

千代川河川敷のオギを利用した地域エネルギー循環システムの検討

社団法人中国ニュービジネス協議会

コーディネーター 井川 光嗣

クラスター・マネージャー 竹内 善幸

株式会社廃棄物工学研究所

主任研究員 室山 晃一

これまでに、第2世代のバイオ燃料の原料となりうる調査地域として「千代川河川敷」に植生するオギについて、ヒアリング調査に基づき鳥取大学大学院千布拓生氏とともに実地調査を行った。プロット（調査地点）を11カ所設定し、オギの被度・草丈を計測し刈り取りを行った。刈り取ったオギは、近畿中国四国農業研究センター大田研究拠点にて乾燥させ単位面積あたりの現存量（乾重）を測定し、調査データから千代川河川敷の現存量を求めた。

その結果、代川において河口から8km地点までにおいてオギのバイオマス量は約 1860 g/m² (18.6t/ha) と推定された。

また、千代川（河口から8km）における植生別の群落面積で見ると、オギが30ha、ススキ0.8ha、チガヤ9.2ha、セイタカアワダチソウ26.4haとなり、河川敷のカヤ類の中ではオギの群落面積が最も大きいことがわかっている。

このようなデータから、千代川河川敷のオギについて以下の現存量が求められた。

河口から8kmまでのオギの賦存量

オギの賦存量 = オギの乾燥重量(t/ha) × オギの群落面積(ha)

= 18.6t/ha × 30ha

= 557.93t ≒ 558t

ここで求められた現存量に基づき、千代川河川敷のオギを利用した地域エネルギー循環システムの検討を行った。当初、河川敷にある製紙会社のボイラー燃料との混焼ということで検討を進めていたが、詳細についての情報が十分得られず断念した。

最終的には、千代川河川敷のオギを原料に、ガス化・発電システムによるエネルギー利用について、設備の検討および経済性評価を行った。

1.1 はじめに

近年、化石燃料の代替として、木質系バイオマスを原料とするチップやペレット等を利用した小規模のボイラー設備が導入され、温浴施設、福祉施設、学校、公共施設、農業ハウス等の暖房や給湯用設備として運用されている。

木質系バイオマスは、化石燃料に比較して発熱量は低いが、同じ発熱量ベースで比べた燃料価格が化石燃料よりも安価であるため、地域の状況にあった木質バイオマスが有効に利用されている。

一方バイオマス発電は、電力の買い取り価格が安いために、売電を目的とする大規模な事業用設備でも採算の厳しい状況にある。

そこで、これらを踏まえて、本検討では化石燃料を用いた設備と草本系バイオマスである「オギ」を用いた設備との採算性比較について、概略試算を行った。鳥取県千代川の河口付近からその上流8kmの右岸および左岸を対象地域の例として採用し、当地域に賦存するオギのエネルギー利用についての検討を行った。

2. エネルギーの利用法

バイオマスのエネルギー利活用例を図1に示す。本検討は、図1の「直接燃焼式温水ボイラー設備とガス化・発電設備」について行った。

- ①オギの利用は、採集地域に隣接する温浴施設、福祉施設等への冷暖房・給湯用とする。
- ②原料を地産・地消とすることにより、搬送コストと搬送車から排出されるCO₂を軽減する。
- ③対象設備は、オギを直接燃焼してその発生熱から温水を回収する温水ボイラー設備と、オギを熱分解・ガス化し、生成したガスをガスエンジンに供給して発電と同時に温水回収を行うガス化・発電設備とする。

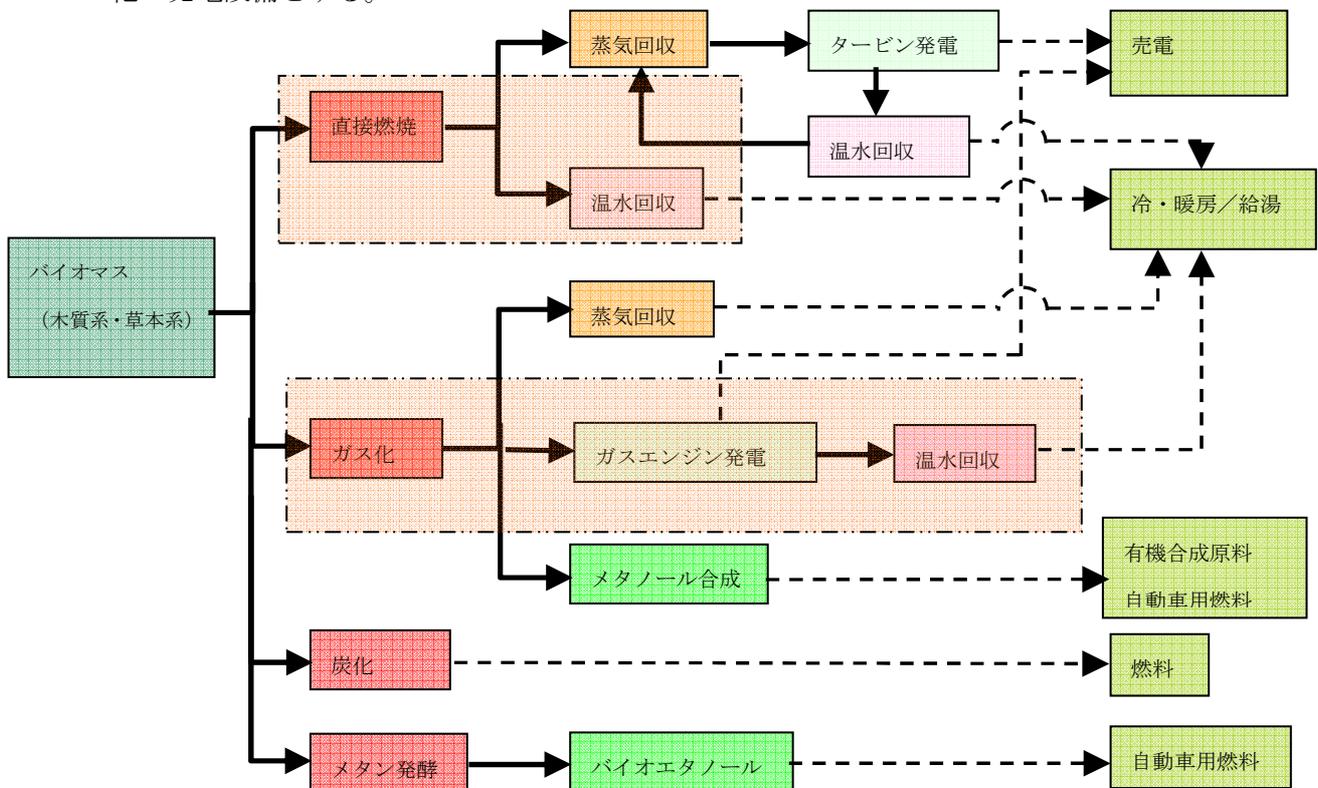


図1 バイオマスの利活用例

3. 設備の設計条件

温水ボイラー設備およびガス化設備の設計条件を表1に示す。

1) オギの利用可能量

オギの利用量は、原料としての連続・安定な利用を考慮して年間279トンとする。

これは、千代川流域におけるオギの賦存量558トンの半分に相当する。

2) 対象施設

対象施設は近隣の温浴施設および福祉施設とする。

3) 設備形式

(1) 温水ボイラー設備：施設に温水を供給する。

(2) ガス化設備：施設に電気と温水を供給する。

4) 設備稼働

設備の稼働時間は10（時間/日）、稼働日数は317（日/年）とする。

(注) 設備のメンテナンス等を含めて、平均4（日/月）の休転とする。

5) オギの供給量

オギの利用可能量217（トン/年）と、稼働時間および稼働日数から時間当たりのバイオマス供給量は88（kg/h）とする。

6) 低位発熱量

木質系および草本系バイオマスの含水率と低位発熱量の関係を図2に示す。

図から草本系バイオマスであるオギの低位発熱量は3,100（kcal/kg）とする。

表1. 設備の設計条件

1) バイオマス	オギ
2) 賦存量	558（トン/年）
3) 利用可能量	279（トン/年） (注) 原料としての連続・安定な利用を考慮して、 賦存量558（トン/年）の半分とする
4) 利活用対象	温浴設備および福祉施設
5) 設備形式	直接燃焼方式：温水ボイラー設備 ガス化方式：固定床ダウンドラフト型ガス化炉 (含む発電設備（ガスエンジン）/温水回収設備)
6) 稼働	10（時間/日）、317（日/年） (メンテナンスを含め平均4日/月運転休止)
7) バイオマス処理能力	88（kg/h） 8.8（トン/日）
8) 低位発熱量	3,100（kcal/kg）

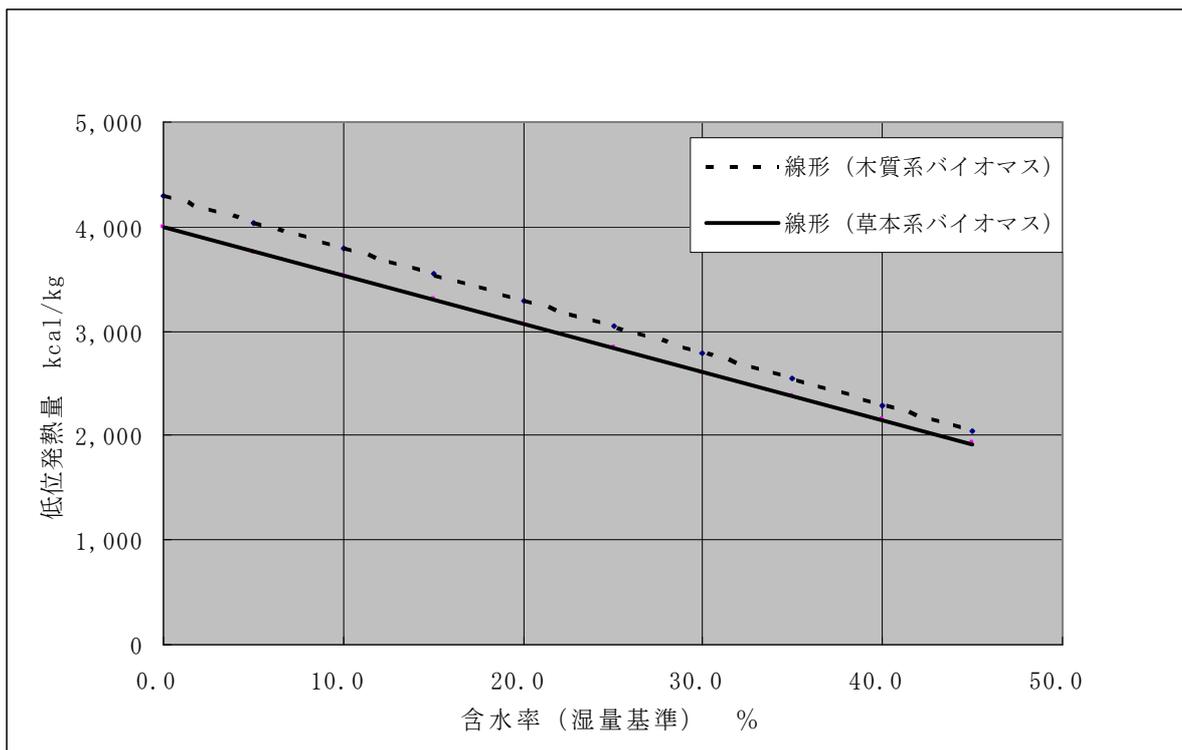


図2. 草本系および木質系バイオマスの含水率と発熱量

4. 設備概要

温水ボイラー設備の概要を図3に、ガス化・発電設備を図4に示す。

1) 温水ボイラー設備

温水ボイラー設備の主要機器は、「原料ホッパー」、「スクリーフィーダー」、「温水ボイラー」、「エコマイザー」、「温水タンク」、「サイクロン」、「排ガスブロワー」から成る。

「原料ホッパー」から「スクリーフィーダー」を介して供給されたバイオマス(オギ)は、「温水ボイラー」の燃焼室に送られ、ここで燃焼されて燃焼ガスとなる。燃焼ガスは、ボイラー水の入ったタンクに設けられた煙管内を通る間にボイラー水と熱交換されて、ボイラー水を加熱する。加熱されたボイラー水は「温水タンク」に溜められる。温水ボイラーから出た排ガスは、さらに「エコマイザー」でボイラーの給水と熱交換され、「サイクロン」で排ガス中のダストを除去された後、「排ガスブロワー」を介して大気に放出される。

この設備は温水を給湯用および暖房用として利用できる他、これに吸収冷凍機等の設備を加えれば、夏場の冷房用としても利用可能である。

2) ガス化・発電設備

ガス化発電設備の、「原料ホッパー」、「スクリーフィーダー」は「温水ボイラー」と同様である。

「ガス化炉」は燃焼空気の少ない条件下でオギを不完全燃焼させて加熱分解および水熱反応させて可燃性ガスを生成させる。生成したガスは「サイクロン」でダスト(灰分)を除去され、さらに「ガス冷却器」で冷却されたのち、「ガスフィルター」でタールを除去される。タール

を除去してクリーンとなったガスは「ガスホルダー」に貯蔵され、そこから「ガスエンジン発電機」に供給されて発電される。又余剰の生成ガスは、「温水ボイラー」で燃焼して温水として熱回収される。「ガスエンジン発電機」から排出される排ガスはその熱を有効利用するため、「温水タンク」に設けられた熱交換器で熱回収される。

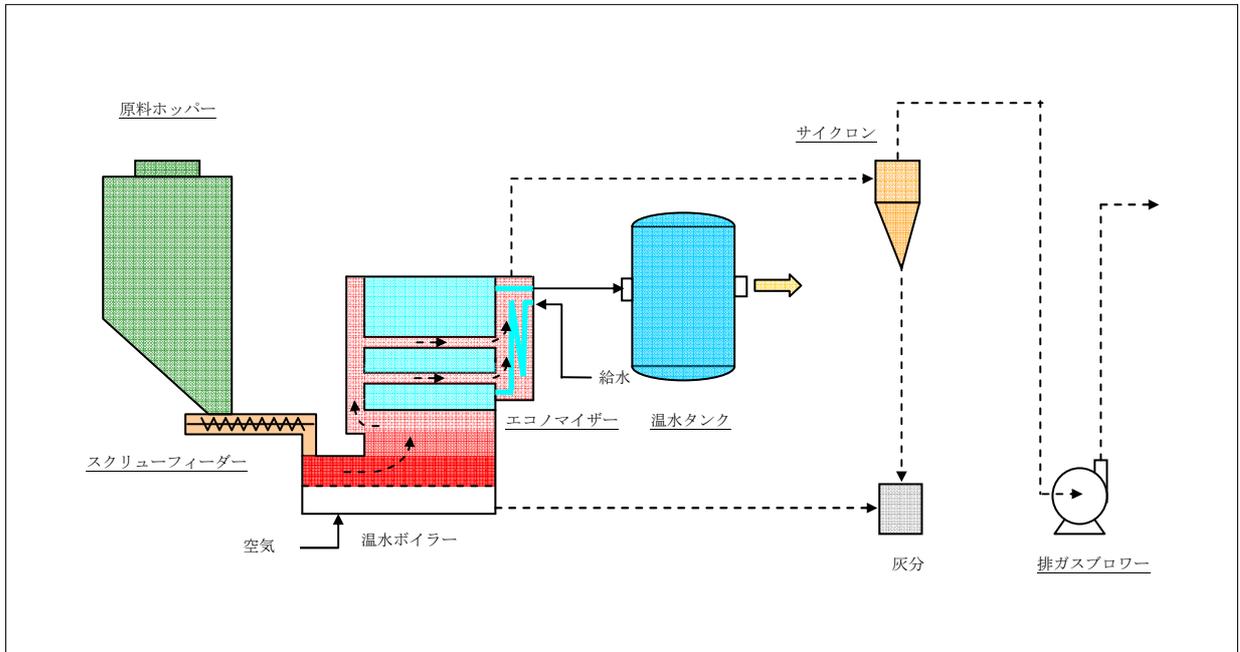


図 3. 温水ボイラー設備

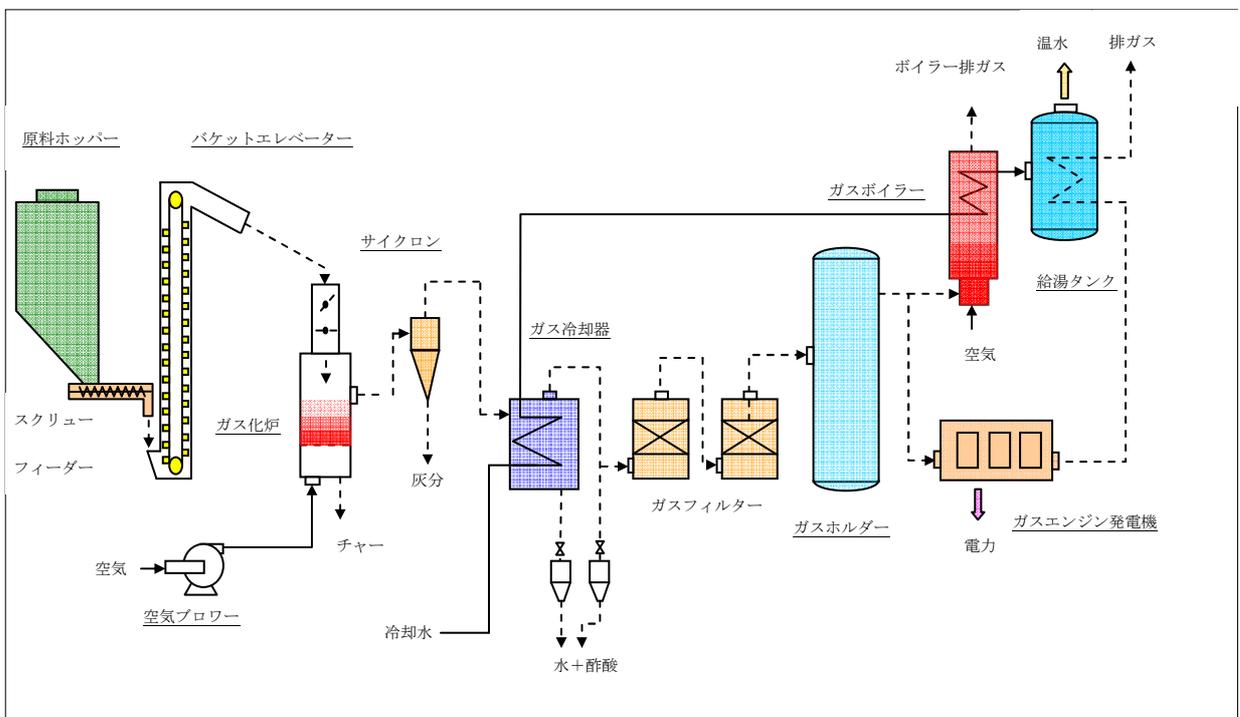


図 4. ガス化・発電設備

5. 設備の建設費

これまでに公表されている設備のバイオマス投入量と建設費との関係を参考として図5に示す。

時間当たり88kgのバイオマス（オギ）を投入する設備の建設費用は、周辺機器および設置工事費等を含め、温水ボイラーの場合約4千万円（但しボイラー基数は1基とする）、ガス化・発電設備では約1億2千万円である。

一般に、温水ボイラーの運用例では、バックアップとして通常2基以上のボイラーを設置している。図5にプロットした温水ボイラーの建設費用は、2～3基を設置している実用機の例である。

ガス化・発電設備は、生成したガスを燃焼させて温水を作る温水ボイラーの他に、タール除去用フィルター、発電用ガスエンジン、ガスエンジンからの排熱回収等の機器から構成されており、温水ボイラー設備よりも割高な建設費となる。

平成20年2月に、鳥取県西部総合事務所に建設された国内最大規模の温水ボイラーの設備費用は、580kW×3基（本検討の温水ボイラー270kWの約6.4倍）で、吸収冷凍機、冷却塔、熱交換器等温水ボイラー以外の設備も含めた建設費は約3.4億円である。

温水ボイラー設備として、600kW以上（バイオマス処理量：200kg/h以上相当）の設備は、北欧における広範囲な地域への暖房設備用としての利用の他は余り見られない。

規模が大きくなると大量に回収した温水の利用が難しくなり、蒸気ボイラーとタービンとの構成によって発電を行うシステムに切り替えられる。

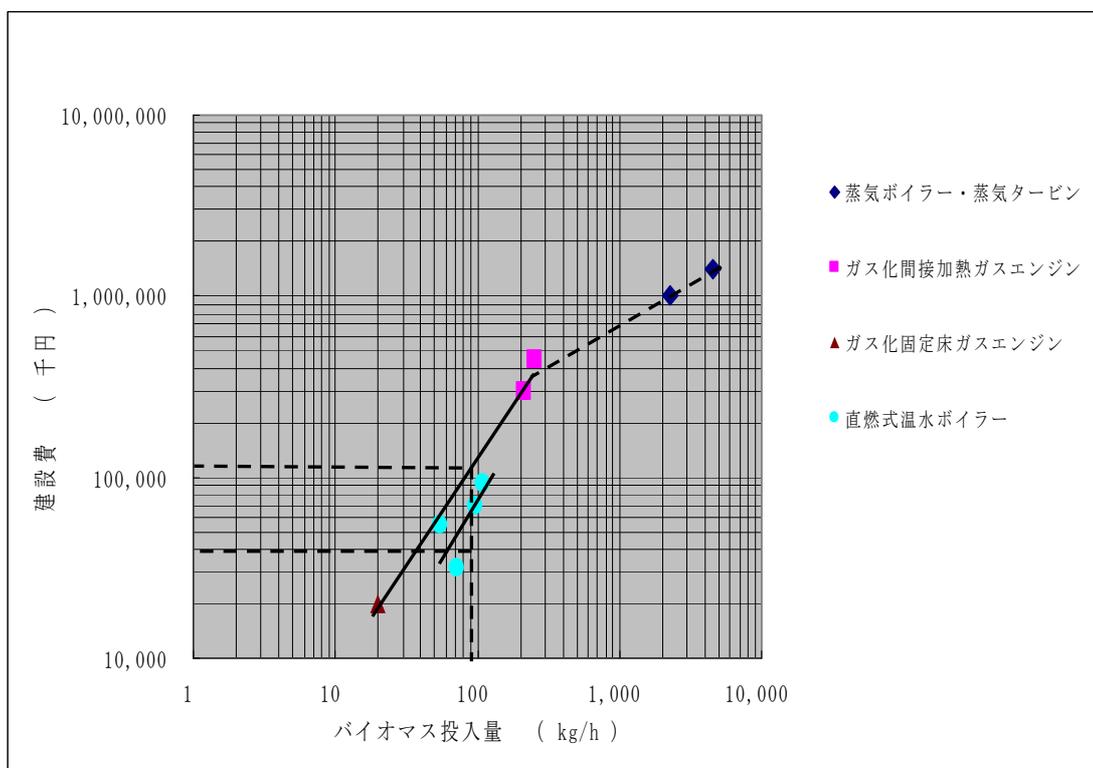


図5. 設備建設費とバイオマス投入量の関係

6. 経済性評価

6. 1 経済性評価のための条件

経済性を検討するにあたって基本となる熱量、発電量、温水回収量等は下記にて算出した。

1) 温水ボイラー出力および温水製造量

温水ボイラーの出力および温水回収量はオギの投入量、低位発熱量およびボイラー効率から下記で計算した。

$$\begin{aligned}\text{ボイラー出力} &= 88 \text{ (kg/hr)} \times 3,100 \text{ (kcal/kg)} \times 0.85 \text{ (-)} \\ &= 231,880 \text{ (kcal/h)} \\ &\approx 270 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

15℃の給水を加熱して85℃の温水を作る場合の温水回収量は、

$$\begin{aligned}\text{温水回収量} &= 231,880 \text{ (kcal/h)} \div (85 - 15) \text{ (kcal/kg)} \\ &\approx 3,313 \text{ (kg/h)}\end{aligned}$$

2) ガス化における生成ガスの熱量および冷ガス効率

冷ガス効率とは投入される燃料(オギ)の熱量に対する~~生~~生成ガス熱量の割合のことで、ガス化炉の形式や規模にもよるが、木質バイオマスの実績は58～70.5%である。設備の規模からこの検討に用いる冷ガス効率は61%とする。

$$\text{冷ガス効率} = \text{生成ガスの熱量} / \text{オギの熱量} \times 100$$

従って、時間当たりの生成ガスの熱量は、

$$\begin{aligned}\text{生成ガスの熱量} &= 88 \text{ (kg/h)} \times 3,100 \text{ (kcal/kg)} \times 0.61 \text{ (-)} \\ &= 166,408 \text{ (kcal/h)} \\ &\approx 193.5 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

3) 発電出力および発電効率

ガス化発電における発電効率の実績は12～21%である。設備として規模の小さいものは発電効率は低いが、蒸気タービンの10～15%に比べれば高効率である。本検討に用いる発電効率は19%とする。

$$\text{発電効率} = \text{発電出力 (kW)} / \text{燃料 (オギ) の熱量} \times 100$$

従って、発電量は、

$$\begin{aligned}\text{発電出力} &= 88 \text{ (kg/hr)} \times 3,100 \text{ (kcal/kg)} \times 0.19 / 860 \text{ (kcal/kW)} \\ &\approx 60 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

4) 総合効率、回収熱量および温水回収量

ガス化システムの総合効率とは、生成ガスの熱量に対する回収熱量(発電と温水回収の合計)の割合である。一般に実用機では、30～78%である。これは設備の規模によるところが大きく、規模が小さいとガスエンジンの排ガスおよびガスエンジンの冷却水からの熱回収が難しくなり効率が悪くなる。本検討に用いる総合効率は63%とする。

$$\text{総合効率} = \text{回収熱量 (kW)} / \text{生成ガスの熱量} \times 100$$

従って、時間当たりの回収熱量は、

$$\begin{aligned}\text{回収熱量} &= 193.5 \text{ (kW)} \times 0.63 \text{ (-)} \\ &= 121.9 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

従って、温水回収の熱量は、

$$\begin{aligned}\text{温水回収熱量} &= 121.9 \text{ (kW)} - 60 \text{ (kW)} \\ &= 61.9 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{温水回収量} &= 61.9 \text{ (kW)} \times 860 \text{ (kcal/kW)} \div (85 - 15) \text{ (kcal/kg)} \\ &= 760 \text{ (kg/h)}\end{aligned}$$

5) 売電価格および温水の価格

売電価格は10 (円/kW) とする。温水の売買価格は存在しないが、温水の利用者からその利用料を徴収できるものとし、その料金設定はつぎのとおりとする。

1 トンの水を15℃から85℃に加熱するための熱量を70,000.1 (kcal) とし、これと同等の熱量に相当するA重油の使用料を温水の価格とする。

$$\text{A重油発熱量} = 8,484 \text{ (kcal/L)}、\text{単価} = 75 \text{ (円/L)}$$

$$\begin{aligned}\text{A重油の使用料} &= 70,000 \text{ (kcal)} \div 8,484 \text{ (kcal/L)} \times 75 \text{ (円/L)} \\ &\approx 619 \text{ (円)}\end{aligned}$$

すなわち、

$$\text{温水の売価格} = 619 \text{ (円/トン)}$$

7) その他

人件費：設備の運転員はこの規模では1名とし、費用は年間450万円とする。

水道料金：水道料金は、267 (円/m³) とする。

設備メンテナンス費：年間2回のメンテナンスを行い、費用は25万円/1回とする。

フィルター交換：ガス化炉・発電設備については2回/月の交換を行い、費用は3万5千円/回とする。

灰分処理費：バイオマスから副生される灰分は肥料等の有価物とする。

売価は10円/kg とする。

木酢処理費：ガス化炉・発電設備から副生する木酢は、有価物とする。

売価は5千円/kL とする。

6. 2 経済性の検討結果

設備の試算条件を表2に、年間における維持管理費と収入の試算結果を表3に示す。

表3より、いずれの場合でも設備の運用によって利益を得ることは難しい。但し、A重油専燃の温水ボイラー設備の負担費用は年間約9百40万円に対して、オギを利用する温水ボイラー設備は約3百万円、ガス化・発電設備は約4百70万円となり、軽減費用として温水ボイラー設備は6百40万円、ガス化・発電は4百70万円となる。

又オギを逆有償の廃棄系バイオマスとして、この負担額を0円にするための燃料単価は、温水ボイラー設備の場合6千円/トン、ガス化・発電設備では、1万2千円/トンとなる。

現状においてオギの賦存量が大量に存在する状況にはないが、オギの投入量を25トン/日(1,042 kg/h)とした場合のガス化・発電設備の採算性について試算したその条件および結果を表4および5に示す。この設備の発電量は約860kWhで、その内150kWhが設備の電力として消費される。従って売電量は710kWhである。この程度の規模であれば収入が維持管理費を上回り、年間約千2百万円の黒字となる。然しながら、設備の建設費である8億円を償却するほどの

利益にはなっていない。R P S制度によってバイオマスが対象エネルギーとして認定されたものの、現状の売電価格では採算性は厳しいものがある。

表2. 1 経済性評価条件(温水ボイラー設備 / ガス化・発電設備)

バイオマス原料	—	オギ
原料投入量	kg/h	88
	kg/day	27,896
	トン/y	279
稼働時間	h	10
稼働日数	日	317

表2. 2 経済性評価条件(重油炊き温水ボイラー設備)

燃料		A 重油
原料投入量	L/h	32
	L/day	322
	kL/y	102
稼働時間	h	10
稼働日数	日	317

表3. 1 温水ボイラー設備の試算結果

(注)建設費 40,000 千円

		数量	単位	単価		金額	
バイオマス	購入量	279	t/y	5	円/kg	1,395	千円/y
維持管理費	人件費	1	人	4,500,000	円/y	4,500	千円/y
	装置消費電力量	41.2	MWh/y	10	円/kWh	412	千円/y
	上水量	11,027	m3/年	260	円/m3	2,867	千円/y
	フィルター交換	0	回	35,000	円/回	0	千円/y
	点検・補修	2	回	250,000	円/回	500	千円/y
	灰分処理	20	t/y	10	円/kg	(195)	千円/y
	小計					9,479	千円/y
収入	売電電力料金	0	MWh/y	10	円/kWh	0	千円/y
	温水回収量	10,502	トン/y	619	円/トン	6,501	千円/y
	小計					6,501	千円/y
合計						(2,978)	千円/y

表3-2 ガス化・発電設備の試算結果

建設費 120,000 千円

		数量	単位	単価		金額	
バイオマス	購入量	279	t/y	5	円/kg	1,395	千円/y
維持管理費	人件費	1	人	4,500,000	円/y	4,500	千円/y
	装置消費電力量	0	MWh/y	10	円/kWh	0	千円/y
	上水量	2,530	m3/年	260	円/m3	658	千円/y
	フィルター交換	24	回	35,000	円/回	840	千円/y
	点検・補修	2	回	250,000	円/回	500	千円/y
	灰分処理	20	t/y	10	円/kg	(195)	千円/y
	木酢処理	25	kL/y	5,000	円/kL	(126)	千円/y
	小計					7,697	千円/y
収入	売電電力料金	149	MWh/y	10	円/kWh	1,490	千円/y
	温水回収量	2,409	トン/y	619	円/トン	1,491	千円/y
	小計					2,981	千円/y
合計						(4,716)	千円/y

表3-3 試算条件(重油炊き温水ボイラー設備)

建設費 30,000 千円

		数量	単位	単価		金額	
A 重油	購入量	102	kL/y	75	円/L	7,644	千円/y
維持管理費	人件費	1	人	4,500,000	円/y	4,500	千円/y
	装置消費電力量	41.2	MWh/y	10	円/kWh	412	千円/y
	上水量	11,027	m3/年	260	円/m3	2,867	千円/y
	フィルター交換	0	回	35,000	円/回	0	千円/y
	点検・補修	2	回	250,000	円/回	500	千円/y
	副生成物処理	0		0		0	千円/y
	小計					15,923	千円/y
収入	売電電力料金	0	MWh/y	10	円/kWh	0	千円/y
	温水回収量	10,502	トン/y	619	円/トン	6,501	千円/y
	小計					6,501	千円/y
合計						(9,422)	千円/y

表4 25(トン/日)規模のガス化・発電設備)

建設費 800,000 千円

ガス化炉		
バイオマス原料		オギ
原料投入量	kg/h	1,042
	トン/day	25
	トン/y	8,375
稼働時間	hr	24
稼働時間	日	335

表5 25(トン/日)規模のガス化・発電設備の試算結果

		数量	単位	単価		金額	
バイオマス	購入量	8,375	t/y	5	円/kg	41,874	千円/y
維持管理費	人件費	8	人	4,500,000	円/y	36,000	千円/y
	装置消費電力量	0	MWh/y	10	円/kWh	0	千円/y
	上水量	104,012	m3/年	260	円/m3	27,043	千円/y
	フィルター交換	24	回	150,000	円/回	3,600	千円/y
	点検・補修	2	回	1,500,000	円/回	3,000	千円/y
	灰分処理	586	t/y	10	円/kg	(5,862)	千円/y
	木酢処理	754	kL/y	5,000	円/kL	(3,769)	千円/y
	小計					105,655	千円/y
収入	売電電力料金	5,708	MWh/y	10	円/kWh	57,084	千円/y
	温水回収量	99,059	トン/y	619	円/トン	61,317	千円/y
	小計					118,401	千円/y
合計						12,746	千円/y

以上の試算結果から、オギを利用する場合の効果的な方法として、以下を提案する。

- ①木質系および草本系のバイオマスを化石燃料の代替として利用し、CO₂の削減とバイオマスと化石燃料の価格差から生じる燃料費の削減を設備建設費の償却に充てる。
- ②オギの採集地域に隣接する温浴施設、福祉施設等への冷暖房・給湯用として利用する。