

第 19 章 バイオマス発電プランニング実習

演習テーマ

木質系廃材を利用した熱併給発電システムを地域の特養
温浴施設に導入するプロジェクトをプランニングする

演習の狙い：5つに区分された固定価格買取り制度のもと、バ
イオマス発電の事業性成立の条件を検証する。
特に熱併給発電なので、熱収支上の事業性の良し
悪しも検証する。

演習の方法：数人一組で設計プランニングにあたる。
ワークシートの空欄を埋める形で進める。
講師によるオリエンテーション1時間
講師はナビゲータ役も務める。

I. 与件の提示（前日配布）

1. バイオマス発電に関する演習テーマ設定の特殊事情

一口にバイオマス発電といっても、それにはかなりのバリエーションがあり、発電用の燃料化プロセスについては大きく分けてガス化と固形燃料燃焼方式がある。

まずガス化については、水蒸気雰囲気下での水性ガス発生方式、嫌気性発酵方式、流動床ガス化方式がある。ガス化の投入資源としては、下水汚泥、家畜糞尿、農産廃棄物が一般的である。

固形燃料燃焼用の投入資源としては、間伐材などの未利用木材、木材工場残材等の一般木材、一般廃棄物や下水汚泥、そして建設廃材などのリサイクル木材等々がある。

演習のテーマ設定については、実務の演習であることに鑑み、事業性の低いと考えられるテーマは避けなければならない。

事業性の良し悪しを左右するのは、発電した電力の販売価格とプラントコストである。2012年7月から施行された固定価格買取り制度では、現状の木質系チップ利用業界（製紙業界、繊維板業会など）の事情に配慮し、いわゆるリサイクル系のチップを利用した発電電力は13円/kWhという非常に低い価格設定になっており、算定委員会での議論では13円でもIRRは4%となっているが、諸条件が複雑であり、事業性は大幅に低下する懸念がある。

バイオマス発電電力の固定価格買取り、買取期間

プロセス	ガス化	燃 焼	燃 焼	燃 焼	燃 焼
バイオマス	メタン発酵ガス化（下水汚泥、家畜糞尿）	未利用木材（間伐材など）	一般木材（木材工場の残材など）	非木質系一般廃棄物 下水汚泥	リサイクル木材（建設廃材等）
税抜買取価格	39 円/kWh	32 円/kWh	24 円/kWh	17 円/kWh	13 円/kWh
買取期間	20 年	20 年	20 年	20 年	20 年
I R R（税前）	1%	8%	4%	4%	4%

よって、この演習では比較的高い価格（24 円）の買取価格が設定されている一般木材を利用したバイオマス発電を前提として検討を進める。

2. 地域の概要

福島県の F 町は人口 20,000 人、山間地域に開けた溪谷美を誇る古い町であるが、約 20 km 離れたところにある人口 200,000 人の A 市の保養地として最近では観光客が多く訪れるようになってきた。

〔注〕 具体的な都市を念頭に置いている話ではない。

数年前、F 町は農林水産省の勧めに従い「F 町バイオマスタウン構想」を策定し公表した。F 町はもともと林業で発展してきた町である。町の面積の 70% が森林であり、町には中堅の製材業者が 8 社、現在でも操業を続けていて、製材工場からの木質系未利用資源の有効活用策が検討されてきたところであった。

3. 地域のバイオマスタウン構想

F 町のバイオマスタウン構想は次のようなものであった。

- 製材所から排出される年間 1,000 t に及ぶ廃材、端材、鉋屑、樹皮などのうち、約 50% はチップ化されて製紙会社に売却されているが、樹皮をはじめとした残りの 50% は未利用、あるいは低利用（堆肥や畜産敷き料など）なので、これらを付加価値の高い利用に切り替え、これによって地場産業の経営基盤強化を図ることが望ましい。
- 木質系バイオマスの賦存量は貴重な地域資源であり、これは地域振興に生かす必要があり、そのためのプロジェクトを早急に企画し推進する必要がある。
- F 町は溪谷美にも恵まれたエコツーリズムに格好の地域であり、観光客を更に誘致するために、また観光関連産業振興のために、バイオマス資源の有効活用に注目していかなければならない。

4. バイオマス利用熱電併給システムの登場

当初 F 町では、木質系未利用資源をペレット化して、地域にペレットストーブの生産販売を考えたが、ペレットの製造コスト＋販売経費が kg あたり 40 ～ 50 円程度になり、

カロリー当りの価格が石油系燃料とあまり差がない上、ペレットストーブの価格が標準タイプで 300,000 円前後と非常に高く、一般に普及する可能性は小さいと判断し、このプランは消滅していた。

大量に発生する樹皮の資源化も検討された。樹皮の資源化としては炭化が取り上げられ、炭化プラントの導入の検討も行われたが、問題はF町として炭化製品の販売先が特定できず、経営面での不透明さがあってこの案も消えた。

様々な検討の過程で登場してきたのが、地下の鉱泉（温度 20℃）を利用した温浴保養施設の建設構想へのバイオマス利用プランであった。

温浴保養施設の建設については、地域振興の観点からバイオマスタウン構想策定以前から検討されてきたが、これをバイオマスタウン構想に結びつける案ははじめての登場である。

温浴保養施設へのバイオマス利用には、単なる熱利用とするか、あるいは発電までを行いコージェネレーションにするかが選択肢になる。更に発電システムには「ガス化発電」「スチームエンジン発電」があるが、ガス化発電は未経験者が多い自治体にとっては荷が重く、またガスエンジンのコストも高い。一方スチームエンジンは小型のものが少なく、オーダーメイドでは価格は高騰する。

こうした中、F市に「スターリングエンジン発電機」の話が飛び込んできた。スターリングエンジン（以下SEと略称する）は、外燃式の原動機である。一般のエンジンが内燃式であるのに対して、SEの場合は、シリンダーの外から内部の熱媒体（水素、ヘリウム、窒素など）を加熱・冷却し、その際の熱媒体の膨張と収縮を利用してピストンを動かす方式であるので、原理的には燃料は何でもOKとなる。ただ構造上大型のものは無理で、せいぜい 100 kW が限界ともいわれている。かくしてF市でのバイオマスタウン構想具体化の先陣は類例の少ないスターリングエンジン発電を取り込んだ「温浴保養施設でのバイオマス熱電併給システム（コージェネレーションシステム、以下『バイオマスCGS』と略称）導入プロジェクト」になった。

ここでスターリングエンジンの模型を作動させ、実習生に作動を実感してもらうとともに有効活用策を討議する

バイオマス・コージェネレーション導入の採算性は、発生電力の売電価格と、排熱利用価値に大きく左右される。排熱利用価値は、既存の石油系ボイラーの更新に伴う熱供給単価との比較で評価できるが、問題は売電価格である。

固定価格買取制度設計における調達価格等算定委員会における最終案では、建設廃材等のリサイクル木材は発電コストが安く、固定価格を高め設定するとチップの発電用が急増し、現在の主な需要先である製糸業や繊維板業への供給が制約され、製造コストがアップするという業界からの強い懸念で、固定価格は 13 円 /kWh と非常に低く設定

された。これによって、比較的プラントが作りやすいというリサイクル木材系チップの発電への参入を抑えようとの意図がみえる。これでは新たにプランを立てても経済性に問題が残る。

このあたりの詳しい事情については参照資料を精読していただきたい。

II. 演習用参照資料の配布（前日配布）

1. 再生可能エネルギー用語解説資料
2. 一般的プロジェクトエンジニアリングの全工程図
3. 最近のバイオマス発電実施事例、計画事例（NPO市町村情報ネットワークセンター）
4. 平成24年度調達価格および調達期間に関する意見（調達価格等算定委員会）
5. 木質バイオマス発電に関する要望（日本製紙連合会）
6. 木質バイオマス発電に関する要望（日本繊維板工業会）
7. 木質バイオマス発電導入のための課題調査（財・日本エネルギー経済研究所）
8. 電気工作物の範囲と資格
9. エネルギー単位換算表

III. 事業プランニングの手順の解説と工程表作成

立案から事業性評価までの『前工程』

1. 導入から保守までの全フロー（参考）
2. 立案から企画設計～事業性評価
 - (1) バイオマスCGS導入の理由、目的の確認、背景の確認
 - (2) 構想の立案（WBS展開の順序）
 - ①熱源の確保
 - ②事業主体構築の構想
 - ③バイオマス資源の調査、利用資源の調査
 - ④バイオマスCGS運用の構想
 - ⑤利用するバイオマス
 - ⑥発電システム
 - ⑦排熱の利用
 - ⑧バイオマス燃焼炉
 - (3) 現地調査と確認
【今回省略、コメントのみ】
 - (4) 企画設計（WBS展開の順序）
 - ①導入対象施設の概要と熱・電力の需要と供給の想定
 - ②温浴施設の1日あたりのエネルギー需要

- ③施設の季節別、時間帯別エネルギー収支バランス
- ④木質バイオマスの調達～前処理の構想
- ⑤木質ペレットの経済価値
- (5) 事業性検証
 - ①バイオマス燃焼炉の選定
 - ②概算事業費の想定
 - ③導入によるランニングコストの比較
 - ④経済性評価
 - ⑤事業性向上のためのエンジニアリング面の課題
- (6) 環境効果の検証

演習

以上の作業項目を、配布する時間軸工程表に配置する

WBSの展開

IV. プロジェクトエンジニアリングの手順の解説と工程表作成

基本設計から竣工検査までの『後工程』

1. 基本設計、実施設計の段階

(企画設計段階で基本設計まで済ませる場合もあれば、基本設計と実施設計を同時に行う場合もある)

- (1) 入札～発注先選定まで
 - ・入札先の選定
 - ・入札仕様書の作成、入札
 - ・プロポーザル協議（金額と仕様書の最終調整）
 - ・発注先の決定
- (2) 発注先による基本設計、実施設計
 - ・バイオマス熱電併給システム構成
 - ・バイオマス熱電併給システム機器構成
 - ・系統連系システム
 - ・基礎の設計と施工法
 - ・バイオマス資源の搬入計画
 - ・組立据付法
 - ・系統連系協議、関連法規の確認作業
 - ・試運転，使用前検査

(3) 基本設計書、実施計画書の点検、確認

2. 施工管理～竣工検査の段階

- (1) 工事計画書
- (2) 検査実施計画書
- (3) 所管官庁への届け出
- (4) 電力会社との協議、契約締結（施主をサポート）

3. 維持管理の段階

- (1) 日常点検実施計画書
- (2) 定期点検実施計画書

V. 事業プランの作成実習

この作成例は、ワークシート方式で、随所が空欄になっており、実習の中で空欄を埋めていく。

1. 導入から保守までの全フロー確認

配布する「プロジェクトプランニングから建設までの全工程図」から、本テーマに係わる領域をマーキングで示すことにより、フロー図作成に代える。

演習参加者がどのような業種に所属しているかにより、関心の置き方が変わるが、ここでは全工程の前半に絞ることで条件を統一する。

2. 立案から企画設計まで

(1) 『バイオマスCGS』導入の理由、目的の確認、背景の確認

前掲の特殊事情、地域概要により再確認しつつ、要点を記述する。

	記 述 欄
要点 1	
要点 2	
要点 3	
要点 4	
要点 5	

(2) 構想の立案

①熱源の確保

地下 60m にある鉱泉源から 20°C の鉱泉を年間 40,000 m³ 汲み上げ、それを 35 ~ 42°C に加温して施設の温浴施設に利用する。

②事業主体構築の構想

バイオマス発電事業を安定的に運用する決め手は、バイオマス資源の安定供給体制が作れるかどうかである。施設のエネルギーを賄うための小型発電プラントの場合は、投入バイオマス資源の多様化は図りにくい。

[付記] 千葉県市原市の市原グリーン電力の場合は、最新鋭の循環流動床ボイラー方式を採用した 50,000kW のバイオマス発電設備で、木質系チップばかりでなく、廃プラスチック系の RDF や古紙なども利用可能であるため、バイオマスの調達網を広げやすい。安定供給が図りやすい。それでも大手リサイクル業者 11 社が出資した燃料供給会社や、燃料供給量管理会社を設立し、発電プラントへの安定供給システムを構築している。

F 市の場合にはどのように考えたらよいのだろうか。事前調査によると、製材所から排出される年間 1,000t に及ぶ廃材、端材、鉋屑、樹皮などのうち、約 50% はチップ化されて製紙会社に売却されているが、樹皮をはじめとした残りの 50% は未利用、あるいは低利用（堆肥や畜産敷き料など）の状況にあるという。

バイオマス安定調達の構図

	安定調達の構図(構想や対策)
構想 1	
構想 2	
構想 3	

③バイオマス資源の調査、利用資源の調査

①でみたように製紙会社に販売されているバイオマスチップは需要先が固定化しており、それをバイオマス CGS に利用することは電力の固定価格買取制度の売電単価の問題もあって実現性はない。資源の確保は樹皮(バーク)や製紙用チップ化できない廃材、とくにバークが付着したチップであろう。

これらが年間 500 t は見込めるので、この量が電力換算でどれくらいになるかが問題である。これを考えてみよう。

[演習]

バークの発熱量：含水率 30% のケースでの低位発熱量を 17.5 MJ/ kg

資源調査のバーク 500t: 含水率 30% 換算で表示されたとする。

3.6 MJ = 1kWh で換算し、発電効率を仮に 10% としてみると、

潜在的な発電可能量は：

_____ kWh/年

発電プラントの年間稼働時間を 50% の 4,380 時間とするとプラントの定格発電容量は、

_____ kW

となる。

すなわち、バーク資源を利用できる発電出力は 55kW 程度ということになる。

④バイオマスCGS運用の構想

コージェネレーションシステムの運用は、一般的には熱主・電従方式である。すなわちエネルギー出力が熱の方に偏りがちになるので、電力の消費先が系統連系であれば無限であるのに対して熱の方は消費先が限られる場合、電力出力を最大にすると余剰の熱の行き場がなくなり、温水や蒸気は余れば廃棄する以外に方法はなく、エネルギー資源の利用効率は低下する。

これを避けるために熱の需要に合わせて発電を行うのが一般的な運用方法になっている。

バイオマスCGSでも熱の需要に合わせてシステムを稼働させ、電力は従的な運用でバランスを取ることが経済性を確保する重要な条件である。一方でバイオマス燃焼炉も一定の負荷をコンスタントに与え続けることが運用効率上好ましい。

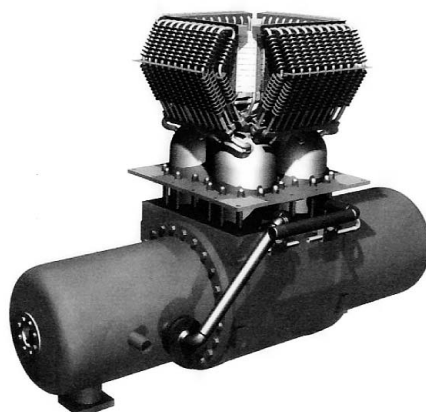
⑤利用するバイオマス

バイオマスはF市の山間部に立地する製材工場から出る廃材、樹皮（バーク）と製紙業界が引き取らないバーク付き廃材やチップ。原則的には産業廃棄物なので、市側がいったん無償で引き取り、別の業者に依頼して破裁、粉碎し、施設に搬入する。すでに粉碎までの機械システムは存在するのでそれを利用する。

廃材や樹皮はバイオマスCGSからのエンジン排熱を利用して予備乾燥させ、その後粉碎してバイオマス燃料とする方法もある。

⑥発電システム

スターリングエンジン発電システムを採用する。スターリングエンジン発電機は現在商品化されている中で最も出力の大きい 35kW の機種（デンマーク製）を採用する。



スターリングエンジン発電機の実機については末尾の写真を参照しつつ、感想を述べ合う

スターリングエンジンを何台導入するかは今後の課題とし、このプランでは取りあえず1台導入することとする。

[付記] スターリングエンジン発電機はデンマークの「スターリングDK社」が開発した35kWの実用機で、ヨーロッパでは多くの台数が普及していて、木質系バイオマス専焼炉と組み合わされて利用されている。わが国では、東京都あきる野市の温浴施設に導入され、熱電併給システムとして稼働中である。

スターリングエンジンに組み込まれている発電機は誘導発電機であり、発電開始時には外部（＝商用系統）から励磁電流を供給してやる必要があるため、スターリングエンジン発電システムは一般の系統連系での運用とする。

⑦排熱の利用

スターリングエンジンはシリンダーの外から熱をヒーター部分に与えるが、温度が800℃以上と高いのでバイオマス燃焼炉は最高1000℃以上でバイオマスを燃焼させることになり、従って排熱温度も高いため温水ボイラではなく廃熱蒸気ボイラを採用することになる。蒸気は鉱泉の加温（間接加温）だけではなく、スチームサウナや館内厨房での食器などの洗浄、用具類の洗浄などに利用する。高温の蒸気は蒸気吸収冷凍機により館内の冷房にも利用できる。

スターリングエンジン発電システムのエネルギー収支については巻末の図による演習参照（同様のグラフは会場で配布）

⑧バイオマス燃焼炉

燃焼炉は人手をあまりかけないで運転できるよう、燃料投入は連続自動投入が可能な粉砕バイオマスを利用するのが理想的であるが、バークを連続投入可能なまで破砕するのは簡単ではない。

むしろ、人手がかかる形にして地域の雇用を増やすほうが地域社会との一体感を醸成するに効果的であろう。施設の運用主体が自治体であることもその背景にある。

木質系バイオマスの燃焼炉（廃熱ボイラ付）は一般には高価で、ボイラの能力を示す蒸発量で比較すると既存の石油系ボイラに比べて約10倍ともいわれてきたが、現在では機械システムの開発がすすみ、3～4倍程度で入手できるようになってきた。

(3) 現地調査と確認

【今回省略、コメントのみ】



東京都あきる野市温浴施設【瀬音の湯】で取材

(4) 企画設計

①導入対象温浴保養施設の概要と熱・電力の需要と供給の想定

[温浴保養施設の概要]

・地理的資源的条件：

地下 60m には年間水温不変 20℃の鉱泉の水脈があり、地盤沈下の心配なく鉱泉の汲み上げが可能。

また周囲 10 km 内には 8 つの製材工場があり、端材、廃材、樹皮合わせて年間 1,500 t（含水率平均 50%）が排出され、全量の利用が可能である。

・建物の構造

延べ床面積は 1,500 m²、全体は木造だが、一部鉄筋・鉄骨造り。

・施設の構成

浴室は大浴場が広さ 50 m²、貯湯量 30 m³で湯は循環式。浴槽注湯温度は 41℃。

露天風呂は広さ 40 m²、貯湯量 25 m³で湯は循環式。浴槽注湯温度は 41℃。

温浴プール（ジャグジー付）は広さ 80 m²、貯湯量 60 m³、湯は循環式、プール温度は 32℃。

その他施設として「語らいの部屋」「軽食レストラン」「リラクゼーションルーム」

など。

- 施設の営業時間と利用客の想定

11:00～20:00が営業時間で、営業日は年間330日。利用客は1日平均200人、年間66,000人を想定。

ただし館内設備の稼働時間は10:00～20:00で10時間稼働/日。

② 温浴保養施設の1日のエネルギー需要

エネルギー量の単位はkWhに統一する。1kcalは1/860kWhになる

- 加温&給湯量(1日あたり)

□浴室の溢水・補給鉱泉水は 15 m³/日とし、20℃から41℃へ加温する。

循環して湯温調整利用になるが、2日間で全量が入れ替わる。

(途中の熱ロスを考えて41℃以上に加温する必要があるが、熱ロスはまとめて最後に一括して計上する)

■必要熱量の計算 $15,000 \times (41-20) \div 860 = 366 \text{ kWh/日}$

□浴室掛け流し補給鉱泉水は 14 m³/日とし、

20℃から41℃へ加温する。

掛け流し量は1人70Lとして1日200人分を計算

■必要熱量の計算 $14,000 \times (41-20) \div 860 = 342 \text{ kWh/日}$

□温浴プール施設の溢水・補給鉱泉水は 20 m³/日とし、

20℃から32℃へ加温する。

プール温水60 m³は循環利用だが3日で全量が入れ替わる。

■必要熱量の計算 $20,000 \times (32-20) \div 860 = 279 \text{ kWh/日}$

以上計 987kWh/日

年間計 325,710kWh

- 浴室、温浴施設からの放熱ロス、循環ロス、CGS熱源との熱交換

ロスなどを上記の80%と想定 790kWh/日

年間計 260,700kWh

- 冷暖房用エネルギーは語らいの部屋など延500 m²が冷暖房の対象。

□暖房設備容量：約110,000 kcal/h ≒ 130kW、冬季の営業時間内の平均負荷率
= 70%と想定、1日11時間、83日稼働

年間計 83,083kWh

□冷房設備容量：約100,000 kcal/h ≒ 120kW、夏季の営業時間内の平均負荷率
= 50%と想定、1日11時間、83日稼働

年間計 54,780kWh

中間季はなし。

- 電力消費量

照明コンセント、温浴施設動力など、契約電力200kWの年間利用率=35%とし

て

年間消費電力 = 200kW × 24 時間 × 35% × 330 日 = 554,400kWh

空調用は上記冷暖房用エネルギーに計上。

エネルギー消費の季節別動向

(夏季：7～9月、冬季：12～2月、中間季：それ以外)

単位：kWh

項 目	夏 季	冬 季	中間季	年間計
来場者の季節別動向	13,200 人	17,800 人	35,000 人	66,000 人
町内からの利用者 150 人/日、町外からの利用者 50 人/日として推計				
鉱泉加温用季節別熱量	65,140	87,840	172,730	325,710
熱ロスを除き、熱量は来場者数に比例				
浴槽の湯温維持、熱ロス等	52,140	78,210	130,350	260,700
ロス率は季節別に推計。発生量は夏季：20%、冬季：30%、中間期：50%				
浴槽関係熱エネルギー計	117,280	166,050	303,080	586,410
暖房用季節別エネルギー	—	83,083	—	83,083
130 kW×10 時間×330 日×3/12 ヶ月×平均負荷率 70%				
冷房用季節別エネルギー	54,780	—	—	54,780
120 kW×10 時間×330 日×3/12 ヶ月×平均負荷率 50%				
季節別電力エネルギー	139,440	139,440	275,520	554,400
空調を除き、コンセント、照明、動力など季節別バイアスなし				

エネルギー消費の日負荷割合

単位：%

項 目	早 朝	日 中	夕 方	夜 間	1 日計
時 間 帯	7～9 時	9～17 時	17～20 時	20～7 時	
時 間 数	2 時間	8 時間	3 時間	11 時間	24 時間
給湯関係熱エネルギー・夏季	10	65	17	8	100
給湯関係熱エネルギー・冬季	20	57	15	8	100
給湯関係熱エネルギー・中間季	15	61	16	8	100
暖房関係熱エネルギー・冬季	30	50	20	—	100
暖房関係熱エネルギー・中間季	—	—	—	—	100
冷房関係熱エネルギー・夏季	—	90	10	—	100
冷房関係熱エネルギー・中間季	—	—	—	—	100
電力エネルギー・夏季	5	65	25	5	100
電力エネルギー・冬季	5	65	25	5	100
電力エネルギー・中間季	5	65	25	5	100

[注] 電力エネルギーは照明、コンセント、動力用とし、給湯・冷暖房用は含めない。
給湯・冷暖房用は施設への負荷段階で把握し、貯湯・蓄熱は無視する。

エネルギー消費の日負荷～年間動向

単位：kWh

項 目	早 朝	日 中	夕 方	夜 間	1 日計	年 間 合 計	
						割合	消費量
給湯・夏季	141	919	240	113	1,413	20.0	117,280
給湯・冬季	400	1,141	300	160	2,001	28.3	166,050
給湯・中間季	277	1,127	296	148	1,848	51.7	303,080

計						100	586,410
暖房・冬季	300	501	200	—	1,001	100	83,083
暖房・中間季	—	—	—	—	—		—
計						100	83,083
冷房・夏季	—	594	66	—	660	100	54,780
冷房・中間季	—	—	—	—	—		—
計						100	54,780
電力・夏季	84	1,092	420	84	1,680	25.2	139,440
電力・冬季	84	1,092	420	84	1,680	25.2	139,440
電力・中間季	84	1,092	420	84	1,680	49.6	275,520
計						100	554,400

稼働日	夏季 83日	冬季 83日	中間季 164日	年間 330日
-----	--------	--------	----------	---------

[注] 電力エネルギーは照明、コンセント、動力用とし、給湯・冷暖房用は含めない。
給湯・冷暖房用は施設への負荷段階で把握し、貯湯・蓄熱は無視する。

③施設の季節別・時間別エネルギー収支のバランス

施設の季節別、時間別エネルギーの消費傾向から年間のエネルギー消費を計算し、CGSを導入することによってエネルギー収支がどのようなようになるかを計算した。

計算の手順は、1日のエネルギー収支を早朝、日中、夕方、夜間別に、そして季節別に計算してそれらを年間ベースに集計していく、というもので、このモデルプランでは参考のために集計までの全てのプロセスを以下に掲載する。

i) 冬季1日の時間別エネルギー収支

演習：冬季分の数値の流れをフォローしてみよう

【冬季】

項 目	単位	冬季1日				1日合計
		早朝 (2時間)	日中 (8時間)	夕方 (3時間)	夜間 (11時間)	
CGSでの発電容量 S E	kW	35	35	35	35	—
CGS電力供給能力 E C	kWh					
CGS温水供給能力 W C	kWh					
温水対電力比 WC/EC k	kWh	6.8	6.8	6.8	6.8	—
事業所の電力需要量 D E	kWh	84	1,092	420	84	1,680
事業所の冷房需要量 D C	kWh	—	—	—	—	—
事業所の暖房需要量 D W 1	kWh	300	501	200	—	1,001
事業所の給湯需要量 D W 2	kWh	400	1,140	300	160	2,001
燃料乾燥用熱需要量 D W 3	kWh	—	225	25	—	250
温熱需要量計 T D W	kWh	700	1,866	525	160	3,252
CGSからの温水供給量 W S	kWh					
CGSからの電力供給量 E S	kWh					
余剰電力量(売電) E B	kWh	0	0	0	0	0
不足電力量(購入) E P	kWh	14	818	343	60	1,235
給湯暖房不足熱量 Δ D W	kWh	224	0	0	0	224
石油系燃料消費量(灯油) A K	L	26	0	0	0	26
冷房用電力消費量 D C E	kWh	—	—	—	—	—
CGSエネルギー投入量 T E	kWh					
CGSバイオマス投入量 B D	k g					
CGS稼働率 O R	%	100.0	98.0	73.6	6.1	53.0

発電効率は12.82%として計算
給湯熱量(kWh)対灯油(L) = 8.615で計算

ii) 夏季1日の時間帯別エネルギー収支

【夏季】

項 目	単位	夏季1日				1日合計
		早朝 (2時間)	日中 (8時間)	夕方 (3時間)	夜間 (11時間)	
CGSでの発電容量 S E	kW	35	35	35	35	—
CGS電力供給能力 E C	kWh	70	280	105	385	840
CGS温水供給能力 W C	kWh	476	1,904	714	2,618	5,712
温水対電力比 WC/EC k	kWh	6.8	6.8	6.8	6.8	—
事業所の電力需要量 D E	kWh	84	1,092	420	84	1,680
事業所の冷房需要量 D C	kWh	—	594	66	—	660
事業所の暖房需要量 D W 1	kWh	—	—	—	—	—
事業所の給湯需要量 D W 2	kWh	141	918	240	113	1,413
燃料乾燥用熱需要量 D W 3	kWh	—	225	25	—	250
温熱需要量計 T D W	kWh	141	1,143	265	113	1,663
CGSからの温水供給量 W S	kWh	141	1,143	265	113	1,663
CGSからの電力需要量 E S	kWh	21	168	39	17	245
余剰電力量(売電) E B	kWh	0	0	0	0	0
不足電力量(購入) E P	kWh	63	924	381	67	1,435
給湯暖房不足熱量 Δ D W	kWh	0	0	0	0	0
石油系燃料消費量(灯油) A K	L	0	0	0	0	0
冷房用電力消費量 D C E	kWh	—	238	26	—	264
CGSエネルギー投入量 T E	kWh	162	1,312	304	130	1,908
CGSバイオマス投入量 B D	k g	49	393	91	39	572
CGS稼働率 O R	%	29.7	60.1	37.1	4.3	29.1

iii) 中間季 1 日の時間別エネルギー収支

【中間季】

項目	単位	中間季 1 日				1 日合計	
		早朝 (2 時間)	日中 (8 時間)	夕方 (3 時間)	夜間 (11 時間)		
CGS での発電容量	S E	kW	35	35	35	35	—
CGS 電力供給能力	E C	kWh	70	280	105	385	840
CGS 温水供給能力	W C	kWh	476	1,904	714	2,618	5,712
温水対電力比 WC/EC	k	kWh	6.8	6.8	6.8	6.8	—
事業所の電力需要量	D E	kWh	84	1,092	420	84	1,680
事業所の冷房需要量	D C	kWh	—	—	—	—	—
事業所の暖房需要量	D W 1	kWh	—	—	—	—	—
事業所の給湯需要量	D W 2	kWh	277	1,127	296	148	1,848
燃料乾燥用熱需要量	D W 3	kWh	—	225	25	—	250
温熱需要量計	T D W	kWh	277	1,352	321	148	2,098
CGS からの温水供給量	W S	kWh	277	1,352	321	148	2,098
CGS からの電力需要量	E S	kWh	41	199	47	22	309
余剰電力量 (売電)	E B	kWh	0	0	0	0	0
不足電力量 (購入)	E P	kWh	43	893	373	62	1,371
給湯暖房不足熱量	Δ D W	kWh	0	0	0	0	0
石油系燃料消費量 (灯油)	A K	L	0	0	0	0	0
冷房用電力消費量	D C E	kWh	—	—	—	—	—
CGS エネルギー投入量	T E	kWh	318	1,551	368	170	2,407
CGS バイオマス投入量	B D	k g	95	465	110	51	722
CGS 稼働率	O R	%	58.2	71.0	44.9	5.6	36.7

iv) 年間の季節別エネルギー収支

CGS 導入の場合の季節別エネルギー収支バランス

項目	単位	夏季 1 日	日数	夏季計	冬季 1 日	日数	冬季計	中間季 1 日	日数	中間季計	年間合計
CGS での発電容量	S E	kW	—	83	—	83	—	—	164	—	—
CGS 電力供給能力	E C	kWh	840	83	69,720	840	83	69,720	840	164	137,760
CGS 温水供給能力	W C	kWh	5,712	83	474,096	5,712	83	474,096	5,712	164	936,768
温水対電力比 WC/EC	k	kWh	—	—	—	—	—	—	—	—	—
事業所の電力需要量	D E	kWh	1,680	83	139,440	1,680	83	139,440	1,680	164	275,520
事業所の冷房需要量	D C	kWh	660	83	54,780	—	83	—	—	164	—
事業所の暖房需要量	D W 1	kWh	—	83	—	1,001	83	83,083	—	164	—
事業所の給湯需要量	D W 2	kWh	1,413	83	117,280	2,001	83	166,050	1,848	164	303,080
燃料乾燥用熱需要量	D W 3	kWh	250	83	20,750	250	83	20,750	250	164	41,000
温熱需要量計	T D W	kWh	1,663	83	138,030	3,252	83	269,883	2,098	164	344,080
CGS からの温水供給量	W S	kWh	1,663	83	138,030	3,027	83	251,256	2,098	164	344,080
CGS からの電力需要量	E S	kWh	245	83	20,299	445	83	36,949	309	164	50,600
余剰電力量 (売電)	E B	kWh	0	83	0	0	83	0	0	164	0
不足電力量 (購入)	E P	kWh	1,435	83	119,141	1,235	83	102,491	1,371	164	224,920
給湯暖房不足熱量	Δ D W	kWh	0	83	0	224	83	18,627	0	164	0
石油系燃料消費量 (灯油)	A K	L	0	83	0	26	83	2,148	0	164	0
冷房用電力消費量	D C E	kWh	264	83	21,912	—	83	—	—	164	—
CGS エネルギー投入量	T E	kWh	1,908	83	158,329	3,472	83	288,206	2,407	164	394,680
CGS バイオマス投入量	B D	k g	572	83	47,499	1,042	83	86,462	722	164	118,404
CGS 稼働率	O R	%	29.1	83	29.1	53.0	83	53.0	36.7	164	36.7

④木質系バイオマスの調達～前処理の構想

石油系燃料と異なり木質系バイオマス燃料は燃料投入の観点から見ると水分や形状などの面で問題が多い。その中でも形状が燃焼炉の選定や炉の稼働時間に大きな影響を及ぼす。人手を掛けずに燃料が自動的に投入されるような形状（数 mm の細破碎）であれば、石油系燃料と同様の取り扱いができるが、その場合の形状は木質バイオマスを粉碎した上で含水率をほぼ一定にすることが要請される。

一般に実用化されている木質系バイオマス燃焼炉では、端材や廃材、樹皮などを原形状のまま人手によって燃焼炉に投入しており、稼働時間は日中せいぜい 10 ～ 12 時間程度になっている上、燃焼炉の燃料投入構造も人手による投入を前提とした設計になっていることが多い。

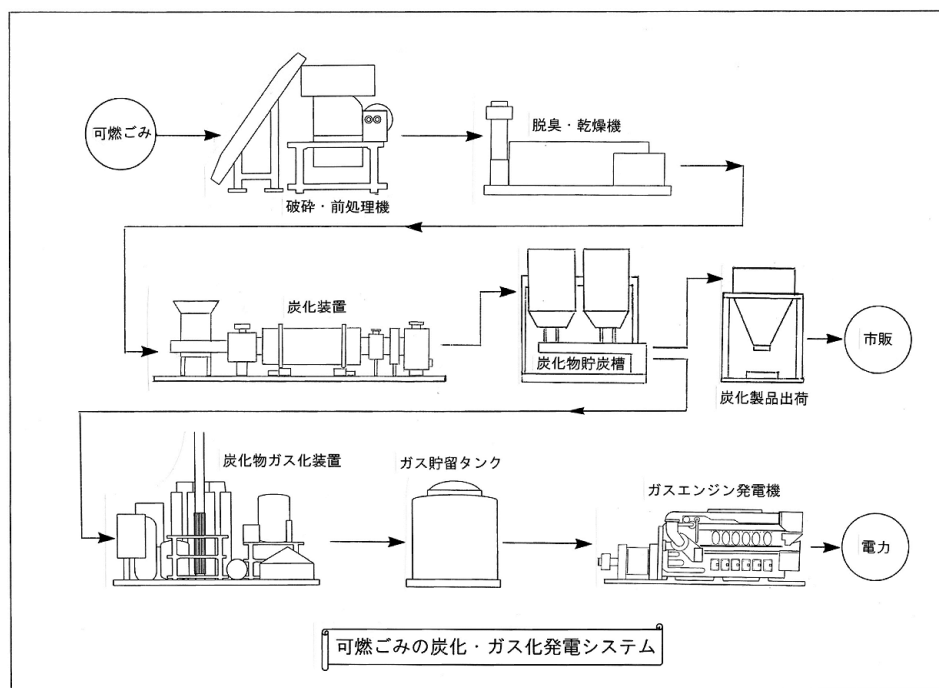
このプランでは、施設の営業時間がせいぜい夜は 9 時ころまでであり、バイオマス燃焼炉の稼働時間も 24 時間にはならないことから、燃料投入は人手による方法にすることもできるが、専任のボイラマンの person 費が発生することに配慮して、木質系バイオマスは取り扱いしやすい形にまで前処理（破碎）をおこない、かつ排熱を利用した燃料乾燥システムの採用も考慮することが望ましい。

⑤木質系ペレット価格の経済価値

リサイクル系の木質バイオマスの連続投入の例をみると、チップ化したりペレットにしたりして利用しているが、ペレットは製紙会社がトン 5,000 ～ 8,000 円程度で引き取るビジネスが形成されていて、燃料投入の場合は基本的にこの価格での利用になる。またペレットにした場合は市場価格が大口で 20,000 円 / t 小口では 40,000 円前後になっていて、発熱量を 18 MJ/kg とすると 20,000 円では燃料価格は 1.1 円 / MJ となって灯油（85 円）の 2.3 円 / MJ の半値であるが、40,000 円では石油系燃料とあまり変わらない結果になり、バイオマスボイラの価格が石油系燃料を利用するボイラの 5 倍～ 10 倍にもなっていることを考えると、ペレットを燃料とする CGS の経済性はほとんどないことになる。

このプランでは樹皮、端材、廃材を簡易破碎したチップ状のものを燃料として採用した。予備乾燥を含む前処理後の含水率 30% で低位発熱量はおよそ 15MJ/kg と想定した。

木質系燃料の前処理を含むシステム全体の姿について以下に掲載する。



(5) 事業性検証

① バイオマス燃焼炉の選定

木質系バイオマスを利用する燃焼炉+廃熱ボイラ（以下「バイオマスボイラ」と称する）は限られた数社が注文生産をしている状況にあり、概して市場での競争原理はあまり働いていないように見受けられる。バイオマスボイラの価格も蒸発量1tクラスで50,000千円前後（国内サイト渡し）になっており、石油系燃料のボイラの10倍以上である。

またバイオマスボイラが量産化されているヨーロッパ製の場合では、同クラスの価格が国内サイト渡しで35,000～45,000千円であるので、やや安いメンテナンスなど導入後の保全体制にやや不安な面があり、必ずしも有利とはいえない。

しかし最近のバイオマスブームを背景に、国内の中小メーカーが25,000千円前後のバイオマスボイラを市場に出し始めて来ており、バイオマスボイラも近い将来は市場原理が働く商品になることが予想される。

以上のような背景から、このモデルプランでは、バイオマスボイラは国産のものを採用し、価格は競争原理が働くことを前提として設定することとした。

なお、国産のスターリングエンジンに関しては、実用規模の機器が存在せず、このプランではデンマーク製の35kW製品を利用することにする。

② 概算事業費の想定

前提条件：

- a) スターリングエンジン発電機はデンマーク製、バイオマスボイラは国産。

- b) 機器の価格は競争原理が働いた場合を想定。
- c) エンジニアリングコストは、この分野での「トップランナー」のコストを想定。
- d) 仲介する総合請負会社は考慮外とする。

SECGS : 1 基導入に伴う事業費積算

金額単位：千円

	計 算 基 礎	数 量	単 価	金 額
[SECGS導入費]				
初期投資額				
SE本体設備費	現状価格・現地渡し	1 式	25,000	25,000
ボイラ設備費	国内製・現地渡し	1 式	25,000	25,000
熱周り付帯設備費	一式 8,000 千円			8,000
系統連系設備費	大型パワーコンを流用			4,500
以上仮計				62,500
基礎、配管工事費	一式 10,000 千円			10,000
CM、試運転費等	一式 5,000 千円			5,000
計				77,500
国庫補助期待額	総事業費×50% バイオマス交付金など			38,750
差引負担額				38,750

※実際の事業費はケースバイケースであり、標準事業費というものはない。この数値は複数の情報に基づくひとつの目安である。導入サイトの条件、設備販売の取り扱いマージンや、一括請負させた場合のマージンをどうみるかでも金額は変動する。また国の補助制度は年々変わることが多いので、プラン策定にあたってはその都度確認する必要がある。
 なお、スターリングエンジンを活用したバイオマス利用プロジェクトは、類例が少ないので、省庁横断で取り組んでいる「バイオマスニッポン総合戦略」の中での先端的プロジェクトとして位置づけてもらう方法もあろう。

③導入によるランニングコストの比較

これまでで想定したエネルギー収支をもとに、SECGSを導入する前後でのランニングコストの比較を行った。

前提条件：

- a) 発電電力は全量固定価格 24 円 /kWh で売電できるものとした。
- b) 商用電力の料金は改訂前の値を仮設定した。
- c) その他は脚注参照

SECGS : 1 基 導入のランニングコスト比較

金額単位：千円

項 目	計 算 基 礎	数 量	単 価	金 額
[SECG 導入前]				
エネルギーコスト				
電力基本料金	高圧、@1585 円・kW・月、力率割引の掛け率0.85	200 KW		
電力量料金	@10.65 円/kWh	554,400 kWh	10.65 円	
灯油料金	85 円/L (注1)	86,782 L	85.00 円	
導入前コスト合計				
[SECG 導入後]				
エネルギーコスト				
電力基本料金	高圧、@1585 円・kW・月、力率割引の掛け率0.85	200 KW		
電力量料金	@10.65 円/kWh	554,400 kWh	10.65 円	
売電金額	107,848kWh @24 円/kWh	107,848 kWh	24.0 円	
灯油料金	85 円/L	2,148 L	85.00 円	
バイオマス代	炉前@ : 5,000 円/t (注2)	252,364 kg	5.00 円	
計				
メンテナンスコスト				
SE+ボイラ設備	月平均 100,000 円(仮設定)			
その他設備	仮設定			
計				
導入後コスト合計				
導入前後コスト差				
SECGS 稼働率 38.9 % 化石燃料削減量 84,634 L/年				

(注1) 現状ベースの灯油消費量： $(751,993 \text{ kWh} \times 3.6 \text{ MJ/kWh} \div 36.7 \text{ MJ/L}) \div 0.85 = 86,782 \text{ L}$

(注2) 2. (1) ②の記述のとおり。バイオマス現物は無償で入手できるが、そのままでは燃焼炉に投入困難なため、機械的な前処理を行う。そのコストを5円/kgと想定した。バイオマスの必要量想定にあたってのボイラシステム効率はやや低めの80%とした。

④経済性評価

上記の計算結果をみてグループで経済性の良し悪しや予想されるメリットデメリットを討議する

[討議例]

ランニングコスト・メリットは6,156千円と試算された。50%の補助金控除後の事業費負担額が38,750千円であるので、単純な資金回収年限は6.3年となる。

この経済性を左右する要因としては、灯油の価格とバイオマスの調達価格である。

灯油価格は 85 円として計算したがこれ以上に高騰する可能性がありこれはプラスに作用する。またバイオマスは無償引取りの端材、樹皮などを自前で前処理する方式を採用したが、性状が不安定であり、前処理コストが 5 円 /kg を上回る可能性もあり、これはマイナスに作用する。

年間発電量が 107,848 kWh であり、定格 35 kW に対して約 35% の稼働率にとどまり、やや低ロードになっているが、これは、CGS 運転において、廃棄する熱を極力ゼロにするために「熱主・電従」の運転方式を採用しているためである。電力の需要があっても熱が余る場合は発電量を熱電比率に従い抑えていることを示している。

しかし総じて、このモデルプランの経済性はほぼ採算ベースに乗っていると見てよいだろう。

(6) 事業性向上のためのエンジニアリング面の課題

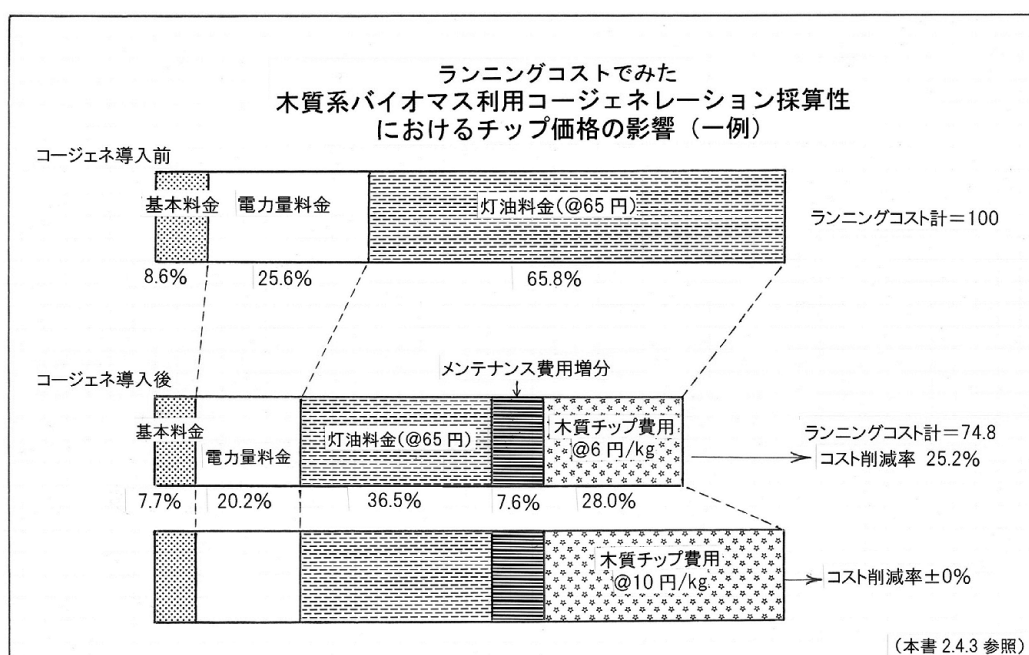
課題の例	対策の例
1. バイオマス性状調整	石油系燃料と異なり木質系バイオマス燃料は燃料投入の観点から見ると水分や形状などの面で問題が多い。木質バイオマスを粉砕した上で含水率をほぼ一定にすることがプラントの安定操業に効果的であり経済性の面からも要請される。
2. バイオマス投入構造	一般に実用化されている木質系バイオマス燃焼炉では、端材や廃材、樹皮などを原形状のまま人手によって燃焼炉に投入しており、燃焼炉の燃料投入構造も人手による投入を前提とした設計になっていることが多いが、自動投入に工夫をしていくことが課題である。
3. バイオマス前処理	燃料投入を人手による方法にする場合、専任のボイラマンの人件費が発生することに配慮して、木質系バイオマスは取り扱いしやすい形にまで前処理（破砕）を行い、かつ排熱を利用した燃料乾燥システムの採用も考慮に値する。
4. バイオマス選択	ペレットは取り扱いが容易であるが、製紙会社が 5,000～8,000 円/t 程度で引き取るビジネスが形成されていて、ペレットを燃料とする CGS の経済性はほとんどない。プランでは樹皮、端材、廃材を簡易破砕したチップ状のものを燃料として採用した。予備乾燥を含む前処理後の含水率低下策で熱効率を向上させる可能性もある。
5. バイオマス燃焼炉	バイオマスボイラの価格は蒸発量 1t クラスで 50,000 千円前後（国内サイト渡し）になっており、石油系燃料のボイラの 10 倍以上である。しかし最近のバイオマスブームを背景に、国内の中小メーカーが 25,000 千円前後のバイオマスボイラを市場に出し始めて来ており、バイオマスボイラも近い将来は市場原理が働く商品になることが予想される。このプランでは、バイオマスボイラは国産のものを採用し、価格は競争原理が働くことを前提として設定することとしたが、一層の価格低下も期待できる。
6. 社会システム	バイオマス資源の確保で地域社会との一体感が醸成されていて、これがさらに進展すると経済性は高まることになる。

[演習]

木質系バイオマスの発電システムのランニングコストでみた採算性は、燃料となる木質チップの価格と、システムが競合する灯油系システムの灯油価格に最も大きな影響を受ける。

以下の図は灯油が 65 円 / L（数年前の水準）の時の木質価格が約 10 円 / kg であることを示したものであるが、現在の灯油価格に置き換えた場合のチップ価格を計算してみましょう。

また、チップ価格を仮に 8 円とした場合のランニングコストメリットを打ち消してしまうイニシャルコスト差がどれほどになるかについて議論してください。



(7) 環境効果の検証

プランから期待される環境効果を CO₂ 排出削減量と原油換算削減量によって試算した。電力の CO₂ 排出係数は平成 18 年 3 月発表の環境省「改正地球温暖化対策推進に関する法律施行令」に基づく 0.555 kg/kWh を採用した。その他エネルギーの排出係数を含め詳細は用語解説参照。また、CO₂ 1t（年ベース）削減に要する初期投資額をも試算した。

環境効果

エネルギー消費量		CO ₂ 削減効果		原油換算削減効果	
		排出原単位	CO ₂ 排出量	消費原単位	原油消費量
現状ベース					
電 力	554,400 kWh	0.555kg/kWh	307.7 t	0.254L/kWh	140.8 kL
灯 油	86,782 L	2.514kg/L	218.2 t	0.961 L/L	83.4 kL
計		(発電量)	525.9 t		224.2 kL
バイオマス導入					
電 力	446,552 kWh	0.555kg/kWh	247.8 t	0.254L/kWh	113.4 kL
灯 油	2,148 L	2.514kg/L	5.4 t	0.961 L/L	2.1 kL
計			253.2 t		115.5 kL
差引削減量			272.7 t		108.7 kL
削減率			51.9 %		48.5 %

CO ₂ 削減量	初期投資額	CO ₂ 1t 削減に要する投資額
272.7 t/年	77,500 千円	284 千円/t

VI. 参考試算

木質バイオマス資源化システム＝炭化～ガスエンジン発電システムを採用した場合のエネルギーフローと採算性

バイオマス発電概論で紹介された新しいバイオマス利用「バイオマス～炭化～ガス化～ガスエンジン発電」のプロセスについて参考までにその概要を以下に示す。

実証中のシステムであり、本格的な実用化には至っていないが、間伐材や廃木材を利用することから発電電力は32円という高い価格での売電の可能性があり、今後は注目されよう。

1. 資源化システムの概要

① 基本的コンセプト

□本事業はバイオマスの炭化品の製造販売を行う事業とし、発電事業は炭化製品製造販売事業とは切り離し別個の事業とする。

(このようなケースが認められるかどうかは現時点では不明である)

□木質バイオマスは蒸し焼きにして炭化し、ガス化してガスエンジン発電機で電力を回収し、エンジンからの排熱は炭化品の乾燥に利用するシステムとする。

□ガスエンジン発電装置はガスエンジンからの排熱を処理プロセスの中でバランスよく利用するための規模として定格150kWとする。

② 資源化システムとプロセス

□バイオマス処理量：1日16時間運転(2交代シフト制)で最大40t/日を処理することとし、設備容量は30t×2系列、平均的な処理量は30t/日～31t/日になる。

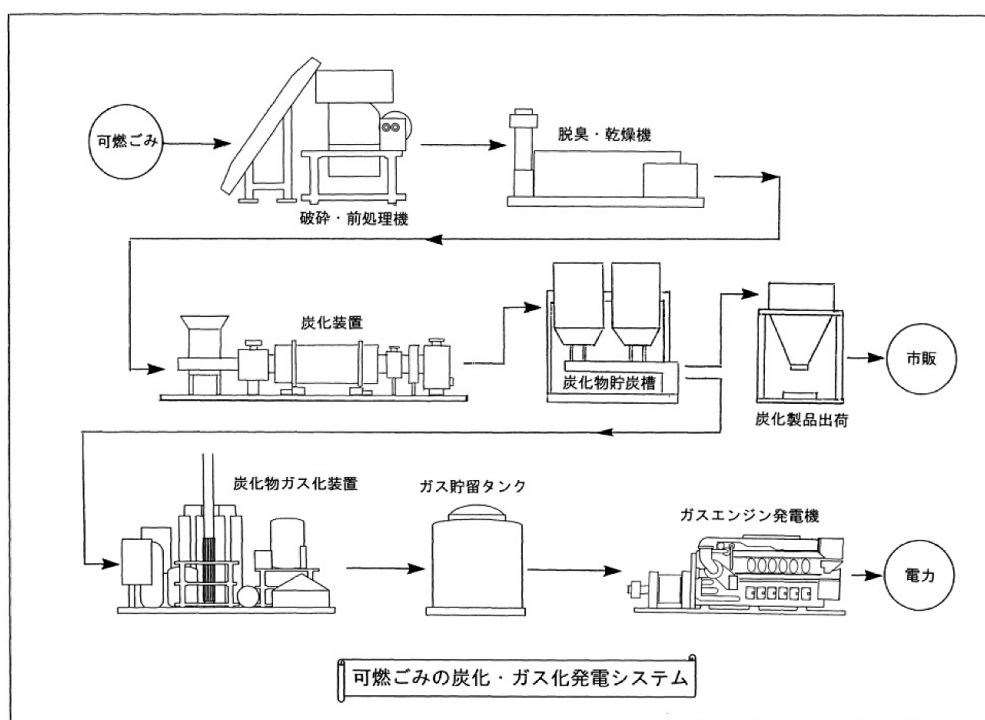
- 搬入バイオマスの発熱量はドライベースで4,000 kcal/kgと設定する。
- 搬入されたバイオマスは破碎～乾燥を経て炭化炉に投入され、およそ5 t/日が炭化物になると仮定する。
- 炭化物はガス化炉に入り、約1,000℃の高温下でガス化され、ガス冷却処理を経て最大150kWのガスエンジンを駆動させ、発電を行う。
- 炭化物の熱量を4,200kcal/kgとすれば5t/日の炭化物の持つ熱量は21,000,000 kcal/日になり、発電効率を30%とすれば、

$$21,000,000 \times 30\% \div 860\text{kcal/kWh} \div 16 \text{時間} \approx 460\text{kW}$$

最大460kWくらいまでの発電は可能であるが、炭化品の発電利用は1/3とする。

- 発電規模を150kW、稼働率を1日16時間とすれば、炭化品の1日の投入量は、
 $150\text{kW} \times 16 \text{時間} \times 860\text{kcal} \div 30\% \div 4,200\text{kcal/kg} = 1,638\text{kg/日}$

以上の仕組みをフロー図にしたものを以下に示す。



ここにいう可燃ごみは廃棄物同然の木質系のバイオマスを指す。

2. 導入前後のエネルギー収支

年間の物質収支を算定するにあたって、稼働時間を1日16時間、これを360日稼働として計算を行った。

年間物質収支・エネルギー収支

項目	計算基礎	物質質量	エネルギー量
バイオマス投入量	30～31 t/日×360日	11,000 t	
内、逆有償分		? t	
炭化物量	5 t/日 ×360日 4,200 kcal/kg	1,800 t	7,560,000 Mcal
ガス発電量	150 kW×16時間×360日		864,000 kWh
発電効率	30%		
発電投入熱量	864,000 kWh×860÷0.3		2,476,800 Mcal
ガス化炉投入炭化物量	2,476,800÷4,200 kcal/kg	590 t	
炭化製品量	歩留まり 80%×(1,800-590)	970 t	
全電力消費量	850 kW×16時間×360日		4,896,000 kWh
ガス発電量			864,000 kWh

3. 事業性の評価

(1) 炭化品の用途と販売計画

バイオマスを炭化した場合の炭化品の性状を特定するには、炭化物の分析が必要になるが、ここでは、考えられる炭化物の用途については、土壌改良剤としての利用、バイオマスエネルギーとしての利用、脱臭設備の脱臭剤としての利用、水質浄化剤としての利用、そのほか、道路の融雪剤、ダイオキシン吸着機能、建物の床下敷料などである。

このプランでは、生産される炭化物 1,800t のうちガス化炉に投入される 590t を除く 1,210t から歩留まり率を考慮した 970t が市販されるものとした。

販売価格や販売量は、農業資材向けとして 40 円/kg で販売できる一般品が 500t/年、燃料ベースの 7 掛け = 30 円/kg で販売の下級品が 470t/年とした。

(2) 事業費の想定

プロジェクトの内容により、また事業者側の諸事情により事業費の項目や金額は大きく変動するが、ここではひとつの目安として項目と金額を想定した。

概算事業費の想定（一例）

項目	想定根拠	想定金額(千円)
前処理乾燥設備	諸事例からの推測	380,000
ごみ炭化設備一式	諸事例からの推測	270,000
炭化物ガス化設備	諸事例からの推測	45,000
ガス発電設備一式	150kW@800 千円/kW	120,000
周辺機器電気機器	諸事例からの推測	20,000
エンジニアリング費用	上記費用の 7%	50,000
機器費計		885,000
機器据付工事費	機器費×15%	130,000
事業費合計		1,015,000

(3) 事業の採算性

樹皮などの未利用バイオマスの多くは産業廃棄物として扱われ、その処理費は発生源の事業者が負担する仕組みになっている。この例では、製材事業者などの負担になるが、それを資源として利用する際には、投入資源のコストはいわゆる「逆有償」になる。

炭化物販売とと売電の合計収入は年間 60,000 千円程度であり、これにどれだけの逆有償分が載るかが採算性の分かれ道となろう。

実証プラントでの運用の成果が待たれるところである。

収入の計算例

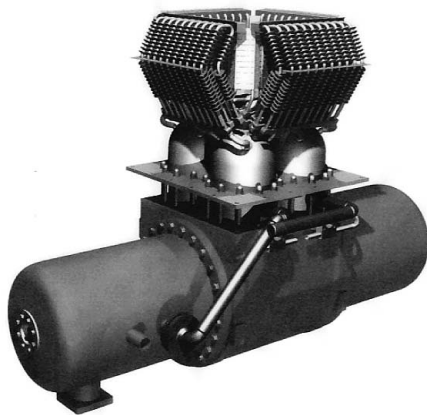
項目	計算基礎	金額(千円)
収入		
業者からの有償分	11,000 t @?	?
炭化製品A販売代	500 t × @40 円/kg	20,000
炭化製品B販売代	470 t × @30 円/kg	14,100
売電料金	864,000kWh @32 円/kWh	27,648
収入計		
支出		
プラント運転経費		特定困難

(4) 経済性向上に向けたエンジニアリング

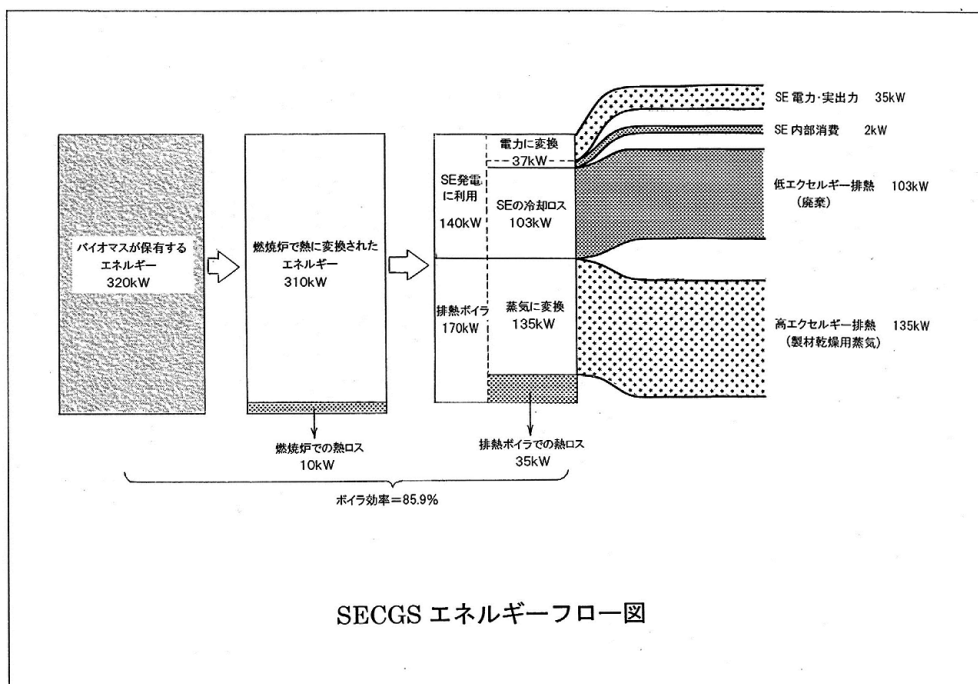
テーマ	課題と対策
1. 炭化物併産	バイオマスと炭化物製造とガスエンジンを組み合わせる方法には、バイオマスをまず蒸し焼き方式で炭化し、炭化製品を選別出荷したあとの低品位物や余剰の炭化品をガス化装置でメタンや水素を主成分とするガスにしそれをガスエンジンに利用する方法と、バイオマスをガス化装置に投入し、ひとつの装置でガスと炭化品を生産する方式とがある。プロセス設計での最適解が期待される。
2. ガスエンジン	ガスエンジンは一般には高価であるが、発電電力に高い質的安定性が要求されない場合は格安のシステムも調達できる。発電電力をどのような用途に限定するかを検討が望まれる。
3. 熱効率改善	プロセスを厳密に解析することにより改善が期待できよう。

[演習の最後に再確認]

次の工程表により、演習のプロセスをフォローし確認する
(工程表はコピーを配布)



スターリング発電機の実機（スターリングデンマーク社製 35 kW）



上記のシステムに固有のエネルギーフロー図
同様の図でこの演習用は会場別途配布します。
(燃料は北欧の木質系バイオマスを利用した場合)