたり、バイオガスプラントにおける液化バイオメタンの製造に関する前提条件を示す。バイオガスプラントは 365 日 24 時間稼働し、液化装置 (9m^3 の貯蔵タンク) は 11.2 時間稼働すると想定する。これにより、 $0.96\text{m}^3/\text{日}$ のバイオメタンが 365 日製造される。1 日のガス製造量が 100m^3 以上となることから、第一種製造者となる。以下の表に、必要な資格・資格者と届出・許可をまとめた。

表 2-8 バイオガスプラントに必要な資格・資格者と届出・許可

	製造		運搬		販売	
必要な資格・資格者	高圧ガス 保安法 第 27 条の 2	・保安統括者 ・資格不要 ・事業所ごとに 1 人 代理人 1 人	高圧ガス 保安法 第 23 条	・移動監視者 ^{※2} ・製造保安責任者免状 所有者または協会が行 う講習修了者	高圧ガス 保安法 第 28 条	・販売主任者 ・甲・乙種製造免状又 は販売主任者免状所有 者かつ指定ガス種 ^{※3} の 6 か月以上の製造又は 販売の経験者 ・販売所ごとに 1 人
	同上	・保安係員 甲・乙・丙種化学 ^{※1} 直ごとに 1 人 代理人 1 人				
必要な届出・許可	高圧ガス 保安法 第 5 条	・高圧ガス製造許可	高圧ガス 保安法 第 5 条	・高圧ガス製造許可 移動式製造設備ロー リーに限る。	高圧ガス 保安法 第 24 条の 4	・高圧ガス販売事業届
	同上 第 26 条	・危害予防規定届出				

※1 乙種化学及び丙種化学の場合は、そのガスの区分の経験が必要。

※2 可燃性液化ガス 3,000kg 以上、可燃性圧縮ガス 300m³ 以上積載時に限る。

※3 アンモニア、一酸化炭素、アセチレン、水素、メタン、特殊高圧ガス等

表 2-9 消費者側に必要な資格・資格者と届出・許可【貯蔵能力 3t 未満 超低温容器による供給（加圧蒸発器が無いものに限る）】

	貯蔵		消費	
必要な資格・資格者	高圧ガス 保安法 運用解釈内規	受入側保安責任者 移動式製造設備から受け入れる時は、保安責任者（受け入れる高圧ガスの製造又は消費に関し 1 年以上の経験又は高圧ガス保安協会が行う高圧ガスの取扱に関する講習修了者を選任。	高圧ガス 保安法	なし
必要な届出・許可	高圧ガス 保安法 第 17 条の 2	第二種貯蔵所設置届	高圧ガス 保安法	なし（その他の消費の基準）

表 2-10 消費者側に必要な資格・資格者と届出・許可

【貯蔵能力 3 t 未満 消費先への貯槽設置による供給（加圧蒸発器が無いものに限る）】

	貯蔵		消費	
必要な資格・資格者	高圧ガス 保安法	なし	高圧ガス 保安法	なし
必要な届出・許可	高圧ガス 保安法 第 17 条の 2	第二種貯蔵所設置届	高圧ガス 保安法	なし（その他の消費の基準）

※ ロケット発射場は高圧ガス製造施設であり、一般的な法規制とは異なるため、一般的な法適用は当てはまらない。

⑤ 液化バイオメタンの利用先および利用方法の検討

町内のロケット発射場と公共施設 4 施設を対象にエネルギー供給先としての可能性調査を行った。ロケット発射場と公共施設 4 施設へ供給可能な液化バイオメタンの合計は 350m³/年である。

ロケット発射場では、年間 2~3 回のロケット発射実験を行っている。しかし、現在打ち上げている機体は MOMO と呼ばれるエタノールを燃料としたものであり、近い将来、年間 20 機を打ち上げるために量産体制を整えている状況である。これまで町内でロケット開発を進めてきた民間企業では、LNG を使用したロケットの打ち上げを模索している。エンジン燃料とする場合、メタン濃度が高ければ高いほどよい。そのため、メタン濃度が約 90% の LNG よりもメタン濃度が 99% のバイオメタンのほうがロケットの打ち上げには向いている燃料となる。このことから、年間 20 機のロケットを打ち上げられる量の液化バイオメタンを供給できることを最終的な目標とすべきと言える。今回は前段階として現在打ち上げられている年間 2~3 回のロケット打ち上げ実験へ供給する液化バイオメタンを想定し、検討を進めている。現在ロケット発射場では、1 回のロケット打ち上げ実験につき、20~25m³ の液化バイオメタンの消費を想定している。これはロケットへの充填はもちろん、予冷にもエネルギーを消費するためであり、予冷を含めると充填量の 2~2.5 倍の液化バイオメタンが消費されると想定がなされている。つまり、メタンを使用する機体である ZERO を用いて、年間 2~3 回のロケット打ち上げ実験を行うには約 75m³ の液化バイオメタンが必要となる。

ロケット発射場と公共施設 4 施設へ供給可能な液化バイオメタンの合計量は 350m³/年であるため、 $350\text{m}^3 - 75\text{m}^3 = 275\text{m}^3$ となり、公共施設 4 施設へ供給可能な液化バイオメタンの量は 275m³/年となる。

表 2-11 は、どのようなエネルギーが、年間どの程度の燃料量が、公共施設 4 施設で現在利用されているのか、また、その利用されているエネルギー量を、液化バイオメタン量に換算したものを示している。

表 2-11 公共施設における年間のエネルギー利用状況

◎老人ホーム

	重油		灯油		LP ガス		電気		合計	
単位発熱量	38.9	MJ/L	36.5	MJ/L	95.5	MJ/m ³				
燃料使用量	119,000	L/年	0	L/年	1,748	m ³ /年				
消費熱量/消費電力量	4,629,100	MJ/年	0	MJ/年	166,875	MJ/年	258,623	kwh/年		
液化 ^ハ イ ^メ ン換算量	215.7	m ³ /年	0.0	m ³ /年	7.8	m ³ /年	144.6	m ³ /年	368.1	m ³ /年

◎大樹町福祉センター

	重油		灯油		LP ガス		電気		合計	
単位発熱量	38.9	MJ/L	36.5	MJ/L	95.5	MJ/m ³				
燃料使用量	30,000	L/年	800	L/年	60	m ³ /年				
消費熱量/消費電力量	1,167,000	MJ/年	29,192	MJ/年	5,727	MJ/年	30,000	kwh/年		
液化 ^ハ イ ^メ ン換算量	54.4	m ³ /年	1.4	m ³ /年	0.3	m ³ /年	16.8	m ³ /年	72.8	m ³ /年

◎大樹町立国民健康保険病院

	重油		灯油		LP ガス		電気		合計	
単位発熱量	38.9	MJ/L	36.5	MJ/L	95.5	MJ/m ³				
燃料使用量	19,723	L/年	0	L/年	0	m ³ /年				
消費熱量/消費電力量	767,225	MJ/年	0	MJ/年	0	MJ/年	600,000	kwh/年		
液化 ^ハ イ ^メ ン換算量	35.8	m ³ /年	0.0	m ³ /年	0.0	m ³ /年	335.5	m ³ /年	371.3	m ³ /年

◎大樹町高齢者保健福祉推進センター

	重油		灯油		LP ガス		電気		合計	
単位発熱量	38.9	MJ/L	36.5	MJ/L	95.5	MJ/m ³				
燃料使用量	0	L/年	19,700	L/年	4.0	m ³ /年				
消費熱量/消費電力量	0	MJ/年	718,853	MJ/年	344	MJ/年	36,000	kwh/年		
液化天然ガス換算量	0.0	m ³ /年	33.5	m ³ /年	0.0	m ³ /年	20.1	m ³ /年	53.6	m ³ /年

今回の検討時点では、発電機と比較してボイラーのエネルギー変換効率が高いことや、既存設備の更新が少なく済むと予想されることを考慮し、液化バイオメタンを熱の供給に用いることを想定している。そのため液化バイオメタンは重油、灯油、LP ガスの代替燃料として供給すると仮定している。各施設における重油・灯油・LP ガス消費量を液化バイオメタン量に換算した場合の試算結果は以下のようになっている。

表 2-12 公共施設の液化バイオメタン換算量

施設名	液化バイオメタン換算量（年間）
老人ホーム	223m ³
大樹町福祉センター	56m ³
大樹町立国民健康保険病院	36m ³
大樹町高齢者保健福祉推進センター	34m ³
合計	349m³

どの施設に液化バイオメタンを供給するかについては、エネルギー消費量の最も多い老人ホームを軸にし、残りの供給先を検討することが望ましいと考えられる。液化バイオメタンの供給に当たっては各施設の既存熱生産機器の更新時期や、現在の熱利用方法などを考慮し、最適な供給先を慎重に検討していく必要がある。

4) 二酸化炭素の利用先および利用方法の検討

バイオガスは主な組成がメタンガス（約 56%）、二酸化炭素など（約 44%）であることから、精製した段階で高純度な CO₂ が生成される。本事業ではカーボンニュートラルおよびエネルギーの地産地消という目標の基、バイオガス精製時に排出される CO₂ も利用可能エネルギーとして検討を行った。

二酸化炭素の利用方法としては、当初液化炭酸としての利用を検討していたが、毎日排出されることや、液化利用に係るコストおよび法規制の観点から、ガスのまま現地の園芸ハウスへ供給するオンサイト利用がシステムとして最適であると判断した。

本項目では、作物園芸ハウスにおける生育促進剤としての CO₂ 利用を検討し、CO₂ 利用可能量の算出、そして地域特性に合った栽培作物の検討を行った。

① CO₂ 利用可能量

CO₂ を生育促進剤として作物栽培ハウスへ供給する施肥方法は現在までに多種利用されているが、一般的に作物の栽培に適している（＝生育スピードがはやい）空気中の二酸化炭素濃度は約 2,000ppm と言われている。大気中の CO₂ 濃度は 400ppm 程度であることから、作物の生育に適した濃度まで CO₂ を供給することを想定し、供給可能な CO₂ 量から園芸作物栽培ハウスの規模を想定した。また、併せて地域に則した栽培作物の選定を行った。

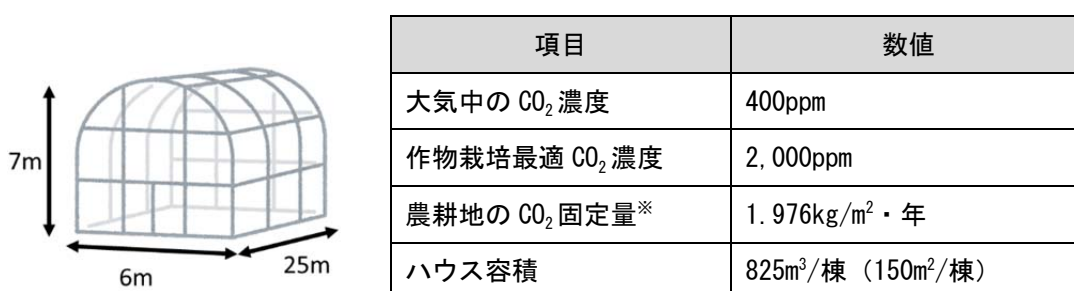


図 2-8 ハウスの想定規模と諸条件 ※植物による CO₂ の固定量（光合成量）

農耕地の CO₂ 固定量などを考慮した上で、1 棟あたり約 825m³ の栽培ハウスへの CO₂ 供給量を算出した結果、CO₂ 濃度が 2,000ppm となるよう 1 日 1 回施肥を行うと仮定すると、年間の CO₂ 利用量は以下の通りとなる。

表 2-13 ハウス 1 棟あたりの年間 CO₂ 量

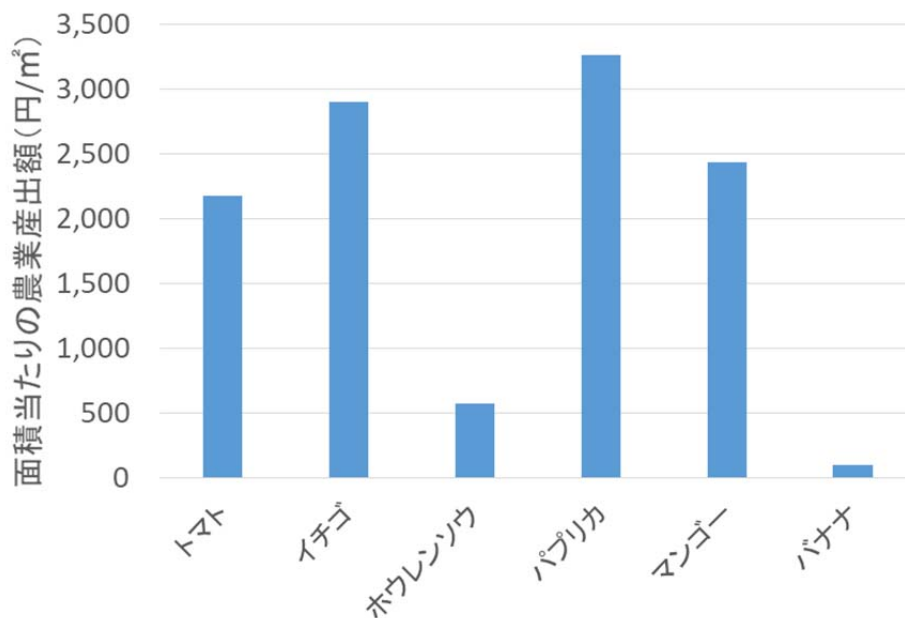
算出項目	計算結果 (m ³ /棟)
①ハウス内の CO ₂ 存在量	0.33
②作物栽培に適した CO ₂ 量	1.65
③ハウス内に施肥する CO ₂ 量	482
④ハウス内の CO ₂ 固定量	117
⑤年間 CO ₂ 利用量	600

バイオガスプラントから発生する CO₂ 量は年間約 275,500m³ となっており、全量をハウスへ供給した場合の供給可能面積は以下の通りとなる。

$(275,500\text{m}^3 \div 600\text{m}^3) \times 0.015\text{ha} \cong \underline{6.9\text{ha}}$ (上記のハウス 450 棟分)

地域特性に適した栽培作物の検討

町内の環境に適した栽培作物として、トマト、ホウレンソウ、イチゴ、パプリカ、マンゴー、バナナの 6 種類について採算性の比較を行った。それぞれの採算性を以



下に示す。

図 2-9 面積当たりの算出額 (円/㎡) ※農林水産省統計資料より

本町の年間日照時間は例年 1,900~2,000 時間/年と、北海道内においても長時間となっており、今後もより作物のハウス栽培が盛んになっていくと想定できる。通常 1ha を超える大型ハウスへの CO₂ 施用コストは地域にもよるが、年間 1,000 千円/10a 程度と言われていることから、市場価格より安価に CO₂ をオンサイト供給することで双方利益を得ることができると考えられる。

5) システムの物質収支、エネルギー収支

① 物質収支

本システムの物質収支は図 2-10 のようになった。各農家のふん尿量には敷料の重量を含んでいる。発生したガスを用いた各生成物の量についてはエネルギー収支にて記載する。各農家からふん尿を収集した際の合計原料量は 91.6t/日であり、これらの原料を発酵槽に投入した場合、発酵試験の結果を用いると発生するバイオガス量は 2,475m³/日となる。メタン発酵後の消化液は 87.8t/日となり、それらを固液分離機に供給し、固液分離を行う。分離液分は 79.1t/日発生し、液肥として圃場に散

布する。分離固形分は 8.7t/日発生し、水分率 50%まで乾燥させた後の再生敷料発生量は 4.3t/日となる。

② エネルギー収支・各種製造物量の試算

本システムのエネルギー収支を図 2-11 に示す。プラントで用いる消費電力は (1,545kwh/日) と試算しており、この電力を発生したバイオガスから供給するために、バイオガスの 33%を発電機に供給する。この際発電機より発生する熱量は 7,518MJ/日であり、プラントで必要とする熱量は 10,317MJ/日であることから、ボイラーにバイオガスを供給し、熱を供給する必要があることが分かった。そのためボイラーへのガス供給率は 8%とし、ボイラーの発熱量は 2,799MJ/日になっている。この場合、発電機などに供給しない余剰バイオガスの量は 1,475m³/日となっており、液化した場合の液化バイオメタンの製造量は 0.96m³/日となっている。

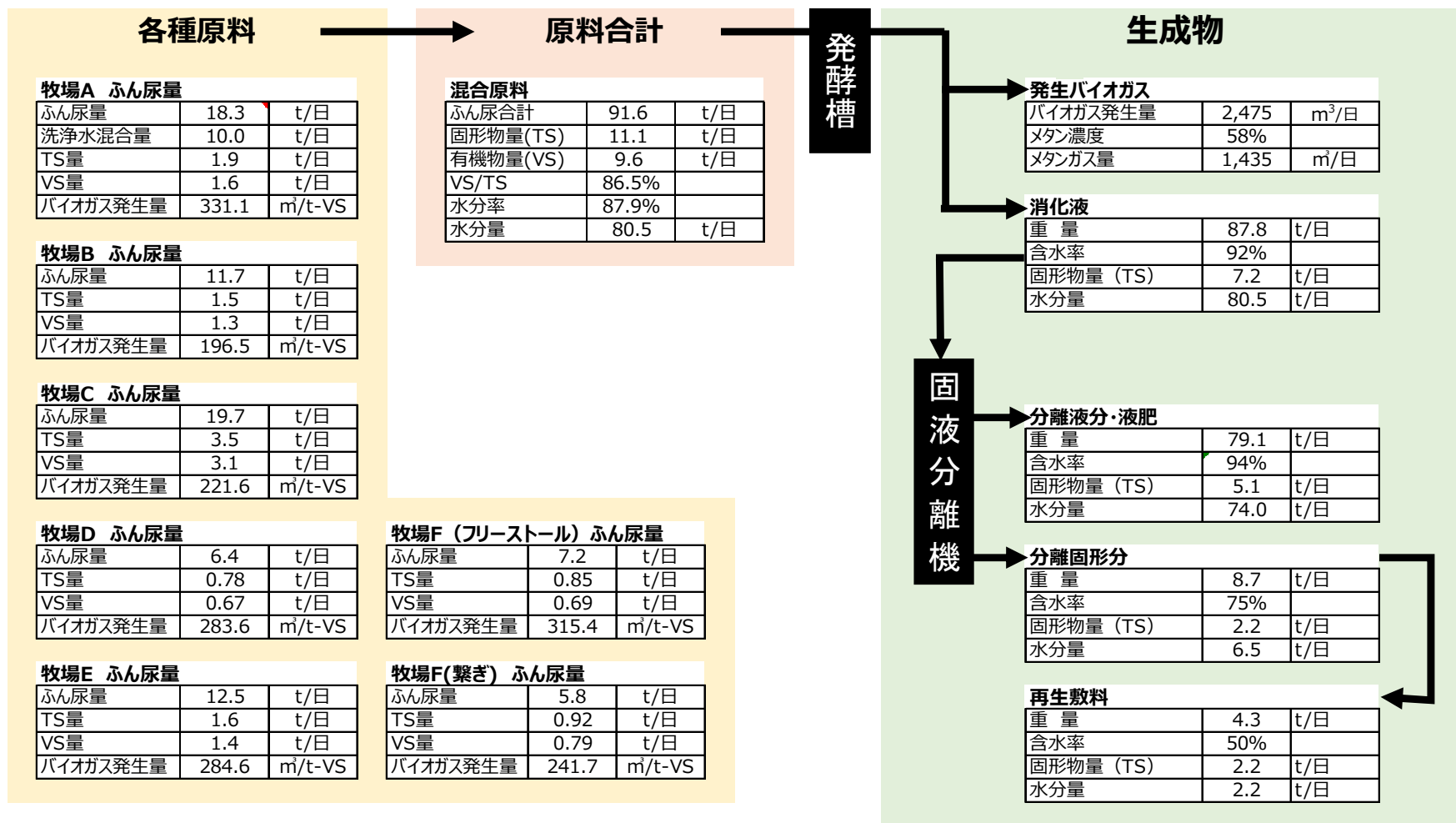


図 2-10 システムの物質収支

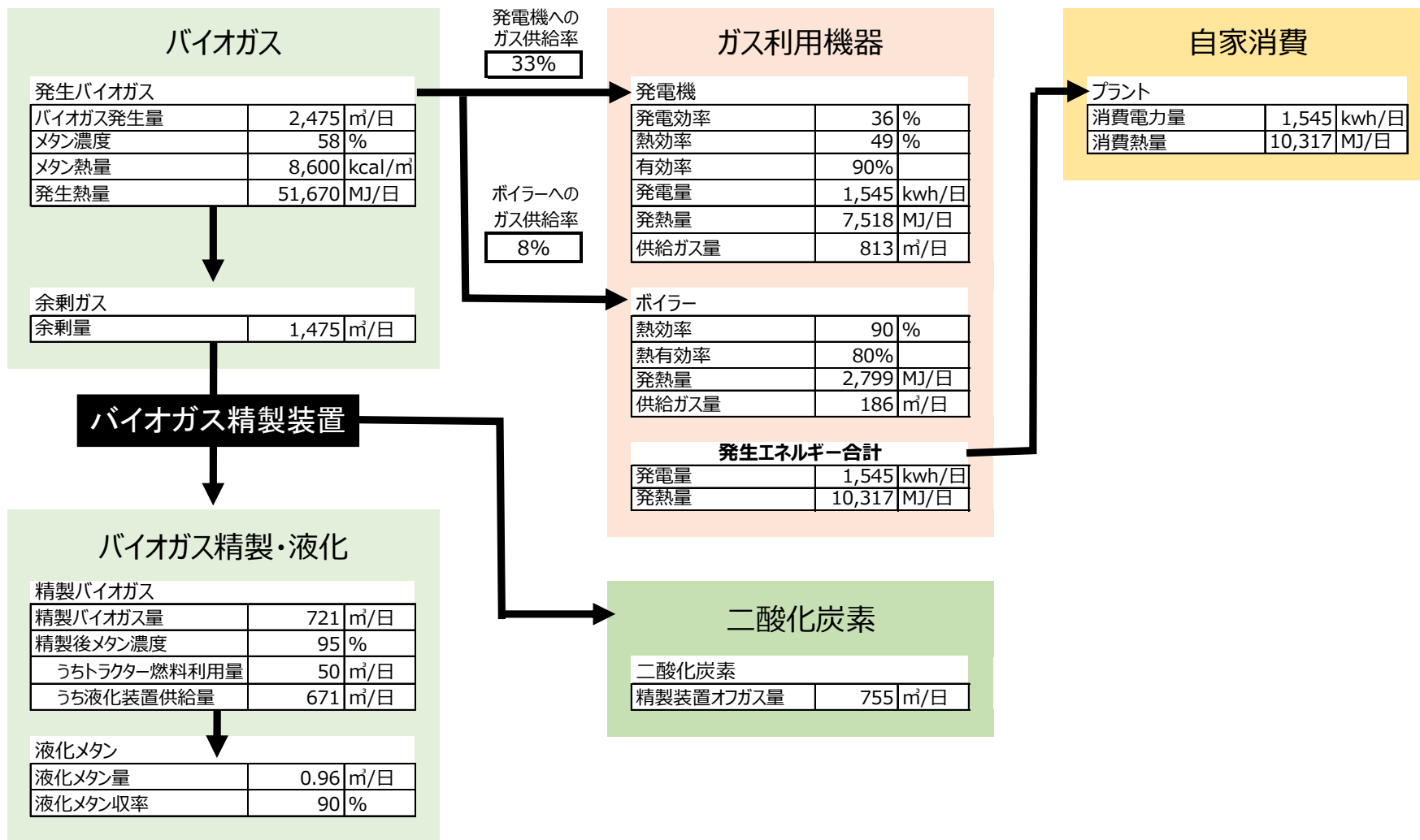


図 2-11 システムのエネルギー収支

① 副産物の製造量の試算

本システムではメタン発酵後の消化液を固液分離し、液分は液肥として草地に散布し、固形分は再生敷料として牛舎で活用する。本項目ではこれらの副産物について利用計画の検討を行う。

・液肥（消化液）

前述の物質収支の通り、分離液分の発生量は79.1t/日であり、年間の発生量は28,872t/年となる。適正な散布量は本来液肥の成分分析によって決定されるが、一般的には30~50t/haという値を取るため、本システムにおいて必要となる消化液の年間散布面積は577~962haである。

本システムでは容量20tのスラリータンカー2台の導入を行い、液肥の散布を行うことを想定している。1回の散布・汲取りに30分かかり、1日に15回散布作業を実施すると仮定すると、2台のスラリータンカーが年間で49日間稼働することで、消化液の全量を散布することができる。貯留設備であるラグーンは17,500m³の容量を持っており、220日以上消化液の貯留が可能である。そのため秋の散布から、積雪がなくなり凍結のおそれなくなる春の散布時期まで、十分に貯留可能である。

・再生敷料

前述の物質収支の通り、分離固形分の発生量は8.7t/日である。分離直後の水分率は75%であるが、これを分離固形分堆積場にて水分率50%まで乾燥させたと仮定すると、再生敷料の発生量は4.3t/日となる。仮に集合型プラントにおいて、これらの再生敷料を6件の酪農家にて利用する場合、現状の敷料（麦稈、木くずなど）使用量は6.5t以上であるため、全量を使い切ることは十分に可能だと考えられる。

6) バイオガスプラントの設備・機器構成の検討

本項目ではシステムを①~④の4つに分類し、それぞれの範囲においてどのような設備、

構成を採用したか記述する。

① 原料投入システム

本システムで取り扱う原料には敷料として牛舎内で利用されている麦稈が含まれており、ふん尿に混合されている。このような繊維質状の麦稈をそのまま原料として取り扱うことは、バイオガスプラントの配管閉塞や機器トラブルなどの問題を引き起こしかねない。そのため本システムでは原料の前処理設備として、縦型攪拌スクリーにより原料の破碎・攪拌・切断が可能なホッパーを設置している。これにより、麦稈は細かく裁断され、トラブルの発生を防ぐことができる。ホッパーにて前処理を行った原料はコンクリート製の原料槽に一度貯留される。ここでも攪拌を行い、性状を均一にした状態で配管により発酵槽に移送する。原料の移送に用いるポンプはプロセスコンテナ内に設置されている。プロセスコンテナとは配管やバルブ、ポンプなどが集約されたコンテナであり、コンテナ内の配管は各設備へと通じており、原料の移送を統括する。それと同時に、制御盤や各種計測機器などが格納されており、バイオガスプラントの心臓部として機能する。

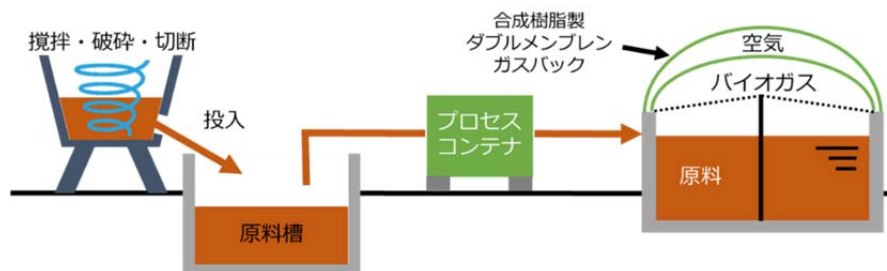


図 2-12 原料投入フローの概略図

② 発酵槽

本システムで採用した発酵槽はコンクリート製であり、原料の投入フローでは直列となる1次発酵槽、および2次発酵槽の2槽の導入を行う。これにより以下のようなメリットが見込まれる。

- ・ 発酵槽のメンテナンス時においても片方の発酵槽単独での稼働が可能であり、システム全体の稼働を継続することができる。
- ・ 1槽当たりの大きさが縮小することにより、温水配管（槽内内壁に設置）による原料加温が安定しやすい。
- ・ 1次発酵槽、2次発酵槽と直列に原料を移送することにより、原料が発酵槽への投入直後に消化液貯留設備へ排出されるリスクを低減する。

また、本システムでは発酵槽の上部にダブルメンブレン型ガスバックを設置した発酵槽を選定している（図 2-13）。発生したバイオガスは原料液面と内側のメンブレンで囲まれた空間に貯蔵されることとなる。2層のメンブレンの間にはブローアにより空気が送り込まれており、ガスバックの形状を保持している。ダブルメンブレン型のガスバックを発酵槽上部に設置することにより以下のようなメリットが見込まれる。

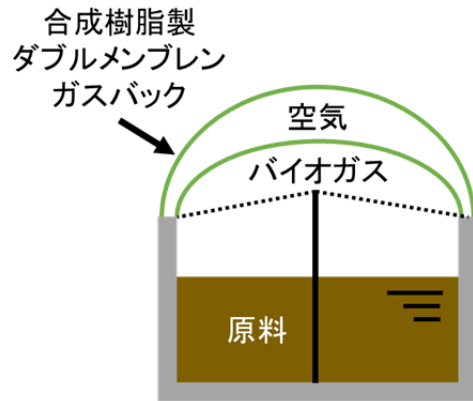


図 2-13 ダブルメンブレン発酵槽概略図

- ・ 発酵槽上部にコンクリート製の天板が不要となる→建設コスト削減
- ・ ガスバック設置のために建屋を別途設ける必要がなくなる→施設の設置スペース・コストの削減
- ・ 大容量のバイオガス貯蔵が可能

発酵槽内部にはネット（図 2-13 の点線部分）が設けられており、そこで生物脱硫（微生物による硫化水素の除去）を行うことを想定している。

③ 消化液処理

発酵槽から排出された消化液はメタン発酵が完了しているため、臭気が少なく、長期間の嫌気性発酵により細菌、種子の死滅も確認されている。この消化液は副産物として有効活用することが望ましいため、本システムでは消化液の固液分離を行う。

固液分離により取り出された分離固形分は乾燥を行い、水分率を低下させることにより、牛舎内で再生敷料として活用可能である。この再生敷料は衛生的であり、乳房炎の発生率を低下させるなどの効果が確認されており、近年価格が高騰する敷料に代わる代替品として高い需要が見込まれるものである。本システムでは堆肥舎のような分離固形分堆積場を建設し、重機による切り返しを行うことで好気発酵を促し、分離固形分の水分率を低下させることを検討している。

一方、分離液分は有機性肥料として圃場に散布することができる。生のふん尿を散布する場合と比較して、悪臭が少ない・液状であるため地面への浸透が早い（＝大気への散逸が起きにくい）・雑草の種子や細菌などが死滅しており衛生的などのメ

リットがある。本システムでは分離液分の貯留のためにプラントに隣接してラグーンの建設を検討している。一般的にラグーンは鋼製のスラリータンクの建設を行うよりもコストが低いとされている。

④ バイオガス利用

本システムから発生したバイオガスは、まずバイオガスプラントの稼働に必要な電力・熱の生産のために優先的に発電機へと供給される。そしてその余剰分のバイオガスはバイオガス精製装置へ供給され、精製バイオガスが製造される。精製バイオガスはガス状態のままトラクターで利用し、余剰分はメタン液化装置へと供給し、液化バイオメタンを製造する。また、バイオガスの余剰が発生した時のために、安全にバイオガスを燃焼させる余剰ガス燃焼装置を設置している。また、発電機のメンテナンス時、外気温が低下し必要な熱量が増加する冬季、プラント立ち上げ時などの発電機からの回収熱では不足する場合、回収熱が見込めない場合に対するバックアップのためにガスボイラーの設置を行う。

また、上記の分類に基づき、それぞれの範囲で採用した主要設備・機器の仕様・詳細について記載する。

① 原料投入システム

- ・ 原料投入ホッパー

容量：12m³、出力：55kW、ステンレス製、縦型攪拌スクリュー搭載

- ・ 原料槽

容量：120m³、直径：7m、高さ：4.5m、水中攪拌機（15kW）2基設置、

- ・ プロセスコンテナ

リング状の配管にポンプ、バルブ、インライングラインダー（配管内部に設置された回転式破碎機）が設置されており、各施設へ原料や消化液を移送、分配する。

ロブポンプ流量：120m³/h、ロブポンプ出力：30kW

インライングラインダー処理量：120m³/h、インライングラインダー出力：16.5kW

② 発酵槽

- ・ 1次発酵槽、2次発酵槽

容量：2,951m³、直径：23m、高さ：8m、コンクリート製、壁面に温水循環用の配管を設置、メンテナンス時にはもう一方のタンクを単一で稼働可能。

- ・ ダブルメンブレン式ガスバック

1槽当たりのバイオガス貯留量：1,048m³、動作圧力：12mbar

- ・ 壁付攪拌機

各発酵槽に2基設置、出力：18.5kW

③ 消化液処理

- ・ 固液分離機

スクリュープレス型、25m³/h

- ・ ラグーン

容量：17,500m³、寸法：117m×47m、深さ：3m

- ・ 固形分堆積場

堆積面積：400m²、寸法：25m×16m

④ バイオガス利用

- ・ 発電機

出力：100kW、発電効率36.4%、熱効率：49%

- ・ ボイラー

出力：233kW、熱効率：90%

- ・ 余剰ガス燃焼装置

ガスの余剰分を処理する必要がある場合に自動で稼働し、ガスを燃焼させる。

処理量：182m³/h

- ・ バイオガス利用トラクター

- ・ バイオガス精製装置、メタン液化装置（前述）

7) 施設配置図・フロー図

本システムの各設備の配置（参考図面）とシステムフロー図をそれぞれ図 2-14、図 2-15 に示す。

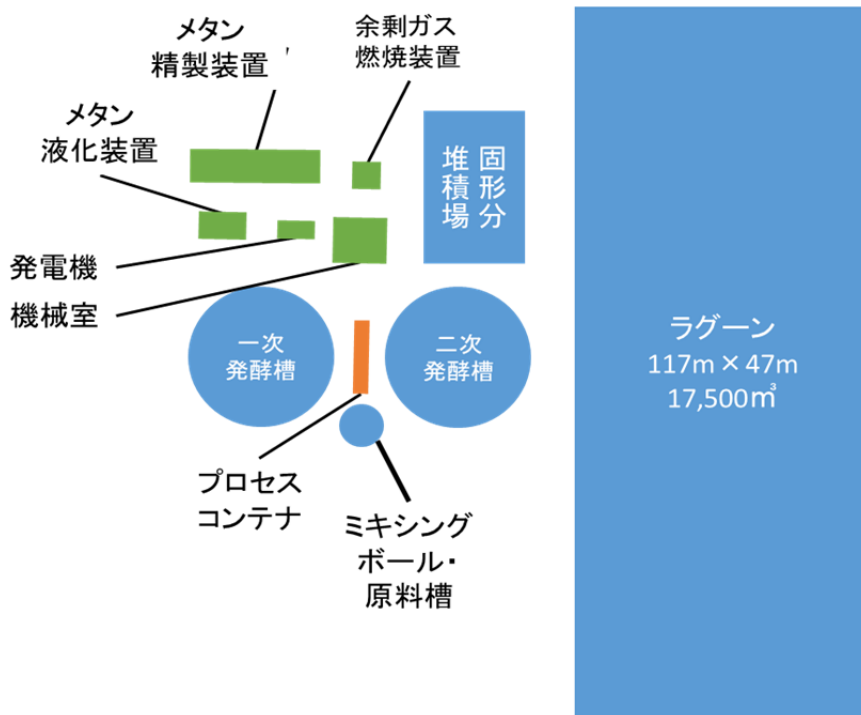


図 2-14 システム各設備の配置例

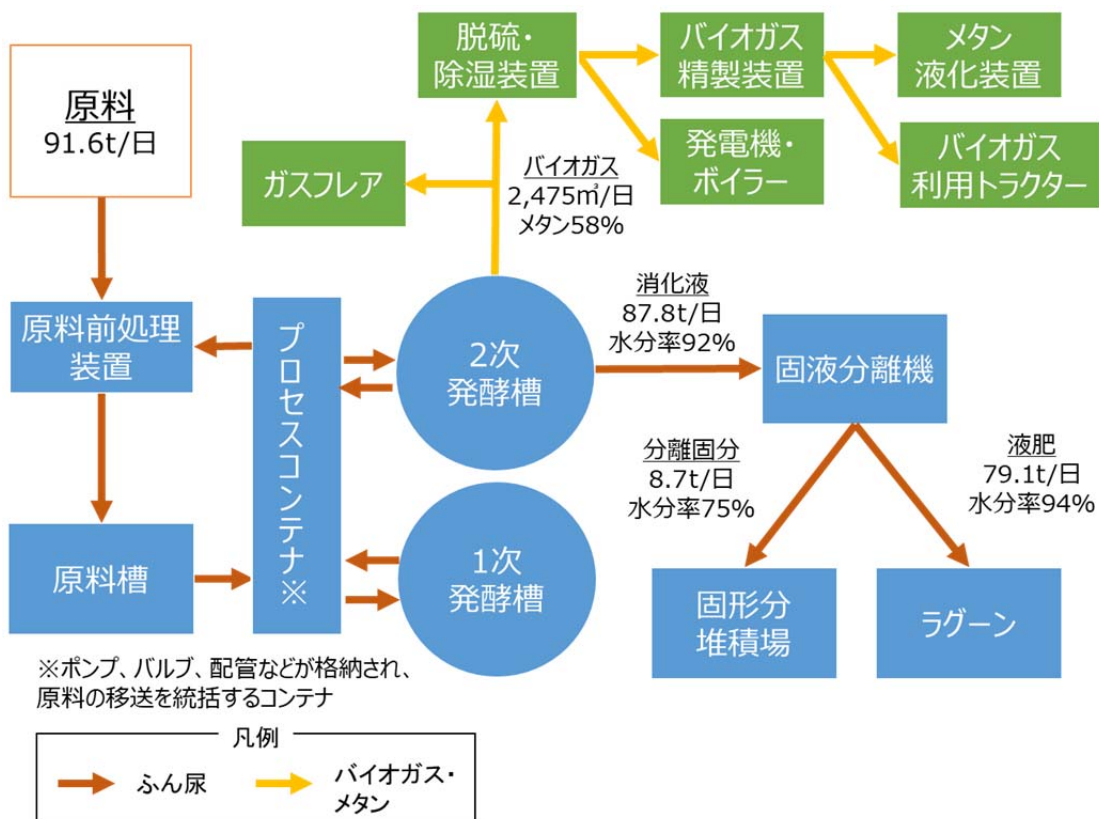


図 2-15 システムフロー図

3. エネルギー有効活用計画の事業スケジュール

2020年度はエネルギー地産地消型モデルの構築に向けた事業実現可能性評価を実施した。次年度以降は本事業結果を踏まえて、実証事業を実施する。今後の事業スケジュール（想定）は次に示す通りである。

表 3-1 「大樹町における家畜ふん尿由来液化バイオメタンの町内有効活用モデル」の活用方策

年度	2020				2021				2022				2023			
四半期	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FS (事業可能性調査)	道庁経済部 エネルギー地産地消事業化モデル支援事業 (新エネ有効活用モデル) 有効活用の手法検討				<p>液化バイオメタンの利用イメージ</p> <p>バイオガスプラント → バイオガス回収・運搬 (LBM) → バイオガス精製装置 → メタン液化装置 → 液化バイオメタンの利用</p>											
実証事業 (メタンの液化)					<p>福組合「未利用バイオガスを活用した液化バイオメタン (LBM) 地域サプライチェーンモデル実証事業」</p> <p>①バイオガス貯蔵容器・車両の開発 貯蔵容器への充填装置の開発</p> <p>②メタン液化装置の建設、バイオガス回収、液化試験</p>								<p>実証牧場以外への展開</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設ファントへのバイオガス充填容器の設置 ・LBM製造原料としてのバイオガス販売を前提としたバイオガスプラントの建設 			
実証事業 (バイオガス利用 トラクター)	道庁経済部 エネルギー地産地消事業化モデル支援事業 (新エネ有効活用モデル) 有効活用の実証				<p>バイオガス利用トラクターの実証</p> <p>実証事業の結果をもとに、システムの改良・再検討</p> <p>酪農家への導入</p>											